

## ELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL DE UNA GRANJA CUNÍCOLA MEDIANTE TÉCNICAS MULTICRITERIO

M.D.Gómez-López, M.S. García-Cascales, E. Armero, P.J. Barnés

### Abstract

In the development of the engineering project a great number of situations are considered in which it becomes clear that there is a need to choose between a series of alternatives, on occasions contradictory, which should be evaluated based on more than one criterion. For that reason the methods of multicriteria decision making (MDM), constitute a powerful mathematical tool that can help the project engineer in decision-making. This paper presents the application of a multicriteria methodology in the choice of the structural topology for the project of a rabbit-breeding farm. Following the detailed analysis of the design requirements or the conditioning factors of the project it has been seen that in this type of farm the structural topology goes hand in hand with the future running of the farm and thus its economic profitability. Taking into account that we are faced with a problem that includes different aspects, a multicriteria analysis has been considered, for which three alternatives of structural topology have been defined, as well as four evaluation criteria. In order to obtain the preferential weightings it has been decided to set a survey for a group of experts from different fields, thus implementing qualitative and quantitative evaluations in the analysis resulting from the responses of these experts and the group decision-making tools.

*Palabras clave: multi-criteria group choice method, project decision-making, farms structural typology*

### Resumen

En el desarrollo del proyecto de ingeniería se plantean multitud de situaciones en las que se hace patente la necesidad de elegir entre una serie de alternativas, que han de evaluarse en base a más de un criterio, en algunos casos contradictorios. Para ello los métodos de decisión multicriterio (MDM), constituyen una potente herramienta matemática que puede ayudar al ingeniero proyectista en la toma de decisiones. En este trabajo se presenta la aplicación de una metodología multicriterio a la elección de la tipología estructural para el proyecto de una granja cunícola. Tras el análisis pormenorizado de los requisitos de diseño o condicionantes del proyecto se ha podido constatar que en este tipo de explotaciones la tipología estructural va asociada al manejo futuro de la explotación y por tanto a la rentabilidad económica de la misma. Teniendo en cuenta que nos encontramos ante un problema que engloba diferentes aspectos, se ha planteado el realizar un análisis multicriterio, para lo que se han definido tres alternativas de tipología estructural y cuatro criterios de valoración. Para la obtención de los pesos preferenciales se ha optado por plantear una encuesta a un grupo de expertos de diferentes ámbitos, implementando por tanto en el análisis las valoraciones cualitativas y cuantitativas fruto de las contestaciones de estos expertos y las herramientas de decisión en grupo.

*Palabras clave: métodos de decisión multicriterio en grupo, toma de decisión en proyectos, tipología estructural de granjas*

## **1. Introducción**

Existen varias y diversas técnicas a disposición de los analistas para comparar alternativas de proyectos o decisiones dentro de un proyecto y seleccionar la que mejor alcance ciertos objetivos. La aplicación de estos métodos permite discernir cuestiones como qué proyecto proporciona más beneficios netos para el conjunto de la sociedad o para el promotor, cuál alcanza los objetivos mínimos fijados a un menor coste, o cuáles son los grupos de individuos que más se benefician o pierden con el desarrollo de un cierto proyecto de inversión o alternativa. En función de cuál sea la cuestión a resolver, resultará más o menos adecuada la utilización de cada uno de los métodos de evaluación (Gómez-López y Bolea (2006).

La ingeniería en general aborda problemas de naturaleza diversa pero tienen un denominador común, la necesidad de elegir entre diferentes alternativas que han de evaluarse en base a varios criterios. No es muy común el uso de técnicas de decisión multicriterio en proyectos de ingeniería, aunque en la bibliografía podemos encontrar trabajos como los de Robusté (1987), Al-Subhi (2001) y Ormazabal (2002).

