

03-036

### **SELECTION OF A SUPPLIER FOR THE MANUFACTURE OF A LUMINAIRE USING ANP DECISION SUPPORT TECHNIQUE.**

Alcalá Casanova, Claudia; Carrión Baz, Jorge; Barkatz, Daphné; Aragonés Beltrán, Pablo  
Universitat Politècnica de València

When a company designs and markets high standing products, its customers are more sensitive to product quality and customer service than to price. Therefore, the selection of the manufacturer/supplier of the designed product is very relevant and constitutes a complex decision. The objective of this work is to select a supplier for the manufacture of a lamp with a specific design. It is intended to know if it is worth choosing a Chinese or European supplier. The multi-criteria ANP decision support technique will be used to address this decision problem. With ANP allows a complex analysis, taking into account the dependence between elements (criteria and alternatives) of the system. The problem is analyzed with the help of several experts taking into account product characteristics, location, costs and supplier characteristics.

Keywords: Supplier selection; multi-criteria decision making; ANP; industrial design.

### **SELECCIÓN DE UN PROVEEDOR PARA LA FABRICACIÓN DE UNA LUMINARIA MEDIANTE LA TÉCNICA DE AYUDA A LA DECISIÓN ANP.**

Cuando una empresa diseña y comercializa productos de alta gama, sus clientes son más sensibles a la calidad del producto y al servicio de atención al cliente que al precio. Por ello, la selección del fabricante/proveedor del producto diseñado es muy relevante y constituye una decisión compleja. El objetivo de este trabajo es seleccionar un proveedor para la fabricación de una lámpara con un diseño específico. Se pretende conocer si compensa elegir un proveedor chino o europeo. Para abordar este problema de decisión se utilizará la técnica multicriterio de ayuda a la decisión ANP. Con este método permite realizar un análisis complejo, teniendo en cuenta la dependencia entre elementos (criterios y alternativas) del sistema. El problema se analiza con la ayuda de varios expertos teniendo en cuenta las características del producto, la ubicación, los costes y las características del proveedor.

Palabras claves: Selección de proveedores; toma de decisiones multicriterio; ANP; diseño industrial.

Correspondencia: Claudia Alcalá Casanova - [claudialcala94@gmail.com](mailto:claudialcala94@gmail.com)



©2021 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

Con cierta frecuencia las empresas toman decisiones para la selección del proveedor idóneo para la fabricación de sus productos previamente diseñados. Estas decisiones suelen tomarse de acuerdo con percepciones u otros criterios, pero sin emplear herramientas que ayuden a la toma de decisiones.

No obstante, el presente trabajo presenta la posibilidad de tomar estas decisiones según criterios establecidos por varios expertos de la empresa que tienen la responsabilidad de asesorar al Gerente de la misma (una Ingeniera Industrial, una Ingeniera en diseño Industrial y un Técnico Contable) empleando la herramienta Proceso Analítico en Red (ANP) (Saaty, 2001) de ayuda a la toma de decisiones multicriterio (Figueira, Greco, & Ehrgott, 2005), (Ishizaka & Nemery, 2013).

Para analizar el problema a resolver es necesario contextualizar el caso de estudio. Se trata de una empresa que comercializa, entre otros, productos de iluminación de alta gama. Sus clientes son más exigentes con la calidad, el diseño y la atención al cliente que al precio.

Después de analizar el problema y gracias a la herramienta anteriormente mencionada se seleccionará un proveedor entre varios de nacionalidades y localizaciones diferentes para desarrollar una luminaria con un diseño específico. Entre las alternativas a seleccionar se encuentra un proveedor concreto chino, otro francés, otro rumano y otro español.

