
Un método para la resolución de los estudios de impacto ambiental en la industria del cemento

.....

JOSÉ MANUEL CABELLO GONZÁLEZ

ANALÍA MABEL CANO CAPURRO

Departamento de Economía Aplicada

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad de Málaga

La propia naturaleza de la gestión de los recursos naturales y la conservación del medio ambiente, demuestra un permanente conflicto entre criterios de tipo económico, cuyo mejor representante es la

139

es la eficiencia económica, y los criterios de conservación del medio ambiente. Este conflicto se ve agravado por la dificultad que plantea la expresión monetaria de los objetivos medioambientales, lo que hace que además de ser objetivos en conflicto, vengán expresados en medidas que no son fácilmente comparables. Esta naturaleza conflictiva la representa Nijkamp (1980).

Todo ello convierte las técnicas multicriterio en las más adecuadas para el tratamiento de modelos que incorporen

la gestión de recursos naturales y la conservación del medio ambiente. Esta adecuación ha hecho que dichas técnicas se estén utilizando de forma creciente en el análisis y gestión del medio ambiente. Destacan entre las aplicaciones realizadas, las que se refieren a la utilización de las aguas, relativas a la planificación de las cuencas fluviales, gestión de los embalses y calidad de las aguas. En el trabajo de Cohon (1988) se puede consultar para conocer las aplicaciones de los recursos naturales, en general, y los recursos de aguas, en particular.

En cuanto a la gestión de los recursos naturales, las aplicaciones que destacan Davis y Liu (1991) y Romero (1993), se han dirigido a los recursos del mundo vegetal entre ellos los forestales, como representantes más estudiados y a los recursos del mundo animal, entre los que destacan los pesqueros, Lane (1989). Asimismo, estas técnicas han sido utilizadas en el campo de la gestión de los recursos energéticos, destacando el petróleo como recurso agotable típico. En cuanto a los métodos discretos (ELECTRE III), han sido utilizados para la elección del sistema de

gestión de los residuos sólidos, Hokkanen (1993).

Nuestro objetivo, en esta línea, se ha dirigido a intentar ofrecer a los agentes decisores, en este caso, la Administración, un método que facilite la toma de decisiones sobre la conveniencia o no, de llevar cabo un determinado proyecto, teniendo en cuenta el impacto ambiental de dicho proyecto. Para ello utilizamos las técnicas de decisión multiatributo, y más concretamente, el método PROMETHEE, que como veremos, generalizando a partir de una aplicación en el sector del cemento, nos ofrece un procedimiento de comparación de alternativas. Esto se realizará considerando de forma explícita, las preferencias de los agentes económicos y sociales implicados, directa o indirectamente, en dicho proyecto.

Se trataría de decidir si se realiza o no, la ampliación de la fábrica, instalando una línea de cemento blanco, lo que incluiría la línea de alimentación de crudo de molino, el propio molino de crudo, silo y alimentación al horno y horno de clínker, silos de clínker, molino de cemento y silos de cemento.

El primer apartado de este trabajo lo dedicamos al tratamiento de la información, utilizada para efectuar esta aplicación. Dicha información es el estudio del impacto ambiental de un proyecto llevado a cabo por una empresa del sector, como parte de la información requerida por la Administración para la aprobación de la realización del proyecto. Esta información se recoge en una matriz que encierra las alternativas posibles y los valores de los objetivos de cada alternativa según cada uno de los criterios, la matriz de pagos.

En el segundo apartado, a partir de dicha matriz, se procede a la aplicación del método, mediante la asignación de pesos a los distintos criterios, obteniendo los resultados correspondientes y analizando la sensibilidad de los mismos a cambios en pesos y criterios.

Finalizamos el trabajo con un apartado dedicado a las conclusiones en función de los resultados obtenidos.



Obtención de la matriz de pagos

La determinación de esta matriz pasa por la identificación de las alternativas y criterios de decisión. Por lo que respecta a las alternativas serían ampliar o no ampliar la fábrica de cemento citada.

En cuanto a los criterios, se analizan previamente, los potenciales impactos y emisiones de contaminantes al medio de este tipo de empresas.

Impactos y criterios de la ampliación

Basado en los impactos potenciales que ocasionaría la ampliación de la fábrica, pasamos a concretar aquéllos que utilizaremos como criterios de decisión específicos de nuestro proyecto, procediendo a definir con más detalle los contenidos y características que los definen.

Impactos sobre la vegetación. El montaje de las nuevas estructuras durante la fase de construcción va a suponer la eliminación previa de la cobertura vegetal que actualmente soporta el suelo. Existen otros impactos indirectos, principalmente debidos a la presencia de partículas en suspensión, que serán tenidos en

cuenta en los impactos sobre la calidad del aire.

Impactos sobre la geología. Que serán los derivados del aumento del consumo de materias primas como consecuencia del aumento de la producción.

