

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA
Programa de Doctorado de Ingeniería Ambiental



Tesis Doctoral

**Aplicación del Análisis Multicriterio en la Evaluación de
Impactos Ambientales**

Luís Alberto García Leyton

Director: Dr. Jose M. Baldasano

Barcelona, mayo de 2004

A Margarita, sus hijos y mis hijos

A María y Agustín, padres y hermanos

A mis tías Sara y Pina

A mis queridas hermanas

A mis queridos hermanos

A mis amigos y compañeros de programa de doctorado

A Eugeni, Carlos, Pedro, Oriol, René, Nelson, Eduardo, Gustavo,

Agradecimientos

Quiero agradecer muy especialmente a mi *profesor* el Dr. José M. Baldasano el apoyo constante, su inestimable ayuda y guía durante mi permanencia en el Laboratorio de Modelización Ambiental y su valiosa dirección en la realización de la presente tesis.

Al profesor Dr. Santiago Gassó por sus orientaciones siempre mesuradas y ricas en significado.

Al Dr. Armando Blanco Morón por su inapreciable apoyo y facilidades para el uso ilimitado del programa informático AIEIA.

Al Dr. José M. Martín por su invaluable asistencia en el manejo del programa AIEIA y su gran calidad humana al servicio de la ciencia.

Al Dr. Víctor Arredondo, Rector de la Universidad Veracruzana por su empeño en hacer de nuestra alma mater una institución que trascienda los límites geográficos y por impulsar la formación de sus profesores.

Al Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos por hacer posible a través del Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) la formación de calidad de sus docentes e investigadores universitarios.

A la Universidad Politécnica de Cataluña

A la Universidad Veracruzana

A Margarita Guerrero, compañera, amiga y esposa por su respaldo en mi decisión y por su acertada elección.

A Luis, Malena, Héctor y Sarahí entrañablemente y con amor filial.

A Víctor Hernández y familia por su valiosa amistad.

A Carlos Pérez y Pedro Jiménez por su amistad y valioso apoyo.

Resumen

La finalidad principal de este trabajo de tesis es ponderar la viabilidad de la aplicación del análisis multicriterio y la lógica difusa en la evaluación de impactos ambientales como una herramienta de ayuda a la toma de decisiones ambientales, se inicia con una revisión de la evolución histórica y legal de la evaluación de impacto ambiental y hace una revisión a la situación europea de cómo se han ido incorporando a la legislación de sus estados miembros las Directivas relativas, y la forma en que los Programas Comunitarios Medioambientales han influido en la política interna de medio ambiente con un énfasis especial al caso España y particularmente de Cataluña. Se hace también un breve análisis a la situación en los países de América.

Se dedica un capítulo a las metodologías de evaluación de impactos ambientales con la finalidad de ofrecer un panorama general de los métodos más usados y que más adelante dan origen al método propuesto en este trabajo con la incorporación de técnicas difusas.

Merece una atención especial la valoración del medio natural, las principales barreras de carácter ideológico, de procedimiento y metodológico existentes para la selección, ponderación e integración de los criterios de evaluación seleccionados y la desigual calidad de la información disponible. Esta evaluación es llevada a cabo mediante una considerable variedad de técnicas y métodos que tienen en común el hecho de basarse en factores objetivos y subjetivos difícilmente separables y que requieren del auxilio de una técnica matemática que pueda conciliar lo cualitativo con lo cuantitativo.

La aplicación del análisis multicriterio y la lógica difusa a la evaluación de impacto ambiental actualiza y mejora el uso de los métodos clásicos y generalmente

aceptados, con la ventaja de que permite manejar simultáneamente información cualitativa y cuantitativa sin los problemas de agregación que se presentan en el sistema *crisp* (convencional) ya que el modelo semántico en que se basa, es proporcionado por la teoría de conjuntos difusos que ha demostrado en otras áreas del conocimiento una mejor aproximación a la realidad, al admitir que la naturaleza tiene matices y que las decisiones se toman en función de una amplia gama de posibilidades y de criterios en ocasiones contradictorios o en conflicto, todos igualmente válidos.

