

01-029

### **SELECTION OF MUNICIPALITY FOR THE LOCATION OF A TEMPORARY CENTRALIZED STORAGE FACILITY (TCSF) FOR NUCLEAR WASTE.**

Millán Díaz, Noelia (1); Montesa Marín, Esmeralda (1); Morales González, Juan Pablo (1);  
Aragonés Beltrán, Pablo (1)

(1) Universitat Politècnica de València

The nuclear waste from the Spanish plants is stored on-site at their respective plants, with the exception of Vandellós, which sends the resulting fuel waste to France for reprocessing. Since this reprocessing produces medium and high level radioactive waste, it was agreed to return it to Spain at the end of 2010 for a period of 5 years. Storage in a Temporary Centralized Storage Facility (TCSF) has been considered until a definitive solution for managing this waste is found. The justification for the decision was based on the economic, technical and strategic advantages it offers over individualized storage options for each plant. In this article, the candidates will be analyzed using the ANP method, which will be used to select the most viable candidate municipality for the location of a Temporary Centralized Storage Facility (TCSF), following a rigorous analysis of the characteristics of the terrain, the environment, the socioeconomic situation and the contribution of each of the municipalities.

Keywords: Nuclear waste; Analytic Network Process; Temporary Centralized Storage Facility.

### **ELECCIÓN DEL MUNICIPIO PARA EL EMPLAZAMIENTO DE UN ATC DE RESIDUOS NUCLEARES.**

Los residuos nucleares de las centrales españolas se almacenan in situ en sus respectivas centrales, a excepción de Vandellós, la cual envía los residuos de combustible resultantes a Francia para su reprocesamiento. Dado que este reprocesamiento produce residuos radiactivos de media y alta actividad, se acordó su devolución a España a finales de 2010 por un plazo de 5 años. Se ha considerado el almacenamiento en un Almacén Temporal Centralizado (ATC) hasta encontrar una solución definitiva para gestionar estos residuos. La justificación de la decisión se basó en las ventajas económicas, técnicas y estratégicas que ofrece frente a las opciones de almacenamiento individualizadas para cada planta. En este artículo se van a analizar las candidaturas mediante el método ANP, con el cual se procederá a seleccionar la candidatura del municipio más viable, para el emplazamiento de un Almacén Temporal Centralizado (ATC), siguiendo un riguroso análisis de las características del terreno, del entorno, socioeconómico y el aporte de cada uno de los ayuntamientos.

Palabras clave: Residuos nucleares; Analytic Network Process; Almacén Temporal Centralizado.

Correspondencia: Esmeralda Montesa Correo: [esmeraldamontesa@gmail.com](mailto:esmeraldamontesa@gmail.com)



## 1. Introducción

Los residuos del combustible generado por las centrales nucleares españolas se almacenan en los emplazamientos de sus correspondientes centrales, a excepción de la central de Vandellós, que enviaba los residuos a Francia para su reproceso. Como este reproceso daba lugar a residuos de media y alta actividad, se acordó que debían de volver a España a finales de 2010 y durante un período de 5 años.

Hasta encontrar una solución definitiva para la gestión de estos residuos, se ha contemplado depositarlos en un Almacén Temporal Centralizado (ATC). El fundamento de esta decisión se basa en las ventajas económicas, técnicas y estratégicas que ofrece frente a una opción de almacenamientos individualizado en cada central.

La Comisión de Industria, Turismo y Comercio del Congreso de los Diputados aprobó el 27 de abril de 2006 una Proposición no de Ley por la que el Congreso pedía al Gobierno Constituir una Comisión Interministerial para establecer los criterios que deberá cumplir el emplazamiento del ATC.

El Gobierno aprobó el Real Decreto 775/2006, de 23 de junio, por el que se crea la Comisión con el fin de definir los criterios que debe cumplir el emplazamiento del ATC y establecer los procesos de participación e información pública.

Después de la publicación de las listas definitivas de candidaturas, los municipios admitidos por la comisión interministerial y que se han tenido en cuenta como punto de partida de este estudio son: Albalá (Cáceres), Ascó (Tarragona), Congosto de Valdavia (Palencia), Melgar de arriba (Valladolid), Santervás de Campos (Valladolid), Villar de Cañas (Cuenca), Yebra (Guadalajara) y Zarra (Valencia). Estos municipios se evaluarán a grandes rasgos en base a sus terrenos y sus características ambientales y socioeconómicas haciendo uso del Proceso Analítico en Red (por sus siglas en inglés "Analytic Network Process, ANP").

