

## Localización empresarial en Aragón: una aplicación empírica de la ayuda a la decisión multicriterio tipo ELECTRE I y III. Robustez de los resultados obtenidos

GARCÍA CEBRIÁN, LUCÍA ISABEL

Departamento de Economía y Dirección de Empresas

Universidad de Zaragoza

Correo electrónico: [lgarcia@unizar.es](mailto:lgarcia@unizar.es)

MUÑOZ PORCAR, ANTONIO

Departamento de Economía y Dirección de Empresas

Universidad de Zaragoza

Correo electrónico: [amunoz@unizar.es](mailto:amunoz@unizar.es)

### RESUMEN

La decisión de la localización es una de las opciones estratégicas más importantes que tienen que tomar las empresas, con influencia directa sobre su competitividad. Por este motivo, se han desarrollado numerosas metodologías que ayudan en la toma de estas decisiones. En este trabajo, se realiza una aplicación empírica de una metodología de ayuda a la decisión multicriterio; específicamente, se ha optado por el método ELECTRE en sus versiones I y III, con el fin de seleccionar el mejor emplazamiento para una empresa. Para esta aplicación, se utilizan como alternativas de localización las Comarcas de Aragón, como factores de localización se utilizan 8 criterios y como peso o importancia de esos factores los obtenidos mediante una encuesta. Además, se aporta evidencia sobre la consistencia de los resultados obtenidos. Como se aprecia en el trabajo, aunque la tipología de los problemas a los que van destinados ambos métodos son distintos, los resultados obtenidos pueden ser considerados como consistentes.

**Palabras clave:** localización empresarial; métodos ELECTRE; comarcas aragonesas.

**Clasificación JEL:** C49; R39.

**2000MSC:** 90B50; 91B06.

# Industrial Location Decisions in Aragon: an Empirical Application of a Multi-criterion Methodology of Aid to the Decision using ELECTRE Methods I and III. Robustness of the Obtained Results

## ABSTRACT

The location decision is one of the most important strategic decisions that have to take the firms, with direct influence on their competitiveness. For this reason, many methodologies have been developed to help in the decision making. In this paper, we make an empirical application of a multi-criterion methodology of aid to the decision; specifically, ELECTRE method has been chosen in its versions I and III, in order to select the best place for a firm. The alternatives are counties in Aragon (Spain), and we use eight criteria. The weight has been obtained by surveys. In addition, evidence is contributed about the consistency of the obtained results. Though the typology of the problems to which both methods are destined are different, the obtained results can be considered consistent.

**Keywords:** industrial location, ELECTRE methods, counties in Aragón (Spain).

**JEL classification:** C49; R39.

**2000MSC:** 90B50; 91B06.



## 1. INTRODUCCIÓN

Las últimas décadas han supuesto, para el entorno económico en el que operan las empresas, importantes cambios y transformaciones que han provocado variaciones sustanciales en su estructura productiva. Estos cambios se producen a un ritmo tan acelerado que los modelos de respuesta estratégica a los desafíos competitivos del pasado inmediato no constituyen modelos válidos a la hora de encaminar el futuro de los negocios. Este nuevo escenario económico está propiciando la aparición de nuevas pautas de comportamiento de las industrias a la hora de afrontar sus decisiones de inversión y localización (Ravelo, Mesa y otros, 2002). Esta decisión de localización presenta unas características que la hacen merecedora de especial atención: la escasa frecuencia con la que se toma, la complejidad de esa decisión y la subjetividad, especialmente en las pymes. Estas empresas de reducida dimensión suelen tomar estas decisiones sin valorar factores tradicionales de localización, sustentando esa decisión en factores mucho más subjetivos, como la proximidad al domicilio. Además, la localización es una de las decisiones estratégicas más importantes para cualquier empresa, ya que afectará a sus beneficios y costes a largo plazo, y resulta complicada y costosa de cambiar (Heizer y Render, 2001).

El componente espacial ha estado presente en la literatura económica desde sus orígenes. La teoría clásica del comercio entre naciones establecía que el comercio internacional entre países se determina según la abundancia relativa de factores de producción que los países posean. Porter (1990) amplía este concepto clásico añadiendo que los países difieren no solo en la dotación inicial de factores, sino también en sus capacidades para crear, mejorar y sustentar la innovación y el desarrollo tecnológico que se requiere para aumentar la productividad en determinadas industrias. Adam Smith (1776) introduce la idea de ventaja absoluta, por la que un país o región con costes bajos puede dominar el mercado exportando a otros.

La teoría de la localización ha experimentado un constante proceso de evolución a lo largo de los últimos años. Originariamente, Weber (1909), que fue considerado padre de esta teoría, basaba sus principios en los costes de transporte; más adelante siguieron y ampliaron sus teorías autores como Lösch (1940), Palander (1935) y Hoover (1948). La evolución de la teoría de la localización está íntimamente ligada a los grandes cambios estructurales que ha experimentado la actividad industrial, tales como las modificaciones en el tamaño de las empresas, la incorporación de nuevas tecnologías y la extensión y ampliación de los mercados. Poco tienen en común los factores que consideraban las pequeñas empresas de la pasada revolución industrial, centrados en el coste del transporte, la obtención de materias

primas y la optimización de la energía, frente a decisiones actuales que se centran en la apertura de nuevos mercados, especialmente en los países asiáticos, aunque es cierto que todavía en la actualidad sigue habiendo una fuerte presencia del factor coste.

Como se ha indicado, una de las características más importantes de la decisión de localización es la complejidad de esa decisión. Esa complejidad se percibe, entre otros, por el hecho de que esa decisión se toma en función de varios criterios u objetivos y no en base a uno único. Por este motivo, investigadores de diversas áreas de conocimiento han desarrollado en las últimas décadas un paradigma de decisión alternativo al paradigma de decisión clásico monocriterio: la decisión multicriterio. Dentro de este nuevo paradigma multicriterio de ayuda a la toma de decisiones, la Metodología ELECTRE ha alcanzado especial relevancia y ha sido utilizada ampliamente por investigadores y profesionales. Esta metodología está basada en el concepto de superación, que indica el grado de dominación de una alternativa sobre otra. Para su aplicación requiere de un conjunto de alternativas de elección, que en este caso son localizaciones potenciales de una empresa, y un conjunto de atributos o criterios medibles sobre cada localización. El desarrollo de esta metodología ELECTRE ha supuesto la aparición de diversas versiones, siendo la más utilizada la versión III. Esta versión sirve para la resolución de tipos de problemas de ordenación de alternativas, desde la mejor hasta la peor. También la versión I de esta metodología ha sido utilizada en abundantes investigaciones y aplicaciones prácticas, aunque su objetivo no es resolver problemas de ordenación sino problemas de selección de un subconjunto de alternativas de entre un conjunto dado.

Este trabajo aborda un problema de localización empresarial. Vamos a suponer que una empresa se enfrenta a la decisión de localizar una nueva instalación, fruto tanto de nueva implantación como de una ampliación de sus necesidades. Esa decisión se va a tomar en función de una serie de criterios que han sido seleccionados de una revisión de la literatura. Para el desarrollo de esta metodología es necesario, además de unos criterios sobre los que sustentar la decisión, un conjunto de alternativas que van a ser comparadas en base a esos criterios. Las alternativas de localización son una nueva división administrativa que se ha implantado en la Comunidad Autónoma de Aragón: las comarcas.

La estructura del trabajo es la que se indica a continuación: en el siguiente apartado se explica la metodología que se va a seguir en el trabajo, presentando los modelos ELECTRE I y ELECTRE III, utilizados en el análisis; a continuación se ha realizado un análisis empírico dividido en dos etapas; en la primera se han obtenido, mediante la utilización de encuestas,

qué factores son determinantes en las decisiones de localización y en la segunda se han aplicado los modelos ELECTRE I y III a los datos referidos a las Comarcas Aragonesas; en el último apartado se presentan las conclusiones.

## **2. LOS MODELOS ELECTRE I Y ELECTRE III COMO MÉTODOS DE ELECCIÓN MULTICRITERIO DISCRETO**

La necesidad de tomar decisiones sobre la base de información estructurada y objetiva impera, entre otros, en el contexto de las Ciencias Sociales y, más concretamente, en la Administración de Empresas, en cuyo ámbito aparecen frecuentemente problemas en los que la selección de soluciones posibles debe realizarse en presencia de criterios múltiples y de diversa naturaleza. La introducción de problemas en los que se han de considerar varios atributos en su resolución ha impulsado el desarrollo de una disciplina científica conocida como Decisión Multicriterio, que arranca alrededor de 1950. Los métodos de toma de decisión multicriterio son unas poderosas herramientas que ayudan a generar consenso en contextos complejos de decisión. Se pueden aplicar estas técnicas a casos en los que sea necesaria la confluencia de intereses y puntos de vista de diferentes grupos o personas. También tienen la ventaja de posibilitar el análisis de problemas teniendo en cuenta factores que de otra forma se escaparían al decisor. Una de las ramas de esta disciplina científica, la Programación Multicriterio Discreta, consiste en el estudio de los casos en los que el número de soluciones posibles es finito y, habitualmente, se tiene en cuenta como criterio de decisión la optimización de los objetivos propuestos para la empresa. Puesto que en las decisiones de localización de las empresas es normal considerar un conjunto de atributos de las alternativas consideradas, convendría analizar el problema que se nos plantea dentro de la metodología proporcionada por la Decisión Multicriterio. En concreto, se ha optado por emplear el método “Elimination and Choice Translating Algorithm” (ELECTRE), desarrollado por Roy (1968).

