

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

DEPARTAMENTO DE EXPLOTACIÓN Y PROSPECCIÓN DE MINAS

TESIS DOCTORAL

**METODOLOGÍA PARA LA
OPTIMIZACIÓN DE LA
EFICIENCIA EN EL
TRATAMIENTO Y GESTIÓN DE
RESIDUOS INDUSTRIALES**

AUTOR: Henar Morán Palacios

DIRECTORES: Dr. Gemma Marta Martínez Huerta

Dr. Valeriano Álvarez Cabal

Octubre, 2012

AGRADECIMIENTOS

Llegado el momento final, no me gustaría presentar este proyecto de tesis doctoral, sin haberme dejado en el tintero unos cuantos agradecimientos que he ido recopilando durante toda mi etapa de formación en investigación. Considero que un pedacito del trabajo que figura en este documento es vuestro.

En primer lugar me gustaría agradecer la ayuda recibida por parte de todos los profesores del Área de Proyectos de Ingeniería, especialmente a mis directores Gemma Martínez y Valeriano Álvarez, que han estado a mi lado desde el comienzo de mi memoria de investigación siempre dispuestos a ayudarme.

También me gustaría hacer especial mención al profesor José Manuel Mesa, por haber contribuido al avance de este trabajo en los momentos de indecisión y bloqueo.

Agradecer a Francisco Ortega el haberme dado la oportunidad, no solo de llevar a cabo mi tesis doctoral con su ayuda, si no de formar parte de este grupo de investigación, y creer y confiar en mí.

A todos mis compañeros agradecerles haber formado parte de sus vidas, me siento muy afortunada de haber trabajado con ellos, no creo que vuelva a encontrar un grupo de trabajo en el que recuerde con tanta nostalgia no solo los momentos buenos, si no también los malos, aquellos en los que se demuestra el valor de un equipo.

A mis padres, gracias por el amor y apoyo incondicional que me habéis procurado, sobre todo durante estas últimas semanas en las que el trabajo ha sido incesante. A mi padre, porque gracias a su insistencia nunca hubiera comenzado este proyecto de tesis, y a los dos porque sin sus consejos yo nunca me hubiera convertido en la persona que soy actualmente y de la que sé que se sienten muy orgullosos.

Y por último Aladino, gracias por entenderme y animarme de manera incansable, una parte de esta tesis también es tuya.

Muchas gracias a todos.

RESUMEN

Durante las últimas décadas se ha producido a nivel mundial una generalización del modelo de desarrollo económico basado en el consumo. Este desarrollo económico requiere de una gran industrialización que conlleva una generación de residuos cada vez mayor, tanto en volumen como en peligrosidad. Dicho aumento requiere de nuevas herramientas capaces de gestionar estos grandes volúmenes de forma eficiente y seleccionando las mejores soluciones para el residuo y el medio en el que se encuentra.

La presente tesis tiene por objetivo generar una metodología de gestión de residuos sólidos industriales, que sea aplicable a cualquier sector industrial y que permita realizar una evaluación objetiva y repetible teniendo en cuenta las características de los procesos y los residuos considerados, además del propio entorno físico, biótico y socioeconómico en el que se genere. El sistema de ayuda a la decisión incorporado facilita la selección de la solución más óptima de todas las alternativas planteadas.

La metodología toma como punto de partida, una herramienta que determinará las diferentes soluciones de tratamiento y disposición posibles del residuo en función sus características, y de una selección de las mejores técnicas disponibles para tratarlo.

Para medir la eficiencia del proceso y seleccionar el más adecuado se elabora un sistema de indicadores particularizado a la gestión de residuos sólidos industriales, que junto a la utilización de métodos de análisis multicriterio como el Proceso Analítico Jerárquico ó AHP obtendrá la solución de gestión más sostenible

Para demostrar su aplicabilidad, se selecciona un residuo proveniente de la industria siderúrgica, el lodo de acería LD, de forma que se constata su eficacia.

ABSTRACT

In the last decades, there has been a worldwide change towards a generalization of the consumption- based economic development model. This economic development requires a high level of industrialization which increases the volume and hazard of the wastes generated. With this increment, new tools for waste management are needed to grant the correct management and disposal of these residues.

The objective of the present thesis is to develop a methodology for the industrial solid waste management, applicable to any industrial sector and capable of making an objective and repeatable evaluation of the waste. This tool should take into account not only the waste by itself, but also the physic, biotic and socio-economic environment. At the same time, the methodology should include a decision support system to choose the best solution among all the proposed alternatives.

The methodology takes a tool as a starting point to determine the different and possible treatment solutions and waste disposal according to the waste features, and a selection of the best available techniques to treat it.

To measure efficiency of the process and select the most suitable one, a system of indicators particularized for industrial solid waste management is developed which, along with the use of multi-criteria analysis as the Analytic Hierarchy Process or AHP management solution, will get the most sustainable solution.