Impacto sobre el agua. Las acciones que afecten al agua se realizarán durante la fase de funcionamiento y son:

- ✓ Afección de las aguas superficiales por el vertido de la fábrica.
- ✓ Modificaciones del drenaje superficial en la superficie afectada por las ampliaciones.
- ✓ Incremento en el consumo de aguas subterráneas.
- ✓ Contaminación de las aguas subterráneas a consecuencia de un hipotético derrame de combustible.

Impacto sobre los usos del suelo. Hace referencia al cambio de utilización que va a experimentar la superficie ocupada por las ampliaciones, que de uso agrícola, pasará a tener un uso industrial, considerado durante la fase de funcionamiento.

Impacto sobre el paisaje. El incremento correspondiente a las edificaciones de la ampliación, origina un impacto sobre el paisaje, en gran medida atenuado por la presencia en la actualidad de la fábrica.

Impacto sobre el tráfico. El impacto es consecuencia de dos acciones separadas en el tiempo, el transporte del material a instalar y el transporte que será necesario para el traslado habitual del producto, teniendo lugar, por tanto, durante ambas fases del proyecto.

Impacto sobre la calidad del aire. Que procederá fundamentalmente del aumento en la capacidad de fabricación de cemento.

Impacto sobre las condiciones del ruido. Además de aumentar en la fase de construcción, se incrementará en la fase de funcionamiento a causa de la nueva maquinaria.

Impacto sobre el empleo. Tanto en la fase de construcción como en la de funcionamiento se crearán nuevos puestos de trabajo.

Impacto en el nivel de beneficios. Que aumentarán considerablemente, lo que al margen de lo positivo que para la empresa en sí es este dato, la colectividad cercana a la fábrica se beneficiará de ello.

Valoración de los impactos

Con la finalidad de cuantificar la matriz de pagos, es necesario proceder a valorar cada una de las alternativas en los diferentes criterios planteados. Dado que las alternativas consideradas en nuestro caso, son SI o NO a la ampliación, sólo tendrá sentido proceder a valorar los criterios en relación a la posible ampliación.

La valoración de los impactos se realizará comparando las capacidades máximas de fabricación, antes y después de la ampliación, independientemente de que, posteriormente, ésta se utilice al 100 por 100 o no.

La naturaleza de las variables o criterios analizados exige que la valoración de los mismos, pase previamente por la consideración de una serie de aspectos cualitativos que nos permitan aproximarnos a su valor real.

Una vez efectuada esta primera valoración cualitativa y dado que necesitamos que la matriz de pagos recoja los valores cuantitativos para cada criterio, hemos asignado una escala de valores del 1 al 5, a cada criterio, haciendo corresponder el valor 1 al extremo inferior, el valor 5 al extremo superior, y los distintos valores intermedios para medir los diferentes grados entre los dos extremos.

Los aspectos cualitativos considerados, a los que también podemos llamar subcriterios, son los siguientes:

Extensión: que tendrá en cuenta la superficie espacial afectada por un determinado impacto y que vamos a clasificar como:



✓ **Puntual:** Cuando su efecto se deja sentir solamente en una zona circunscrita al emplazamiento.

✓ **Parcial:** cuando su efecto va más allá del emplazamiento, pero su extensión continúa siendo pequeña.

✓ **Extensa:** en los casos en que su efecto se extiende más allá del propio emplazamiento, abarcando un área importante.

Intensidad indica el grado de afección que una acción ejerce sobre uno o varios componentes del medio, y la clasificamos en:

✓ **Baja:** cuando el cambio en el recurso afectado es imperceptible o muy pequeño, no alterando su calidad actual.

✓ **Media:** cuando hay cambios significativos en la calidad actual del componente afectado, sin que ello suponga un deterioro evidente de la misma.

✓ **Alta:** cuando se produce un deterioro claro en la calidad de un determinado componente o calidad del medio, pudiendo llegar a sobrepasar los niveles de calidad comúnmente aceptados por la legislación vigente al respecto.

Probabilidad de que se produzca: contempla la posibilidad de que tenga lugar un impacto, y en caso afirmativo, intentar valorar si es alta o baja.

✓ **Baja:** aplicable a todos aquellos impactos que se prevean prácticamente imposibles.

✓ **Media:** existe una incertidumbre considerable en cuanto a que se produzca el impacto.

✓ **Alta:** es práctica o totalmente seguro que tenga lugar el impacto.

En este caso, la valoración será de 0, 1/2 y 1, pero su repercusión en la valoración total del impacto será el resultado de multiplicar la suma total del resto de los criterios por su valoración, debido a que nos referimos a la probabilidad de que se produzca el impacto.

Importancia del recurso afectado: que tiene en cuenta la importancia y calidad actual que el recurso afectado posee. Así, lo clasificaremos en las siguientes posibilidades: Muy baja, Baja, Media, Alta y Muy alta.