## 2. Objetivos

El objetivo es la identificación y elección del municipio adecuado a través de la aplicación de la metodología ANP, para el emplazamiento del ATC (Almacén Temporal Centralizado) de residuos nucleares, teniendo en cuenta la previa valoración de los criterios por parte de expertos en la materia.

Por otro lado, se pretende estudiar y comparar si el municipio elegido mediante el método aplicado por la comisión interministerial del ATC difiere en gran medida del municipio que se escogerá después de la aplicación del método ANP y su razón.

## 3. Metodología

Para facilitar el proceso de la toma de decisión del municipio adecuado para emplazar el ATC, se hará uso de la metodología ANP, desarrollado por Thomas Saaty, que muestra un problema de toma de decisiones como una red de criterios y alternativas agrupados en grupos (clusters). Es una técnica multicriterio de ayuda a la decisión que permite modelizar problemas complejos en los que los elementos del problema (criterios y alternativas) pueden presentar influencias o interrelaciones entre ellos y están representados como una red.

El proceso de aplicación del método ANP sigue los siguientes pasos (Saaty 2001), (Saaty, 2005), (Saaty 2008):

1. Identificación de los elementos de la red y su relación.
2. Análisis de las interrelaciones entre los elementos mediante la matriz de relaciones cuyos valores adoptan un 1 si el elemento fila  $e_i$  influye sobre el elemento en columna  $e_j$  o = si no existe ninguna influencia.
3. Comparación pareada de los elementos.
4. Construcción de la matriz de grupos (*clusters*) en la que se estudia la influencia que sobre cada grupo columna  $g_j$  ejercen los demás grupos. Para ello también se establecen las correspondientes matrices de comparación pareada entre grupos y se calculan sus auto vectores.
5. Colocación de los pesos de importancia relativa resultantes (vectores propios) en matrices de comparación por pares dentro de la super matriz no ponderada (*unweighted*).
6. Ponderar los bloques de la super matriz no ponderada, por las correspondientes prioridades de los grupos, para que pueda ser estocástica en columna (*weighted*).
7. Elevar la super matriz ponderada a potencias límite hasta que los pesos converjan y se mantengan estables (*limit*).

Un artículo reciente sobre aspectos teóricos y aplicaciones se puede encontrar en (Chen et al., 2019).

#### 4. Caso de estudio

Como ya se ha comentado, el caso de estudio se basa en la elección del municipio idóneo para el emplazamiento del ATC de entre los ocho seleccionados por la comisión y que se han mantenido para el presente estudio.

Para la toma de decisión, la comisión interministerial ha identificado cuatro grupos de criterios que tienen en cuenta: características de los terrenos, características del entorno, características ambientales y socioeconómicas y por último las aportaciones del ayuntamiento.

Para este estudio, se respetan los cuatro grupos de criterios establecidos, sin embargo, los elementos que contiene cada grupo se han modificado ligeramente respecto al modelo que plantea la comisión dada la dimensión y complejidad de este problema.

Para el grupo denominado 'Características de los terrenos', se procedió a eliminar el elemento 'parcelas', porque entre todo el conjunto de subcriterios, saber el conjunto de las parcelas que proporcionan los municipios puede resultar irrelevante, toda vez que el subcriterio 'Extensión disponible' contiene dentro de sí mismo la información más relevante del criterio 'Parcelas'. Así mismo, los elementos 'Topografía', 'Geología y geotecnia', 'Hidrología' y 'Meteorología' se han unificado en un mismo elemento denominado 'Terrenos' tomando como premisa que los elementos anteriormente mencionados, hacen referencias a características físicas,

morfológicas y geográficas de cada una de las locaciones candidatas a albergar el ATC y pueden ser consolidadas en el nuevo criterio creado.

Respecto al criterio denominado 'Características del entorno', se decidió dejar la misma estructura que planteó la comisión.

