

APLICACIÓN DE AHP PARA LA DETERMINACIÓN DE MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES EN LA AUTORIZACIÓN AMBIENTAL INTEGRADA

G. Giner

J. Niclós

Centro de Tecnologías Limpias de la Comunidad Valenciana. Paterna (Valencia). España

Abstract

The Directive 96/61/CE applies in the European Union the integrated approach of the contamination, being transposed to the Spanish legal code by the Law 16/2002, of Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). The competent Administration shall carry out an Environmental Assessment of the activity's project, which will take account all the factors affected and/or related to the activity. That Environmental Assessment will be finalized with a resolution, which contains all the determining factors that the activity should comply during its operation. The correct application of the Environmental Assessment on a project of IPPC activity (EA-IPPC) supposes the integration a lot of administrative, legal, and technical concepts. A key factor in the EA-IPPC is the determination of the Emission Limit Values and the implementation of Best Available Techniques (BAT) which make possible to reach them. The intense technologic advance of our society makes that many BAT are available for applying to a unique environmental factor. In order to fix the properly BAT, hence the AHP methodology has been chosen as a multicriteria decision support.

Keywords: AHP, Integrated Pollution Prevention and Control, IPPC, BAT.

Resumen

La Directiva 96/61/CE materializa en la Unión Europea el enfoque integrado de la contaminación, siendo transpuesta al ordenamiento jurídico español por la Ley 16/2002, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación. La Administración competente deberá realizar una Evaluación Ambiental del proyecto de la actividad, la cual tendrá en cuenta todos los factores afectados y/o relacionados de algún modo con la actividad. Dicha Evaluación Ambiental se plasmará en una resolución, que contendrá todos los condicionantes que la actividad deba cumplir para su explotación. La correcta aplicación de la Evaluación Ambiental sobre un proyecto de actividad IPPC (en adelante, EA-IPPC) supone integrar una multitud de conceptos técnicos, jurídicos y administrativos. Un aspecto clave de la EA-IPPC es determinar los Valores Límite de Emisión, y la aplicación de las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) que los posibiliten. El intenso avance tecnológico de nuestra sociedad hace que se dispongan de múltiples MTD para aplicar a un solo aspecto ambiental. Para determinar la MTD apropiada, se propone realizarlo mediante la metodología AHP como soporte para este tipo de decisión multicriterio.

Palabras clave: AHP, prevención y control integrados de la contaminación, IPPC, MTD.

1. Introducción

Según la Ley 16/2002, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (IPPC), el organismo competente en medio ambiente, al final del proceso de concesión de la AAI, deberá emitir una resolución de la misma. La resolución de la AAI es un documento que tiene por objeto recoger el análisis de los efectos y los resultados medioambientales de la actividad que se realiza, incluyendo la descripción de la misma y, específicamente, las instalaciones, las materias primas y auxiliares, los procesos, los productos y el consumo de recursos naturales y energía, así como las emisiones de toda clase y sus repercusiones en el medio considerado en conjunto. También evalúa las repercusiones resultantes de las condiciones de funcionamiento anormales, incidentes y accidentes. Un aspecto clave del enfoque IPPC es el uso de las MTD para lograr la prevención y el control de la contaminación.

El organismo competente deberá realizar una Evaluación Ambiental del proyecto de la actividad IPPC, en adelante EA-IPPC, la cual tendrá en cuenta todos los factores afectados y/o relacionados de algún modo con la actividad, desde la fase de proyecto hasta su ejecución y posterior explotación. Dicha EA-IPPC se plasmará en una resolución, que contendrá todos los condicionantes que la actividad deba cumplir para su explotación.

El procedimiento administrativo habitual de concesión de la AAI, para el caso de una instalación afectada por esta legislación, se resume en el siguiente esquema, circunstancia que se puede extrapolar de forma similar al conjunto de las Comunidades Autónomas.

