

05-005

SELECTION OF INVESTMENT PROJECTS IN RENEWABLE ENERGY ACTIONS BY MEANS OF THE ANALYTICAL NETWORK PROCESS (ANP) COMBINED WITH DEMATEL

López-Nácher, Román ⁽¹⁾; Aragonés-Beltrán, Pablo ⁽¹⁾; Fuentes-Bargues, José-Luis ⁽¹⁾; Pastor-Ferrando, Juan-Pascual ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Centro de Investigación en Dirección de Proyectos, Innovación y Sostenibilidad (PRINS).
Universitat Politècnica de València

The objective of this work is to design a decision support model, based on the Analytical Network Process (ANP) combined with DEMATEL, to select different renewable energy investment alternatives, from the point of view of the growing need (of private companies, investors or public agencies) in the choice of one or another alternative renewable energy project. The model comprises the definition of the problem elements that are the different alternative investment solutions and the decision criteria and sub-criteria applicable to the case study, the interrelation analysis of all the elements, the prioritization of these relationships and the obtaining of a solution that will allow the prioritization of the different investment alternatives. The work will be applied to the case study of a small municipality in the Province of Valencia and will conclude with a discussion of the results and conclusions.

Keywords: project portfolio prioritization; renewable energy; Analytical Network Process; DEMATEL

SELECCIÓN DE PROYECTOS DE INVERSIÓN EN ACTUACIONES DE ENERGÍAS RENOVABLES MEDIANTE EL PROCESO ANALÍTICO EN RED (ANP) COMBINADO CON DEMATEL

El objetivo de este trabajo es diseñar un modelo de ayuda a la decisión, basado en el Proceso Analítico en Red (ANP) combinado con DEMATEL, para seleccionar diferentes alternativas de inversión en energía renovable, desde el punto de vista de la creciente necesidad (de empresas privadas, inversores u organismos públicos) en la elección de una u otra alternativa de proyectos de renovables. El modelo comprende la definición de los elementos del problema que son las diferentes soluciones alternativas de inversión y los criterios y subcriterios de decisión aplicables al caso de estudio, el análisis de interrelación de todos los elementos, la priorización de estas relaciones y la obtención de una solución que permitirá priorizar las diferentes alternativas de inversión. El trabajo se aplicará al caso de estudio de un pequeño municipio de la Provincia de Valencia y concluirá con una discusión de los resultados y conclusiones.

Palabras clave: priorización cartera de proyectos; energía renovable; Proceso Analítico en Red; DEMATEL

Agradecimientos: Agradecemos al Excelentísimo Ayuntamiento de Venta del Moro su colaboración en la realización este trabajo.



© 2023 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

Los recientes acontecimientos que han sobrevenido desde la crisis de la epidemia COVID-19 en el año 2020 y la Guerra de Ucrania en el 2022, han tenido un gran impacto en la economía y la geopolítica global (Theodoropoulou, 2022). Esto, unido a los impactos evidentes del cambio climático y las políticas de reducción de gases de efecto invernadero ha provocado que la Unión Europea (UE) y otros países desarrollados, como Estados Unidos (EEUU), movilicen una gran cantidad de fondos públicos para la recuperación de sus economías. En julio de 2020 la UE aprobó el programa Next Generation EU, dotado con 750.000 millones de euros a repartir entre todos los países de la Unión. Este programa tiene dos instrumentos, el Mecanismo para la Recuperación y la Resiliencia (MRR) dotado con 672.500 millones de euros, y el Fondo REACT-EU dotado con 47.500 millones de euros. Para acceder al MRR, cada país de la UE ha diseñado unos planes que deben incluir las reformas y los proyectos de inversión orientados, entre otros objetivos, a apoyar las transiciones ecológica y digital (<https://www.hacienda.gob.es/es-ES/CDI/Paginas/FondosEuropeos/Fondos-relacionados-COVID/Next-Generation.aspx>).

España, a través de su Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia prevé movilizar 140.000 millones de euros hasta 2026 con una parte muy relevante destinada a programas orientados a la transición ecológica. La gestión de estos fondos se está llevando a cabo mediante los Proyectos Estratégicos para la Recuperación y Transformación Económica (PERTE). En relación con el presente trabajo, hay que mencionar el PERTE de energías renovables, hidrógeno renovable y almacenamiento (PERTE EHRA). Este PERTE, se compone de tres fases (Actuaciones y capacidades de I+D, capacidades y despliegue) y movilizará 16.370 millones de euros, de los cuales, 6.920 millones de euros corresponderán a inversión pública y 9.450 millones de euros a inversión privada. El PERTE EHRA está desarrollando programas orientados a potenciar la tecnología del hidrógeno renovable, mejorar el almacenamiento energético, impulsar la creación y desarrollo de comunidades energéticas, desarrollar fuentes de energía renovable con un gran apoyo al autoconsumo en diferentes sectores económicos y dar incentivos a la movilidad eficiente y sostenible. (Gobierno de España, 2021).