En el cuadro 1, aplicamos a estas escalas cualitativas, sus correspondientes cuantificaciones, para establecer la matriz de pagos, que sería, concretamente, la compuesta por las dos últimas columnas de este cuadro.

En la quinta columna se plantea la valoración total asignada a cada criterio, la cual se ha obtenido sumando los valores asignados a las tres primeras

características y multiplicando ese sumando por la probabilidad correspondiente, que se recoge en la cuarta columna.

La otra alternativa a considerar es la no ampliación de la fábrica. Esta alternativa es bastante más fácil de valorar para ser comparada con la anterior; así, el valor de cada uno de los criterios sería cero, dado que en el caso de que no se ampliara la fábrica, no se vería afectada la situación actual, y por tanto, no existirían impactos, ni de naturaleza ambiental ni socioeconómicos.

•••••

RESULTADO DE LA APLICACIÓN

Una vez establecidos los aspectos técnicos del problema, donde las preferencias del decisor aún no han tenido cabida, ya que hasta ahora sólo se pone de manifiesto la realidad de cada una de las alternativas, es el momento de tomar en consideración las preferencias del decisor, para llegar a la solución más satisfactoria para el mismo. Asimismo, es importante recordar que la solución a determinar no es la óptima, ya que en decisiones multicriterio, este concepto deja de tener sentido, excepto cuando estemos ante problemas multicriterio con criterios que no sean competitivos entre sí.

142

Las formas de expresar las preferencias del decisor en el método PROMETHEE, que es el que vamos a utilizar, son los siguientes:

- Asignación de pesos a cada uno de los criterios, de forma que se considere la importancia que tiene cada objetivo o criterio, con respecto a los demás.
- Determinación del tipo de criterio generalizado que para cada criterio vamos a utilizar. Esta decisión, por parte del decisor, también es una forma de poner de manifiesto las preferencias.
- Por último, el establecimiento de los umbrales necesarios para construir los criterios generalizados elegidos, que serán:

	Intensidad	Extensión	Importancia	Probabilidad	Total	No
Vegetación	5	1	1	1	7	0
Geología	1	3	3	1/2	3,5	0
Aguas	1	3	4	1/2	4	0
Suelo	5	1	1	1	7	0
Paisaje	1	5	4	1	10	0
Tráfico	3	3	5	1	11	0
Aire	3	3	5	1/2	5,5	0
Ruido	3	3	5	1	11	0
Empleo	3	1	5	1/2	4,5	0
Beneficios	5	1	5	1	11	0

✓ Umbral de indiferencia, *q*, por debajo del cual al decisor le es indiferente una alternativa a la otra.

✓ Umbral de preferencia estricta, *p*, por encima del cual, la preferencia de una alternativa sobre la otra, para el criterio en consideración, es estricta.

A continuación, y bajo el encabezamiento de asignación de pesos, incluiremos cada una de estas fases en nuestra aplicación.

Asignación de pesos

La asignación de pesos o índices de importancia relativa de los criterios utilizados, no es normalmente una tarea fácil para el decisor; así, el concepto puede no estar claro, puede ser difícil asignar un valor numérico a cada criterio, como señala Vincke (1989).

en nuestro caso, el decisor en este proyecto es la Administración, y nosotros los técnicos que ayudamos en la decisión. Pero para valorar los pesos de cada criterio, elemento clave en el desarrollo del método, se realiza una encuesta a las personas que representan las partes implicadas en el proyecto de ampliación.

Para establecer los pesos de cada criterio, consideramos la necesidad de tener en cuenta los distintos sectores de la comunidad, para lo cual, optamos por entrevistar a nueve personas que se han considerado representantes de cada uno de los sectores afectados por la ampliación de la fábrica. Estas personas fueron un directivo de la empresa, responsable del medio ambiente, dos trabajadores de