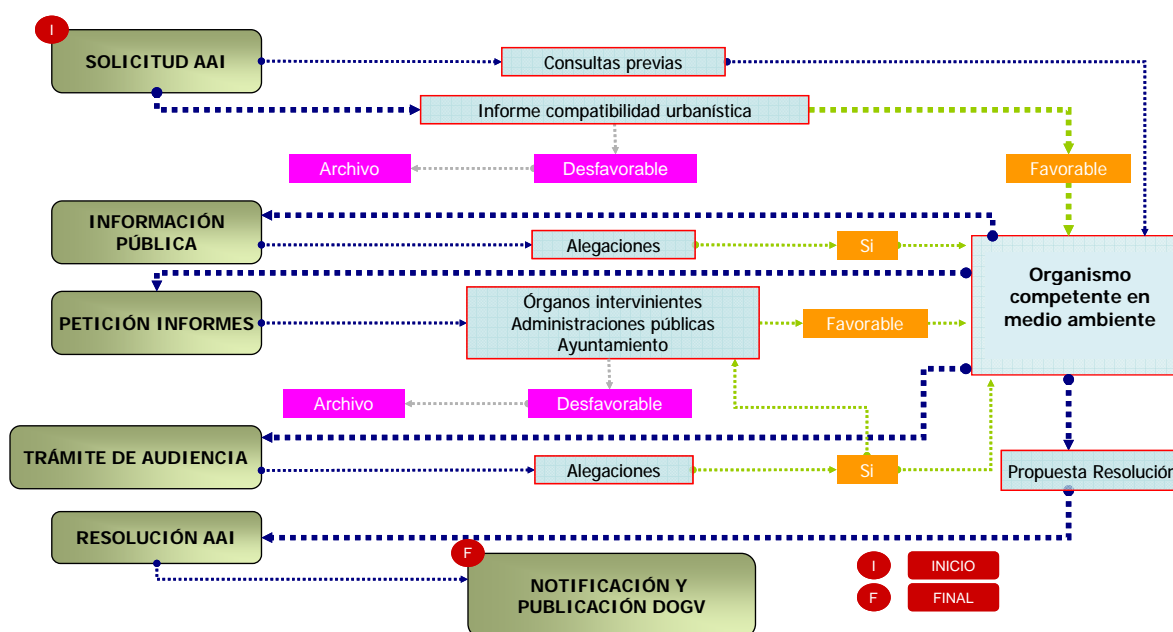


Figura 1. Procedimiento administrativo de la Autorización Ambiental Integrada.

La correcta aplicación de la EA-IPPC supone integrar una multitud de conceptos técnicos, jurídicos y administrativos. Un objetivo fundamental de la EA-IPPC es fijar los valores límites de emisión de la actividad, que dependen del tipo de instalación y de las condiciones geográficas y ambientales locales, y que se lograrán cumplir mediante la implantación de las correspondientes Mejores Técnicas Disponibles (MTD).

La EA-IPPC tiene la misión de plantear y evaluar las alternativas propuestas para poder alcanzar los objetivos generales y específicos definidos durante el proceso de toma de decisiones. Cuando, para un objetivo específico (e.g., cumplir un VLE concreto), la elección

de la mejor alternativa sea muy evidente, no será necesario evaluar las alternativas propuestas. Sin embargo, en muchas ocasiones el equipo evaluador puede encontrarse frente a varias alternativas viables, sobretodo cuando se trate de escoger entre posibles MTD, con lo cual la decisión de elegir la opción más correcta depende de varios criterios (ambientales, socioeconómicos, políticos, etc.).

La implantación de una MTD conlleva una inversión por parte de la empresa, que consiste generalmente en la instalación de un equipamiento o maquinaria concreta. La correcta selección de un equipo es, además, una actividad muy importante para un sistema productivo industrial, por el hecho de que un equipamiento inadecuado puede afectar negativamente al rendimiento global y la productividad del mismo. Los resultados del sistema productivo (es decir, el tipo, calidad y coste) dependen básicamente de la eficacia de los equipos que se instalen (Ayag y Ozdemir, 2006). Además de esto, la selección del equipo tiene un gran efecto sobre la competitividad global de la empresa. El uso del equipo adecuado puede mejorar el proceso de producción, facilitar la utilización eficaz de la mano de obra, aumentar la productividad y mejorar la flexibilidad del sistema. Sin embargo, con la amplia gama de equipos disponibles hoy en día, la determinación de la mejor alternativa para un equipo de producción en una empresa concreta no es una tarea fácil (Chan *et al.*, 2001).

La selección de los nuevos equipos puede convertirse un largo y difícil proceso, ya que requiere conocimientos avanzados y una profunda experiencia. Para una adecuada y eficaz evaluación de las alternativas, la persona que tome la decisión puede llegar a tener una gran cantidad de datos para analizar y muchos factores para considerar (Ayag y Ozdemir, 2006).

La metodología del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) parece, a priori, la más adecuada para comparar distintos tipos de equipamientos. El ACV determina los impactos ambientales asociados al uso de recursos y a los vertidos al medio. Las diversas maneras en cómo se enfocan los ACV están armonizados mediante la norma ISO 14.040:1997. Sin embargo, la aplicación del ACV para la determinación de un equipamiento en una industria presenta diversas dificultades: los datos exactos son raramente disponibles a causa de la variabilidad de las medidas; las diferencias en los parámetros de entrada y las numerosas interdependencias en el proceso productivo normalmente no pueden ser cuantificadas. La evaluación de equipos mediante ACV requiere muchos recursos para recabar la información necesaria para la caracterización las alternativas consideradas y sus impactos potenciales.