Las inversiones en energías renovables, movilidad sostenible o gestión de la demanda energética se caracterizan por su gran complejidad en la gestión de los procesos y trámites administrativos a los que están sometidos por la legislación vigente, que es abundante, compleja y cambiante. Esta situación puede dificultar mucho la puesta en práctica de los programas vinculados a los PERTEs y en especial el EHRA, máxime cuando la llegada progresiva de los fondos de la EU va vinculada a un adecuado cumplimiento de plazos y objetivos. Por esta razón, tanto el Gobierno de España, como las diferentes comunidades autónomas, en el ámbito de sus competencias, han realizado modificaciones normativas para agilizar la tramitación de muchos de estos proyectos.

Otro aspecto que añade complejidad a los proyectos asociados al PERTE EHRA es la madurez de las tecnologías, algunas de las cuales, como el almacenamiento de electricidad con baterías o la generación de hidrógeno verde requieren importantes inversiones en I+D o son todavía muy caras en relación con las fuentes convencionales de energía. A esto hay que añadir la volatilidad actual de los precios del gas y del petróleo.

En estas circunstancias los responsables de la decisión sobre en qué proyectos invertir se enfrentan a un problema de decisión multicriterio complejo en el que han de considerar criterios técnicos, costes, riesgos y oportunidades de los proyectos o programas a evaluar, con todos estos elementos interrelacionados. Las técnicas de análisis multicriterio de decisiones pueden ayudar a enfocar este problema con rigor.

2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es diseñar un modelo de ayuda a la decisión que permita evaluar diferentes alternativas de inversión formadas a partir de combinaciones de proyectos de energía renovable, movilidad y gestión de la demanda.

Para cumplir el objetivo, se propone un proceso de ayuda a la decisión, basado en el Proceso Analítico en Red (ANP) combinado con DEMATEL, que se ha aplicado a un caso de estudio. La principal aportación de este trabajo es el análisis sobre los criterios de decisión que hay que tener en cuenta y la aplicación del modelo de ayuda a un caso de estudio.

3. Breve descripción del marco teórico

En este apartado se realiza una breve descripción de las dos técnicas de análisis multicriterio que se utilizan en este trabajo y se justifica su uso. Desde el campo de la Investigación Operativa las técnicas de análisis multicriterio de decisiones están siendo ampliamente investigadas, siendo las más conocidas y aplicadas en la literatura científica las basadas en la Teoría de Utilidad Multicriterio, AHP/ANP, TOPSIS, la familia de los métodos de superación ELECTRE y PROMETHEE (Ishizaka & Nemery, 2013), (Figueira et al., 2005).

El Proceso Analítico en Red (cuya denominación en inglés es Analytic Network Process, ANP) fue propuesto por Th. Saaty como una generalización del conocido método AHP (Analytic Hierarchy Process) (Saaty, 1980). ANP permite modelizar los problemas de toma de decisiones como una red de criterios y alternativas agrupados, en el que existen interrelaciones e influencias entre los elementos de los diferentes grupos. Dicho modelo cuenta con los siguientes pasos (Saaty, 2001):

- 1) Diseñar el modelo de decisión identificando los elementos (o nodos) del problema (criterios de decisión y las alternativas) y agrupándolos en grupos o clústers.
- 2) Establecer una matriz de influencia donde cada posición toma el valor 1 si el elemento fila influye sobre el respectivo elemento columna y 0 si no influye. De este modo se crea una red formada por elementos interrelacionados con relaciones dirigidas.
- 3) Para cada uno de los elementos de la columna de la matriz anterior, se calcula la influencia relativa que ejercen sobre ella los elementos del mismo grupo que se ha determinado que ejercen influencia. De esta manera, se generan matrices recíprocas de comparación pareada entre los elementos de un mismo grupo y se calcula el vector propio principal asociado, siguiendo el método de medida de preferencia relativa establecido por Saaty (1980). Para ello, es necesario el desarrollo de tantas matrices de comparación como elementos de los diferentes grupos influyan en cada elemento de la columna. La supermatriz resultante se denomina supermatriz “no ponderada” (unweighted).
- 4) La influencia de los elementos está condicionada por su pertenencia a un determinado grupo y la influencia que unos grupos ejercen sobre otros. Para calcular esta influencia se construye la matriz grupos (Clúster) en la que, para cada columna, se realizan comparaciones pareadas entre los grupos que la influyen
- 5) La supermatriz “ponderada” (weighted) se obtiene combinando las dos matrices, no ponderada y de grupos. Por columnas se calcula la influencia relativa de todos los elementos del sistema sobre cada elemento de la columna cuya suma da el valor 1.
- 6) La supermatriz ponderada se eleva luego a potencias sucesivas para obtener la matriz límite que se caracteriza por que todas las columnas tienen los mismos valores. El resultado asigna a cada elemento del sistema un valor de su influencia relativa.

Todos los cálculos se describen en detalle (Saaty, 2001), (Saaty, 2008). La razón por la que

se ha escogido ANP es porque una técnica que permite evaluar y priorizar las alternativas de decisión considerando todas las interrelaciones e influencias existentes entre todos los elementos del problema. Además, está científicamente contrastada y ampliamente empleada en diferentes ámbitos (Mokarram et al., 2022) (Kheybari et al., 2020) (Chen et al., 2019). Sin embargo, su aplicación práctica presenta inconvenientes, siendo el principal la cantidad de preguntas que el decisor ha de responder (Schulze-Gonzalez et al., 2021). Para abordar este problema, en la literatura se ha propuesto utilizar el método Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL), en combinación con ANP, para analizar las influencias entre elementos de un modo directo, sin realizar comparaciones pareadas. DEMATEL original fue propuesto por Fontela y Gabus en el Centro de Investigación de Ginebra del Instituto Memorial Battelle. Se utiliza para analizar la interdependencia (relación o influencia) entre componentes o variables/atributos de un sistema complejo, identificar aquellos que son críticos y analizar sus relaciones causa-efecto, utilizando un diagrama de relaciones de impacto (Si et al., 2018).