Los criterios de primer nivel a comparar, para facilitar la elección de la alternativa idónea, serán la calidad, la ubicación, los costes y las características del proveedor. Para evaluar la calidad tendremos en cuenta la adecuación a las especificaciones técnicas y de diseño del producto y el embalaje. Para evaluar la ubicación se considerará: la localización del proveedor y los plazos de entrega. Para evaluar los costes estimamos los costes totales por unidad del producto, incluyendo el coste del transporte y el precio del producto. Por último, para evaluar las características del proveedor, se considerará: si tiene incidencias, la facilidad de pago, el tiempo de respuesta, si respeta el medio ambiente y los derechos humanos.

## 2. Objetivos

El objetivo es la elección de un proveedor entre varias alternativas de nacionalidades y localizaciones diferentes para la fabricación de una luminaria, teniendo en cuenta criterios consensuados previamente entre los expertos.

Se pretende conocer si, a pesar de priorizar la calidad, las características técnicas y la atención al cliente en vez del precio, compensa elegir un proveedor chino o europeo. Para ello, emplearemos herramientas que ayuden a la toma de decisiones, empleando el método ANP.

## 3. Metodología

Como herramienta de ayuda a la toma de decisiones, se empleará el Proceso Analítico Jerárquico (por sus siglas en inglés “Analytic Network Process, ANP”). ANP fue desarrollado por el Thomas Saaty como una generalización de su conocido método Proceso Analítico Jerárquico (siglas en inglés de “Analytic Hierarchy Process, AHP) (Saaty, 1980). Este método de ayuda a la decisión se utiliza cuando hay relaciones de interdependencia y realimentación entre elementos del sistema (criterios y alternativas), representándolos como una red, a diferencia de la estructura jerárquica de AHP.

ANP se basa en los siguientes pasos (Saaty, 2001), (Saaty, 2005), (Saaty, 2008):

1. Diseño del modelo de criterios y alternativas agrupados formando una red.
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. Construcción de la matriz no ponderada (unweighted) analizando sobre cada elemento columna  $e_j$  qué elementos fila de cada grupo influyen sobre él. Esto se realiza mediante comparaciones pareadas y cálculo del correspondiente autovector.
4. Construcción de la matriz de grupos (clusters) en la que 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 autovectores.
5. Se pondera la matriz no ponderada por los valores de los bloques de la matriz de grupos, obteniendo la supermatriz ponderada (weighted), que tiene la propiedad de ser estocástica por columnas.
6. Se eleva la matriz ponderada a sucesivas potencias hasta la supermatriz límite cuya característica es que todas las columnas de esta matriz tienen los mismos valores.

Un artículo reciente sobre aspectos teóricos y aplicaciones se puede encontrar en (Chen et al., 2019) y (Sipahi & Timor, 2010). Algunas aplicaciones recientes en (Montesinos-Valera, Aragonés-Beltrán, & Pastor-Ferrando, 2017), (Aragonés-Beltrán, García-Melón, & Montesinos-Valera, 2017), (Aktar Demirtas & Ustun, 2009), (Cheng & Li, 2005).

#### 4. Caso de estudio

El caso de estudio se centra en una empresa que comercializa productos de iluminación, entre otros, de alta gama. Esta empresa realiza los diseños y busca proveedores que los fabriquen. El problema que se plantea es la selección de cuatro posibles proveedores de diferentes países. La decisión se adopta con la ayuda de tres expertos que ocupan los siguientes roles en la empresa: responsable de producción, responsable de adquisiciones, responsable de ventas. Estos expertos han sido designados por el Gerente para estudiar el problema y asesorarle en la decisión.

Para elegir la idoneidad del proveedor los expertos de la empresa identificaron cuatro grupos de criterios para tener en cuenta: *calidad, ubicación del proveedor, costes, características del proveedor*. Para el grupo calidad, identificaron los elementos *especificaciones técnicas y embalaje*. En el grupo ubicación, identificaron la *localización del proveedor y los plazos de entrega*. Para los costes, tuvieron en cuenta el *coste total unitario* del producto que recibiremos. Y, por último, para las características del proveedor se identificaron los criterios *incidencias, facilidad de pago, tiempo de respuesta, derechos humanos y medio ambiente*.