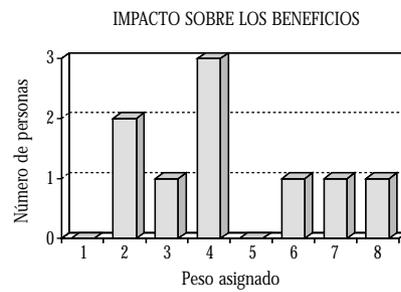
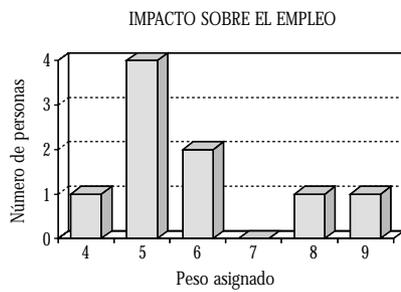
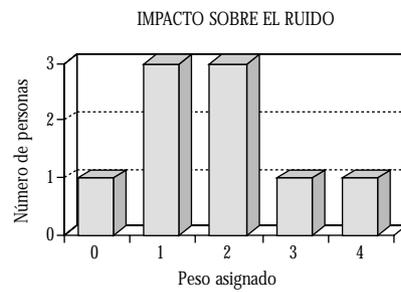
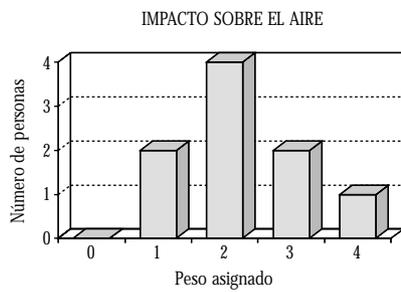
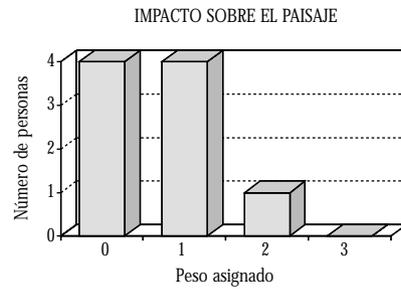
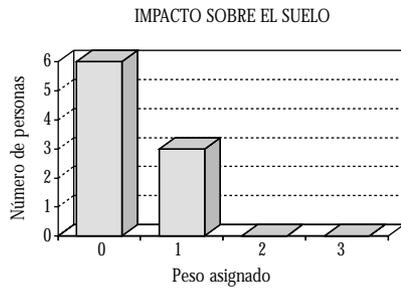
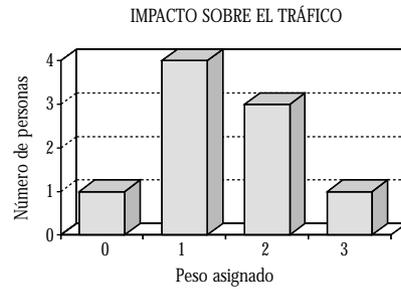
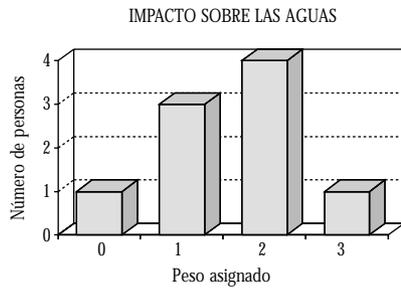
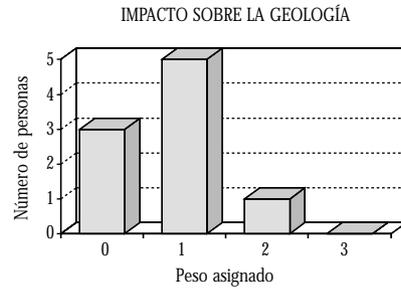
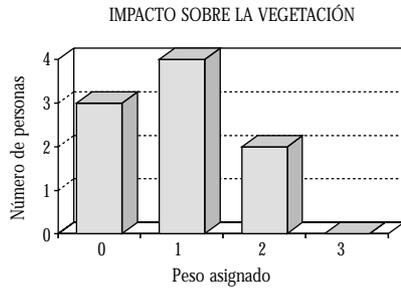
la empresa, dos amas de casa de la comunidad, tres comerciantes y el presidente de la asociación de vecinos.

El resultado de la encuesta fue el representado en la Gráfica 1, en la que se recoge, para cada criterio, las ponderaciones que cada uno de los individuos entrevistados ha otorgado, así como el peso asignado a cada criterio de decisión.

La pregunta que se le realizó a cada uno de ellos, tras la explicación de lo que se pretendía, fue: ¿Como repartiría 20 puntos entre los siguientes objetivos a conseguir, de forma que los puntos representen la importancia relativa, que para usted, tienen cada uno de los objetivos?

Los pesos que se han tenido en cuenta en el proceso de decisión y que en los gráficos representan las encuestas sobre los criterios y son el resultado de obtener la media aritmética de todas las contestaciones recibidas. En un principio, nos planteamos el exceptuar las dos observaciones extremas, para intentar no distorsionar la media aritmética por contestaciones extemporáneas. Pero, tras conocer el resultado de la encuesta, y ante la evidencia de que la media calculada sin los valores extremos, no difería mucho de la media normal, tomando en consideración todas las respuestas, nos decidimos por el cálculo normal de la media aritmética. En el cuadro 2, en su última columna, para mejor comprensión de cada una de las ponderaciones o pesos, estos se han expresado en forma de porcentaje. Así, por ejemplo, la vegetación, que tiene un peso asignado

GRÁFICA 1
RESULTADO DE LA ENCUESTA



nado de 0,89, su porcentaje equivalente es de 4,45 por 100.

Por otro lado, la asignación del tipo de criterio generalizado y sus umbrales correspondientes ha sido realizada por nosotros, dada la complejidad para hacerlo al nivel de encuestas. Hemos escogido el tipo III, de preferencia lineal o en forma de V, dado que consideramos preferible que no exista área de indiferencia, y que sin embargo, si se gradúe la preferencia. También hemos considerado oportuno utilizar el mismo tipo para todos los criterios, ya que estos han sido homogeneizados tras su valoración cualitativa y posterior asignación cuantitativa.