Para decidir la elección de una alternativa o conjunto de alternativas de localización que pueden considerarse satisfactorias<sup>1</sup>, este método se basa en una “relación de superación” entre cada par de alternativas, que posteriormente hay que aceptar o rechazar. Para verificar que una alternativa de localización  $a_j$  supera a otra  $a_k$ , el método utiliza dos principios:

- principio de concordancia, que requiere que en la mayoría de los criterios se pueda afirmar que efectivamente la alternativa  $a_j$  supera a la alternativa  $a_k$ ;

---

<sup>1</sup> Es lo que Barba-Romero y Pomerol (1997) definen como solución o soluciones eficientes, no dominadas u óptimas en el sentido de Pareto.

- principio de no discordancia, que requiere que, respecto a los criterios para los que la alternativa  $a_j$  no supera a la alternativa  $a_k$ , la diferencia entre ambas alternativas no sea muy grande.

A lo largo del tiempo se han ido proponiendo varias versiones del método ELECTRE y en este trabajo se van a utilizar las versiones I y III. La razón por la que se van a realizar los cálculos con ambas versiones es porque cada una de ellas aplica supuestos diferentes para los cálculos a realizar y para el establecimiento de los límites a considerar para la aceptación de la relación de superación entre alternativas; así, en la versión I se fijan unos umbrales de concordancia y discordancia que marcan los límites para aceptar la relación de superación, mientras que en la versión III la reflexión gira en torno al grado de credibilidad que se le otorga a la relación de superación. Además, los objetivos perseguidos son distintos: la versión I busca un conjunto de soluciones que superan a las demás, mientras que la versión III busca una ordenación de todas las alternativas, desde la mejor a la peor. De esta forma se puede analizar la coherencia y robustez entre los resultados obtenidos por ambas versiones, pudiendo analizar las eventuales discrepancias en virtud de los diferentes supuestos aplicados en los cálculos. Por lo tanto, aunque la filosofía de la que parten es la misma (una ayuda multicriterio en el proceso de toma de decisiones), tanto los objetivos como el algoritmo utilizado son distintos: mientras que el ELECTRE I proporciona como solución un subconjunto tan restringido como sea posible de alternativas no superadas, el ELECTRE III proporciona una ordenación de todas las alternativas. El algoritmo utilizado también varía, ya que en la versión III se introduce una graduación (fuerte o débil) en la relación de superación que ambos métodos utilizan. Por otra parte, las versiones primeras del método ELECTRE no se consideran superadas por las posteriores, como muestra el hecho de la aplicación de la versión I en trabajos recientes como los de Almeida (2005), Nowak (2005), Vasiloglou (2004) y Morais y otros (2006). A continuación se exponen de forma sucinta las bases teóricas de ambas metodologías.

## **2.1. El método ELECTRE I**

Vamos a suponer que una empresa se enfrenta a la elección de una inversión entre dos alternativas  $a_j$  y  $a_k$ . Supongamos que esa empresa considera  $n$  factores relevantes de localización o criterios cada uno de ellos y además esa empresa le otorga una importancia o ponderación de  $w_i$  a cada uno de ellos. Por último, vamos a considerar que el valor numérico que la alternativa  $j$  tiene respecto al criterio  $i$  se expresa por  $E_{ij}$ .

Si se comparan los valores de las alternativas anteriores respecto de uno de los criterios considerados (criterio  $i$ ), solo se pueden producir una de las tres situaciones siguientes, según el método ELECTRE I:

Si  $E_{ij} > E_{ik} \Leftrightarrow a_j$  es preferida a  $a_k$ .

Si  $E_{ij} = E_{ik} \Leftrightarrow a_j$  es indiferente con  $a_k$ .

Si  $E_{ij} < E_{ik} \Leftrightarrow a_k$  es preferida a  $a_j$ .

Este método utiliza dos índices que sintetizan la información de las comparaciones por parejas de los valores  $E_{ij}$  y  $E_{ik}$ . Estos dos índices sirven para afirmar que una alternativa  $a_j$  es mejor que otra alternativa  $a_k$  cuando las valoraciones en la mayoría de los criterios son mejores y que, en aquellos que no es mejor, no lo es de forma notoria. El índice de concordancia ( $IC_{jk}$ ) entre esas dos localizaciones,  $a_j$  y  $a_k$ , se calcula mediante la siguiente expresión:

$$IC_{jk} = \frac{\sum_{\forall i, E_{ij} \geq E_{ik}} w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

El numerador de este cociente es la suma de las ponderaciones  $w_i$  asignadas a los factores para los que la localización  $a_j$  tiene una puntuación que es mayor o igual a la de la localización  $a_k$ , y su denominador es la suma total de las ponderaciones asignadas al conjunto de los factores. Este índice toma valores comprendidos entre 0 y 1. Cuanto mayor es el valor del índice, mejor es la localización  $a_j$  frente a la localización  $a_k$ . Si el índice toma el valor 1, esto significa que la alternativa  $a_j$  es mejor que la alternativa  $a_k$  en todos los criterios considerados. Por el contrario, si toma el valor 0 indica que no es mejor en ninguno de ellos.

El índice de discordancia para ese par de alternativas  $a_j$  y  $a_k$  ( $ID_{jk}$ ) se calcula, para aquellos factores en los cuales la localización  $a_j$  no domina a la  $a_k$ , como el mayor de los cocientes entre la diferencia en la puntuación para un factor  $i$  entre  $a_j$  y  $a_k$  y la amplitud total de la escala considerada para ese factor ( $TE_i$ ), de acuerdo con la siguiente expresión:

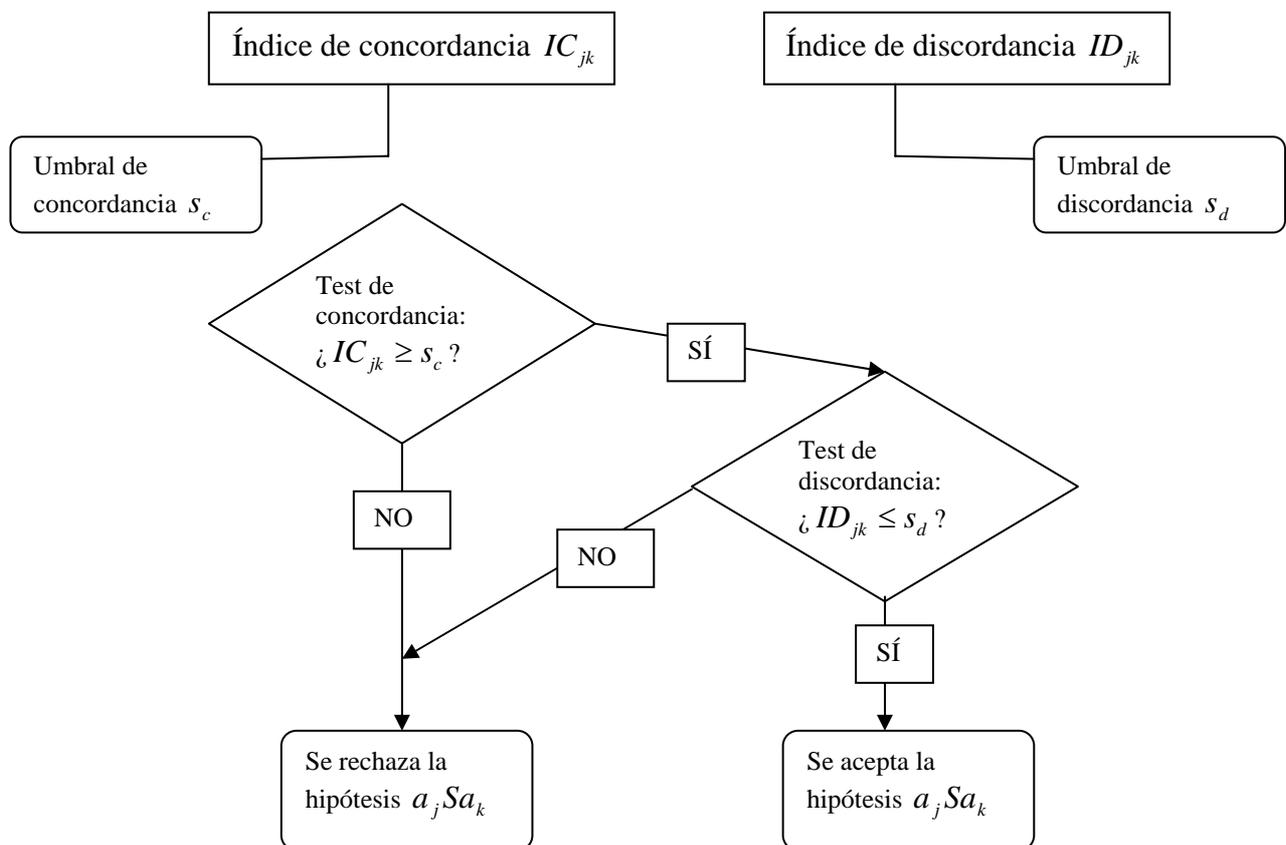
$$ID_{jk} = \text{Max}_i (\forall i, E_{ij} \leq E_{ik}) \left\{ \frac{E_{ik} - E_{ij}}{TE_i} \right\} \quad (2)$$

El índice de discordancia toma valores comprendidos entre 0 y 1, resultando el valor 0 cuando la localización  $a_j$  no es inferior en factor alguno a la localización  $a_k$  (lo que implica que el índice de concordancia  $IC_{jk}$  ha de ser 1) y siendo 1 cuando, en al menos un factor, la

divergencia a favor de la localización  $k$  es la totalidad de la escala; cuanto más grande sea la infravaloración de la localización  $a_j$  respecto la  $a_k$  en al menos un factor, mayor valor tomará el índice de discordancia.