Los métodos de evaluación con muchos atributos o variables (también conocidos como multicriterio) estudian un problema de decisión comparando dos o más alternativas sobre la base de diversos criterios de evaluación/indicadores. Generalmente se suele utilizar el formato de matriz para comparar diversas líneas de acción mediante diversos criterios y factores de peso, que son valores que cuantifican la importancia de cada criterio.

Consecuentemente, este problema de decisión se ha intentado resolver mediante métodos de decisión multicriterio (MDM). No existen mejores o peores MDM, pero algunos de ellos se adaptan mejor a determinados problemas de decisión que otros (Mergias *et al.*, 2007). Existen diversos tipos de análisis multicriterio, que se clasifican en:

- Simples: Jerarquía simple, Lógica simbólica, Valor técnico.
- Complejos: Valor técnico ponderado, Proceso de Jerarquía Analítica (AHP), Proceso de Red Analítica (ANP), ELECTRE, TOPSIS, PROMETHEE y PRES, Diseño Axiomático, Modelos de Utilidad.

No se debe escoger un MDM sin que el equipo evaluador comprenda el problema, las alternativas viables o razonables, los conflictos entre los criterios y el nivel de incertidumbre de los datos (Mergias *et al.*, 2007).

2. Objetivos

El objetivo principal de esta comunicación es proponer una nueva aplicación de la metodología multicriterio AHP (*Analytic Hierarchy Process*), enfocada a la evaluación de las MTD que deben implementarse en la autorización ambiental integrada de los proyectos sometidos a la legislación IPPC.

La justificación para elaborar esta nueva aplicación se basa en las limitaciones de las evaluaciones ambientales (Comisión Europea, 1997) y, consecuentemente, en la necesidad de generar un marco conceptual nuevo para la EA-IPPC basado en la integración sistemática de los valores ambientales dentro del proceso de toma de decisiones. De este modo, se pretende dotar a la EA-IPPC de una herramienta objetiva y rigurosa para poder optimizar las MTD de una actividad IPPC.

3. Justificación de la metodología

3.1. Estado del arte

Aunque la selección del equipo desempeña un papel importante en el diseño de un sistema de fabricación, las publicaciones sobre este tema son limitadas (Kulak *et al.*, 2005). Tabucanon *et al.* (1994) desarrollaron un sistema de ayuda para un problema de selección multicriterio de maquinaria para sistemas de fabricación flexible, y utilizaron la técnica de AHP para el proceso de selección. Chen (1999) desarrolló un modelo de programación de números enteros y un algoritmo heurístico para resolver el problema de múltiples períodos de tiempo. Wang *et al.* (2000) propusieron un modelo difuso de toma de decisiones multicriterio, para ayudar a quienes toman decisiones frente a un problema de selección en sistemas de fabricación flexible. Un estudio posterior es el de Standing *et al.* (2001), que utiliza la teoría de la utilidad multicriterio para cuantificar la contribución de diversos factores estructurales y de infraestructura durante la selección de un equipo. Kulak *et al.* (2005) aplicaron enfoques de diseño axiomático multicriterio ponderado y no ponderado para la selección de equipos.

Las aplicaciones de los métodos de decisión multicriterio para la evaluación de MTD abundan menos. Geldermann y Rentz son los autores que más han incidido en este aspecto. En sus últimas publicaciones (2001, 2004) criticaban el uso de la metodología evaluadora basada en los ACV (eg. Nicholas *et al.*, 2000), y que ellos mismo habían aplicado en 1998, por la dificultad de obtener los datos necesarios (no se dan las condiciones de consistencia ni transparencia), y propusieron dos metodologías alternativas. En el año 2001, emplearon la metodología PROMETHEE1 para la determinación de MTD que reducen las emisiones atmosféricas, con una especial dedicación a aquellas situaciones en que se tienen datos imprecisos sobre las MTD, ya que dicha metodología permite introducir intervalos difusos (“fuzzy numbers”) para las valoraciones de los expertos. Más tarde, en 2004 propusieron el enfoque de instalación de referencia (“reference installation approach”), que consiste en asignar la instalación a evaluar a una categoría tipo, de forma que se apliquen las mismas medidas de reducción de las emisiones a todas aquellas instalaciones pertenecientes a una misma categoría IPPC; para lograrlo, las medidas de cada categoría se caracterizan técnica y económicamente, siguiendo el modelo CORINAIR (programa de seguimiento de emisiones atmosféricas en Europa), y se clasifican en primarias (reducir o evitar emisiones) y secundarias (filtrar emisiones producidas).