**Tabla 1: Grupos y criterios**

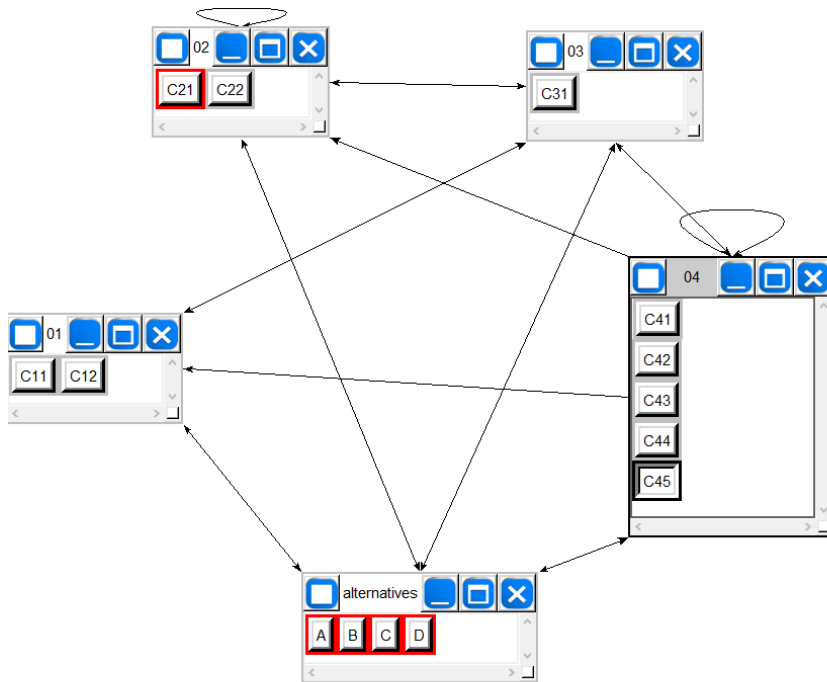
Grupo	Criterios
01 calidad	C11. Especificaciones técnicas C12. Embalaje
02 ubicación	C21. Localización del proveedor C22. Plazos de entrega
03 costes	C31. Coste total unitario
04 características del proveedor	C41. Incidencias C42. Facilidad de pago C43. Tiempo de respuesta C44. Derechos humanos C45. Medio ambiente

Los grupos de criterios de esta red están formados por los cuatro criterios de primer nivel, siendo los subcriterios los elementos y por el grupo de alternativas. El siguiente paso es elaborar la matriz de relaciones de la Tabla 2 para analizar qué elementos (filas) influyen sobre qué elementos (columnas).

**Tabla 2: Matriz de relaciones**

	CALIDAD		UBICACIÓN		COS TES	CARACT. DEL PROVEEDOR					A	B	C	D
	C11	C12	C21	C22	C31	C41	C42	C43	C44	C45				
C11	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
C12	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
C21	0	0	0	1	0	0	0	1		1	1	1	1	1
C22	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1
C31	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1
C41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
C42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
C43	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
C44	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
C45	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
B	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
C	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
D	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0

**Figura 1: Relaciones en SuperDecisions**



La Figura 1 muestra las relaciones entre elementos obtenida mediante el programa Superdecisions. Una vez establecidas las relaciones de dependencia entre los elementos, se elaboró un cuestionario que cada experto rellenó para poder obtener la supermatriz no ponderada, la de grupos y la ponderada. La Tabla 3 muestra un ejemplo del tipo de preguntas que se realizaron en el cuestionario.