En este trabajo se va a utilizar la combinación de DEMATEL y ANP propuesta por (Kadoić et al., 2019), denominada DANP. Los pasos de este método son:

- 1) Cuando se analiza si un elemento influye sobre otro, se determina su influencia mediante una escala que puede tener diferentes niveles de influencia que van desde una escala de 3 puntos hasta una escala de 10 puntos (Naseri-Rad y otros, 2020). Un ejemplo de una escala de 5 puntos podría ser: 0 (sin influencia); 1 (influencia baja); 2 (influencia media); 3 (influencia fuerte); 4 (influencia muy fuerte). Si hay varios grupos, la matriz de influencia entre grupos se crea de forma similar a la matriz de influencia entre elementos

Este paso incluye los pasos 2 y 3 de ANP y evita la necesidad de que los expertos o los responsables de la toma de decisiones hagan juicios de comparación por pares, ahorrando tiempo y esfuerzos considerables.

- 2) Normalizar cada columna de la matriz de influencia sumando todos los valores de cada columna y dividiendo cada uno por las respectivas sumas. Si hay varios grupos, los valores de cada columna de la matriz de influencia se normalizan por grupos y la matriz de grupos se normaliza de forma similar. De esta forma, se obtendría el equivalente de las matrices ANP No ponderada y Clúster para continuar el proceso en el paso 4 de ANP. El procedimiento se describe en (Kadoić y otros, 2019).
- 3) Una vez completado este paso, el procedimiento continúa con el paso 5 de ANP.

El uso combinado DEMATEL-ANP tiene aplicaciones recientes en diferentes ámbitos (Aragonés-Beltrán et al., 2023), (Karamoozian et al., 2023).

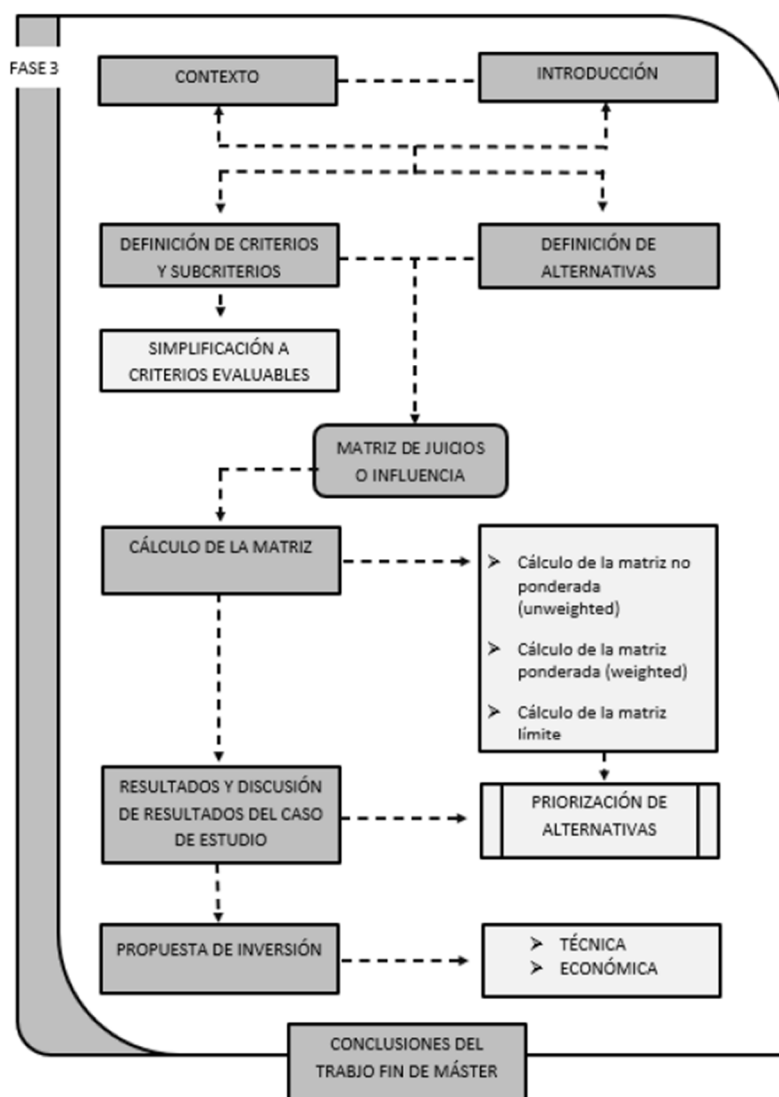
4. Metodología y caso de estudio

La metodología seguida en este trabajo sigue los pasos descritos en la Figura 1. Se ha aplicado al caso del municipio de Venta del Moro (Valencia) ubicado en la comarca de Utiel-Requena. El municipio está formado por un conjunto de 7 núcleos de población, el propio municipio de Venta del Moro y 6 aldeas: Casas de Moya, Casas de Pradas, Casas del Rey, Jaraguas, Las Monjas y Los Marcos. Analizando la situación del municipio desde el punto de vista energético, cabe destacar que el municipio únicamente cuenta con luminarias de tecnología led en el ámbito de las infraestructuras y ligado al ámbito del ahorro energético.