Otra forma de evaluar las MTD fue la que propusieron Schultmann *et al.* (2001), y que consistía en comparar las MTD en términos económicos, mediante la estimación de los

¹ Metodología consistente en establecer las prioridades entre las alternativas a partir de una función-valor, la cual proviene de una suma de valores ponderados.

costes asociados a la inversión inicial y a su mantenimiento. Pero tal estimación conlleva un problema: identificar la parte de la tecnología que es exclusivamente ambiental, sobretodo cuando se trata de sustitución de maquinaria productiva (mejora la productividad y el comportamiento medioambiental). En todo caso, es necesaria mucha información para estimar estos costes.

Georgopoulou *et al.* (2007) compusieron una metodología de ayuda para identificar las MTD más adecuadas en cuanto al vector de atmósfera. En este caso, en primer lugar se identificaron las BAT potenciales y se definió una instalación típica para cada categoría IPPC (a partir de la bibliografía y la experiencia local) y, a continuación, se estudiaron sus beneficios/costes ambientales y económicos. Para cada instalación tipo, se efectuó un análisis de los efectos ambientales y económicos de implementar una o diversas MTD. Se construyó una herramienta de decisión multicriterio para los agentes que deban tomar la decisión, la cual utiliza la optimización de Pareto (escoger una solución que cumple un objetivo, pero deteriora al menos uno de los otros objetivos de la decisión). Esta herramienta combina las posibles MTD para cada variable ambiental, y las optimiza mediante Pareto y con la introducción de unas restricciones que el mismo usuario inserta.

A partir de esta revisión, se ha comprobado que no existen aplicaciones de AHP para evaluar diferentes MTD, dentro del marco de la legislación IPPC.

3.1. Fundamentos teóricos de AHP

AHP es una teoría general de medición (Saaty, 2001). Se usa para obtener ratios a partir de comparaciones en estructuras jerárquicas con múltiples niveles. Estas comparaciones pueden provenir de medidas o bien de una escala fundamental que refleje la preferencia relativa. Un aspecto especial de AHP es la consistencia y su medida, así como las dependencias dentro y entre los grupos de elementos de la estructura.

En una jerarquía existen diferentes niveles dispuestos en orden decreciente de importancia. Los elementos de cada nivel son comparados en función de la predominancia o influencia con respecto a los elementos del nivel inmediatamente superior. Las flechas descendentes implican una relación mediante la cual los elementos de un nivel inferior contribuyen a la consecución de los elementos del nivel superior.

Existen dos clases de comparaciones: absolutas y relativas. En las comparaciones absolutas, las alternativas son comparadas mediante un estándar que ha sido desarrollado a través de la experiencia personal. Por ejemplo: excelente, muy bueno, bueno, medio, por debajo de la media, malo y muy malo. En las comparaciones relativas, las alternativas se comparan por parejas de acuerdo a un criterio común. AHP es capaz de trabajar con ambos tipos de comparaciones para obtener los ratios.

La escala de ratios permite relacionar alternativas tangibles con criterios de decisión intangibles. La forma más natural que el hombre tiene para controlar un resultado o modificar influencias es establecer la proporcionalidad o ratios entre dichas influencias, y ratios entre las respuestas a esas influencias. Las matemáticas permiten establecer esta proporcionalidad de forma precisa. Sólo existe una forma para asignar a los objetos magnitudes significativas, y es comparándolos en términos relativos. Las escalas de medida no tienen significado por sí solas.

Por otro lado, un aspecto crucial de los métodos de decisión multicriterio es cómo combinar valores a una escala generada para un criterio con otros valores expresados en otra escala, y que el resultado conserve su significado.

Como solución a ello, Saaty propuso la escala fundamental, que proviene de la famosa ley logarítmica de estímulo-respuesta. Esta escala ha sido validada por su efectividad en muchas aplicaciones y también comparada con otras escalas en situaciones reales donde

las medidas ya eran conocidas. Los números de la escala fundamental se utilizan para expresar cuántas veces el mayor de dos elementos predomina sobre el menor, con respecto a un criterio o propiedad que ambos tiene en común. El elemento menor tiene como valor el inverso con respecto al mayor. Según esto, si x es el número de veces que el elemento mayor predomina, entonces el menor es $x-1$ veces el mayor, de tal forma que $x \cdot x^{-1} = 1$.

Existen muchas variables y conceptos intangibles que somos incapaces de medir, sin embargo éstos pueden ser comparados relativamente y de forma significativa a través de otros conceptos que entendemos mejor: objetivos, criterios y subcriterios. Para el cerebro humano, los conceptos tangibles e intangibles producen una respuesta similar ya que ambos activan las neuronas, por lo que posibilitan diferenciar en términos de calidad e intensidad entre ellos, tengamos las medidas de ellos o no.