Una vez calculados los índices de concordancia y discordancia, para poder afirmar que una alternativa supera a otra, hay que determinar los valores de estos índices a partir de los cuales se admite la hipótesis de superación, ya que si se utilizan los valores extremos (1 y 0), estaríamos suponiendo que solo se podría afirmar esa superación en los casos en los que una alternativa esté mejor valorada que la otra en todos los criterios de comparación considerados. Para ello, se introducen unos umbrales de concordancia y discordancia, denotados por  $s_c$  y  $s_d$ , respectivamente. El umbral de concordancia expresa el mínimo de concordancia requerido para que la proposición “ $a_j$  supera a  $a_k$ ” no sea rechazada. El umbral de discordancia expresa el máximo de discordancia tolerado para que la hipótesis “ $a_j$  supera a  $a_k$ ” no sea rechazada. En consecuencia, una vez introducidos los umbrales de concordancia y discordancia por el decisor, se define la relación de superación  $S$  como:  $a_j S a_k$  si y solamente si  $IC_{jk} \geq s_c$  y  $ID_{jk} \leq s_d$ . Los pasos a seguir teniendo en cuenta lo anterior aparecen resumidos en el Gráfico 1.

**Gráfico 1.** Secuencia de aplicación del método ELECTRE I.



Una vez calculadas las relaciones de superación entre cada par de alternativas, se pueden separar las alternativas en dos grupos: aquellas alternativas que no se ven superadas por ninguna otra y aquellas alternativas que son superadas por al menos una de ellas. El primer grupo de alternativas recibe el nombre de núcleo y se denota por  $N$ .

Si el conjunto de alternativas  $A$  es finito y la relación de superación cumple la propiedad transitiva, el núcleo estaría formado por el conjunto de soluciones eficientes del problema multicriterio en el sentido dado por Barba-Romero y Pomerol (1997). Las alternativas eficientes son óptimas en el sentido de Pareto, ya que no están dominadas estrictamente por ninguna otra; dicho de otro modo, no se puede encontrar otra alternativa que sea mejor o igual en todos los criterios y estrictamente mejor para alguno de ellos. En los casos en los que no se cumple la propiedad transitiva en la relación de superación, el núcleo no existe o, si existe, puede no ser único y no se puede hablar de alternativas eficientes. Se consigue clasificar en dos grupos las alternativas de localización: por una parte se tiene las pertenecientes al núcleo que no son superadas por ninguna alternativa, y por otra, las de fuera del núcleo, que son superadas al menos por una, pertenezca o no al núcleo.

## 2.2. El método ELECTRE III

La modelización de las preferencias del decisor en la versión ELECTRE III es menos rígida, ya que se toma como punto de partida el siguiente argumento: si la diferencia entre las valoraciones de las alternativas  $a_j$  y  $a_k$  es muy pequeña, ¿el decisor continuará prefiriendo una de ellas?; ¿es esa pequeña diferencia razón suficiente para hacer más preferida una que la otra? El método ELECTRE III consigue esta flexibilización con la introducción de tres nuevos umbrales, definidos para cada uno de los criterios considerados:

- a) el umbral de preferencia ( $p$ ), que sería la magnitud en que exigimos que la valoración de la alternativa  $a_j$  sea mayor que la de la alternativa  $a_k$  para poder hablar de preferencia fuerte de la primera respecto a la segunda.
- b) el umbral de indiferencia ( $q$ ), que sería la magnitud en que permitimos que la valoración de la alternativa  $a_k$  sea menor que la de la alternativa  $a_j$  para seguir siendo indiferentes.
- c) el umbral de veto ( $v$ ), que sería la magnitud de la diferencia ( $a_j - a_k$ ) a partir de la cual nunca se aceptará que la alternativa  $k$  supere a la alternativa  $j$ , aunque la supere en el resto de criterios.

Estos tres umbrales son valores no negativos y además ordenados ( $p, q, v \geq 0$ ;  $q \leq p \leq v$ ).

Ahora la comparación no se realiza únicamente a partir de la valoración de cada alternativa respecto a los criterios definidos en el desarrollo del modelo, sino que tiene en cuenta los umbrales de preferencia  $p$ , de indiferencia  $q$ , y de veto  $v$ , lo que supone la introducción de lo que esta metodología denomina pseudo-criterios<sup>2</sup>. Por lo tanto, con la introducción de estos umbrales la modelización de las preferencias será<sup>3</sup>:

Si  $-q_i \leq E_{ij} - E_{ik} \leq q_i \Leftrightarrow a_j$  es indiferente con  $a_k$ .

Si  $q_i < (E_{ij} - E_{ik}) \leq p_i \Leftrightarrow a_j$  es preferido de forma débil sobre  $a_k$ .

Si  $p_i < (E_{ij} - E_{ik}) \leq v_i \Leftrightarrow a_j$  es preferido fuertemente a  $a_k$ .

Si  $(E_{ij} - E_{ik}) \geq v_i \Leftrightarrow$  la posibilidad de superación de  $a_k$  sobre  $a_j$  es vetada.

Si  $-p_i < (E_{ij} - E_{ik}) \leq -q_i \Leftrightarrow a_k$  es preferido de forma débil sobre  $a_j$ .

Si  $-v_i < (E_{ij} - E_{ik}) \leq -p_i \Leftrightarrow a_k$  es preferido fuertemente a  $a_j$ .

Si  $(E_{ij} - E_{ik}) \geq -v_i \Leftrightarrow$  la posibilidad de superación de  $a_j$  sobre  $a_k$  es vetada.

Esta versión del método ELECTRE utiliza también dos índices: el índice de concordancia y el de discordancia. A diferencia de la versión I, el índice de concordancia es calculado obteniendo primero un índice de concordancia por criterio y luego un índice de concordancia global. El índice de concordancia por criterio afirma en qué medida la alternativa  $a_j$  es al menos tan buena como la alternativa  $a_k$  para el factor  $i$ . Se denota por  $c_i(a_j, a_k)$  y se define como:

$$\begin{aligned} c_i(a_j, a_k) &= 1 \Leftrightarrow (E_{ik} - E_{ij}) \leq q_i \\ 0 < c_i(a_j, a_k) < 1 &\Leftrightarrow q_i < (E_{ik} - E_{ij}) \leq p_i \quad * \\ c_i(a_j, a_k) &= 0 \Leftrightarrow p_i < (E_{ik} - E_{ij}) \end{aligned}$$

\* El valor final del índice se calcula mediante interpolación lineal.

El índice de concordancia global se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$IC_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^m w_i * c_i(a_j, a_k)}{\sum_{i=1}^m w_i}$$

<sup>2</sup> Un criterio verdadero es un pseudo-criterio con umbrales de preferencia  $p$ , de indiferencia  $q$  y de veto  $v$ , iguales a cero.

Para el cálculo del índice de concordancia, en la versión III del método ELECTRE se suman los pesos de los criterios, excluyendo aquéllos en los que su índice de concordancia sea 0. Además, en aquellos criterios cuyo índice de concordancia esté comprendido entre 0 y 1, el peso del criterio se minora en el importe del propio índice. El índice de discordancia para cada criterio  $i$  [  $d_i(a_j, a_k)$  ] se define como:

$$\begin{aligned} d_i(a_j, a_k) &= 1 \Leftrightarrow v_i < E_{i_k} - E_{i_j} \\ 0 < d_i(a_j, a_k) < 1 &\Leftrightarrow p_i < (E_{i_k} - E_{i_j}) \leq v_i \quad * \\ d_i(a_j, a_k) &= 0 \Leftrightarrow (E_{i_k} - E_{i_j}) \leq p_i \end{aligned}$$

\* El valor final del índice se calcula mediante interpolación lineal.