**Tabla 3: Ejemplo de cuestionario: Influencias de elementos del grupo 01 sobre el criterio C31**

*¿Cuál de los siguientes criterios del grupo 01 calidad es el que más influye sobre el criterio C31 coste total unitario?*

- C11 características técnicas
- C12 embalaje
- Igual

*En el caso de haber uno más influyente, ¿cuánto más?*

<input type="checkbox"/>	<i>Ligeramente más</i>
<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<i>Moderadamente más</i>
<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<i>Fuertemente más</i>
<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	<i>Extremadamente más</i>

Cada uno de los cuestionarios se realizó de modo consensuado por los tres expertos. Para obtener la matriz no ponderada se tuvieron que emitir 113 juicios del tipo expuesto en la Tabla 3. Para obtener la matriz de grupos los expertos tuvieron que emitir 11 juicios. En total 124 juicios. Se comprobó que la consistencia de las matrices de comparación pareada que se elaboraron a partir de estos juicios fue aceptable, según el método ANP. Esto es lógico dado que los tres expertos tienen un profundo conocimiento del problema. Los resultados obtenidos se muestran en el apartado siguiente.

## **5. Resultados**

La Tabla 4 muestra la supermatriz no ponderada (unweighted) y la Tabla 5 la supermatriz ponderada (weighted). La Tabla 6 muestra la matriz de grupos (clusters). La Tabla 7 muestra las prioridades obtenidas a partir de la matriz límite. En esta matriz se muestra, en la columna "límite" los valores directamente extraídos de la matriz límite y en la columna "Valores Normalizados" las prioridades de las alternativas y las de los criterios. Estas normalizaciones se han obtenido sumando, por un lado, los valores de la columna "límite" correspondientes a los criterios y dividiendo cada valor por esa suma y, por otro lado, los valores correspondientes a las alternativas y dividiéndolos luego por esa suma (normalización de valores de criterios y de alternativas.). Todos los cálculos se han realizado con ayuda del programa "Superdecisions".

**Tabla 4: Matriz no ponderada (unweighted)**

	C11	C12	C21	C22	C31	C41	C42	C43	C44	C45	A	B	C	D
C11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,800	0,800	0,000	0,000	0,000	0,000	0,875	0,875	0,833	0,750
C12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000	0,125	0,125	0,167	0,250
C21	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,125	0,167	0,250	0,500
C22	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,875	0,833	0,750	0,500
C31	1,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000
C41	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	0,509	0,559	0,617	0,639
C42	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,162	0,165	0,161	0,149
C43	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,297	0,000	0,000	0,000	0,000	0,223	0,174	0,125	0,118
C44	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,540	0,000	0,000	0,000	0,000	0,053	0,051	0,049	0,047
C45	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,163	0,000	0,000	0,000	0,000	0,053	0,051	0,049	0,047
A	0,245	0,300	0,391	0,556	0,158	0,353	0,300	0,404	0,385	0,286	0,000	0,000	0,000	0,000
B	0,245	0,300	0,336	0,278	0,130	0,353	0,300	0,288	0,385	0,286	0,000	0,000	0,000	0,000
C	0,377	0,300	0,224	0,139	0,237	0,176	0,200	0,224	0,154	0,286	0,000	0,000	0,000	0,000
D	0,132	0,100	0,049	0,026	0,475	0,118	0,200	0,084	0,077	0,143	0,000	0,000	0,000	0,000

**Tabla 5: Matriz ponderada (weighted)**

	C11	C12	C21	C22	C31	C41	C42	C43	C44	C45	A	B	C	D
C11	0,000	0,000	0,000	0,000	0,518	0,045	0,000	0,000	0,000	0,000	0,507	0,507	0,483	0,434
C12	0,000	0,000	0,000	0,000	0,129	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,072	0,072	0,097	0,145
C21	0,000	0,000	0,000	0,773	0,000	0,000	0,000	0,269	0,000	0,387	0,007	0,010	0,014	0,029
C22	0,000	0,000	0,000	0,000	0,066	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,050	0,048	0,043	0,029
C31	0,875	0,875	0,000	0,139	0,000	0,000	0,234	0,000	0,000	0,000	0,282	0,282	0,282	0,282
C41	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,306	0,419	0,000	0,041	0,045	0,050	0,052
C42	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,013	0,013	0,013	0,012
C43	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,117	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,014	0,010	0,010
C44	0,000	0,000	0,000	0,000	0,214	0,213	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,004	0,004	0,004
C45	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,065	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,004	0,004	0,004
A	0,031	0,038	0,391	0,049	0,012	0,194	0,230	0,172	0,224	0,175	0,000	0,000	0,000	0,000
B	0,031	0,038	0,336	0,024	0,009	0,194	0,230	0,123	0,224	0,175	0,000	0,000	0,000	0,000
C	0,047	0,038	0,224	0,012	0,017	0,097	0,153	0,095	0,089	0,175	0,000	0,000	0,000	0,000
D	0,017	0,013	0,049	0,002	0,035	0,065	0,153	0,036	0,045	0,088	0,000	0,000	0,000	0,000