Ahora bien, para el grupo 'Características ambientales y socioeconómicas' se ha descartado el elemento 'Usos del suelo' puesto que se considera que el elemento 'Calificación urbanística' suplirá la información allí consignada. Por otra parte, dentro del mismo elemento, se procedió a eliminar los 'Centros sanitarios' y la 'Evolución demográfica' por considerarse los menos relevantes para el problema.

Por último, el criterio 'Aportaciones del ayuntamiento' se respeta, toda vez que no contiene subcriterios.

**Tabla 1. Jerarquía del caso de estudio**

Grupo	Criterios
01 Características de terrenos	C11 Titularidad
	C12 Calificación urbanística
	C13 Plazos disponibilidad
	C14 Extensión disponible
	C15 Terrenos
	C16 Riesgo sísmico
02 Características del entorno	C21 Infraestructura de transporte
	C22 Acceso emplazamiento
	C23 Instalaciones industriales relevantes
	C24 Instalaciones industriales de riesgo
	C25 Zona de interés estratégico
	C26 Distancia a núcleos urbanos
	C27 Disponibilidad de agua y luz
03 Características ambientales y socioeconómicas	C31 Espacios protegidos
	C32 Tejido empresarial
	C33 Centros de capacitación
	C34 Antecedentes ámbito nuclear
04 Aportaciones del ayuntamiento	C41 Aportaciones del ayuntamiento

Con esto, se han identificado los elementos de la red y su relación (paso 1) y a continuación, se procede a analizar las interrelaciones entre los elementos haciendo uso de la matriz de relaciones (paso 2).

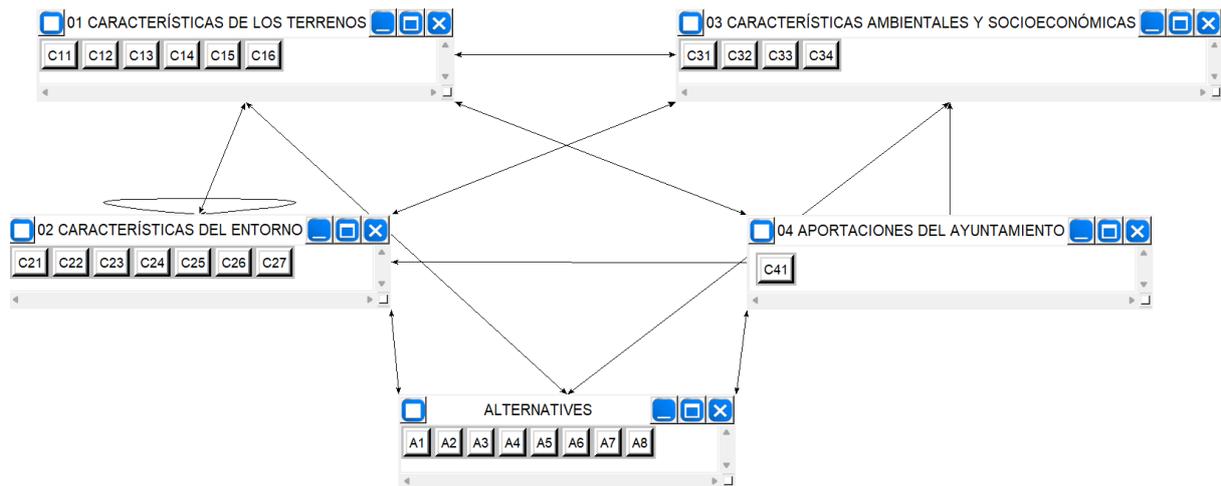
**Tabla 2. Matriz de influencias**

	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C31	C32	C33	C34	C41	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
C11			1				1	1			1							1	1	1	1	1	1	1	1	1
C12			1				1	1	1	1				1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1
C13									1										1	1	1	1	1	1	1	1
C14																			1	1	1	1	1	1	1	1
C15						1			1		1			1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1
C16		1							1	1	1							1	1	1	1	1	1	1	1	1
C21									1	1									1	1	1	1	1	1	1	1
C22							1												1	1	1	1	1	1	1	1
C23		1					1	1	1			1						1	1	1	1	1	1	1	1	1
C24		1					1	1		1		1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C26		1		1			1	1					1						1	1	1	1	1	1	1	1
C27									1	1									1	1	1	1	1	1	1	1
C31	1	1							1	1	1							1	1	1	1	1	1	1	1	1
C32									1	1									1	1	1	1	1	1	1	1
C33																			1	1	1	1	1	1	1	1
C34									1	1									1	1	1	1	1	1	1	1
C41	1	1	1																1	1	1	1	1	1	1	1
A1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
A8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Respecto a la influencia de las alternativas relacionadas con los criterios de decisión, se determinó que estas afectan y se ven afectadas por cada uno de los criterios y que no existe una influencia directa entre una alternativa y otra. Adicionalmente, se consideró la opción de que una alternativa afectara en sí misma, pero se determinó que no presentaría una variación alguna en los resultados obtenidos ya que la incidencia de la alternativa ya estaba propiamente establecida en el criterio 'C4 Aportaciones del ayuntamiento'.