En todo proceso de toma de decisiones la subjetividad es inherente al mismo. Pero subjetividad no implica arbitrariedad. Por ello, el modelo de criterios y alternativas y los juicios que se llevan a cabo en cada uno de los pasos del debe realizarse por expertos o decisores que conozcan el problema y sean capaces de opinar basándose en su conocimiento y

experiencia. En este caso, el promotor del estudio sería el Ayuntamiento de Venta del Moro (representado por su alcalde y técnicos municipales competentes) y los expertos serían tres técnicos de una empresa consultora, uno de ellos experto en materia energética y medioambiental; otro, experto en el desarrollo de proyectos en lo referente a procesos técnicos y de tramitación para la puesta en marcha de las actuaciones, y el tercero, experto en inversiones. Para todos los interesados, es fundamental realizar un profundo análisis del marco legal, destacando en especial, los diferentes procesos, tramitación, así como acciones necesarias que se deben realizar en cada tipología de proyecto o actuación energética. Este análisis se realiza en el paso que se denomina Contexto-Introducción.

Figura 1. Pasos de la metodología de evaluación



4.1 Definición de alternativas.

El siguiente paso es la identificación de las alternativas de decisión, formadas por combinaciones de proyectos de energía renovable y movilidad. Tras el estudio técnico realizado por los expertos, se identificaron las alternativas de la Tabla 1.

La movilidad sostenible eléctrica consiste en proponer la adquisición, por parte del Ayuntamiento de dos coches eléctricos para los diferentes servicios del Ayuntamiento, una furgoneta eléctrica para dar servicio de transporte a los vecinos que deban trasladarse por

razones médicas a otras poblaciones y tres puntos de recarga públicos. La movilidad sostenible con hidrógeno se propone con el mismo número de vehículos que la eléctrica, pero la propulsión de los coches y la furgoneta serían por hidrógeno a 700 bar mediante pila de combustible y la colocación de una hidrogenera en lugar de los puntos de recarga eléctricos. Las instalaciones fotovoltaicas de 81 kWp se prevé cubran un 29% de la demanda y las de 126 kWp con almacenamiento un 45%.

Tabla 1: Alternativas del caso de estudio

A1. Instalación fotovoltaica de 81 kWp sin almacenamiento y movilidad sostenible eléctrica.
A2. Instalación fotovoltaica de 81 kWp sin almacenamiento y movilidad sostenible con hidrógeno.
A3. Instalación eólica “onshore” de 66 kW sin almacenamiento y movilidad sostenible eléctrica.
A4. Instalación eólica “onshore” de 66 kW sin almacenamiento y movilidad sostenible c/ hidrógeno.
A5. Instalación fotovoltaica de 126 kWp con almacenamiento y movilidad sostenible eléctrica.
A6. Instalación fotovoltaica de 126 kWp con almacenamiento y movilidad sostenible con hidrógeno.

4.2 Definición de criterios.

Los criterios que se muestran en la Tabla 2 fueron establecidos por los tres expertos por consenso, basándose en sus conocimientos y experiencia y en el análisis del entorno del caso de estudio y la legislación, los requisitos establecidos en los diferentes Proyectos Estratégicos (PERTEs), los programas de incentivos y los trámites necesarios. Inicialmente, se definió un modelo inicial con 7 criterios de primer nivel y 30 subcriterios. Concretamente, los siguientes:

- A nivel técnico: Madurez de la Tecnología empleada, Potencia y modalidad, Capacidad de Potencia firme y servicio, Posibilidad de uso industrial y en movilidad, Proyectos multicomponente e innovadores, Existencia de proyecto técnico y estudio específico a nivel energético, Avance de Power Purchase Agreements (PPAs) para la instalación de energía renovable eléctrica conectada a red, Disponibilidad de terrenos de las plantas de energía renovable y la planta de H2 renovable.
- A nivel económico: Existencia de financiación pública, Rangos presupuestarios admisibles, Coste de la tecnología, Ampliación de aplicación, Tasa Interna de Rendimiento (TIR), Existencia de modelos de Operational Expenditures (OPEX) y Capital Expenditures (CAPEX) elaborados y validados.
- A nivel administrativo: Trámites previos a la ejecución a nivel eléctrico, Trámites posteriores a la ejecución a nivel eléctrico, Trámites previos a la ejecución a nivel de garantizar un flujo continuo de agua, Trámites posteriores a la ejecución a nivel de inscripción en Registros y Censos.
- A nivel temporal: Límites temporales establecidos por financiación pública e Hitos temporales de control establecidos por financiación pública.
- A nivel medioambiental: Emisiones evitadas y Mayor o menor daño al medioambiente.
- A nivel de externalidades: Generación de empleo, impacto social y de género, Transición justa y reto demográfico, Mejoras ambientales y economía circular, Formación y capacitación.
- A nivel gobernanza: Posibilidad y Potencial de Constitución de Comunidad Energética, Avances en plataformas de gestión de la demanda, Acuerdo de consorcio, Compromiso de consumo de H₂.