Para cada par de alternativas de  $(a_j, a_k)$  ahora existe una medida de concordancia y otra de discordancia. En la etapa final de los cálculos se combinan ambas medidas para generar una medida del grado de superación, esto es, una matriz de credibilidad que valora la fortaleza de la afirmación “la alternativa  $a_j$  supera a la alternativa  $a_k$ ”. Previamente hay que definir, para cada par de alternativas, el subconjunto  $\bar{F}$  de criterios que tiene como elementos aquéllos para los cuales el índice de discordancia por criterio es superior al índice de concordancia global:

$$\bar{F} = \{i / i \in F, d_i(a_j, a_k) > C_{jk}\}$$

El grado de credibilidad ( $\delta_{jk}$ ) para cada par de alternativas  $(a_j, a_k)$  se define como:

$$\delta_{jk} = \begin{cases} C_{jk} & \text{si } \bar{F} = \text{conjunto vacío} \\ C_{jk} * \prod_{i \in \bar{F}} \frac{1 - d_i(a_j, a_k)}{1 - C_{jk}} & \text{en otros casos} \end{cases}$$

De la definición del grado de credibilidad se obtiene que éste será el mismo que el valor del índice de concordancia global si ningún valor de los índices de discordancia por criterio es mayor que él. Si para algún criterio ese valor del índice de discordancia por criterio es mayor que el índice de concordancia global, el grado de credibilidad será el índice de concordancia global disminuido por la discordancia. De igual forma, el grado de credibilidad de cualquier par de alternativas será 0 si, para algún criterio, el valor de la discordancia fuera 1.

---

<sup>3</sup> Siempre que el criterio sea a maximizar; si el criterio es a minimizar, habría que invertir el orden de la diferencia.

El siguiente paso en la versión III del método ELECTRE es ordenar las alternativas a partir de los resultados obtenidos para el grado de credibilidad, llevando a cabo un proceso de destilación descendente y otro ascendente<sup>4</sup>. De ambos procesos se obtienen dos ordenaciones intermedias, que finalmente se aúnan en una ordenación final.

Este método proporciona, por lo tanto, una ordenación final de las alternativas que es una combinación de las obtenidas mediante las destilaciones ascendente y descendente, de tal forma que cuando en ambas una alternativa supera a otras, así lo refleja la ordenación final, mientras que si entre las dos ordenaciones hay discrepancia respecto a qué alternativa supera a otra, la ordenación final las considera “incomparables”. Este hecho provoca que la ordenación final sea parcial.

### **3. ANÁLISIS EMPÍRICO DE LA LOCALIZACIÓN INDUSTRIAL EN LAS COMARCAS ARAGONESAS**

Para cumplir el objetivo propuesto, un paso previo tiene que ser determinar cuáles son los factores o criterios determinantes en la localización empresarial por parte de las empresas, además de la importancia o peso de esos criterios considerados importantes.

#### **3.1. Factores determinantes de la localización industrial y su importancia por parte de los empresarios aragoneses e instituciones**

El estudio y análisis de los factores de localización conlleva el estudio de la jerarquización de esos factores por parte del agente decisor. La literatura ha estudiado con interés ese proceso de jerarquización o de ordenación de los factores, pudiendo agrupar los trabajos, siguiendo a Aydalot (1985), en dos grupos:

- a) El grupo que utiliza datos secundarios y, mediante el tratamiento de estos datos con técnicas estadísticas, pretende inferir la importancia de esos factores.
- b) El grupo que utiliza datos primarios mediante la utilización de encuestas encaminadas a ordenar la incidencia de esos factores.

Este trabajo se enmarca en el segundo grupo. Se realizó una encuesta con dos objetivos: identificar los factores relevantes en las decisiones de localización y obtener una ponderación o importancia de esos factores.

Las organizaciones a las que se les envió el cuestionario eran de dos tipos: empresas

---

<sup>4</sup> Para un mayor detalle del proceso véase Maystre y otros (1994).

que se habían instalado o aumentado sus instalaciones en los polígonos industriales de las Comarcas Aragonesas y a instituciones públicas que fomentan la actividad industrial. Además, se envió el cuestionario a los agentes sociales presentes en la Comunidad Autónoma de Aragón.

La encuesta fue enviada en el primer semestre de 2004, por correo electrónico, a 40 empresas instaladas en la Comunidad Autónoma Aragonesa. Se envió también a las siguientes asociaciones empresariales: Confederación Regional de Empresarios de Aragón (CREA), Confederación de Empresarios de Zaragoza (CEZ), Confederación Empresarial Turolense (CET), Confederación Empresarial Oscense (CEOS) y la Confederación de la Pequeña y Mediana Empresa, tanto regional (Cepyme Aragón) como de cada una de las tres provincias aragonesas. Respecto a los Organismos oficiales, se envió al Gobierno de Aragón (en concreto, a los Departamentos de Economía, Obras Públicas e Industria y al Instituto Aragonés de Fomento), al Instituto del Suelo y la Vivienda de Aragón y a los Ayuntamientos de todas las cabeceras de comarca, a través de sus Agentes de Desarrollo Local. En lo que se refiere a promotores industriales, se contactó tanto con privados (Empesarium) como con públicos (PLAZA y SEPES). Se puede considerar que la cantidad de respuestas recibidas es significativa, puesto que respondieron 19 de las 40 empresas contactadas, el 50% de los Ayuntamientos y el 100% de las asociaciones de empresarios y de los organismos pertenecientes al Gobierno de Aragón.<sup>5</sup>

Las cuestiones sobre las que se preguntó a estas organizaciones están basadas en las propuestas por Ulgado (1995), excepto en aquellos factores de localización que no tienen variación entre comarcas (nivel de sindicación, disponibilidad de aeropuerto, coste del capital y su disponibilidad, nivel impositivo, clima, subsidios familiares, ayudas públicas). En la Tabla 1 se muestran los ocho factores que ya estaban fijados en la encuesta que se envió, junto con la fuente estadística utilizada.

---

<sup>5</sup> Lu (2003) utiliza 91 respuestas sobre 485 envíos, Fryxell, Butler y Choi (2004) utilizan una muestra con 67 respuestas sobre 130 envíos y Oum y Park (2004) utilizan una de 83 respuestas sobre 818 envíos.

**Tabla 1.** Factores de localización, variables de medida y referencias bibliográficas.

<b>FACTOR</b>	<b>VARIABLE DE MEDIDA</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>FUENTE</b>
Coste del suelo industrial	Precio por metro cuadrado (medido en euros).	Stonebraker y Leong 1994; Hekman 1992.	Instituto Aragonés de Fomento (1), promotores públicos y privados.
Cercanía a la capital de la provincia	Kilómetros de distancia hasta la capital de la provincia.	Crozet, Mayer y Muccielli 2003; Arauzo 2005.	Ministerio de Fomento (2).
Accesibilidad a redes de transporte	Distancia a la carretera nacional, autovía, puerto y aeropuerto más próximos.	Barrios, Gorg y Strobl 2006; Arauzo 2005.	Ministerio de Fomento (2).
Infraestructura	Comunicaciones (redes telefónicas y fibra óptica), equipamientos (pavimentación, iluminación redes antiincendios), agua (acceso a agua potable, acometidas y depósitos), energía (gas y electricidad), gestión medioambiental (redes de saneamientos, tratamiento de aguas residuales, canon por utilización).	Baaij, Van den Bosch y Volberda 2004.	Instituto Aragonés de Fomento (1).
Tamaño del polígono	Superficie total del polígono (medida en m <sup>2</sup> ).	Woodward 1992.	Instituto Aragonés de Fomento (1), Ayuntamientos.
Grado de ocupación del polígono	Porcentaje de ocupación del polígono y posibilidad o no de ampliación.	Woodward 1992.	Instituto Aragonés de Fomento (1), Ayuntamientos.
Tamaño de la población	Número de habitantes.	Guimaraes, Figueiredo y Woodward 2000. Barrios, Gorg y Strobl 2006.	Instituto Nacional de Estadística (3).
Categoría de la población	Densidad de población, peso del sector industrial, crecimiento vegetativo, cualificación de mano de obra, infraestructura del municipio (nº de farmacias, nº bancos, nº de bibliotecas, nº de establecimientos hosteleros).	Baaij, Van den Bosch y Volberda 2004.	Instituto Nacional de Estadística (3), Instituto Aragonés de Estadística (4), Anuario de “El País” 2003.

(1) [www.iaf.es](http://www.iaf.es)

(3) [www.ine.es](http://www.ine.es)

(2) [www.mfom.es](http://www.mfom.es)

(4) [www.aragob.es](http://www.aragob.es)

En los cuestionarios enviados se preguntaba por la importancia que se otorgaba a los 8 criterios de elección considerados, ya que la aplicación de los dos métodos ELECTRE requieren de la ponderación de los criterios. Una vez obtenidas las respuestas, y con el fin de facilitar la interpretación de los resultados, se ha calculó una media aritmética de los valores asignados a cada factor, cuyo resultado aparece en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Ponderación de los factores de localización.