Una vez obtenida la matriz de relaciones, se plasman las mismas en el software SuperDecisions, como se puede observar en la Figura 1.

**Figura 1. Matriz de relaciones**



A continuación, se realiza una comparación pareada (paso 3) de los elementos interrelacionados. Para ello se hace uso de un cuestionario que completaron tres autores del presente estudio con el fin de determinar que elemento del par tiene más peso y cuanto más, para después introducir sus respuestas en el software SuperDecisions. Se comprobó además la consistencia de los juicios emitidos por los autores.

La Figura 2 muestra un ejemplo de pregunta del cuestionario. A partir de la matriz de relaciones, se conoce que los elementos fila C23 Instalaciones industriales relevantes y C24 Instalaciones industriales de riesgo influyen sobre el elemento columna C12 Calificación urbanística. Los tres expertos, de manera consensuada, deben responder si influyen igual sobre C12, y en caso contrario que elemento influye más y en qué medida. Esto se repite para todos los pares posibles de elementos fila que influyen en elementos columnas.

**Figura 2. Ejemplo cuestionario**

**CUESTIONARIO DE INFLUENCIAS SOBRE C12 CALIFICACIÓN URBANÍSTICA**

¿Cuál de las siguientes Características del entorno es la que más afecta o influye a C12 Calificación urbanística?

- C23 Instalaciones ind. Relevantes     C24 Instalaciones ind. De riesgo     Son igual de importantes

En el caso de haber uno más importante, ¿Cuánto más?

<input type="checkbox"/>	Entre igual y moderadamente más importante
<input type="checkbox"/>	Tiene una importancia moderada frente al otro
<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	Tiene una importancia fuerte frente al otro
<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	Tiene una importancia muy fuerte frente al otro
<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	Extremadamente más importante

**5. Resultados**

A partir de los juicios obtenidos después de diligenciar el cuestionario, se han insertado los datos en la herramienta SuperDecisions, para que esta calcule los pesos de importancia relativa resultantes (vectores propios) en matrices de comparación por pares dentro de las supermatrices de grupos (paso 4), no ponderada (paso 5), ponderada (paso 6) y límite (paso 7).

**Tabla 3. Matriz de clústeres**

	01	02	03	04	Alternativas
01	0,507	0,069	0,073	0,058	0,494
02	0,080	0,439	0,242	0,125	0,133
03	0,199	0,245	0,480	0,363	0,310
04	0,047	0,000	0,000	0,000	0,061
Alternativas	0,165	0,245	0,204	0,453	0,000