Para combinar los juicios individuales de un grupo, al comparar entre elementos en AHP, se debe emplear la media geométrica (Schrage, 1995; Guzzo *et al.*, 1995). El mismo procedimiento se usa para combinar los resultados de preferencias finales. Aczel y Roberts (1989) estudiaron posibles vías de combinación de los juicios individuales que forman parte de un grupo. Las condiciones que rigen las decisiones de grupo son simetría, homogeneidad lineal y consenso. La simetría garantiza que la decisión final del grupo no cambia si los juicios individuales se intercambian entre sí. El consenso indica que si todos los individuos están de acuerdo, entonces el grupo está de acuerdo con todos los individuos. La homogeneidad lineal implica que si cada miembro del grupo multiplica su preferencia por una constante r , entonces el resultado final del grupo también se multiplica por r . En la mayoría de los casos, las únicas funciones de combinación para las decisiones en grupo son la media aritmética y la media geométrica. Aczel y Saaty demostraron que las tres condiciones referidas, junto con la reciprocidad y separabilidad (descomposición en juicios individuales) sólo se cumplen con la media geométrica.

Cuando un grupo de individuos quiere tomar una decisión conjunta, deberían expresar sus preferencias individuales, para luego combinar estas preferencias en una sola. Una forma de hacer esto es ver cuál es la alternativa que más votos ha conseguido, y luego obtener el número de votos del resto de alternativas para poder ordenarlas decrecientemente. Pero existen otras formas de obtener una decisión conjunta a partir de preferencias individuales. Parece razonable afirmar que no importa si un individuo se agrega al grupo, dado que si la mayoría de individuos prefieren una alternativa sobre otra, entonces el grupo también prefiere lo mismo. Esto se denomina el principio de optimización de Pareto.

Es posible que, cuando hay más de dos alternativas, el orden de preferencias sea intransitivo, y debido a ello sea imposible afirmar cuál es la alternativa preferida por el grupo. Esto se conoce como la paradoja de Condorcet. La respuesta de Borda a esta paradoja consiste en numerar las alternativas de 1 a n por orden de preferencia, de forma que la decisión del grupo será la suma de las preferencias individuales para cada alternativa. Una objeción al planteamiento de Borda es ¿por qué usar números equidistantes cuando una alternativa puede ser mucho más preferida por un individuo, pero menos por otro? (Saaty, 1994). En general, se ha comprobado que es imposible tomar una decisión racional en grupo a partir de preferencias ordinales (Fishburn, 1990). La racionalidad implica cuatro condiciones que deben satisfacerse:

- No imposición: ningún individuo determina la elección del grupo.
- Capacidad de decisión: la forma en que se combinan los juicios debe llegar a producir una preferencia.
- Principio de optimización de Pareto: si cada individuo prefiere A sobre B, entonces el grupo también.

- Independencia de alternativas irrelevantes: la decisión del grupo entre dos alternativas debe estar basada en las preferencias individuales sólo entre ese par de alternativas.

El AHP es, por tanto, un método de fijación de prioridades, pues capta las prioridades de opiniones de pares comparados de elementos de la decisión con respecto a cada uno de los criterios de decisión. Esta es la principal diferencia con respecto a los métodos multicriterios tradicionales, que toman decisiones en base a pesos ponderados, los cuales pueden ser difíciles de justificar. Las opiniones de pares comparados se pueden representar en una matriz, cuyo autovector representa las prioridades de la decisión a tomar, y que finalmente servirá para escoger entre una de las alternativas. AHP permite, además, la medición de la inconsistencia, lo cual es útil para identificar posibles errores en los juicios.

4. Aplicación de AHP para la evaluación de MTD

La evaluación de una alternativa en la EA-IPPC se puede estructurar, en términos de AHP, de la siguiente forma:

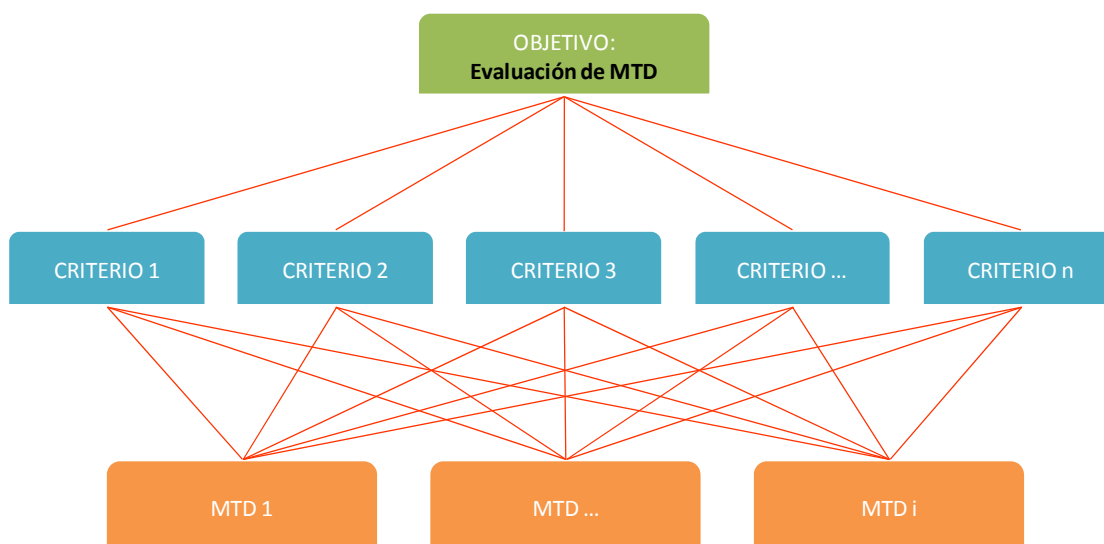


Figura 2. Estructura de la decisión de evaluación de MTD

Un ejemplo de alternativa sería lograr que la concentración de SO₂ referido a emisiones canalizadas de una industria sea menor de 200 mg/Nm³. Esto se puede lograr mediante diversas MTD:

- Filtro A instalado sobre el foco del proceso emisor
- Filtro B sobre el foco del proceso emisor
- Filtro X en la salida de la chimenea
- Filtro Y en la salida de la chimenea
- Sustitución de un reactivo del proceso
- Combinación de filtros A con X
- Combinación de filtros B con X
- ...

Otro ejemplo de alternativa puede ser generar anualmente menos de 8.000 kg de residuos peligrosos. Las MTD podrían ser:

- Empleo de MTD X en una fase concreta del proceso productivo
- Empleo de MTD Y en una fase concreta del proceso productivo
- Empleo de MTD Z en una fase concreta del proceso productivo
- Sustitución de un reactivo del proceso
- Tratamiento previo a la gestión del residuo peligroso
- Combinación de una MTD con tratamiento previo
- ...

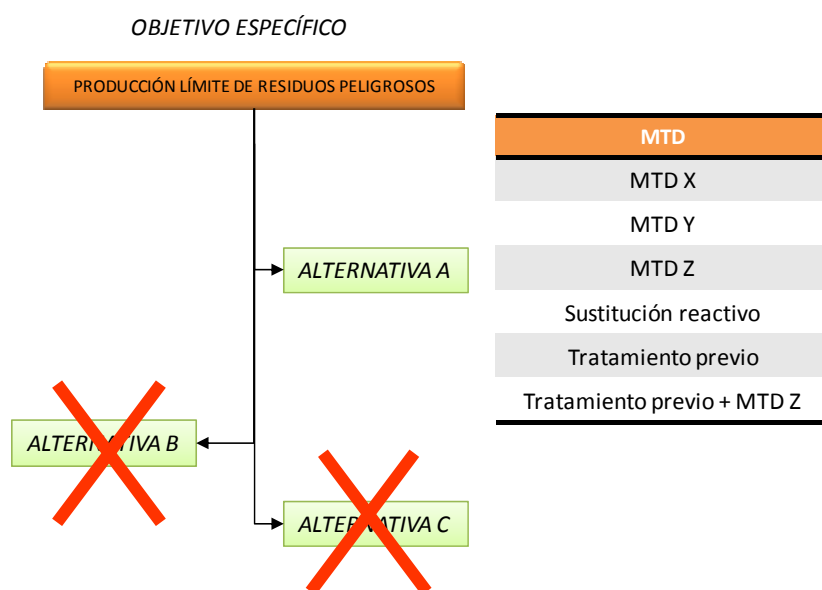


Figura 3. Esquema desarrollado de un objetivo específico

Los criterios que se utilicen para la evaluación de las MTD de una alternativa serán similares para todos los proyectos IPPC evaluados, y para todas las alternativas que conforman un proyecto determinado. En esta comunicación se proponen los siguientes criterios de evaluación, y que debieran ser consensuados por un equipo de expertos evaluadores: consumo de recursos, costes económicos, efectos sobre el agua, efectos sobre la atmósfera, efectos sobre la salud de los trabajadores, eficiencia energética y gestión de residuos. Estos criterios se compararán por parejas mediante la escala de valores AHP (ver tabla 1).