<b>FACTOR</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
Coste del suelo industrial	7,67
Cercanía a la capital de provincia	5,53
Accesibilidad a redes de transporte	6,47
Infraestructura	8,11
Tamaño del polígono	7,27
Grado de ocupación del polígono	4,73
Tamaño de la población	5,27
Categoría de la población	5,73

Para la aplicación de los modelos ELECTRE en este trabajo, es necesaria la normalización previa de todos los datos a utilizar, ya que en este trabajo se consideran factores medidos por diferentes variables que pueden estar expresadas en unidades o escalas de medida no comparables. En este caso se ha realizado una transformación sobre una escala de tal forma que, una vez realizada la normalización, todas las alternativas respecto de cada una de las variables pasan a tener un valor comprendido entre 0 y 10. Más en concreto, la normalización ha consistido en el cálculo de un valor que es:

- a) si el criterio es a maximizar:

$$10 - \frac{(\text{valor a normalizar} - \text{máximo de la serie}) * 10}{(\text{Mínimo} - \text{Máximo}) \text{ de la serie}}$$

- b) si el criterio es a minimizar:

$$10 - \frac{(\text{valor a normalizar} - \text{mínimo de la serie}) * 10}{(\text{Máximo} - \text{Mínimo}) \text{ de la serie}}$$

De esta forma, el valor más próximo a diez reflejaría el mejor valor y el más alejado a diez sería el peor valor. En los casos en que la medición de un factor de localización se hace únicamente a través de una variable, el valor normalizado de ésta es el que se asigna al factor. Por otra parte, la valoración dada a los factores medidos a través de varias variables es la

media aritmética de su valoración normalizada. La Tabla 3 presenta los datos obtenidos por las alternativas respecto de los criterios utilizados, una vez que han sido normalizados.

**Tabla 3.** Valores alcanzados por las alternativas respecto a los criterios, una vez normalizados.

	Precio venta	Localización	Comunicación	Equipamientos	% ocupación	Tamaño	Tamaño población	Categoría población
ALBARRACÍN	9,60	3,32	5,23	7,22	2,38	3,75	2,50	5,51
ALTO GALLEGO	8,64	3,88	7,70	8,26	6,43	3,75	6,00	5,73
ANDORRA	9,83	5,83	5,88	8,40	3,99	5,25	4,50	4,07
ARANDA	9,07	6,26	6,67	7,40	9,14	3,67	5,00	5,26
BAJO ARAGÓN	9,80	5,99	5,93	7,67	7,76	4,88	5,13	4,56
BAJO CINCA	9,20	4,88	7,83	7,13	6,66	4,75	6,25	4,52
BAJO MARTÍN	9,90	7,20	7,29	8,15	3,29	6,00	4,50	4,09
BARBASTRO	9,71	5,56	7,03	7,42	7,77	5,33	4,00	6,37
BELCHITE	9,86	7,37	2,65	7,08	10,00	1,00	1,00	3,57
BORJA	9,48	7,02	7,88	7,87	3,32	5,00	4,50	4,08
CALAMOCHA	9,84	6,47	8,19	6,18	6,27	4,67	3,67	4,26
CALATAYUD	9,42	6,31	8,14	7,33	8,13	5,00	5,75	4,79
CARIÑENA	9,50	8,80	8,15	6,91	8,78	3,50	4,50	4,61
CASPE	9,51	5,17	8,12	6,34	5,31	3,40	4,80	3,98
CINCA MEDIO	9,42	4,17	8,03	8,09	9,90	8,00	7,00	6,11
CINCO VILLAS	9,69	6,73	7,27	7,19	7,22	5,50	5,25	4,71
CUENCAS MINERAS	9,95	6,50	6,19	6,97	6,75	4,60	4,60	4,00
DAROCA	9,62	7,80	6,61	4,49	4,86	4,00	4,00	4,55
GÚDAR-JAVALAMBRE	9,77	2,05	7,47	7,53	9,53	4,00	3,25	4,81
HUESCA	9,35	8,16	8,51	7,28	6,78	5,00	5,00	5,78
JALON MEDIO	9,30	8,36	8,31	8,43	5,97	7,40	4,80	4,31
LA LITERA	9,54	6,40	6,84	7,42	3,75	5,50	4,00	4,10
MATARRAÑA	9,70	3,03	5,43	7,64	8,14	3,33	3,67	3,70
MONCAYO	8,96	5,12	8,06	7,92	6,84	7,50	7,00	5,56
MONEGROS	9,77	7,26	7,69	6,99	6,28	4,60	4,80	4,90
RIBAGORZA	9,10	2,23	5,58	8,20	9,40	5,00	5,00	4,22
RIBERA ALTA DEL EBRO	8,31	8,54	8,63	6,69	7,37	5,00	4,00	4,29
RIBERA BAJA DEL EBRO	9,90	8,16	8,10	7,90	6,67	4,67	4,67	3,86
SOBRARBE	7,54	0,78	3,94	6,52	8,78	3,50	3,00	5,02
TERUEL	9,75	4,99	7,66	7,55	5,64	5,60	4,60	5,29
ZARAGOZA	6,38	9,44	8,71	7,06	8,14	5,60	4,55	6,02

### 3.2. Resultados obtenidos

En este trabajo, la información relativa a los factores de localización considerados se ha obtenido de los polígonos industriales existentes en Aragón. Sin embargo, las alternativas de localización consideradas son las comarcas y, por lo tanto, en aquéllas en las que existe más de un polígono industrial los datos correspondientes a la comarca son el promedio lineal de los polígonos existentes en ella<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Para la decisión final de una empresa referente a qué polígono industrial elegir para su localización, tendría dos

### 3.2.1. Resultados del modelo ELECTRE I

En principio, el método ELECTRE I considera exclusivamente aquellas alternativas en las que se produzca la concordancia total, es decir, aquellas en las que  $s_c=1$  y  $s_d=0$ . Tal como se muestra en la Tabla 4, este alto nivel de exigencia lleva a que de las 31 comarcas aragonesas consideradas, solo salgan del núcleo las comarcas Albarracín y Sobrarbe, con lo que el núcleo estaría formado por 29 alternativas.

**Tabla 4.** Alternativas pertenecientes al núcleo para distintos niveles de umbrales de concordancia y discordancia.

Umbrales	Alternativas del núcleo
$S_c=1$ $S_d=0$	Alto Gállego, Andorra, Aranda, Bajo Aragón, Bajo Cinca, Bajo Martín, Barbastro, Belchite, Borja, Calamocha, Calatayud, Cariñena, Caspe, Cinca Medio, Cinco Villas, Cuencas Mineras, Daroca, Gudar-Javalambre, Huesca, Jalón Medio, La litera, Matarraña, Moncayo, Monegros, Ribagorza, Ribera Alta del Ebro, Ribera Baja del Ebro, Teruel, Zaragoza.
$S_c=0,9$ $S_d=0,1$	Alto Gállego, Andorra, Aranda, Bajo Aragón, Bajo Cinca, Bajo Martín, Barbastro, Belchite, Borja, Calamocha, Calatayud, Cariñena, Caspe, Cinca Medio, Cinco Villas, Cuencas Mineras, Daroca, Gudar-Javalambre, Huesca, Jalón Medio, La litera, Matarraña, Moncayo, Monegros, Ribagorza, Ribera Alta del Ebro, Ribera Baja del Ebro, Teruel, Zaragoza.
$S_c=0,8$ $S_d=0,2$	Aranda, Bajo Aragón, Barbastro, Belchite, Calatayud, Cariñena, Cinca Medio, Cinco Villas, Huesca, Jalón Medio, Moncayo, Ribera Baja del Ebro, Zaragoza.
$S_c=0,7$ $S_d=0,3$	Barbastro, Belchite, Calatayud, Cariñena, Cinca Medio, Huesca, Jalón Medio, Zaragoza.

Para intentar aumentar las relaciones de dominio y reducir el número de alternativas que contiene el núcleo, se pueden disminuir los niveles de exigencia en cuanto a la concordancia y la discordancia (Ravelo Mesa y otros (2002) y Barba-Romero y Pomerol (1997)). Conforme vamos disminuyendo los umbrales de concordancia y discordancia, van disminuyendo las alternativas del núcleo y se van haciendo más robustas las relaciones que se establecen. En el caso de que se fijen unos umbrales de  $s_c=0,7$  y  $s_d=0,3$ ,<sup>7</sup> las alternativas incluidas en el núcleo han disminuido y está formado por Barbastro, Belchite, Calatayud, Cariñena, Cinca Medio, Huesca, Jalón Medio, Zaragoza.

---

formas alternativas de actuar: o bien, una vez elegida la comarca a partir de los cálculos que se van a presentar en este trabajo, repite unos cálculos similares para los polígonos industriales de esa comarca, o bien aplica el método ELECTRE directamente a los polígonos industriales.

<sup>7</sup> Estos niveles son los mismos que fijan Ravelo Mesa y otros (2002) y Barba-Romero y Pomerol (1997). Maestre y otros (1994) los fija en 0.65 y 0.35 para el umbral de concordancia y el de discordancia, respectivamente. El valor de los umbrales puede estar entre 0 y 1, pero valores inferiores a 0,5 para el índice de concordancia carecen de significación.