En el desarrollo del proyecto, se nos plantean multitud de situaciones en las que se hace patente la necesidad de elegir entre una serie de alternativas, que han de evaluarse en base a más de un criterio, en algunos casos contradictorios, de forma que se satisfagan las preferencias o metas fijadas. Para ello los métodos de decisión o elección multicriterio (MDM), constituyen una potente herramienta matemática que nos ayuda a resolver este tipo de dilemas. Las alternativas analizadas por los MDM pueden ser:

- infinitas, cuando se definen por medio de un conjunto de soluciones factibles de carácter matemáticamente continuo (métodos multicriterio continuos)
- finitas, con un número normalmente no muy elevado (métodos multicriterio discretos).

Normalmente los problemas a optimizar en el caso de las alternativas del proyecto de ingeniería presentan un número de soluciones finito y normalmente no muy elevado, por lo que se pueden utilizar los denominados métodos multicriterio discretos. Existen numerosos métodos dentro de este grupo, pero de entre ellos es interesante seleccionar los que posibiliten el plantear encuestas sencillas a los expertos. No elegir métodos en los que el planteamiento de una encuesta *poco amigable* para su resolución, hace realizar a los expertos un gran esfuerzo de comprensión e incluso desistir de su contestación.

Al elaborar el proyecto de una explotación cunícola el primer problema que se plantea es la elección de la mejor tipología estructural de las naves, sobre todo en los países de la Cuenca del Mediterráneo en los que la benevolencia del clima permite distintos tipos de cerramientos. Para su resolución se deben de conjugar aspectos económicos, de manejo y productividad. Teniendo en cuenta que nos encontramos ante un problema que engloba diferentes aspectos, y que cada uno de ellos puede ser priorizado de manera distinta según el cunicultor y las exigencias del mercado, la elección de esta tipología se puede presentar como un problema de decisión multicriterio en el que se engloben distintos criterios y distintas opiniones al respecto.

## 2. Objetivo

Como principal objetivo se presenta el posibilitar una herramienta de ayuda a la decisión en los proyectos de ingeniería que sea práctica y sencilla de cálculo y formulación a la vez que robusta. Para tal fin se ha optado por, a partir de encuestas sencillas buscar el algoritmo de cálculo dentro de los métodos multicriterio que conjugue fiabilidad y sencillez.

Como objetivo aplicado, se ha planteado la búsqueda de la mejor opción posible para rentabilizar una granja de conejos atendiendo a una importante decisión a tomar en el proyecto, como es la tipología estructural. En este trabajo se presenta un análisis multicriterio para estudiar las opciones de tipologías de entre las más utilizadas, atendiendo a distintos criterios, considerando aspectos de costes, productividad y mortalidad. Con el fin de obtener la mejor información posible al respecto se han consultado distintos expertos dentro del sector cunícola, mediante encuestas sencillas.

## 3. Metodología

La metodología a seguir se divide en tres fases: (i) definición del problema, (ii) planteamiento de la encuesta y (iii) resolución numérica.

### 3.1. Definición del problema

La utilización de un modelo de decisión multicriterio (MDMC) necesita la definición inicial de:

- Un conjunto de alternativas  $A_1, A_2, \dots, A_m$  entre las que el decisor tiene que elegir,
- un conjunto de criterios  $C_1, C_2, \dots, C_n$  con los que se mide cada actuación de las alternativas y
- si consideramos un problema de decisión en grupo, como es nuestro caso, tendremos que tener en cuenta el conjunto de decisores,  $E_k$ .

Así, el número  $x_{ij}$  representa la evaluación de la alternativa  $A_i$  con respecto al criterio  $C_j$ . Representándose todos ellos en forma de matriz.

Con el fin de definir el problema tal y como se ha especificado, se ha realizado una primera reunión con expertos en el sector, los cuales han identificado el objetivo a optimizar y han definido y acotado las alternativas y criterios dentro de las amplias posibilidades existentes.

### 3.2. Definición de la encuesta

Con la información preliminar suministrada por los expertos se ha efectuado una encuesta. Para ello se ha intentado que ésta sea lo mas sencilla posible de entender y contestar.