**Tabla 4. Matriz unweighted**

	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C31	C32	C33	C34	C41	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
C11	0,000	0,000	0,750	0,000	0,000	0,000	0,167	0,333	0,000	0,000	0,659	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,575	0,178	0,167	0,178	0,146	0,146	0,140	0,154	0,146
C12	0,000	0,000	0,250	0,000	0,000	0,000	0,833	0,667	0,525	0,800	0,000	0,000	0,000	0,833	0,683	0,000	0,000	0,250	0,067	0,167	0,067	0,122	0,122	0,116	0,128	0,195
C13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,101	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,222	0,208	0,222	0,146	0,146	0,186	0,154	0,122
C14	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,178	0,125	0,178	0,195	0,195	0,186	0,154	0,195
C15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,244	0,000	0,263	0,000	0,000	0,167	0,200	0,000	0,000	0,111	0,178	0,167	0,178	0,195	0,195	0,186	0,205	0,195
C16	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,131	0,200	0,079	0,000	0,000	0,000	0,117	0,000	0,000	0,063	0,178	0,167	0,178	0,195	0,195	0,186	0,205	0,146
C21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,111	0,093	0,000	0,000	0,000	0,000	0,234	0,000	0,000	0,000	0,150	0,160	0,140	0,128	0,140	0,128	0,125	0,128
C22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,196	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,125	0,160	0,116	0,170	0,140	0,128	0,125	0,106
C23	0,000	0,112	0,000	0,000	0,000	0,000	0,127	0,316	0,272	0,000	0,000	0,683	0,000	0,000	0,277	0,000	0,000	0,238	0,125	0,120	0,116	0,106	0,116	0,106	0,125	0,128
C24	0,000	0,416	0,000	0,000	0,000	0,000	0,057	0,180	0,000	0,203	0,000	0,117	0,000	0,000	0,085	0,000	0,750	0,137	0,125	0,120	0,186	0,128	0,140	0,170	0,167	0,170
C25	1,000	0,112	1,000	0,250	1,000	1,000	0,089	0,419	0,058	0,169	0,000	0,200	0,143	1,000	0,062	0,000	0,250	0,625	0,125	0,160	0,116	0,170	0,186	0,170	0,167	0,170
C26	0,000	0,361	0,000	0,750	0,000	0,000	0,531	0,085	0,000	0,000	0,000	0,000	0,857	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200	0,120	0,186	0,170	0,140	0,170	0,167	0,170
C27	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,559	0,536	0,000	0,000	0,000	0,000	0,342	0,000	0,000	0,000	0,150	0,160	0,140	0,128	0,140	0,128	0,125	0,128
C31	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,167	0,661	1,000	0,000	0,000	0,000	0,200	0,000	0,000	0,500	0,176	0,286	0,316	0,278	0,278	0,364	0,320	0,261
C32	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,740	0,208	0,000	0,000	0,000	0,000	0,800	0,000	0,000	0,500	0,294	0,214	0,263	0,278	0,278	0,273	0,240	0,261
C33	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,176	0,214	0,158	0,167	0,167	0,136	0,120	0,130
C34	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,094	0,131	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,353	0,286	0,263	0,278	0,278	0,227	0,320	0,348
C41	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
A1	0,148	0,071	0,164	0,133	0,125	0,129	0,120	0,102	0,116	0,091	0,086	0,133	0,120	0,061	0,114	0,111	0,120	0,111	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A2	0,148	0,191	0,164	0,100	0,125	0,129	0,160	0,163	0,140	0,109	0,138	0,100	0,160	0,163	0,136	0,222	0,160	0,148	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A3	0,148	0,071	0,164	0,133	0,125	0,129	0,120	0,102	0,116	0,146	0,086	0,133	0,120	0,122	0,114	0,111	0,100	0,093	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A4	0,111	0,119	0,098	0,133	0,125	0,129	0,120	0,163	0,116	0,109	0,138	0,133	0,120	0,102	0,114	0,111	0,100	0,093	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A5	0,111	0,119	0,098	0,133	0,125	0,129	0,120	0,123	0,116	0,109	0,138	0,100	0,120	0,102	0,114	0,111	0,100	0,185	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A6	0,111	0,119	0,131	0,133	0,125	0,129	0,120	0,123	0,116	0,146	0,138	0,133	0,120	0,163	0,136	0,111	0,100	0,148	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A7	0,111	0,119	0,098	0,100	0,125	0,129	0,120	0,123	0,140	0,146	0,138	0,133	0,120	0,163	0,136	0,111	0,160	0,111	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A8	0,111	0,191	0,082	0,133	0,125	0,097	0,120	0,102	0,140	0,146	0,138	0,133	0,120	0,122	0,136	0,111	0,160	0,111	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

26<sup>th</sup> International Congress on Project Management and Engineering  
Terrassa, 5<sup>th</sup>-8<sup>th</sup> July 2022