### 3.2.2. Resultados del modelo ELECTRE III

Para la aplicación de esta metodología, hay que fijar el valor de los umbrales que van a ser utilizados. La fijación de los umbrales de indiferencia, de preferencia estricta y de veto es siempre subjetiva y según Maystre (1994) no son el resultado de un proceso de búsqueda de datos exactos, sino más bien la oportunidad de reflejar en ellos lo que hay de arbitrario en los datos.<sup>8</sup> En los datos que se han utilizado, hay que tener en cuenta que previamente han sido normalizados en una escala de 1 a 10, por lo tanto, los umbrales tienen que ser los mismos para todos los criterios. Siguiendo a Diop (1988), el umbral de indiferencia se ha fijado en 1 y el de preferencia estricta en 2 y no se ha introducido umbral de veto, ya que por la normalización de los valores de las alternativas respecto de los criterios considerados la diferencia entre estos valores son muy pequeñas y la introducción de valores altos de este parámetro carece de sentido en este caso, ya que en algunos criterios el umbral de preferencia estricta está jugando este papel. La Tabla 5 muestra los resultados obtenidos en la ordenación final de las alternativas consideradas en este trabajo.

**Tabla 5.** Ordenación final de las alternativas utilizando el método ELECTRE III.

Posición	Alternativa	Posición	Alternativa
1	Cinca Medio	12	Aranda
2	Jalón Medio	13	Alto Gállego Calamocha
3	Huesca	14	Bajo Aragón
4	Moncayo	15	Cuencas Mineras La Litera
5	Cariñena	16	Gúdar
6	Calatayud	17	Andorra
7	Ribera Baja Zaragoza	18	Caspe
8	Cinco villas Ribera Alta	19	Ribagorza
9	Barbastro Monegros	20	Daroca
10	Bajo Cinca Bajo Martín	21	Belchite Matarraña
11	Borja Teruel	22	Albarracín
		23	Sobrarbe

A la vista de los resultados obtenidos, si el objetivo que persigue el decisor es invertir en la mejor alternativa, aquélla será en Cinca Medio, que es la que aparece en primer lugar, seguida del Jalón Medio, Huesca y el Moncayo.

<sup>8</sup> Rogers y Buen (1998), realizan una aproximación alternativa para fijar estos valores de forma más objetiva en los casos de impacto ambiental del ruido.

### 3.2.3. Análisis de Robustez

El análisis de robustez consiste en hacer variar los parámetros que se han utilizado en los algoritmos en torno a su valor inicial y si los nuevos resultados obtenidos no son modificados de manera importante respecto a los primitivos, la recomendación que se haga será robusta.

Los parámetros susceptibles de variación (debido bien a la incertidumbre de los datos o a la subjetividad) varían en función del modelo utilizado. Así, en el ELECTRE I, los parámetros a verificar podrían ser las amplitudes de las escalas de los criterios, los pesos de los criterios y los umbrales de concordancia y discordancia. En el ELECTRE III, los parámetros a contrastar son las variaciones en los pesos y las variaciones en los umbrales de indiferencia, preferencia estricta y veto.

Para analizar el grado de robustez de los resultados obtenidos de la aplicación del ELECTRE III, en este trabajo se han modificado dos parámetros: los valores de los umbrales de indiferencia y de preferencia estricta<sup>9</sup> y los valores de los pesos asignados a los criterios. En el caso del umbral de indiferencia el rango de variación ha sido desde 0.5 a 1.2 y el de preferencia estricta desde 2.2 hasta 1.5. Los resultados obtenidos, junto con los iniciales, se muestran en la Tabla 6, en la que se aprecia que los resultados son prácticamente los mismos.

A la vista de los resultados, se podría afirmar que el resultado obtenido resulta robusto y, por lo tanto, se podría realizar una recomendación fiable al decisor. Las posiciones extremas de la ordenación siempre son ocupadas por las mismas alternativas (Cinca Medio, Jalón Medio y Moncayo en la parte alta y Sobrarbe, Albarracín, Belchite y el Matarraña en la parte baja). Aunque se producen variaciones en las posiciones intermedias de la ordenación, estas diferencias son menores y solo suponen subir una posición, bajar una o formar parte de un grupo de alternativas incomparables, como por ejemplo Cariñena, o la comarca del Moncayo.

Continuando con el análisis de robustez del método ELECTRE III, también se han modificado los pesos asignados a los criterios. Partiendo de los resultados obtenidos, se han calculado los rangos de variación de los pesos asignados a los criterios para dentro de los cuales la ordenación de las alternativas seguiría siendo la misma. Dichos rangos aparecen en la Tabla 7.

---

<sup>9</sup> El de veto no se modifica, ya que no se ha fijado ningún valor en el resultado original.

**Tabla 6.** Análisis de robustez, con variaciones en los umbrales de preferencia, indiferencia y veto, en el Electre III.

$q=1$ $p=2$ $v=0$		$q=0,9$ $p=1,9$ $v=0$		$q=0,8$ $p=1,8$ $v=0$		$q=0,5$ $p=1,5$ $v=0$	
Posición	Alternativa	Posición	Alternativa	Posición	Alternativa	Posición	Alternativa
1	Cinca Medio	1	Cinca Medio	1	Cinca Medio	1	Cinca Medio
2	Jalon Medio	2	Jalon Medio	2	Jalon Medio	2	Jalon Medio
3	Huesca	3	Huesca	2	Huesca	2	Huesca
4	Moncayo	4	Moncayo	3	Moncayo	3	Moncayo
5	Cariñena	5	Calatayud	4	Calatayud	3	Calatayud
6	Calatayud	6	Cariñena	5	Cariñena	4	Ribera Baja
7	Ribera Baja	7	Ribera Baja	5	Ribera Baja	4	Zaragoza
	Zaragoza	8	Zaragoza	5	Zaragoza	5	Cariñena
8	Cinco villas	9	Cinco Villas	6	Barbastro	6	Cinco Villas
	Ribera Alta		Ribera alta	7	Bajo Martín	7	Bajo Martin
9	Barbastro	10	Barbastro	7	Cinco Villas	8	Barbastro
	Monegros		Monegros	8	Monearos	8	Monearos
10	Bajo Cinca	11	Bajo Martin	8	Bajo Cinca	9	Ribera Alta
	Bajo Martín	12	Bajo Cinca	9	Ribera Alta	9	Alto Gallego
11	Borja		Borja	10	Alto gállego	9	Borja
	Teruel	13	Alto gállego	10	Borja	10	Bajo Cinca
12	Aranda		Aranda	11	Teruel	10	Teruel
13	Alto Gállego	14	Teruel	12	Aranda	11	Aranda
	Calamocha	15	Calamocha	13	Calamocha	12	Andorra
14	Bajo Aragón	16	Bajo Aragón	13	Cuencas Mine	12	Bajo Aragón
15	Cuencas Mi.	17	Cuencas Mi	14	Bajo Aragón	12	Calamocha
	La Litera		La Litera	14	Litera	12	Cuencas Mine
16	Gúdar	18	Gudar	15	Gudar	12	Litera
17	Andorra	19	Andorra	16	Andorra	13	Gudar
18	Caspe	20	Caspe	17	Ribagorza	13	Ribagorza
19	Ribagorza	21	Ribagorza	18	Caspe	14	Belchite
20	Daroca	22	Daroca	18	Daroca	14	Caspe
21	Belchite	23	Albarracin	19	Albarracin	15	Daroca
	Matarraña		Belchite	19	Belchite	16	Albarracin
22	Albarracin		Matarraña	20	Matarraña	17	Matarraña
23	Sobrarbe	24	Sobrarbe	21	Sobrarbe	18	Sobrarbe

$q=1,1$ $p=2,1$ $v=0$		$q=1,2$ $p=2,2$ $v=0$	
Posición	Alternativa	Posición	Alternativa
1	Cinca Medio	1	Cinca Medio
2	Jalon Medio	2	Jalon Medio
3	Huesca	3	Moncayo
4	Moncayo	4	Cariñena
5	Cariñena	5	Huesca
6	Calatayud	6	Calatayud
	Monegros	6	Zaragoza
7	Ribera Baja	7	Cinco Villas
	Zaragoza	7	Ribera Alta
8	Cinco Villas	7	Ribera Baja
	Ribera Alta		
9	Bajo Cinca	8	Barbastro
	Barbastro	8	Monegros
10	Bajo Martín	9	Aranda
11	Aranda	9	Bajo Cinca
	Teruel	9	Bajo Martín
12	Borja	10	Borja
13	Alto Gállego	10	Teruel
14	Calamocha	11	Alto Gállego
15	Bajo Aragón	11	Calamocha
	Cuencas Mine		
16	Gudar	12	Cuencas Mine
	La Litera	12	Gúdar
17	Andorra	13	Bajo Aragón
	Caspe	13	Litera
18	Daroca	14	Andorra
	Ribagorza	14	
19	Belchite	15	Caspe
	Matarraña	15	
20	Albarracin	16	Ribagorza
21	Sobrarbe	17	Matarraña
		17	
			Daroca
		18	Albarracin
			Belchite
		19	Sobrarbe

**Tabla 7.** Rango de variación de los pesos que proporcionan la ordenación obtenida previamente.

<b>Criterio</b>	<b>Rango de variación</b>
Coste del suelo industrial	(7.64, 7.87)
Cercanía a la capital de provincia	(5.42, 5.55)
Accesibilidad a redes de transporte	(6.10, 6.49)
Infraestructura	(7.9, 8.32)
Tamaño del polígono	(7.16, 7.40)
Grado de ocupación del polígono	(4.70, 4.76)
Tamaño de la población	(5.26, 5.41)
Categoría de la población	(5.68, 6.00)

Como se puede apreciar, el margen de variación en los pesos es amplio, especialmente en los criterios de infraestructura, accesibilidad a redes de transporte y grado de ocupación del polígono, en los que el rango de variación es superior a 0.3. En la Tabla 8 se muestran de nuevo los resultados obtenidos con los datos originarios y los obtenidos tras el análisis de robustez tras la aplicación del ELECTRE I en la que, por un lado, se han modificado los niveles de los umbrales de concordancia y discordancia y, por otro, se han variado los pesos de los criterios utilizando los rangos presentados en la Tabla 6 con el fin de facilitar los cálculos realizados.