En una segunda iteración, se simplificó el modelo eliminando subcriterios no aplicables al caso

de estudio porque el nivel de definición de las propuestas no los permitía evaluar con detalle. Así se eliminaron los siguientes criterios: existencia de proyecto técnico y estudio específico a nivel energético, Avance de PPAs para la instalación de energía renovable eléctrica, disponibilidad de terrenos, TIR, existencia de modelos de OPEX y CAPEX elaborados y validados, transición justa y reto demográfico, mejoras ambientales y economía circular, formación y capacitación, existencia de acuerdo de consorcio, avances en plataformas de gestión de la demanda y compromiso de consumo de H₂.

Tabla 2: Criterios del caso de estudio

C1. Técnicos	C1.1. Madurez de la Tecnología empleada.
	C1.2. Potencia y modalidad.
	C1.3. Capacidad de Potencia firme y servicio.
	C1.4. Posibilidad de uso industrial y en movilidad.
	C1.5. Proyectos multicomponente e innovadores.
C2. Económicos	C2.1. Existencia de financiación pública.
	C2.2. Rangos presupuestarios admisibles.
	C2.3. Coste de la tecnología.
	C2.4. Ampliación de aplicación.
C3. Administrativos	C3.1. Trámites previos a la ejecución a nivel eléctrico.
	C3.2. Trámites posteriores a la ejecución a nivel eléctrico.
	C3.3. Trámites previos a la ejecución para garantizar un flujo continuo de agua.
	C3.4. Trámites posteriores a la ejecución a nivel de inscripción en Registros y Censos.
C4. Temporales	C4.1. Límites temporales establecidos por financiación pública.
	C4.2. Hitos temporales de control establecidos por financiación pública.
C5. Medioambientales	C5.1. Emisiones evitadas.
	C5.2. Mayor o menor daño al medioambiente.
C6. Externalidades	C6.1. Generación de empleo, impacto social y de género.
C7. Gobernanza	C7.1. Posibilidad y Potencial de Constitución de Comunidad Energética.

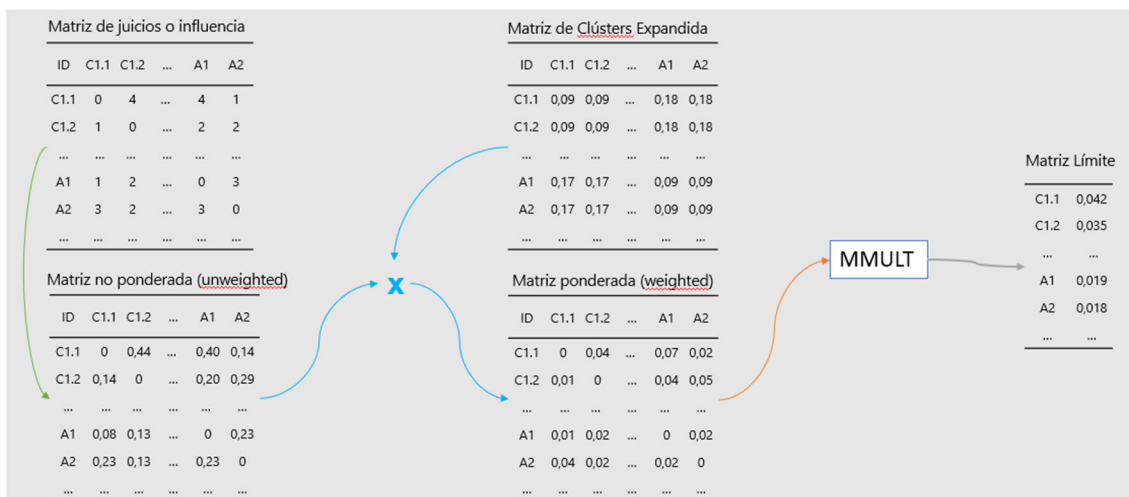
4.3 Proceso de cálculo.

La Figura 2 muestra, de modo resumido, el proceso de cálculo que ha seguido los siguientes pasos:

- 1) Los expertos, por consenso han establecido las matrices de influencia de elementos y de clústers. La pregunta que han debido responder es “¿Cuánto influye el elemento/grupo fila sobre el elemento columna, teniendo en cuenta la escala 0-4 donde 0 es “No influye y 4 es “influencia muy fuerte”?”.
- 2) Se normaliza por columnas la matriz de elementos, dividiendo cada valor por la suma de valores de los elementos de un mismo grupo. Se obtiene la supermatriz no ponderada (unweighted).
- 3) Se normaliza por columnas la matriz de grupos dividiendo cada valor por la suma de los valores de la columna.

- 4) Se combinan ambas matrices y se obtiene la supermatriz ponderada (weighted).
- 5) Elevando la Matriz Ponderada Weighted a sucesivas potencias, se obtiene la supermatriz límite, cuyas columnas toman idénticos valores que representan la influencia que cada uno de los elementos de la red ejerce sobre el conjunto.

Figura 2. Proceso de cálculo simplificado



El Anexo 1 muestra las matrices de influencia entre elementos y entre grupos.