**Tabla 5. Matriz weighted**

	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C21	C22	C23	C24	C25	C26	C27	C31	C32	C33	C34	C41	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
C11	0,000	0,000	0,475	0,000	0,000	0,000	0,015	0,031	0,000	0,000	0,082	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,033	0,088	0,082	0,088	0,072	0,072	0,069	0,076	0,072
C12	0,000	0,000	0,158	0,000	0,000	0,000	0,077	0,061	0,037	0,056	0,000	0,000	0,000	0,118	0,050	0,000	0,000	0,015	0,033	0,082	0,033	0,060	0,060	0,058	0,063	0,097
C13	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,110	0,103	0,110	0,072	0,072	0,092	0,076	0,060
C14	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,088	0,062	0,088	0,097	0,097	0,092	0,076	0,097
C15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,674	0,000	0,000	0,017	0,000	0,033	0,000	0,000	0,024	0,015	0,000	0,000	0,006	0,088	0,082	0,088	0,097	0,097	0,092	0,101	0,097
C16	0,000	0,508	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009	0,014	0,010	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,004	0,088	0,082	0,088	0,097	0,097	0,092	0,101	0,072
C21	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,049	0,041	0,000	0,000	0,000	0,000	0,057	0,000	0,000	0,000	0,020	0,021	0,019	0,017	0,019	0,017	0,017	0,017
C22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,114	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,017	0,021	0,016	0,023	0,019	0,017	0,017	0,014
C23	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,074	0,184	0,119	0,000	0,000	0,438	0,000	0,000	0,067	0,000	0,000	0,030	0,017	0,016	0,016	0,014	0,016	0,014	0,017	0,017
C24	0,000	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000	0,033	0,105	0,000	0,089	0,000	0,075	0,000	0,000	0,021	0,000	0,407	0,017	0,017	0,016	0,025	0,017	0,019	0,023	0,022	0,023
C25	0,163	0,009	0,100	0,082	0,327	0,107	0,052	0,244	0,026	0,074	0,000	0,128	0,092	0,466	0,015	0,000	0,136	0,078	0,017	0,021	0,016	0,023	0,025	0,023	0,022	0,023
C26	0,000	0,029	0,000	0,245	0,000	0,000	0,309	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,550	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,027	0,016	0,025	0,023	0,019	0,023	0,022	0,023
C27	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,246	0,235	0,000	0,000	0,000	0,000	0,083	0,000	0,000	0,000	0,020	0,021	0,019	0,017	0,019	0,017	0,017	0,017
C31	0,404	0,199	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,041	0,162	0,438	0,000	0,000	0,000	0,096	0,000	0,000	0,182	0,055	0,089	0,098	0,086	0,086	0,113	0,099	0,081
C32	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,182	0,051	0,000	0,000	0,000	0,000	0,384	0,000	0,000	0,182	0,091	0,066	0,082	0,086	0,086	0,085	0,074	0,081
C33	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,055	0,066	0,049	0,052	0,052	0,042	0,037	0,040
C34	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,023	0,032	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,110	0,089	0,082	0,086	0,086	0,071	0,099	0,108
C41	0,096	0,047	0,059	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061	0,061
A1	0,050	0,012	0,034	0,090	0,084	0,028	0,039	0,033	0,029	0,022	0,038	0,048	0,043	0,024	0,023	0,111	0,055	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A2	0,050	0,032	0,034	0,067	0,084	0,028	0,052	0,053	0,034	0,027	0,060	0,036	0,057	0,064	0,028	0,222	0,073	0,067	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A3	0,050	0,012	0,034	0,090	0,084	0,028	0,039	0,033	0,029	0,036	0,038	0,048	0,043	0,048	0,023	0,111	0,046	0,042	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A4	0,037	0,020	0,020	0,090	0,084	0,028	0,039	0,053	0,029	0,027	0,060	0,048	0,043	0,040	0,023	0,111	0,046	0,042	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A5	0,037	0,020	0,020	0,090	0,084	0,028	0,039	0,040	0,029	0,027	0,060	0,036	0,043	0,040	0,023	0,111	0,046	0,084	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A6	0,037	0,020	0,027	0,090	0,084	0,028	0,039	0,040	0,029	0,036	0,060	0,048	0,043	0,064	0,028	0,111	0,046	0,067	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A7	0,037	0,020	0,020	0,067	0,084	0,028	0,039	0,040	0,034	0,036	0,060	0,048	0,043	0,064	0,028	0,111	0,073	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
A8	0,037	0,032	0,017	0,090	0,084	0,021	0,039	0,033	0,034	0,036	0,060	0,048	0,043	0,048	0,028	0,111	0,073	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Una vez se ha hecho el cálculo de las matrices, se va a hacer uso de la matriz límite (paso 7) para evaluar y comparar los pesos de los criterios extraídos mediante el método ANP y el método aplicado por la comisión interministerial. Para comprender la procedencia de la matriz límite, es el resultado de elevar la super matriz ponderada a potencias sucesivas hasta que sus entradas converjan a un determinado valor. Todas las columnas de la super matriz límite serán iguales y sus valores indicarán la prioridad global de los elementos de la red.