Como resultado de estas asignaciones, la matriz de pagos, con las correspondientes aportaciones del decisor, quedaría de la forma expresada en el cuadro 2.

Resultados

Es ahora el momento de aplicar los métodos PROMETHEE mediante el software desarrollado por Brans y Mareschal(1989), cuyos resultados se recogen en la Gráfica 2, donde se ofrecen los flujos positivos y negativos de cada una de las alternativas.

Los resultados de los índices de preferencia son:

$$\begin{matrix} \text{SI} & \phi^+ = 0,411 & \phi^- = 0,389 \\ \text{NO} & \phi^+ = 0,389 & \phi^- = 0,411 \end{matrix}$$

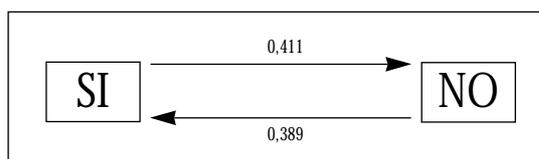
lo que quiere decir que la alternativa SI supera a las demás con un flujo positivo de 0,411, mientras que es superada en 0,389 por las demás alternativas. Al ser dos alternativas, estas cifras coinciden para la alternativa NO, pero a la inversa.

A partir de la información que se detrae del cuadro 2, y utilizando el método PROMETHEE I, se deduce que la alternativa SI, es preferida a la NO, tanto teniendo en cuenta los flujos negativos, como los positivos, lo que evidentemente provoca que en el orden total del PROMETHEE II, la alternativa SI supere a la NO en 0,022, que es el resultado de sumar para cada alternativa los flujos positivos y negativos.

CUADRO 2
ESTADO FINAL DE LA MATRIZ DE PAGOS

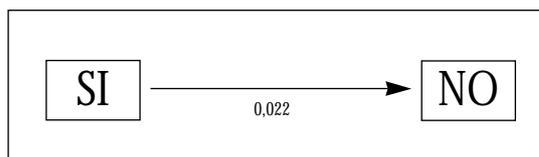
	Sí	No	Tipo	Umbral	Pesos	W (%)
Vegetación.....	7	0	III	7	0,89	4,45
Geología	3,5	0	III	7	0,78	3,90
Aguas	4	0	III	7	1,56	7,80
Suelo.....	7	0	III	7	0,33	1,65
Paisaje	10	0	III	7	0,67	3,35
Tráfico.....	11	0	III	7	1,44	7,20
Aire	5,5	0	III	7	2,22	11,10
Ruido	11	0	III	7	1,78	8,90
Empleo	4,5	0	III	7	5,89	29,45
Beneficios	11	0	III	7	4,44	22,20

GRÁFICA 2
FLUJOS POSITIVOS Y NEGATIVOS DE LS ALTERNATIVAS



PROMETHEE I

GRÁFICA 3
DIFERENCIAS ENTRE FLUJOS POSITIVOS Y NEGATIVOS



PROMETHEE II

En el grafo, muy simple debido al número de alternativas, representado en la Gráfica 3 se observa como para el PROMETHEE II, la alternativa SI supera a la alternativa NO, y lo hace por 22 milésimas.

Esta mínima diferencia entre los flujos positivos y negativos, nos indica lo sensible que es la decisión final de la elección de pesos que el decisor realice. Esto, lógicamente, nos hace plantearnos un análisis de sensibilidad de los mismos, que nos exprese hasta que punto dicha elección ha sido determinante en la decisión final de la alternativa. Asimismo, al ser la elección del tipo de criterio una decisión tomada por nosotros, tras el análisis de sensibilidad de los pesos, realizaremos un

análisis de sensibilidad exhaustivo del tipo elegido.

Análisis de sensibilidad de pesos

Para una mejor comprensión de la decisión tomada, y el conocimiento de hasta que punto han influido los pesos en la decisión, realizamos un estudio, para cada criterio, del intervalo de pesos, en el cual, la solución del problema sigue siendo la misma, es decir, calculamos los Intervalos de Estabilidad de Pesos, definidos por Mareschal (1988), que consisten en un conjunto de valores que puede tomar el peso de un criterio, sin alterar los resultados proporcionados por el conjunto inicial

de pesos, considerando que el peso de los demás criterios permanece constante.

Mareschal propone estudiar los pesos asignados, presentando tres tipos de estabilidad:

Completa: que se define como ausencia de cualquier modificación en la totalidad de la estructura de preferencia, indiferencia e incomparabilidad.

Parcial: que se da en el caso de que el decisor sólo se interese por un número reducido de alternativas y el orden de las mismas, sin preocuparle lo que ocurra con el resto de las alternativas. Surge así la noción de estabilidad relevante, que sería la que se refiere a una parte de la estructura.