5. Resultados

La Tabla 3 y Tabla 4 muestran los resultados obtenidos a partir de la matriz límite (Columna "Límite"). Normalizando los valores de la matriz límite correspondientes a los criterios entre ellos y a las alternativas entre ellas se obtiene la ordenación y prioridades correspondientes a criterios y alternativas, en el modo "distributivo" y en el "ideal" (normalizadas las prioridades distributivas al máximo).

La Figura 3 muestra una representación gráfica de las prioridades de las alternativas. En ella se puede observar que la alternativa A5 (Instalación fotovoltaica de 126 kWp con almacenamiento y movilidad sostenible eléctrica), es la más valorada, seguida por la A6 (Instalación fotovoltaica de 126 kWp con almacenamiento y movilidad sostenible con hidrógeno). Estas dos alternativas se diferencian entre ellas, pero obtienen una valoración por encima del resto, debido a la inclusión del almacenamiento en las dos propuestas. Siendo este, un hecho fundamental alineado con aspectos como la gestión de la demanda, la mejor regulación y aprovechamiento de energía, el valor añadido de proyectos multicomponente, el mayor servicio con energías renovables, la mejora sustancial en emisiones de CO2 fruto del almacenamiento, así como el mayor interés y adecuación para la constitución de una Comunidad Energética.

Cabe destacar, además, que las alternativas A3, A1 y A4 mantienen unos valores similares, siendo estas alternativas sin almacenamiento y donde destacan aspectos como la mayor producción de energía por parte de la eólica relacionada con la mayor estabilidad en la energía generada, que hace que esta opción tenga mayor valoración que el resto. La alternativa A2, es la menos valorada y se caracteriza por no contar con almacenamiento y en la componente de movilidad sostenible optar por la solución propulsada por hidrógeno.

En cuanto a la influencia de los criterios, en este caso se puede apreciar que los más influyentes son los criterios C7.1 (Posibilidad de Constitución de Comunidad Energética) y C5.1 (Emisiones evitadas), seguidos de C6.1 (Generación de empleo, impacto social y de

género), C4.2 (Hitos temporales de control establecidos por financiación pública), C4.1 (Límites temporales establecidos por financiación pública) y C5.2 (Mayor o menor daño al medioambiente), sumando sólo estos seis criterios el 48,31% de la influencia relativa entre criterios, quedando el resto con una influencia menor.

Es importante destacar que estas prioridades han salido como resultado de las influencias percibidas por los tres expertos en este caso. En otros casos, las influencias entre criterios cambiarán porque se ha asumido en este modelo que hay una importante influencia entre elementos (criterios y alternativas).