Una vez elaborada la encuesta se ha solicitado su contestación a cinco expertos del sector cunícola, entre los que se encuentran dos cunicultores (uno de explotación familiar y otro de explotación comercial), y tres investigadores del ramo.

### 3.3. Resolución numérica

El cálculo de este problema multicriterio se ha realizado mediante dos métodos, con el fin de comparar los resultados obtenidos. Los dos métodos elegidos son: (i) el método TOPSIS y (ii) el método de la suma ponderada.

*El método TOPSIS* es un método para ordenar preferencias por similitud a una solución ideal. Fue desarrollado por Hwang y Yoon en 1981 y mejorada por los propios autores en 1987 y 1992, también trabajaron con él, entre otros, Zeleny (1982) y Lai et al. (1994). El

principio básico es que la alternativa elegida debe tener la menor distancia a la solución ideal positiva y la mayor distancia a la solución ideal negativa. A fin de definir la solución ideal, el método TOPSIS define un índice de similaridad que se construye combinando la proximidad al ideal positivo y la lejanía respecto al ideal negativo. El desarrollo del algoritmo de este método se ha expuesto en otra publicación de este mismo congreso (Gómez-López et al. 2007).

En lo referente al *método de la suma ponderada*, a partir de la información suministrada por las encuestas, los pasos seguidos son:

1. Construcción, para cada experto, de las matrices tanto de ponderación de criterios,  $w_j$ , como de ponderación de alternativas,  $n_{ij}$ , a partir del juicio de cada experto. En el caso de existir contestaciones no normalizadas, es decir, en unidades no comparables con el resto de valoraciones de criterios, p.ej. porcentajes o euros, se ha normalizado la matriz utilizando para cada criterio la fórmula:

$$\bar{n}_{ij} = x_j / \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_j)^2} \text{ para } i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (1)$$

2. Construcción de la matriz de decisión obteniendo el peso de cada alternativa por agregación multiplicativa:

$$\bar{v}_{ij} = \sum_{j=1}^n w_j \bar{n}_{ij} \text{ para } i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (2)$$

3. En nuestro caso como se plantea una toma de decisión en grupo, se realiza un nuevo cálculo, en este caso utilizando como ponderación de criterios, la importancia que se le da a cada experto dentro de la toma de decisión final,  $w_k$ , y como elementos de la matriz de ponderación de alternativas, los datos obtenidos de cada experto en la matriz de decisión,  $v_{ij}$ , obteniendo por agregación multiplicativa el resultado final.

$$\bar{v}_K = \sum_{K=1}^r w_k \bar{v}_{ij} \text{ para } i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n; K = 1, \dots, r \quad (3)$$

Llegados a este punto las alternativas pueden ser ordenadas según el valor de  $V$  obtenido, siendo la mejor la que alcance un mayor valor, es decir  $V = \max(\bar{v}_K)$ .

## 4. Resultados

### 4.1. Definición del problema

Nivel 1: El **problema planteado** surge por parte de un cunicultor y de su ingeniero proyectista a la hora de realizar el proyecto de su granja. Aunque en la zona la mayoría de tipologías estructurales de este tipo de granjas es sin cerramientos laterales, se ha podido observar una serie de problemas de salubridad en verano y de climatización en invierno, que con otras tipologías podrían solventarse. Por lo que la mejor tipología estructural para la granja cunícola se presenta como el problema a resolver.

Nivel 2: La **elección de las alternativas** se ha hecho en base a datos bibliográficos y a la experiencia de los expertos consultados, entre los que se incluye el cunicultor interesado. Las alternativas elegidas recogen tres tipologías estructurales que definirán tres tipos de manejos diferentes de la explotación, y son:

- A1: Naves totalmente cerradas con ambiente controlado. Son naves con cubiertas y

cerramientos laterales. Se entiende por ambiente controlado aquel en el que se regula la T<sup>a</sup>, HR, gases nocivos e iluminación mediante sistemas de ventilación, refrigeración, calefacción e iluminación con el fin de que los conejos estén en situación de confort ambiental óptimo.