Estabilidad de subconjunto: que se daría en el caso de que el decisor no tenga ningún tipo de interés en las peores alternativas, eliminándolas del estudio.

En nuestro caso, obviamente, sólo tiene cabida el estudio de la estabilidad completa, dado que sólo tenemos dos alternativas posibles. Así, en el cuadro 3, se pueden observar los intervalos para cada criterio, expresados en los pesos originales y en forma de porcentaje.

Como análisis de los resultados en cuanto al estudio de los pesos asignados por el decisor, podemos observar que:

✓ Lógicamente, para los criterios ambientales, que juegan a favor de la alternativa NO, el extremo inferior de los intervalos es de 0 por 100, dado que una ponderación menor de ellos no haría cambiar la solución elegida.

✓ Los criterios ambientales tienen un intervalo muy similar, y prácticamente todos tendrían que incrementar su importancia, como mínimo, en 2 puntos porcentuales, lo que en algunos significaría duplicar la importancia del criterio, para que la solución elegida fuese la alternativa NO AMPLIAR.

✓ De los criterios socioeconómicos, habría que destacar, obviamente, lo contrario de los anteriores. El extremo del

Criterio	Peso	Intervalo	Peso (%)	Intervalo
Vegetación.....	0,89	(0, 1,35)	4,45	(0, 6,58)
Geología.....	0,78	(0, 1,84)	3,90	(0, 8,74)
Aguas.....	1,56	(0, 2,36)	7,80	(0, 11,33)
Suelo.....	0,33	(0, 0,79)	1,65	(0, 3,84)
Paisaje.....	0,67	(0, 1,13)	3,35	(0, 5,50)
Tráfico.....	1,44	(0, 2,02)	7,20	(0, 9,81)
Aire.....	2,22	(0, 2,80)	11,10	(0, 13,60)
Ruido.....	1,78	(0, 2,24)	8,90	(0, 10,93)
Empleo.....	5,89	(5,18, ∞)	29,45	(26,68, 100)
Beneficios.....	4,44	(3,98, ∞)	22,20	(20,39, 100)

intervalo que no tiene límite, llegando al 100 por 100, es el superior, dado que una valoración mayor de dichos criterios no darían lugar a un cambio de la solución elegida, ya que estos criterios juegan a favor del SI.

✓ El empleo, cuyo peso es del 29,45 por 100, tiene un intervalo del 26,68 por 100 al 100 por 100. Esto significa que una ponderación menor en tres puntos (aproximadamente una décima parte del total) significaría un cambio de alternativa.

✓ Los beneficios, cuyo peso es del 22,2 por 100, tienen un intervalo aún más estrecho, ya que el intervalo en el que no cambiaría la decisión se sitúa entre el 20,39 por 100 y el 100 por 100. Una valoración por debajo del 20,39 por 100 haría cambiar la solución.

El cálculo numérico de cada uno de los flujos se puede realizar, sumando de forma ponderada, (teniendo en cuenta los pesos), el valor de la función de preferencia, resultado de los criterios generalizados utilizados. Así por ejemplo para $\phi^+ = 0,411$, podemos calcular su valor de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Empleo } p = 0,643 \quad w_9 = 29,45 \text{ por } 100 \quad 0,1893 \\ \text{Beneficios } p = 1 \quad w_{10} = 22,20 \text{ por } 100 \quad 0,2220 \end{aligned}$$

para los demás criterios, los ambientales, la alternativa SI no supera a la NO y, por tanto, sumaría cero para cada uno de ellos. Así, el flujo positivo sería:

$$\phi^+ = 0,1893 + 0,2220 = 0,4113$$

Como vemos los métodos PROMETHEE de decisión multicriterio, no determi-

nan por ellos mismos, no podía ser de otra manera, la alternativa a elegir. Necesitan, imprescindiblemente, el conocimiento de las preferencias del decisor, expresadas de una u otra manera, para decidir la alternativa que más se acerca a lo que el decisor prefiere. Por tanto, la decisión tomada depende en gran medida de estas preferencias, como hemos visto en nuestra aplicación.

Así, la importancia relativa que el decisor le otorga a cada uno de los criterios, lo que hemos llamado pesos y hemos representado por w_p , es decisivo en la elección. Los intervalos de pesos que nos proporciona el análisis de sensibilidad de pesos, nos demuestran esta afirmación, ya que, estudiamos cuánto debe variar el peso de un criterio para que cambie la solución elegida. Evidentemente, el decisor, si personalmente quiere influir en la decisión, puede hacerlo aún apoyándose en estos métodos de decisión.

Dada la importancia de la asignación de pesos, ésta se ha realizado mediante encuestas entre las personas afectadas por la ampliación, por lo que el proceso subjetivo de la asignación de pesos lo hacemos recaer sobre los decisores. En este caso, la Administración, como decisor final de nuestro problema asume que su decisión debe estar basada en la opinión que del problema tengan sus administrados.