Finalmente, a tres proyectos realizados en la Isla de Mallorca considerados en el Plan Director Sectorial para la Gestión de los Residuos Urbanos para una zona de actuación localizada en Son Reus, se les aplica un método de evaluación de impactos ambientales que asimila las técnicas difusas y el análisis multicriterio denominado AIEIA, dichos proyectos son: una Planta Incineradora de RSU, una Planta Metanizadora de residuos biodegradables y una Planta de Compostaje.

El uso del programa informático AIEIA (aplicación integral de evaluación de impacto ambiental) desarrollado por un grupo de investigadores de la Universidad de Granada, España encabezado por el Dr. Armando Blanco Morón con la colaboración del Dr. José Manuel Martín Ramos y otros, es una herramienta sumamente útil y práctica que integra el proceso de estudio de impacto ambiental (EslA) y la toma de decisiones multicriterio difusa; su evaluación ha sido parte de este trabajo, con resultados muy satisfactorios que nos permiten afirmar que resulta viable la aplicación de estas técnicas matemáticas en la evaluación de impactos ambientales. Los resultados obtenidos son equiparables a otros métodos con las ventajas de proporcionar información en términos absolutos y relativos de los impactos ambientales, por actividad, por grupo de actividades, factores ambientales, grupos de factores ambientales y evaluación global del proyecto, en términos lingüísticos, en términos numéricos y en números difusos, además de permitir un análisis de alternativas.

Summary

The main purpose of this thesis dissertation is to weigh up the viability of the application of multicriteria analysis and fuzzy logic in the environmental impact assessment as a tool for decision make. It begins with a revision of the historical and legal evolution of environmental impact assessment and makes a revision to European situation of the incorporation of related Directives to the legislation of member states; and the way that Communitarian Environmental Programmes have influenced the internal environmental policies, with an especial emphasis to the case of Spain and, particularly, Catalonia. A brief analysis of the situation of American countries is also presented.

The methodologies for environmental impact assessment cover a section of this dissertation, with the objective of illustrating the general state-of-the-science of most used methods that, furthermore, are the origin for the proposed methodology in this work with the incorporation of fuzzy techniques.

A remarkable attention is focused in the valuation of the environment, the main ideological, proceedings and methodological barriers existing for the selection, weighting and integration of the assessment criteria selected; and the uneven quality of the available information. This assessment takes place through a considerable variety of techniques and methods that have in common the fact that they are based in both objective and subjective factors hardly separable, and that require the aid from a mathematical technique which reconciles the qualitative and the quantitative.

The application of multicriteria analysis and fuzzy logic to the environmental impact assessment actualises and improves the use of classical and accepted methods, with the advantage that it allows to manage simultaneously the qualitative and quantitative

information without the problems of aggregation that are present in the *crisp* (conventional) system; since the semantic model on which that is based is supplied by the theory of fuzzy set, which has shown a better approximation to reality in other subjects when admitting that nature has nuances and decisions are taken in function of a wide range of possibilities and criteria that are often contradictory or in conflict, all of them equally valid.

Finally, the method of environmental impact assessment assimilating fuzzy techniques and multicriteria analysis (AIEIA) is applied to three projects in the island of Mallorca which are considered in the Director Sector Plan for the Management of Urban Waste for an actuation located in Son Reus. The aforementioned projects are: an incinerator plant of municipal solid waste (MSW), a plant of methane production from biodegradable waste and a composting plant.

The use of the computer software AIEIA (integral application of the environmental impact assessment) developed by a group of researchers of the University of Granada (Spain), headed by Dr. Armando Blanco Morón with the collaboration of Dr. José Manuel Martín Ramos *et al.*, is a useful and practical tool that integrates the process of study of environmental impact (EsIA) and the multicriteria-fuzzy decision make. Its evaluation has been part of this work, with very satisfactory results which allows to state that the application of this mathematical techniques in environmental impact assessment is feasible. Obtained results are comparable with other methods, with the advantages of providing absolute and relative information of environmental impact, by activity, by group of activities, environmental factors, groups of environmental factors and the global assessment of the project, in linguistic terms, in numerical terms and in fuzzy numbers; and, in addition, it allows a full analysis of alternatives.