Con los juicios emitidos por el equipo de expertos, combinados numéricamente con su media geométrica, se conforma la matriz de comparaciones de los criterios de evaluación, para conocer la importancia de cada uno de ellos. A modo de propuesta, la matriz de comparación de criterios con respecto al objetivo puede ser la siguiente:

	CR	CE	EAG	EAT	ES	EE	GR	Prioridades
Consumo recursos	1	1/8	1/7	1/7	1/9	1/2	1/7	0,02
Costes económicos	8	1	1/4	1/4	1/7	3	1/4	0,11

Efectos agua	7	4	1	1	1/6	5	1	0,16
Efectos atmósfera	7	4	1	1	1/6	5	1	0,16
Efectos salud	9	7	6	6	1	8	6	0,36
Eficiencia energética	2	1/3	1/5	1/5	1/8	1	1/5	0,03
Gestión de residuos	7	4	1	1	1/6	5	1	0,16

Tabla 1. Matriz de comparación de los criterios de evaluación

En este caso, los efectos sobre la salud de las personas sería el factor más importante para valorar las MTD. La inconsistencia de esta propuesta, obtenida mediante el software *Superdecisions*, es de 0,0849, por debajo de lo aceptable (0,1).

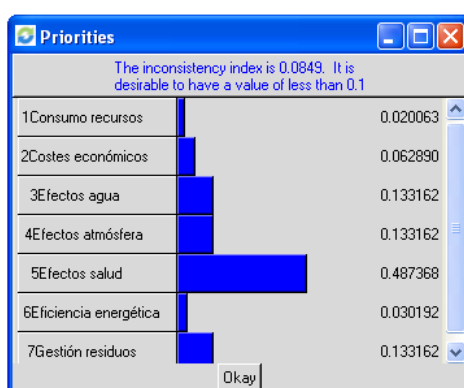


Figura 4. Imagen del software *Superdecisions* con las prioridades obtenidas

En el segundo paso de la metodología AHP, las MTD se comparan con respecto a cada criterio de evaluación. Los juicios emitidos por el equipo de expertos se recogen en las respectivas matrices de comparación. Por ejemplo, la matriz de una alternativa razonable determinada, cuyas líneas de acción que la conforman son tres MTD denominadas X, Y y Z, con respecto al criterio de costes económicos podría ser:

COSTES ECONÓMICOS	MTD X	MTD Y	MTD Z	Prioridades
MTD X	1	4	7	0,68
MTD Y	1/4	1	3	0,24
MTD Z	1/7	1/3	1	0,08

Tabla 2. Matriz de prioridades de una alternativa respecto de un criterio

En este caso, se podría afirmar que, según el criterio de costes económicos, la MTD óptima a implementar es la MTD Z, ya que es la que conlleva menos costes económicos. Análogamente se tienen que comparar las tres MTD con el resto de criterios. Para ello, los juicios comparativos otorgarán un valor más alto, cuanto la MTD dominante consume menos recursos, implique menos costes económicos, produzca menos efectos sobre el agua, atmósfera y salud de los trabajadores, tenga una mayor eficiencia energética y facilite la gestión de residuos.

A modo de ejemplo, las distintas prioridades podrían ser:

Alternativa nº XY	CR	CE	EAG	EAT	ES	EE	GR	Prioridad total
MTD X	0,32	0,68	0,24	0,18	0,53	0,26	0,60	0,441
MTD Y	0,61	0,24	0,70	0,09	0,16	0,08	0,32	0,275
MTD Z	0,07	0,08	0,06	0,73	0,31	0,66	0,08	0,284

Tabla 3. Matriz final de prioridades de una alternativa

En este caso, la priorización para la alternativa nº XY sería implementar la MTD X.

4. Conclusiones

La aplicación que, de modo resumido, se ha presentado en esta comunicación indica que es posible llevar a emplear AHP en el marco de la EA-IPPC, coordinada con el procedimiento administrativo de la autorización ambiental integrada. Se crea un valor añadido para el organismo ambiental competente, el cual debe resolver para autorizar una instalación IPPC.

Existen diversas aplicaciones de metodologías multicriterio para evaluar MTD, pero no se han hallado publicaciones sobre el uso de AHP en este sentido. Por ello, con esta aplicación se pretende cubrir un vacío en el estado del arte sobre AHP y el ámbito de las MTD.

Existe la necesidad de poner a prueba la propuesta de aplicación de AHP en una EA-IPPC real, para poder analizar su utilidad práctica. Otras líneas futuras de avance son:

- Contemplar la incertidumbre asociada a este tipo de toma de decisiones, mediante el uso de *fuzzy* AHP.
- Estructurar este tipo de decisión mediante la metodología ANP, que permite una mayor flexibilidad.