**Tabla 6. Matriz límite**

Nombre	Límite
C11	0,044
C12	0,042
C13	0,024
C14	0,024
C15	0,066
C16	0,048
C21	0,011
C22	0,006
C23	0,027
C24	0,025
C25	0,116
C26	0,029
C27	0,022
C31	0,117
C32	0,054
C33	0,014
C34	0,027
C41	0,025
A1	0,030
A2	0,040
A3	0,032
A4	0,033
A5	0,034
A6	0,037
A7	0,037
A8	0,036

Al tratarse de una prioridad global, el peso de las columnas es igual a 1. Para poder comparar los pesos de los criterios del método ANP con la comisión interministerial, no se considerarán las alternativas y se normalizará la escala a 1 de nuevo.

Con esto, se puede concluir que, según el método ANP el grupo C1 es el que mayor peso tiene, muy seguido del grupo C2. Mientras que, para la comisión, el segundo grupo de criterios es el que más pesa.

**Tabla 7. Comparación valoraciones por criterio**

Autores del artículo		Comisión ministerial	
Criterio	Peso	Criterio	Peso
C11 Titularidad	0,061	1 Propiedad	0,020
C12 Calificación urbanística	0,058	2 Calificación urbanística	0,100
C13 Plazos disponibilidad	0,034	3 Extensión y geometría	0,080
C14 Extensión disponible	0,034	4 Topografía (relieve)	0,040
C15 Terrenos	0,092	5 Geotecnia	0,040
C16 Riesgo sísmico	0,067	6 Sismicidad	0,040
C21 Infraestructura de transporte	0,015	7 Meteorología	0,020
C22 Acceso emplazamiento	0,009	8 Hidrología	0,020
C23 Instalaciones industriales relevantes	0,037	9 Infraestructuras	0,040
C24 Instalaciones industriales de riesgo	0,035	10 Distancias de transporte	0,100
C25 Zona interés estratégico	0,161	11 Instalaciones relevantes	0,040
C26 Distancia a núcleos urbanos	0,040	12 Instalaciones de riesgo	0,100
C27 Disponibilidad agua y luz	0,031	13 Zonas de interés estratégico	0,060
C31 Espacios protegidos	0,162	14 Distancias a núcleos principales	0,060
C32 Tejido empresarial	0,075	15 Disponibilidad de agua	0,020
C33 Centros capacitación	0,019	16 Acometidas eléctricas	0,020
C34 Antecedentes ámbito nuclear	0,037	17 Situación respecto a zonas protegidas	0,080
C41 Aportaciones del ayuntamiento	0,034	18 Tejido industrial y C. Capacitación	0,040
		19 Actividades ámbito nuclear	0,060
		20 Contribución de los ayuntamientos	0,020

Según la comisión interministerial, el municipio ideal para el emplazamiento del ATC es Zarra, muy seguido de Ascó y Yebra en tercera posición. Lo anterior obedece a que, en su ponderación inicial, considera otorgar mayor peso a los criterios: Calificación urbanística, Distancias de transporte e Instalaciones de riesgo, en los que Zarra posee la mejor puntuación a diferencia de Ascó la cual cuenta con menores valoraciones en una de estas tres categorías.

Por otra parte, según el método ANP, se aprecia que la mejor alternativa para la instalación del ATC corresponde al municipio de Ascó. Seguidamente, se obtienen con una ponderación muy similar, en segundo lugar, Villar de Cañas y en tercer lugar Yebra, toda vez que se adjudican mayores pesos a los criterios C31 Espacios protegidos y C25 Zona interés estratégico, criterios en los que Ascó, Villar de Cañas y Yebra cuentan con la misma calificación. No obstante, Ascó destaca sobre los otros dos municipios en el resto de los criterios del grupo C1 el cual es el que mayor incidencia tiene en la toma de decisiones a través del método ANP por sus ponderaciones. Las puntuaciones de los criterios se pueden consultar en la página 48 (ATC, 2009) de las referencias bibliográficas.