**Tabla 6: Matriz de grupo (cluster)**

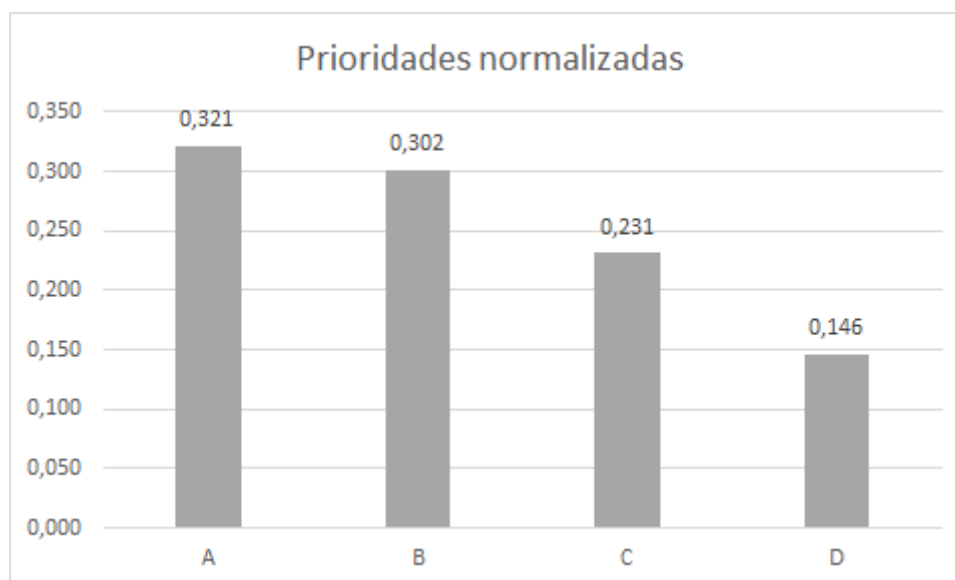
	01	02	03	04	Alternativas
01	0,000	0,000	0,647	0,034	0,579
02	0,000	0,773	0,066	0,230	0,057
03	0,875	0,139	0,000	0,111	0,282
04	0,125	0,000	0,214	0,261	0,081
Alternativas	0,125	0,088	0,073	0,362	0,000

**Tabla 7: Matriz de prioridades**

	VALORES NORMALIZADOS	Límite
C11	0,306	0,254
C12	0,069	0,058
C21	0,034	0,028
C22	0,035	0,029
C31	0,392	0,325
C41	0,052	0,043
C42	0,003	0,002
C43	0,009	0,007
C44	0,096	0,080
C45	0,004	0,004
A	0,321	0,055
B	0,302	0,051
C	0,231	0,039
D	0,146	0,025

Como resultado de todo el proceso de decisión la alternativa prioritaria es la alternativa A (proveedor español) con una valoración normalizada de 0,321, en tanto por uno que significa que la influencia relativa de la alternativa A, en relación con el resto de las alternativas, es del 32,1%; en segundo lugar, la alternativa B (proveedor francés), con un valor de 0,302 (30,3% y después las alternativas C (proveedor rumano) y D (proveedor chino) con valoraciones de 0,231 (23,1%) y 0,146 (14,6%) respectivamente.