Contenido

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	6
1.3 OBJETIVOS.....	8
1.4 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.....	10
CAPÍTULO 2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA Y LEGAL DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL	13
2.1 CONTEXTO INTERNACIONAL.....	13
2.2 UNIÓN EUROPEA	17
2.2.1 <i>Transposición de la legislación ambiental europea por los países miembros....</i>	<i>23</i>
2.3 ESPAÑA	28
2.3.1 <i>Cataluña</i>	<i>30</i>
2.4 AMÉRICA.....	32
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL.....	39
3.1 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL	39
3.1.1 <i>Listas de chequeo</i>	<i>46</i>
3.1.2 <i>Método de Leopold.....</i>	<i>47</i>
3.1.3 <i>Método Battelle-Columbus.....</i>	<i>53</i>
3.1.4 <i>Método de transparencias.....</i>	<i>62</i>
3.1.5 <i>Análisis costes-beneficios</i>	<i>63</i>
3.1.6 <i>Modelos de predicción</i>	<i>64</i>
3.1.7 <i>Sistemas basados en un soporte informatizado del territorio (SIG)</i>	<i>65</i>
3.2 ANÁLISIS MULTICRITERIO EN LAS DECISIONES AMBIENTALES	68
3.3 TÉCNICAS DIFUSAS EN LA EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL	84

3.3.1	<i>Conceptos</i>	84
3.3.2	<i>Evaluación Convencional del Impacto Ambiental</i>	86
3.3.3	<i>Evaluación Difusa del Impacto Ambiental</i>	100
3.4	RECAPITULACIÓN.....	113
CAPÍTULO 4. VALORACIÓN DEL MEDIO NATURAL.....		115
4.1	INTRODUCCIÓN.....	115
4.2	BARRERAS EN LA EVALUACIÓN DEL MEDIO NATURAL.....	118
4.3	CATEGORÍAS BÁSICAS DE EVALUACIÓN.....	121
4.4	CRITERIOS DE EVALUACIÓN.....	123
4.4.1	<i>Criterios ecológicos</i>	125
4.4.2	<i>Criterios de planificación y de gestión</i>	143
4.4.3	<i>Criterios culturales</i>	146
4.5	MÉTODOS DE EVALUACIÓN.....	149
4.5.1	<i>Métodos de medición</i>	149
4.5.2	<i>Consideración de la incertidumbre</i>	152
4.5.3	<i>Enfoques cuantitativos y cualitativos</i>	153
4.5.4	<i>Métodos basados en criterios múltiples</i>	155
4.6	RECAPITULACIÓN.....	158
CAPÍTULO 5. APLICACIÓN DE TÉCNICAS DIFUSAS Y ANÁLISIS MULTICRITERIO A LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.....		161
5.1	INTRODUCCIÓN.....	161
5.2	IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES AMBIENTALES.....	165
5.3	IDENTIFICACIÓN DE LAS ACCIONES DEL PROYECTO.....	174
5.3.1	<i>Proyecto de una incineradora de residuos sólidos urbanos</i>	174
5.3.2	<i>Proyecto de la Planta de Metanización</i>	181
5.3.3	<i>Proyecto de la Planta de Compostaje</i>	186
5.4	IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.....	191
5.4.1	<i>Etapa de construcción</i>	192
5.4.2	<i>Etapa de operación</i>	194
5.5	DETERMINACIÓN DE LA IMPORTANCIA DIFUSA DE LOS IMPACTOS.....	205
5.6	MAGNITUD DEL IMPACTO AMBIENTAL.....	206
5.7	MEDIDAS CORRECTORAS.....	208
5.8	RESULTADOS.....	211
5.9	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	223
5.9.1	<i>Planta Incineradora</i>	223
5.9.2	<i>Planta Metanizadora</i>	225

5.9.3	<i>Planta de Compostaje</i>	227
5.10	ANÁLISIS COMPARATIVO	229
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....		233
6.1	CONCLUSIONES	233
6.2	TRABAJOS FUTUROS.....	235
CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA.....		237
	<i>DOCUMENTOS LEGALES CONSULTADOS</i>	242
APÉNDICE A. VALORACIÓN DE IMPACTOS. HOJAS DE TRABAJO.....		245
APÉNDICE B. FUNCIONES DE CALIDAD AMBIENTAL UTILIZADAS.....		277