Análisis de sensibilidad del criterio generalizado

Al igual que se suele realizar con los pesos asignados, conviene efectuar una

operación similar con el tipo de criterio generalizado utilizado en cada criterio. En nuestro caso, dado que hemos utilizado un sólo tipo para todos los criterios, el análisis de sensibilidad de los mismos se facilita sensiblemente. Al mismo tiempo, se puede efectuar este estudio con los umbrales utilizados, lo que complica el análisis.

Lo que vamos a hacer es modificar los tipos de criterio generalizado, manteniendo constantes los umbrales. De esta forma, y dado que cada tipo requiere unos umbrales determinados, fijaremos los tres umbrales requeridos por ellos en los valores siguientes:

$$p = 7 \quad q = 3 \quad \sigma = 5$$

En el cuadro 4 se recogen los resultados que el PROMETHEE asigna al problema de decisión dependiendo del tipo de criterio generalizado que se haya escogido, entendiéndose que el criterio generalizado en cuestión se aplica a todos los criterios.

La asignación de los tipos de criterios generalizados es una etapa importante, puesto que de su correcta formulación depende el desarrollo del método, la obtención de un ordenamiento de las preferencias y la solución final elegida.

En este caso, como podemos observar en el cuadro 4, ningún tipo de criterio generalizado, para los parámetros o umbrales fijados, elegiría como alternativa a tomar NO AMPLIAR. Por tanto, vemos que la elección del tipo no es tan determinante como pueda ser la elección de los pesos. Si hay que insistir, por otro lado, en que estos resultados serían para unos umbrales determinados, y que si estos cambian la solución también podría cambiar. Por esto, realizamos a continuación el análisis de los umbrales, comparando los utilizados, con un rango de valores razonable, observando que los resultados son similares en cada criterio. Esta información no se ha recogido en el trabajo por no excedernos en la presentación de datos.

Para terminar de analizar la influencia de los pesos y los tipos de criterios elegidos, nos disponemos a realizar un

CUADRO 4
ASIGNACIÓN DE TIPOS
DE CRITERIO GENERALIZADO

Sí → No	ϕ^+	ϕ^-	ϕ
Tipo I.....	0,517	0,483	0,033
Tipo II.....	0,517	0,444	0,072
Tipo III.....	0,411	0,389	0,022
Tipo IV.....	0,369	0,283	0,086
Tipo V.....	0,332	0,317	0,015
Tipo VI.....	0,300	0,259	0,041

estudio conjunto de ambas variables. En el cuadro 5, se plantean los pesos máximos o mínimos, según el caso, que se les puede asignar a cada uno de los criterios, para que la solución no se vea modificada, para cada uno de los tipos de criterios generalizados posibles.

Los pesos se expresan en forma de porcentaje, para su mejor comprensión.

Para los ocho primeros criterios, los medioambientales, los pesos expresados en el cuadro 5, son los máximos pesos asignables a cada criterio, para no modificar la alternativa elegida. Para los dos criterios socioeconómicos, el noveno y el décimo, se expresan los pesos mínimos.

● ● ● ● ● ● ● ● ● ●

Conclusiones

Conviene resaltar, por un lado, la amplitud de información que se puede extraer del propio método, que excede de la mera decisión o elección de una alternativa, para revelar tanto los intervalos de variación posibles de los pesos, umbrales y tipos de criterios generalizados en

los que se mantiene la solución, como el análisis de la sensibilidad de los pesos para cada alternativa, que nos permitirá conocer la influencia de aquéllos en la elección de la alternativa.

Por otro lado, y como apuntábamos al comienzo, la aplicación de los métodos PROMETHEE en el análisis de los impactos ambientales, tal como se ha realizado en nuestro trabajo, puede determinar una metodología eficaz para la resolución de dichos estudios y la correspondiente selección de los proyectos.

Dos características, una de los estudios de impacto ambiental y otra de los métodos PROMETHEE, hacen que sea interesante establecer una metodología concreta para la resolución de los estudios. Éstas son:

- ✓ El carácter de trámite administrativo de los actuales estudios de impacto ambiental, debido, entre otras cosas, a la no concreción de los mismos en un valor específico que permita comparar con otras alternativas.
- ✓ La capacidad de los métodos PROMETHEE de generar un valor concreto, los índices de preferencia, con los que poder comparar.