5. Referencias

- Aczel, J. y Roberts, F.S., "On the possible merging functions", *Mathematical Social Sciences*, 1989, Vol. 17, pp. 205-243.
- Aczel, J. y Saaty, T.L., "Procedures for synthesizing ratio scale judgements", *Journal of Mathematical Psychology*, 1983, Vol. 27, pp. 93-102.
- Ayag, Z. y Ozdemir R.G., "A fuzzy AHP approach to evaluating machine tool alternatives", *Journal of Intelligent Manufacturing*, 2006, Vol. 17, pp.179-190.
- Chan, F.T.S., IP, R.W.L. y Lau, H., "Integration of expert system with analytic hierarchy process for the design of material handling equipment selection system", *Journal of Materials Processing Technology*, 2001, Vol. 116, pp. 137-145.
- Chen, M.A., "Heuristic for solving manufacturing process and equipment selection problems", *International Journal of Production Research*, 1999, Vol. 37, pp. 359-374.
- Comisión Europea, "A Strategy to Develop and Implement an Overall Strategy for EIA/SEA Research in the EU", Bruselas: Comisión Europea, 1997.
- Fishburn, P.C., "Multiperson decision making: a selective review", capítulo 1 en J. Kacprzyk y M Fedrizzi (eds.), "Multiperson decision making using fuzzy sets and possibility theory", 3-27, Netherlands: Academic Publishers, 1990.

Geldermann, J. y Rentz, O., "Integrated technique assessment with imprecise information as a support for the determination of best available techniques (BAT)", *OR Spektrum*, 2001, Vol. 23, pp. 137-157.

Geldermann, J. y Rentz, O., "The reference installation approach for the techno-economic assessment of emission abatement options and the determination of BAT according the IPPC-directive", *Journal of Cleaner Production*, 2004, Vol. 12, pp. 389-402.

Georgopoulou, E., Mirasgedis, S. *et al.*, "A decision-aid framework to provide guidance for the enhanced use of best available techniques in industry", *Environmental Management*, 2007, Vol. 40, pp. 413-429.

Guzzo, R.A., Salas, E. *et al.*, "*Team effectiveness and decision making in organizations*", Jossey-Bass Inc., San Francisco, 1995.

Kulak, O., Durmusoglu, M.B. y Kahraman, C., "Fuzzy multiattribute equipment selection based on information axiom", *Journal of Material Processing technology*, 2005, Vol. 169, pp. 337-345.

Mergias, I., Moustakas, K., Papadopoulos, A. y Loizidou, M., "Multi-criteria decision aid approach for the selection of the best compromise management scheme for ELVs: The case of Cyprus", *Journal of Hazardous Materials*, 2007, Vol. 147, pp. 706–717.

Nicholas, M.J., Clift, R. *et al.*, "Determination of best available techniques for integrated pollution prevention and control: a life cycle approach", *Trans IChemE*, 2000, Vol. 78, parte B.

Saaty, T.L., "*Fundamentals of decision making and priority theory*", Pittsburg: RWS Publications, 1994.

Saaty, T.L., "*The analytical network process. Decision making with dependence and feedback*", Pittsburg: RWS Publications, 2001.

Schrage, M., "*No more teams! Mastering the dynamics of creative collaboration*", Nueva York: Currency Doubleday, 1995.

Schultmann, F., Jochum, R. y Rentz, O., "A methodological approach for the economic assessment of best available techniques", *LCA Methodology*, 2001, Vol. 6(1), pp. 19-27.

Standing, G., Flores, B. y Olson, D., "Understanding managerial preferences in selection equipment", *Journal of Operation Management*, 2001, Vol. 19, pp. 23-27.

Tabucanon, M.T., Batanov, D.N. y Verman, D.K., "Intelligent decision support system (DSS) for the selection process of alternative machines for flexible manufacturing systems (FMS)", *Computer in Industry*, 1994, Vol. 25, pp. 131-143.

Wang, T.Y., Shaw, C.F. y Chen, Y.L., "Machine selection in flexible manufacturing cell: A fuzzy multiple attribute decision making approach", *International Journal or Production Research*, 2000, Vol. 38, pp. 2079-2097.

6. Agradecimientos

Agradecer al Centro de Tecnologías Limpias de la Comunitat Valenciana y al Departamento de Proyectos de Ingeniería de la Universidad Politécnica de Valencia por toda la información y ayuda prestada.

7. Correspondencia

Autor: Germán Giner Santonja

Empresa / Institución: Centro de Tecnologías Limpias de la Comunitat Valenciana. Conselleria de

Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda de la Generalitat Valenciana.
Dirección: Ronda Isaac Peral y Caballero, 5. Parque Tecnológico. PATERNA (Valencia)
Teléfono de contacto/fax: 961366949 / 961318495
E-mail de contacto: giner_ger@gva.es
URL: <http://www.cma.gva.es/ctl>