**Figura 2: Prioridad normalizada de las alternativas**



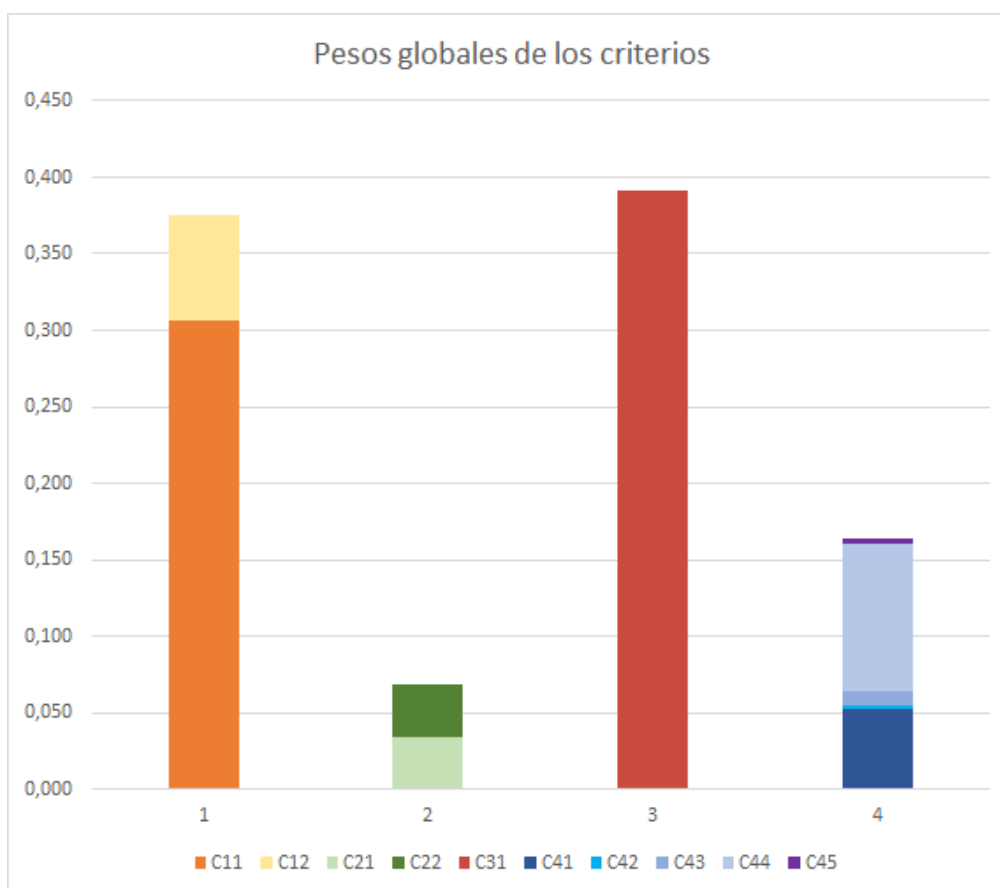
La Tabla 8 muestra las influencias locales entre criterios dentro de un mismo grupo y globales de cada criterio en relación con todos los demás. La Tabla 9 muestra los criterios ordenados por influencia. En la Figura 3 se muestran los mismos datos de forma gráfica para facilitar la comprensión de los resultados obtenidos.



**Tabla 8: Pesos locales y globales de los criterios**

Criterios	Peso local	Peso global
C11	0,815	0,306
C12	0,185	0,069
C21	0,491	0,034
C22	0,509	0,035
C31	1,000	0,392
C41	0,319	0,052
C42	0,016	0,003
C43	0,055	0,009
C44	0,585	0,096
C45	0,026	0,004

**Figura 3: Pesos locales de los criterios agrupados por grupo**



Se puede observar que los dos criterios que, en este caso, se consideran más influyentes son el *C31 Coste total unitario*, con el 39,2% de influencia y el *C11 Características técnicas*, con el 30,6%. Estos dos criterios tienen prácticamente el 70% de la influencia.