- A2: Naves abiertas con ambiente semicontrolado. Con cubierta y sin cerramientos laterales. El ambiente semicontrolado es aquel en el que el control del ambiente no es total. Se pueden instalar sistemas de refrigeración, aunque se consigue una menor eficacia. No se instala sistema de calefacción por no ser eficaz en una nave abierta mientras que el sistema de ventilación está asegurado. Se emplea iluminación para aumentar las horas de luz en invierno.
- A3: Naves abiertas sin ambiente controlado. Con cubierta y sin cerramientos laterales.

Nivel 3: **Definición de los criterios.** Estos se han elegido consultando las mismas fuentes que en el caso de las alternativas, a su vez se ha definido también la tendencia de optimización (a maximizar o minimizar). Los criterios considerados corresponden a dos bloques:

- Criterios de costes, dependen de la complejidad constructiva de la nave y de la tecnología aplicada en su diseño,
  - C1: Coste de implantación (a minimizar).
  - C2: Coste de mantenimiento (a minimizar).
- Criterios que evalúan los ingresos obtenidos,
  - C3: Producción (a maximizar).
  - C4: Mortalidad media de los gazapos en periodo de lactación (a minimizar).
  - C5: Mortalidad media de los gazapos en periodo de cebo (a minimizar).

Con estos últimos criterios tenemos en cuenta tanto el ingreso que supone una mayor o menor producción de carne de conejo como el coste que genera la mortalidad de los animales de cebo en cuanto al gasto de mano de obra y de alimentación y que después no se traduce en un ingreso. Las condiciones ambientales y sanitarias van a determinar la mortalidad de los gazapos, sin embargo en este aspecto nos podemos encontrar que la nave que optimiza las condiciones ambientales (nave cerrada con ambiente controlado) no es la misma que la que mejora las condiciones sanitarias (nave abierta) siendo el mejor indicador en este caso la mortalidad que finalmente resulta en el periodo de crianza del gazapo.

De esta forma, teniendo en cuenta los costes y los ingresos de los distintos tipos de naves podemos discernir la que supone un mayor beneficio para el cunicultor.

#### **4.2 Definición de la encuesta**

En la encuesta se ha planteado a los expertos dos tipos de preguntas atendiendo a los dos niveles de valoración, el de criterios, y el de alternativas en función de cada criterio. Así el modelo de pregunta utilizado, ha sido:

- NIVEL PONDERACIÓN DE CRITERIOS,  $w_j$ .

¿Si tuviera que decidirse usted por una de las alternativas, que importancia le daría sobre la decisión a cada uno de los criterios?. Valore de 0 a 10, siendo el valor 0 el de menor importancia, y el 10 el de más.

Criterio 1: Coste de implantación \_\_\_\_\_

Criterio 2: Coste de mantenimiento \_\_\_\_\_

Criterio 3: Producción \_\_\_\_\_

Criterio 4: Mortalidad media en periodo de lactación \_\_\_\_\_

Criterio 5: Mortalidad media en periodo de cebo de gazapos \_\_\_\_\_

- NIVEL PONDERACIÓN DE ALTERNATIVAS EN FUNCIÓN DE CADA CRITERIO,  $n_{ij}$

En una escala de 0 a 10, considerando la de mayor CRITERIO (ej. coste de implantación) como 10, ¿cómo valoraría el resto de alternativas?.

A) \_\_\_\_\_

B) \_\_\_\_\_

C) \_\_\_\_\_

### 4.3. Resolución numérica del problema

Se presentan a continuación los datos obtenidos de los cálculos realizados. En la Figura 1 se muestran los datos referentes al método de la suma ponderada para el experto 1, en este caso no ha sido necesaria la normalización, ya que los datos se encuentran normalizados.