Se podría concluir que el resultado es robusto, pues al modificar los valores de las ponderaciones, de las 31 comarcas analizadas, solo tres ven modificada su pertenencia al núcleo respecto al resultado inicial: la comarca del Moncayo pertenece al núcleo con las nuevas ponderaciones en el caso de aplicar los valores de los umbrales menos estrictos y la de la Ribera Baja del Ebro y la del Matarraña no pertenecen al núcleo con pesos iguales al mínimo del rango si se toman  $s_c=0,8$  y  $s_d= 0,2$  y  $s_c=0,9$  y  $s_d= 0,1$  respectivamente, siendo que en el resultado inicial y con pesos igual al máximo sí pertenecen al núcleo con esos valores de los umbrales.

Para poder comparar las soluciones obtenidas con estos dos métodos hay que indicar con absoluta claridad que los objetivos que persiguen son distintos: el método I se utiliza para seleccionar un conjunto de alternativas de entre el conjunto total que no se ven “superadas” por ninguna otra, mientras que la versión III persigue realizar una ordenación de las alternativas desde la mejor hasta la peor.

**Tabla 8.** Análisis de robustez, con variación de pesos, en el ELECTRE I.

Con pesos igual al mínimo del rango		Resultado inicial		Con pesos igual al máximo del rango	
$S_c=0,7$ $S_d=0,3$	Barbastro, Belchite, Calatayud, Cariñena, Cinca Medio, Huesca, Jalón Medio, Moncayo Zaragoza	$S_c=0,7$ $S_d=0,3$	Barbastro, Belchite, Calatayud, Cariñena, Cinca Medio, Huesca, Jalón Medio, Zaragoza	$S_c=0,7$ $S_d=0,3$	Barbastro, Belchite, Calatayud, Cariñena, Cinca Medio, Huesca, Jalón Medio, Moncayo, Zaragoza
$S_c=0,8$ $S_d=0,2$	Aranda, Bajo Aragón, Barbastro, Belchite, Calatayud, Cariñena, Cinca Medio, Cinco Villas, Huesca, Jalón Medio, Moncayo, Zaragoza.	$S_c=0,8$ $S_d=0,2$	Aranda, Bajo Aragón, Barbastro, Belchite, Calatayud, Cariñena, Cinca Medio, Cinco Villas, Huesca, Jalón Medio, Moncayo, Ribera Baja del Ebro, Zaragoza.	$S_c=0,8$ $S_d=0,2$	Aranda, Bajo Aragón, Barbastro, Belchite, Calatayud, Cariñena, Cinca Medio, Cinco Villas, Huesca, Jalón Medio, Moncayo, Ribera Baja del Ebro, Zaragoza.
$S_c=0,9$ $S_d=0,1$	Alto Gállego, Andorra, Aranda, Bajo Aragón, Bajo Cinca, Bajo Martín, Barbastro, Belchite, Borja, Calamocha, Calatayud, Cariñena, Caspe, Cinca Medio, Cinco Villas, Cuencas Mineras, Daroca, Gudar-Javalambre, Huesca, Jalón Medio, La litera, Moncayo, Monegros, Ribagorza, Ribera Alta del Ebro, Ribera Baja del Ebro, Teruel, Zaragoza.	$S_c=0,9$ $S_d=0,1$	Alto Gállego, Andorra, Aranda, Bajo Aragón, Bajo Cinca, Bajo Martín, Barbastro, Belchite, Borja, Calamocha, Calatayud, Cariñena, Caspe, Cinca Medio, Cinco Villas, Cuencas Mineras, Daroca, Gudar-Javalambre, Huesca, Jalón Medio, La litera, Matarraña, Moncayo, Monegros, Ribagorza, Ribera Alta del Ebro, Ribera Baja del Ebro, Teruel, Zaragoza.	$S_c=0,9$ $S_d=0,1$	Alto Gállego, Andorra, Aranda, Bajo Aragón, Bajo Cinca, Bajo Martín, Barbastro, Belchite, Borja, Calamocha, Calatayud, Cariñena, Caspe, Cinca Medio, Cinco Villas, Cuencas Mineras, Daroca, Gudar-Javalambre, Huesca, Jalón Medio, La litera, Matarraña, Moncayo, Monegros, Ribagorza, Ribera Alta del Ebro, Ribera Baja del Ebro, Teruel, Zaragoza.
$S_c=1$ $S_d=0$	Alto Gállego, Andorra, Aranda, Bajo Aragón, Bajo Cinca, Bajo Martín, Barbastro, Belchite, Borja, Calamocha, Calatayud, Cariñena, Caspe, Cinca Medio, Cinco Villas, Cuencas Mineras, Daroca, Gudar-Javalambre, Huesca, Jalón Medio, La litera, Matarraña, Moncayo, Monegros, Ribagorza, Ribera Alta del Ebro, Ribera Baja del Ebro, Teruel, Zaragoza.	$S_c=1$ $S_d=0$	Alto Gállego, Andorra, Aranda, Bajo Aragón, Bajo Cinca, Bajo Martín, Barbastro, Belchite, Borja, Calamocha, Calatayud, Cariñena, Caspe, Cinca Medio, Cinco Villas, Cuencas Mineras, Daroca, Gudar-Javalambre, Huesca, Jalón Medio, La litera, Matarraña, Moncayo, Monegros, Ribagorza, Ribera Alta del Ebro, Ribera Baja del Ebro, Teruel, Zaragoza.	$S_c=1$ $S_d=0$	Alto Gállego, Andorra, Aranda, Bajo Aragón, Bajo Cinca, Bajo Martín, Barbastro, Belchite, Borja, Calamocha, Calatayud, Cariñena, Caspe, Cinca Medio, Cinco Villas, Cuencas Mineras, Daroca, Gudar-Javalambre, Huesca, Jalón Medio, La litera, Matarraña, Moncayo, Monegros, Ribagorza, Ribera Alta del Ebro, Ribera Baja del Ebro, Teruel, Zaragoza.

Una vez asumido este principio, observando los resultados obtenidos, se puede apreciar que los dos métodos son consistentes. Con el nivel más flexible de los umbrales de concordancia y discordancia en el método I, las alternativas en el núcleo son: Barbastro, Belchite, Calatayud, Cariñena, Cinca Medio, Huesca, Jalón Medio y Zaragoza, que prácticamente coinciden con las 7 primeras posiciones en el método III (Barbastro aparece en novena posición y Belchite en la número 21 en el método ELECTRE III y Moncayo no aparece en el núcleo del método I para todos los valores de las ponderaciones). Además, si analizamos las últimas posiciones que nos da el método III (Sobrarbe y Albarracín), coinciden con las únicas alternativas que no aparecen en el núcleo del método I, para unos niveles de umbrales de concordancia y discordancia de 1 y 0, respectivamente.

#### **4. CONCLUSIONES**

La elección del lugar en el que una empresa se localiza, es una cuestión muy compleja. Este trabajo se ha realizado con un doble objetivo: ayudar en la toma de esa decisión cuando las alternativas de localización a las que se enfrenta la empresa son las comarcas de Aragón; y, como segundo objetivo, aportar evidencia de la coherencia en los resultados obtenidos con la utilización de dos metodologías de ayuda, que sirven para resolver problemas no similares.

Para la aplicación de estas metodologías se han utilizado criterios relevantes de localización y su importancia se ha obtenido de encuestas a empresas e instituciones y se han tomado como posibles alternativas de localización las comarcas aragonesas. Respecto a la importancia que los agentes han realizado sobre los factores de localización, si bien en los resultados obtenidos se ha encontrado que los factores de localización clásicos, como son los referidos a los costes (especialmente el coste del suelo industrial), continúan teniendo importancia, otros factores van adquiriendo importancia. Así factores como la accesibilidad a redes de transporte y la infraestructura del polígono tienen una ponderación muy alta.