**Tabla 8. Comparación valoraciones por alternativas**

Orden	Comisión ministerial			Autores del artículo		
	Candidatura	Índice normalizado	Índice idealizado	Candidatura	Índice normalizado	Índice idealizado
1	Zarra	0,151	1	Ascó	0,144	1
2	Ascó	0,149	0,987	Villar de Cañas	0,133	0,924
3	Yebra	0,144	0,954	Yebra	0,132	0,919
4	Villar de Cañas	0,135	0,895	Zarra	0,128	0,886
5	Melgar de Arriba	0,113	0,750	Santervás de Campos	0,121	0,841
6	Santervás de Campos	0,113	0,750	Melgar de Arriba	0,119	0,826
7	Congosto de Valdavia	0,108	0,717	Congosto de Valdavia	0,115	0,780
8	Albalá	0,085	0,559	Albalá	0,106	0,733

## 6. Conclusiones

En este trabajo se ha aplicado el método ANP para ponderar los criterios y valorar las diferentes localizaciones del ATC, teniendo en cuenta las diferentes influencias percibidas entre todos los elementos del problema (criterios y alternativas). La aplicación del método supone una diferencia en relación con la evaluación realizada por la comisión interministerial que no consideró las influencias e interrelaciones.

Si bien la alternativa más favorable según el método ANP es el municipio de Ascó, no se deben descartar las alternativas A6 (Villar de Cañas), A7 (Yebra) y A8 (Zarra). Lo anterior, obedece a que la diferencia entre la mejor alternativa y sus dos sucesoras, en ningún caso sobrepasa los dos puntos porcentuales, por lo que se deben considerar como aptas para la construcción del ATC.

La comisión interministerial llegó a la conclusión de que la localización mejor valorada, según su método, era Zarra, seguido de cerca por Ascó. Este resultado no se desvía demasiado del obtenido con ANP.

A la vista de los resultados obtenidos, cabe preguntarse si merece la pena la aplicación de un método tan complejo como ANP. En este sentido cabe argumentar que el método ANP se basa en que los expertos estudien las interrelaciones que hay entre los elementos, de modo que no solamente se asignan prioridades entre criterios y luego entre las alternativas para cada criterio, sino que se estudia si al considerar algún criterio se está indirectamente contribuyendo a satisfacer otro u otros y si al seleccionar unas alternativas se está indirectamente contribuyendo a satisfacer otras. ANP permite considerar, dentro del método, toda la complejidad de una decisión como el caso estudiado.

En una decisión que tiene unas repercusiones políticas, sociales y económicas tan grandes, aplicar un método que tenga en cuenta toda su dimensión da mayor garantía de que la solución adoptada ha tenido en cuenta todos los elementos y sus interacciones, por lo que podemos afirmar que el proceso seguido para adoptar la decisión es mejor.

## 7. Referencias bibliográficas

- Chen, Y., Jin, Q., Fang, H., Lei, H., Hu, J., Wu, Y., ... 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>
- Comisión Interministerial ATC, (2009). Informe de propuesta de emplazamientos candidatos para albergar el emplazamiento del almacén temporal centralizado (ATC) y su centro tecnológico asociado.
- España. Real Decreto 775/2006, de 23 de junio, por el que se crea la Comisión interministerial para el establecimiento de los criterios que deberá cumplir el emplazamiento del almacén temporal centralizado y de su centro tecnológico asociado. (s.f.).
- Figueira, J., Greco, S., & Ehrgott, M. (2005). *Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys*. New York: Springer Science+Business Media Inc.
- Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). *Multi-Criteria Decision Analysis. Methods and Software*. Chichester, West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd.
- Ministerio de Industria, T. y. (5 de Julio de 2006). <https://www.boe.es>. Obtenido de <https://www.boe.es>: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2006-12062>
- Saaty, T. L. (2001). *The Analytic Network Process. Decision Making with Interdependence and Feedback*. Pittsburgh: RWS Publications.
- Saaty, T. L. (2005). *Theory and Applications of the Analytic Network Process: Decision Making with Benefits, Opportunities, Costs, and Risks*. Pittsburgh: 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>