**Tabla 9: Pesos locales y globales de los criterios**

Criterios	Peso global
C31	0,392
C11	0,306
C44	0,096
C12	0,069
C41	0,052
C22	0,035
C21	0,034
C43	0,009
C45	0,004
C42	0,003

## 6. Conclusiones

Según el modelo de ayuda a la decisión, basado en ANP, la prioridad de los tres expertos que han actuado como decisores en el proceso, es la alternativa A, que se corresponde con el proveedor español. Cerca se encontraría la alternativa C que se corresponde con el proveedor de Rumanía. En última posición se sitúa la alternativa D que se corresponde con el proveedor de China. Hace falta recordar que para seleccionar el proveedor idóneo se ha valorado uno en particular de nacionalidad española, francés, rumano y chino, analizando y valorando los criterios que los tres expertos han determinado con anterioridad.

En base a este resultado puede parecer sorprendente que el proveedor chino sea la alternativa con menor prioridad, pero hay que recordar que la empresa que plantea el caso de estudio se enfoca en clientes poco sensibles al precio y muy sensibles a la calidad percibida del producto.

ANP es un método que permite a los decisores realizar una profunda reflexión sobre el problema sometido a decisión. En primer lugar, por la propuesta del modelo de criterios y alternativas, su agrupación y sus relaciones de influencia entre los distintos elementos. En segundo lugar, por la cantidad de preguntas que deben responder. Estas preguntas son aparentemente sencillas, pero obligan al decisor a realizar un continuo análisis de sus preferencias.

Además, en este caso de estudio, los tres expertos tenían que justificar ante su Gerente la decisión que le recomendaban adoptar. El uso de ANP les permitió poner de un modo explícito toda la información disponible sobre el problema, esto es, los criterios en base a los cuales se evaluaban las alternativas y además la influencia e interrelación entre todos los elementos de la red. Esta información queda reflejada todas las matrices que están descritas en este trabajo. ANP ofrece un método científicamente contrastado para tratar esa información aportada por los tres expertos que asumen la responsabilidad de asesorar al decisor final.

Sin embargo, una de las limitaciones de ANP es que, en muchas ocasiones, es difícil de aplicar, ya que requiere que los decisores empleen mucho tiempo. Por esta razón, es recomendable aplicar ANP cuando el problema de decisión sea verdaderamente relevante para la organización, como es el caso de estudio que se ha mostrado en este trabajo.

## 7. Referencias bibliográficas

Aktar Demirtas, E., & Ustun, O. (2009). Analytic network process and multi-period goal programming integration in purchasing decisions. *Computers and Industrial Engineering*,

56(2), 677–690. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2006.12.006>

- Aragonés-Beltrán, P., García-Melón, M., & Montesinos-Valera, J. (2017). How to assess stakeholders' influence in project management? A proposal based on the Analytic Network Process. *International Journal of Project Management*, 35(3), 451–462. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.01.001>
- 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>
- Cheng, E. W., & Li, H. (2005). Analytic network process applied to project selection. *Journal of Construction Engineering and Management*, (April), 459–466. Retrieved from [http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131%3A4\(459\)](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131%3A4(459))
- 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.
- Montesinos-Valera, J., Aragonés-Beltrán, P., & Pastor-Ferrando, J.-P. (2017). Selection of maintenance , renewal and improvement projects in rail lines using the analytic network process. *Structure and Infrastructure Engineering*, 2479(March), 1–21. <https://doi.org/10.1080/15732479.2017.1294189>
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill.
- 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>
- Sipahi, S., & Timor, M. (2010). The analytic hierarchy process and analytic network process: An overview of applications. *Management Decision*, 48(5), 775–808. <https://doi.org/10.1108/00251741011043920>