DATOS DE EXPERTO 1						
<b>1. Ponderación de criterios</b>						
C1	8	0,21				
C2	4	0,11				
C3	10	0,26				
C4	8	0,21				
C5	8	0,21				
SUM	38	1,00				
<b>2. Matriz de decisión</b>						
		0,21	0,11	0,26	0,21	0,21
	C1	C2	C3	C4	C5	
A		10	6	10	2	3
B		7	8	8	3	4
C		4	2	6	7	7
<b>3. Matriz ponderada</b>						
	C1	C2	C3	C4	C5	W
A	2,1	0,6	2,6	0,4	0,6	6,4
B	1,5	0,8	2,1	0,6	0,8	5,9
C	0,8	0,2	1,6	1,5	1,5	5,6

Figura 1. Resolución del problema multicriterio para el experto 1.

Como puede apreciarse este experto le confiere una mayor importancia al criterio de producción, una importancia similar y bastante alta a los criterios de coste de implantación y mortalidad, y una menor importancia al de coste de mantenimiento. El resultado final obtenido muestra que la mejor opción en su caso sería la alternativa A de “Nave con ambiente controlado”.

En la Figura 2 se muestran los cálculos realizados para el experto 4, que presentan la particularidad de mezclar respuestas en números reales, como el experto 1, y respuestas en porcentaje, en el caso de los criterios de mortalidad. Debido a esto ha sido necesaria la normalización de la matriz.

DATOS DE EXPERTO 4						
<b>1. Ponderación de criterios</b>						
C1	5	0,21				
C2	7	0,29				
C3	10	0,42				
C4	1	0,04				
C5	1	0,04				
SUM	24	1,00				
<b>2. Matriz de decisión</b>						
	0,21	0,29	0,42	0,04	0,04	
	C1	C2	C3	C4 (%)	C5 (%)	
A	10	10	5	9	5	
B	7	6	5	10	8	
C	4	3	5	8	10	
<b>3. Normalización de la matriz</b>						
	C1	C2	C3	C4	C5	
A	0,77849894	0,8304548	0,57735027	0,57498891	0,38368648	
B	0,54494926	0,49827288	0,57735027	0,63887656	0,58191437	
C	0,31139958	0,24913644	0,57735027	0,51110125	0,72739297	
<b>3. Matriz ponderada</b>						
	C1	C2	C3	C4	C5	W
A	0,162	0,242	0,241	0,024	0,015	0,6841
B	0,114	0,145	0,241	0,027	0,024	0,5503
C	0,065	0,073	0,241	0,021	0,030	0,4297

Figura 2. Resolución del problema multicriterio para el experto 4, utilizando la normalización de la matriz.

Como puede observarse en este caso, el experto 4 también le ha dado una mayor importancia al criterio de producción, al igual que el experto 1, pero sin embargo en este caso, le sigue en importancia el coste de mantenimiento y después el coste de implantación. Y como vemos no le da casi importancia a la mortalidad. Como puede apreciarse en este caso también se ha obtenido un resultado favorable para la alternativa A.

En cuanto a estas discrepancias entre expertos, hay que destacar que el experto 1 es el cunicultor familiar, por lo que se puede justificar la importancia que le da a la mortalidad, ya que en las explotaciones familiares es bastante elevada. En contraste el experto 3, un investigador del ramo cunícola, acostumbrado al estudio de explotaciones comerciales, no considera tan importantes los criterios de mortalidad. También hay que resaltar que las diferencias entre los valores de los pesos finales de la alternativa A, frente la B y la C, son

mayores en el caso del experto 4 (un 20% y un 40% menores, respectivamente), que en el caso del experto 1 (un 10% respecto a la B y un 12% respecto a la C).

Para conjugar la opinión de los cinco expertos se han considerado como un grupo, ponderándose la opinión de cada uno de ellos, atendiendo al criterio de idoneidad con respecto al problema. Así se le ha dado un peso del 10% sobre la decisión final al experto 1, el cunicultor familiar, por ser el menos conocedor de las explotaciones comerciales, es decir de las alternativas A y B, aunque es un gran conocedor de la alternativa C. A los investigadores en temas cunícolas (expertos 2, 3 y 4), se les ha dado un peso del 20% a cada uno sobre la decisión final, y por último al experto 5, el cunicultor de explotación comercial, se le ha dado un peso de 30%, por ser un gran conocedor del tema y por ser el inversor y en definitiva el que toma la decisión final de la inversión.