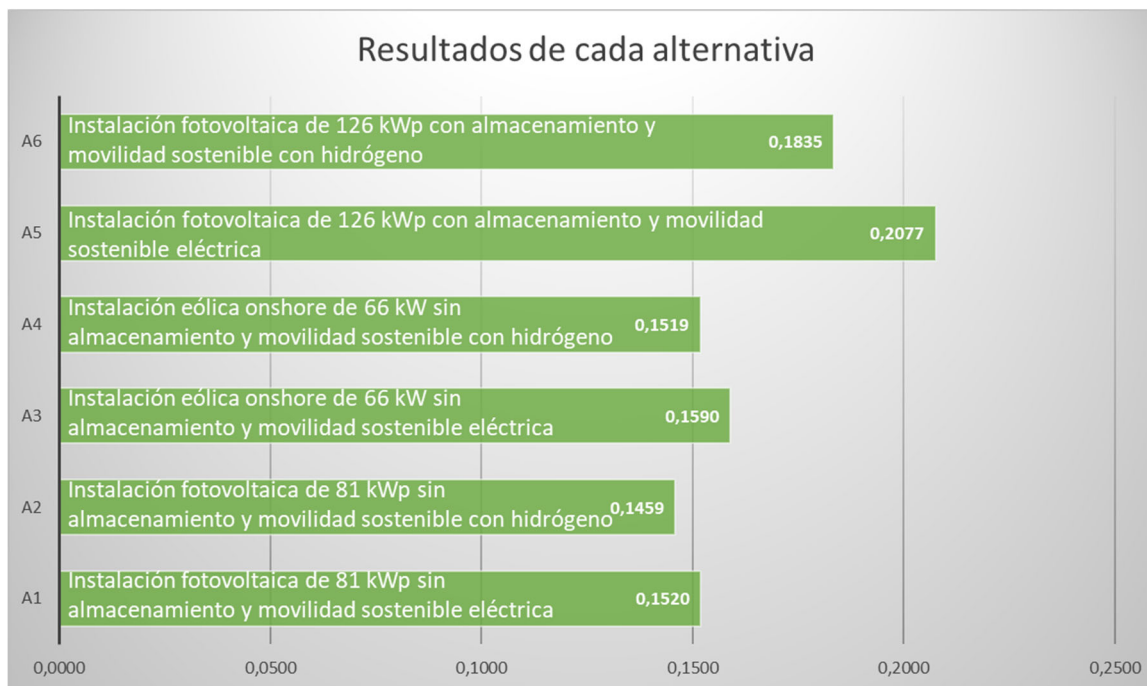
Tabla 3: Prioridad de los criterios

Elementos	Limite	Elementos ordenados	Prioridades distributivas	Prioridades ideal
C1.1	0,0420	C7.1	0,1040	1,0000
C1.2	0,0354	C5.1	0,0846	0,8140
C1.3	0,0237	C6.1	0,0799	0,7690
C1.4	0,0386	C4.2	0,0730	0,7027
C1.5	0,0336	C4.1	0,0709	0,6825
C2.1	0,0390	C5.2	0,0707	0,6805
C2.2	0,0239	C1.1	0,0481	0,4632
C2.3	0,0350	C3.3	0,0477	0,4589
C2.4	0,0340	C3.1	0,0466	0,4481
C3.1	0,0407	C2.1	0,0447	0,4300
C3.2	0,0347	C1.4	0,0441	0,4247
C3.3	0,0417	C1.2	0,0405	0,3895
C3.4	0,0282	C2.3	0,0401	0,3860
C4.1	0,0620	C3.2	0,0397	0,3824
C4.2	0,0638	C2.4	0,0390	0,3749
C5.1	0,0739	C1.5	0,0384	0,3699
C5.2	0,0618	C3.4	0,0323	0,3114
C6.1	0,0698	C2.2	0,0274	0,2639
C7.1	0,0908	C1.3	0,0272	0,2615

Tabla 4: Prioridad de las alternativas

Elementos	Limite	Elementos ordenados	Prioridades distributivas	Prioridades ideal
A1	0,0192	A5	0,2077	1,0000
A2	0,0184	A6	0,1835	0,8836
A3	0,0200	A3	0,1589	0,7656
A4	0,0191	A1	0,1520	0,7321
A5	0,0262	A4	0,1519	0,7316
A6	0,0231	A2	0,1459	0,7028

Figura 3. Representación gráfica prioridad alternativas



6. Conclusiones

En este trabajo se ha diseñado un proceso de ayuda a la decisión para evaluar inversiones que combinan proyectos de energía renovable. Teniendo en cuenta el complejo marco legal, los procedimientos de tramitación y las tecnologías disponibles, el modelo se ha aplicado al caso de estudio formado por una pequeña localidad valenciana, Venta del Moro, que tiene varios núcleos de población dentro de su municipio. Se han estudiado diferentes combinaciones de proyectos que pueden constituir alternativas de inversión para el municipio.

También se ha realizado una identificación y análisis de los criterios que se proponen, que pueden ser útiles en problemas similares, aunque en el caso de estudio, el grado de definición de los proyectos integrantes de cada una de las combinaciones alternativas de inversión, no ha permitido su utilización.

Se han analizado por tres expertos las interrelaciones e influencias entre todos los elementos del problema de decisión, alternativas y criterios y se ha empleado una técnica que permite combinar ANP con DEMATEL con el fin de reducir las dificultades prácticas del uso de comparaciones pareadas para establecer las influencias de unos elementos sobre otros, por el gran número de preguntas tienen que resolver los expertos.

Entre las limitaciones del trabajo hay que indicar que es un primer avance al estudio de los numerosos criterios y las diferentes combinaciones que pueden plantearse a partir de la hibridación de técnicas de producción de energía renovable. El grado de detalle de los proyectos no ha permitido la consideración de una serie de criterios que en problemas más complejos se deberían considerar.

Como desarrollos futuros se propone abordar con estas técnicas de ayuda a la decisión problemas de mayor nivel de complejidad en polígonos industriales o municipios con mayor población.

7. Referencias

- Aragonés-Beltrán, P., González-Cruz, M. C., León-Camargo, A., & Viñoles-Cebolla, R. (2023). Assessment of regional development needs according to criteria based on the Sustainable Development Goals in the Meta Region (Colombia). *Sustainable Development*, 31(2). <https://doi.org/10.1002/sd.2443>.
- Chen, Y., Jin, Q., Fang, H., Lei, H., Hu, J., Wu, Y., Chen, J., Wang, C., & Wan, Y. (2019). Analytic network process: Academic insights and perspectives analysis. *Journal of Cleaner Production*, 235, 1276–1294. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.016>.
- Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott, M.; (Ed.). (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. Springer Science+Business Media Inc.
- Gobierno de España. (2021). *Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia*. España Puede.
- Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). *Multi-Criteria Decision Analysis. Methods and Software*. John Wiley & Sons, Ltd.
- Kadoić, N., Divjak, B., & Begičević Ređep, N. (2019). Integrating the DEMATEL with the analytic network process for effective decision-making. *Central European Journal of Operations Research*, 27(3), 653–678. <https://doi.org/10.1007/s10100-018-0601-4>.
- Karamoozian, A., Asce, S. M., Desheng Wu, Abbasnejad, B., & Mirhosseini, S. A. (2023). *A Hybrid DEMATEL-ANP and LCA Decision-Making Model for Selecting Pipe Materials in Hydrocarbon Pipeline Projects*. <https://doi.org/10.1061/JPSEA2>.
- Kheybari, S., Rezaie, F. M., & Farazmand, H. (2020). Analytic network process: An overview of applications. *Applied Mathematics and Computation*, 367. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2019.124780>.
- Mokarram, M., Pourghasemi, H. R., & Mokarram, M. J. (2022). A multi-criteria GIS-based model for wind farm site selection with the least impact on environmental pollution using the OWA-ANP method. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(29), 43891–43912. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18839-2>.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill.
- Saaty, T. L. (2001). *Decision Making with Dependence and feedback. The Analytic Network process. The organization and prioritization of complexity. (Second Edi)*. RWS Publications.
- 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, Físicas y Naturales. Serie A. Matemáticas*, 102(2), 251–318. <https://doi.org/10.1007/BF03191825>.
- Schulze-Gonzalez, E., Pastor-Ferrando, J.-P., & Aragonés-Beltrán, P. (2021). Testing a Recent DEMATEL-Based Proposal to Simplify the Use of ANP. *Mathematics*, 9, 1065. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/math9141605>.
- Si, S., You, X., Liu, H., & Zhang, P. (2018). DEMATEL technique: a systematic review of the state-of-art literature on methodologies and applications. *Mathematical Problems in Engineering*, 2018(3696457), 1–33. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1155/2018/3696457>.
- Theodoropoulou, S. (2022). Recovery, resilience and growth regimes under overlapping EU conditionalities: the case of Greece. *Comparative European Politics*, 20(2), 201–219. <https://doi.org/10.1057/s41295-022-00280-x>