Como detectábamos en el análisis de sensibilidad, tanto de los pesos, como de los tipos de criterios generalizados y umbrales, la resolución del problema va a depender de los valores elegidos para los umbrales o parámetros, sobre todo en los casos en que las distintas alternativas sean muy parecidas, en cuanto a su valoración. Esto implica que el decisor, si es su voluntad, cuente con la posibili-

CUADRO 5
PESOS MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE CRITERIOS AMBIENTALES

Criterio	I	II	III	IV	V	VI	w _i (%)
Vegetación.....	7,50	10,87	6,58	18,44	5,87	10,38	4,45
Geología.....	6,97	100	8,74	100	100	23,17	3,90
Aguas.....	10,75	13,99	11,33	21,30	13,04	19,89	7,80
Suelo.....	4,79	8,26	3,84	16,05	3,11	7,75	1,65
Paisaje.....	6,44	9,84	5,50	10,98	4,78	7,76	3,35
Tráfico.....	10,16	13,43	9,81	20,79	9,38	14,94	7,20
Aire.....	13,94	17,07	13,6	24,11	13,19	18,52	11,10
Ruido.....	11,81	15,02	10,93	16,09	10,25	12,85	8,90
Empleo.....	27,04	23,98	26,86	14,85	26,5	19,46	29,45
Beneficios.....	19,54	16,16	20,39	14,90	21,01	18,50	22,20

dad de apoyarse en el método PROMETHEE, para, escogiendo adecuadamente los umbrales o parámetros a establecer, justificar de una manera «científica» y «objetiva», la elección de cualquiera de las alternativas que él, previamente y de forma subjetiva, haya elegido.

Una forma de obviar este problema, que permite asimismo generalizar la posible metodología a los proyectos de diversa índole, es fijar de antemano y con carácter genérico, los siguientes puntos: el sistema de establecimiento de los pesos, mediante una encuesta entre los afectados, y los criterios generalizados que se vayan a utilizar.

Los umbrales o parámetros que necesitan los tipos de criterios generalizados utilizados.

Esta última necesidad sería posible gracias a que, en la metodología utilizada, todas las valoraciones van a estar situadas en un intervalo idéntico, ya que serán el resultado de aplicar una escala cuantitativa (siempre la misma) a valoraciones cualitativas. Sólo en el caso de que, por la naturaleza del criterio elegido, éste sea cuantitativo, la solución podría venir dada por el establecimiento de un umbral que en porcentaje sea equivalente al fijado para el resto de los criterios.

Así, y a modo de resumen la metodología a seguir en la valoración de los estudios de impacto ambiental se concreta en las etapas siguientes:

1. Establecer los impactos potenciales del proyecto en cuestión, que serán los criterios de nuestro problema multicriterio.

2. Valorar cualitativamente para cada uno de estos impactos los aspectos siguientes: Extensión, Intensidad, Importancia del recurso y Probabilidad.



3. Convertir estas cualificaciones en valoraciones cuantitativas y agregarlas en una única cantidad por criterio o impacto.

4. La fijación de toda la información que necesitan los métodos PROMETHEE para su funcionamiento:

✓ Los pesos, que se realizarían mediante una encuesta entre los agentes económicos y sociales de la comunidad afectada.

✓ La determinación de los criterios generalizados, que como ya hemos comentado, deberían estar fijados de antemano y de forma genérica.

5. Aplicar los métodos PROMETHEE, para obtener el índice de preferencia neto $\phi = \phi^+ - \phi^-$, que compararíamos con las distintas alternativas. En el caso, como el de nuestro estudio, en el que sólo hay dos alternativas, SI o NO al proyecto en cuestión, la comparación sería con una alternativa valorada para todos sus criterios en cero.



Bibliografía

BRANS, J. P. y MARESCHAL, B. (1989): *The PROMETHEE Methods for MCDM. The Promcalc, Gaia and Bankadviser Software*, Vrije Universiteit Brussel.

CABELLO, J. M. (1995): *Las técnicas de decisión multicriterio en la internalización de los costes medioambientales. Aplicaciones a la industria del cemento*, Tesis Doctoral. Universidad de Málaga.

COHON, J. L.; SCAVONE, G. y SOLANKI, R. (1988): «Multicriterion Optimization in Resources Planning», en *Multicriteria Optimization in Engineering and in the Sciences*; Stadler, W(Ed), Plenum Press, páginas 117-160.

DAVIS, L. S. y LIU, G. (1991): «Integrated Forest Planning Across Multiple Ownerships and Decision Makers», *Forest Sciences*, número 37, páginas 200-226.

HOKKANEN, J. y SALMINEN, P. (1993): «The Choice of a solid Waste Management System by Using the ELECTRE III Decision-hod», *38th Euroworking Group on Multicriteria Aid for Decision*, Ispra.

LANE, D. E. (1989): «Operational Research and Fisheries Management», en *European Journal of Operational Research*, número 44, páginas 229-242.

MARESCHAL, B. (1988): «Weight Stability Intervals in Multicriteria Decision Aid», *European Journal of Operational Research*, número 33, páginas 54-64

NIJKAMP, P. (1980): *Environmental Policy Analysis*, John Wiley & Sons, Chichester.

ROMERO, C. (1993): *Handbook of Critical Issues in Goal Programming*, Pergamon Press, Oxford.

VINCKE, Ph. (1989): *L'Aide Multicritère à la Décision*, Ellipses, Paris.