Siguiendo estos criterios de ponderación de expertos, en la tabla 1 se presentan los datos comparativos de los dos métodos de decisión utilizados, el método TOPSIS y el de la suma ponderada.

	Coefficiente de proximidad (TOPSIS)	Orden
<b>A<sub>1</sub></b>	0.77	1
<b>A<sub>2</sub></b>	0.43	2
<b>A<sub>3</sub></b>	0.28	3
	Peso global (suma ponderada)	Orden
<b>A<sub>1</sub></b>	0.635	1
<b>A<sub>2</sub></b>	0.573	2
<b>A<sub>3</sub></b>	0.485	3

Tabla 1. Comparación de los cálculos realizados con el método de la suma ponderada y TOPSIS

Como puede apreciarse en ambos casos se obtiene un mejor resultado para la alternativa A, por lo que claramente será la alternativa que mejor solucione el problema propuesto.

## 5. Conclusiones

Como se ha podido apreciar mediante la utilización del método de análisis multicriterio de alternativas se ha podido dar una solución a un problema que de otra manera se hubiese resuelto mediante la decisión del promotor o del ingeniero proyectista. Por tanto, es de interés destacar que con el uso de estas técnicas se posibilita una herramienta eficaz para la toma de decisiones en los proyectos de ingeniería, en los que continuamente se presentan alternativas a diferentes problemas. En este caso en particular se ha podido simplificar la metodología con una encuesta sencilla aplicada a varios expertos y utilizando un algoritmo de fácil cálculo, como es el caso de la suma ponderada.

En particular en este caso propuesto de decisión de la mejor tipología estructural para una granja cunícola, como resultado del cálculo se ha desprendido como la mejor tipología las *Naves totalmente cerradas con ambiente controlado*, atendiendo a criterios de coste, productividad y mortalidad.



## Referencias

- Al-Subhi K.M. (2001). "Application of the AHP in project management". *International Journal of Project Management*, v19, , pg 19-28
- Gómez-López M.D. and Bolea M. (2006) "Elección multicriterio de alternativas para la implantación de una granja escuela en el TM de Archena (Murcia)". *X International Congress on Project Engineering*. Valencia, September.
- Gómez-López, M.D., García-Cascales M.S., Angosto J.M. and Bayo J. (2007). "Utilización de técnicas de análisis multicriterio en la elección de un sistema de desinfección de agua residual". *XI International Congress on Project Engineering*, Lugo, Septiembre.
- Hwang, C.L and Yoon, K. (1981). *"Multiple Attribute Decision Methods and Applications"*. Springer, Berlin Heidelberg,
- Lai, Y.J, Liu, T.Y and Hwang, C.L. (1994). "TOPSIS for MODM". *European Journal of Operational Research*, 76 (3), 486-500,.
- Ormazábal, G. (2002) *"El IDS: Un nuevo sistema integrado de toma de decisiones para la gestión de proyectos constructivos"*. Tesis Doctoral, UPC,
- Robusté F. (1987). *"Selección de alternativas de transporte con el proceso analítico de jerarquización. Pros y contras"*. Ed. Universidad de California en Berkeley.
- Zeleny, M. (1982). *"Multiple Criteria Decision Making"*. McGraw-Hill, New York.

## Correspondencia (Para más información contacte con):

María Dolores Gómez López  
Área de Ingeniería Agroforestal. ETSIA. UPCT  
Paseo Alfonso XIII, 48. 30205, Cartagena  
Phone: +34 968 32 56 68 Fax: +34 968 32 57 32 e-mail: [lola.gomez@upct.es](mailto:lola.gomez@upct.es)