Con las salvedades que son propias de cada uno de los métodos expuestos (la versión I sirve para extraer un subconjunto de alternativas del conjunto total, mientras que la versión III ordena todas las alternativas, desde la mejor hasta la peor), el trabajo también nos permite extraer la conclusión de que los resultados alcanzados son muy parecidos. Las alternativas que están en el núcleo de la versión I son las que aparecen en los primeros lugares de la ordenación que se obtiene con la versión III. Además, las alternativas que primero salen del núcleo en la versión I, son las que ocupan las últimas posiciones de la versión III. Por lo tanto, las conclusiones que se obtienen de las dos versiones son similares, y los resultados robustos.

Los resultados podrían utilizarse para orientar a las autoridades de la Comunidad Autónoma de Aragón en la toma de decisiones que afecten al fomento de la inversión en su territorio. Estos resultados han mostrado diferencias en el atractivo de las comarcas de la Comunidad Autónoma. El grupo formado por las comarcas de Cinca Medio, Jalón Medio, Huesca y el Moncayo aparecen en las dos versiones y con los criterios utilizados en el trabajo siempre en las primeras posiciones o en el núcleo si utilizamos la versión 1. Además, el análisis de robustez calculado, nos indica que esas posiciones siempre son las mismas. Del mismo modo, hay un grupo que siempre ocupa la posición final de la tabla o salen del núcleo: en concreto se trata de las comarcas de Sobrarbe, Albarracín y Matarraña. Tres de los resultados obtenidos merecen especial atención puesto que corroboran que los factores detectados como relevantes han influido en la inversión realizada en determinadas zonas:

En primer lugar, los resultados que ha obtenido el área metropolitana de Zaragoza, nos permiten afirmar que la situación estratégica de la ciudad le permite superar su mala valoración en precio de venta o equipamientos. Siempre aparece en el núcleo y en la posición 7ª de la clasificación según el ELECTRE III. La reflexión que se puede obtener de esto es que algunas empresas si que han podido modificar su ubicación atraídos por precios del suelo más bajos o mejores equipamientos.

En segundo lugar, hay que destacar la posición que han obtenido las comarcas de la provincia de Teruel. En el núcleo más flexible, obtenido tras la utilización del método ELECTRE I, no aparece ninguna de ellas, mientras que en los resultados proporcionados por la versión ELECTRE III, la primera que aparece lo hace en la undécima posición y seis de las ocho comarcas que hay en la provincia aparecen entre las doce últimas posiciones. La falta de infraestructuras de transporte en estas comarcas no es la única explicación para esta situación, ya que la comarca mejor valorada (Cinca Medio) no tiene ningún kilómetro de autovía o de autopista en su territorio. La diferencia viene por factores tales como la diferencia en la categoría de la población, en la dotación de los servicios públicos y, especialmente, en la dotación de infraestructuras de los polígonos.

Para concluir, la significativa variación de la comarca de Belchite podría explicarse por la valoración que tiene esta alternativa respecto a los criterios y al juego de los pesos, ya que en cinco de los factores considerados es la peor alternativa, pero el peso de estos criterios es más bajo, mientras que aparece bien valorada en criterios cuyo peso es elevado (precio del suelo, localización y equipamientos). Este hecho resulta importante en el método I, pero no tanto en el III. Hay que recordar que, en el método I, en el momento en que la valoración de

una alternativa respecto a un criterio es mayor que la de otra alternativa, aquélla supera a ésta, aunque la diferencia en la valoración sea muy pequeña. Por el contrario, en la versión III se deja un margen en esa superación para afirmar con rotundidad que una alternativa supera a otra. Ese margen lo determinan precisamente los umbrales de preferencia e indiferencia.

### **Agradecimiento**

Los autores agradecen a Eduardo Barranco su ayuda en la fase de recogida de información.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Almeida, A. (2005) “Multicriteria Modelling of Repair Contract Based on Utility an ELECTRE I Method with Dependability and Service Quality Criteria”, *Annals of Operations Research*, Vol.138: 113–126.
- Arauzo, J.M. (2005) “Determinants of industrial locations: an application for catalan municipalities”. *Papers in Regional Science*, Vol.84,1: 1–144.
- Aydalot, P. (1985) *Economie Regional et Urbaine*. Economica, Paris.
- Barba-Romero, S.; Pomerol, J.C. (1997): *Decisiones multicriterio: fundamentos teóricos y utilización práctica*. Servicio de publicaciones de la Universidad de Alcalá, Madrid.
- Baaij, M.; Van den Bosch, F.; Volberda, H. (2004) “The international relocation of corporate centres: are corporate centres sticky?”. *European Management Journal*, Vol.22, n°2: 141–149.
- Barrios, S.; Strobl, E.; Görg, H. (2006) “Multinational’s location choice, agglomeration economies and public incentives”. *International Regional Science Review*, 29,1: 81–107.
- Crozet, M.; Mayer, T.; Mucchielli, J.L. (2003) “How do firms agglomerate? A study of FDI in France”. *Regional Science & Urban Economics*, Vol.34: 27–54.
- Cuadrado, J.R.; Aureoles, J. (1989) “La localización industrial en España”, *Estudios de la Fundación Fondo para la Investigación Económica y Social*, Madrid.
- Diop, O. (1988) “Contribution à l’étude de la gestion des déchets solides de Dakar: Analyse systématique et aide à la décision”, These de doctorat n° 757, DGE-EPFL, Lausanne.
- Fryxell, G.; Butler, J.; Choi, A. (2004) “Successful localization programs in China: an important element in strategy implementation”. *Journal of World Business*, Vol.39: 268–282.
- Guimaraes, P.; Figueiredo, O.; Woodward, D. (2000) “Agglomeration and Location of Foreign Direct Investment in Portugal”. *Journal of Urban Economics*, Vol.47:115–135.
- Heizer, J.; Render, B. (2001) *Dirección de la producción. Decisiones estratégicas*, Pearson Education, Madrid, 6ª edición.
- Hekman, J.S. (1992) “What are businesses looking for?” *Federal Reserve Bank of Atlanta Economic Review*, Vol.67(June): 6–19.
- Hoover, E.M. (1948) *The Location of Economic Activity*. McGraw-Hill, New York.

- Lösch, A. (1940) *Die Räumliche Ordnung der Wirtschaft* (traducción al inglés: “The Economics of Location” por Woglom, W. en 1954, Yale University Press, New Haven; traducción al español: “Teoría Económica Espacial”, en 1957, Ateneo, Buenos Aires).
- Lu, C.S. (2003) “Market segment evaluation and international distribution centers”. *Transportation Research Part E*, Vol.39: 49–60.
- Maystre, L.Y.; Pictet, J.; Simons, J. (1994) “Méthodes Multicritères ELECTRE”, *Collection Gérer l'Environnement*, Presses Polytechniques et Universitaires. Romandes, Lausanne.
- Morais, D.; Almeida, A. (2006) “Water supply system decision making using multicriteria analysis” *Water SA*, Vol.32: 229–236.
- Nowak, M. (2005) “INSDECM-an interactive procedure for stochastic multicriteria decision problems”, *European Journal of Operational Research* Vol.175: 1413–1430.
- Oum, T.; Park J. (2004) “Multinational firms’ location preference for regional distribution centres: focus on the Northeast Asian region”. *Transportation Research Part E*, Vol.40: 101–121.
- Porter, M.E. (1990) *The Competitive Advantage of Nations*. Free Press, New York.
- Palander, T. (1935) “Beiträge zur Standortstheorie”. Uppsala, Almqvist et Wiksells Boktryckeri.
- Ravelo, T.; González, G.; Moreno, M.C.; Sedeño, A. (2002) *La Localización Industrial en Canarias. Una aproximación Multicriterio*, Fundación FYDE-Caja Canarias.
- Rogers, M.; Bruen, M. (1998) “Choosing realistic values of indifference, preference and veto thresholds for use with environmental criteria within ELECTRE”. *European Journal of Operational Research*, Vol.107: 542–551.
- Roy, B. (1968) “Classement et Choix en présence de Points de Vue Multiples, la Méthode ELECTRE”, *R.I.R.O.*, Vol.2, n°8: 57–75.
- Smith, A. (1776) *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. Oxford University Press, Glasgow, 1976 (traducción al español: “La naturaleza y causas de la riqueza de las naciones”, por Collado, J.C; Mira-Perceval, A. Oikos Tau, Barcelona, 1988).
- Stonebraker, P.W.; Leong, G.K. (1994) *Operations strategy: focusing competitive excellence*, Allyn & Bacon, Boston.
- Ulgado, F.M. (1996) “Location characteristics of manufacturing investments in the United States: a comparison of American and foreign-based firms”. *Management International Review*, Vol.36.
- Vasiloglou, V. (2004) “New Tool for Landfill Location”. *Waste Management & Research*, Vol.22, n° 6: 427–439.
- Weber, A. (1909) *Über den Standort der Industrien* (traducción al inglés: “Theory of Location of Industries”, University of Chicago Press, Chicago, 1929).
- Woodward, D. (1992) “Location Determinants of Japanese Manufacturing Start-Up in the United States”, *Southern Economic Journal*, Vol.58: 690–708.