Lista de Figuras

Figura 3.1. Sistema de Evaluación Ambiental Battelle-Columbus	58
Figura 3.2. Estructura general de una Evaluación de Impacto Ambiental, modificada de Duarte (2000).....	87
Figura 3.3. Ejemplo de variable lingüística para la importancia de un impacto	101
Figura 3.4. Razonamiento inverso en un sistema de computación con palabras.....	110
Figura 5.1. Localización de la Zona 1 del PDSGRUM (Son Reus) en la Isla de Mallorca.	163
Figura 5.2. Localización de la Zona de Son Reus-Zona1, señalada con un círculo rojo.	163
Figura 5.3. Foto aérea de la Zona de Son Reus mostrando la localización. Area encuadrada en rojo incineradora, en negro metanización y compostaje.....	164
Figura 5.4. Planta incineradora.....	177
Figura 5.5. Planta de metanización.....	183
Figura 5.6. Diagrama de una planta de compostaje	189

Lista de Tablas

Tabla 2.1. Promulgación de leyes generales sobre medio ambiente	36
Tabla 3.1. Factores Ambientales (Matriz de Leopold, 1971).....	51
Tabla 3.2. Acciones propuestas que pueden causar Impacto Ambiental.....	52
(Matriz de Leopold, 1971)	52
Tabla 3.3. Sistema de valoración ambiental Battelle-Columbus (SP: sin proyecto; CP:con proyecto)	59
Tabla 3.4. Clasificación de Técnicas de Decisión Multicriterio	81
Tabla 3.5. Matriz de Importancia.....	89
Tabla 3.6. Caracterización cualitativa de los efectos	90
Tabla 5.1. Identificación de factores ambientales	169
Tabla 5.2. Contenidos porcentuales medidos en muestras de RSU de diversas zonas de Mallorca	176
Tabla 5.3. Composición de los aceites usados.....	176
Tabla 5.4. Identificación de las acciones del proyecto de Incineración de RSU.....	180
Tabla 5.5. Capacidad de tratamiento de residuos y de producción de MET para cada una de las fases de desarrollo del proyecto	181
Tabla 5.6. Producción de energía eléctrica y térmica en las diferentes fases de explotación de la planta de metanización.....	184
Tabla 5.7. Identificación de las acciones del proyecto de metanización que podrían transformar el medio.....	186
Tabla 5.8. Capacidad de tratamiento de residuos y de producción de compost para cada una de las fases de desarrollo del proyecto.....	187
Tabla 5.9. Dimensiones y características de las áreas de almacenamiento para los diferentes residuos alimentados al proceso de compostaje	188
Tabla 5.10. Identificación de las acciones del proyecto de Compostaje.....	191

Tabla 5.11. Acciones y factores ambientales, Planta Incineradora.....	198
Tabla 5.12. Matriz de Identificación de Impactos Ambientales de la Planta Incineradora	199
Tabla 5.13. Acciones y factores ambientales, Planta de Metanización	200
Tabla 5.14. Matriz de Identificación de Impactos Ambientales de la Planta de Metanización.....	201
Tabla 5.15. Acciones y factores ambientales, Planta de Compostaje	202
Tabla 5.16. Matriz de Identificación de Impactos Ambientales de la Planta de Compostaje.....	203
Tabla 5.17. Resumen de la evaluación. Planta Incineradora.....	213
Tabla 5.18. Resumen de la evaluación. Planta Metanizadora	214
Tabla 5.19. Resumen de la evaluación. Planta de Compostaje.....	215
Tabla 5.20. Matriz de Importancia de Impactos de la Planta Incineradora	216
Tabla 5.21. Matriz de Magnitud de Impactos de la Planta Incineradora	217
Tabla 5.22. Matriz de Importancia de Impactos de la Planta de Metanización	218
Tabla 5.23. Matriz de Magnitud de Impactos de la Planta de Metanización	219
Tabla 5.24. Matriz Importancia de Impactos de la Planta de Compostaje	220
Tabla 5.25. Matriz de Magnitud de Impactos de la Planta de Compostaje	221