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



8. Anexo I

Figura 4. Matriz de influencia entre elementos

		C1. Técnicos					C2. Económicos				C3. Administrativos				C4 Temporales		C5 Medioambientales		C6 Externalidades	C7 Gobernanza	Alternativas					
		C1.1	C1.2	C1.3	C1.4	C1.5	C2.1	C2.2	C2.3	C2.4	C3.1	C3.2	C3.3	C3.4	C4.1	C4.2	C5.1	C5.2	C6.1	C7.1	A1	A2	A3	A4	A5	A6
C1. Técnicos	C1.1	0	4	2	3	3	2	2	4	3	1	1	1	1	2	3	3	3	2	3	4	1	4	1	4	1
	C1.2	1	0	2	2	2	2	2	1	2	4	4	4	4	1	1	1	1	1	3	2	2	2	2	2	2
	C1.3	1	2	0	1	2	1	1	2	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	4	4
	C1.4	3	1	1	0	2	4	2	2	2	1	1	2	1	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	3	3
	C1.5	2	2	3	3	0	3	2	1	3	1	1	1	1	2	1	2	2	2	3	1	1	1	1	4	4
C2. Económicos	C2.1	4	4	1	4	3	0	3	4	3	1	1	1	1	3	1	2	1	3	3	2	2	2	2	2	2
	C2.2	1	2	1	3	2	3	0	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	3	3
	C2.3	4	3	1	3	2	1	1	0	3	1	1	1	1	1	3	3	3	2	2	4	1	4	1	4	1
	C2.4	3	4	2	2	4	1	1	1	0	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	4	2
C3. Administrativos	C3.1	3	3	1	1	2	4	4	4	3	0	4	2	4	3	3	3	2	1	4	1	2	1	2	1	1
	C3.2	2	1	1	1	2	4	4	4	4	0	0	1	4	2	3	2	2	1	3	2	2	1	2	4	3
	C3.3	3	2	1	2	2	1	1	1	2	1	3	0	4	3	3	3	3	1	4	4	1	4	1	4	1
	C3.4	1	1	1	2	2	1	1	1	1	0	4	1	0	2	3	1	1	1	3	4	1	3	1	4	1
C4. Temporales	C4.1	1	1	2	3	3	3	2	1	3	1	1	1	1	0	2	1	1	3	3	3	1	3	1	2	1
	C4.2	1	3	1	1	4	2	1	1	1	1	1	1	2	3	0	3	3	1	1	4	1	4	1	4	1
C5. Medioambientales	C5.1	3	2	1	3	2	2	3	1	1	2	2	1	3	1	3	0	4	2	2	2	2	2	2	4	3
	C5.2	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1	2	1	2	4	0	1	2	2	2	2	2	4	3
C6. Externalidades	C6.1	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	3	3	0	2	2	3	2	3	2	3	
C7. Gobernanza	C7.1	1	3	2	2	2	2	1	1	2	3	3	3	1	1	1	3	3	2	0	1	1	1	2	3	2
Alternativas	A1	1	2	1	2	1	2	1	4	4	2	4	4	4	1	3	2	2	2	1	0	3	3	2	3	2
	A2	3	2	1	3	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	4	2	2	3	1	3	0	2	2	2	3
	A3	1	2	3	2	1	2	1	4	4	2	4	4	4	1	3	3	2	2	1	3	2	0	3	2	2
	A4	3	2	3	3	1	2	1	1	2	2	2	1	2	2	4	3	2	3	1	2	3	3	0	2	2
	A5	4	4	4	3	4	3	3	2	4	2	4	4	4	1	3	4	3	2	1	3	2	2	2	0	3
	A6	1	3	4	3	4	3	3	2	2	2	4	1	2	2	4	4	3	3	1	2	3	2	2	3	0

Figura 5. Matriz de influencia entre grupos

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	A
C1	2	4	4	4	4	4	4	4
C2	4	2	1	3	3	4	2	4
C3	4	2	3	4	3	4	2	3
C4	3	2	3	2	4	1	2	4
C5	3	2	4	3	4	2	3	2
C6	1	1	1	1	3	0	3	2
C7	2	2	3	1	3	4	0	1
A	4	2	4	2	4	2	1	2