To demonstrate its applicability, it is selected a waste taken from the steel industry - the LD steelmaking sludge- in order to confirm its effectiveness.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.2	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.3	ESTRUCTURA DE LA TESIS	2
2	LA ACTIVIDAD HUMANA Y LOS RESIDUOS	4
2.1	MARCO LEGAL	5
2.1.1	<i>Marco Legal Europeo</i>	5
2.1.2	<i>Directiva marco sobre residuos (2008/98/EC)</i>	5
2.1.3	<i>Directiva vertederos (99/31/EC)</i>	6
2.1.4	<i>Directiva de Incineración (2000/76/EC)</i>	6
2.1.5	<i>Reglamento sobre transporte de residuos (EC1013/2006)</i>	7
2.1.6	<i>Otras Directivas</i>	7
2.2	TIPOS DE RESIDUOS	8
2.3	DEFINICIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES	10
2.4	PRODUCCIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES	12
2.4.1	<i>Estado actual de la gestión de residuos industriales</i>	16
2.5	LOS RESIDUOS SÓLIDOS INDUSTRIALES	27
2.6	PROBLEMÁTICA DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES	29
2.6.1	<i>Clasificación de Residuos Sólidos Industriales</i>	31
3	METODOLOGÍAS EXISTENTES	37
3.1	MÉTODOS DE EVALUACIÓN Y MEJORA DE LA EFICIENCIA	37
3.1.1	<i>Sistemas de gestión ambiental</i>	37
3.1.2	<i>Análisis del ciclo de vida (ACV)</i>	39
3.1.3	<i>Indicadores medioambientales</i>	40
3.2	SISTEMAS DE AYUDA A LA DECISIÓN (SAD)	41
3.3	METODOLOGÍAS PARA LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS	42
3.3.1	<i>Metodologías existentes a nivel internacional</i>	43
3.3.2	<i>Metodologías existentes a nivel nacional</i>	47
3.4	NECESIDAD DE UNA METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN DE RSI	48
4	DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA	49
4.1	SISTEMAS DE INDICADORES MEDIOAMBIENTALES	50
4.1.1	<i>Indicadores</i>	50
4.1.2	<i>Sistemas de indicadores</i>	55
4.2	CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INDICADORES	60
4.2.1	<i>Sistema de indicadores IHOBE/ISO/EMAS</i>	60
4.2.2	<i>Sistema de indicadores GRI</i>	71
4.3	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE INDICADORES	77
4.4	SISTEMA DE INDICADORES MEDIOAMBIENTALES SIM	83
4.4.1	<i>Indicadores ambientales</i>	83
4.4.2	<i>Cumplimiento normativo</i>	86
4.4.3	<i>Indicadores socioeconómicos</i>	86
4.5	PARTICULARIZACIÓN DEL SIM A LA GESTIÓN DE RESIDUOS	88
4.6	METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS	89

4.6.1	Inputs.....	93
4.6.2	Decisiones.....	94
4.6.3	Procesos.....	97
4.6.4	Outputs.....	126
4.7	SISTEMA DE INDICADORES MEDIOAMBIENTALES PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS (SIMGRE)	129
4.7.1	Ambientales.....	131
4.7.2	Cumplimiento normativo.....	148
4.7.3	Socioeconómicos.....	151
4.7.4	Indicadores de Condiciones de Entorno.....	156
4.8	MÉTODOS DE DECISIÓN MULTICRITERIO.....	159
4.8.1	Clasificación de las metodologías de decisión multicriterio.....	160
4.8.2	Selección del Método Decisión Multicriterio.....	163
5	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA: LODOS DE ACERÍA LD	168
5.1	CARACTERIZACIÓN DEL LODO DE ACERÍA LD.....	169
5.2	IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS NECESARIOS PARA TRATAR EL LODO DE ACERÍA LD	171
5.3	SELECCIÓN DEL PROCESO DE GESTIÓN. APLICACIÓN DEL AHP A LA GESTIÓN DEL LODO DE ACERÍA LD.....	179
6	CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE FUTURO	208
7	GLOSARIO.....	209
8	ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	215
9	BIBLIOGRAFÍA.....	217

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Barreras para la implementación de políticas de residuos [BIO11].....	8
Tabla 2: Producción mundial de residuos Industriales en miles de toneladas anuales [OCDE08]	13
Tabla 3: Producción Mundial de Residuos Peligrosos [OCDE08].....	14
Tabla 4: Orden de generación de residuos industriales no peligrosos en España [PNIR05]	15
Tabla 5: Tipos de Residuos Sólidos Industriales producidos por actividad industrial [MUD12].....	32
Tabla 6: Clasificación de Residuos Industriales No Peligrosos según el PNIR.....	35
Tabla 7: Clave para códigos de indicadores GRI [GRI05] [GRI06].	73
Tabla 8: Esqueleto del sistema de indicadores según su correspondencia con los sistemas ISO/EMAS/IHOBE-GRI.....	80
Tabla 9: Técnicas energéticas y principio de funcionamiento.....	116
Tabla 10: Clave para códigos de indicadores.....	130
Tabla 11: Indicadores de entrada del SIMGRE	132
Tabla 12: Indicadores de salida del SIMGRE.....	138
Tabla 13: Indicadores de recogida y transporte del SIMGRE	143
Tabla 14: Indicadores de infraestructura del SIMGRE.....	144
Tabla 15: Indicadores de utilización del suelo del SIMGRE.	144
Tabla 16: Indicadores de suelo del SIMGRE.	146
Tabla 17: Indicadores de flora y fauna de residuos del SIMGRE.	146
Tabla 18: Indicadores de conservación natural del SIMGRE	147
Tabla 19: Indicadores de cumplimiento normativo del SIMGRE	149
Tabla 20: Indicadores de prácticas laborales del SIMGRE.....	152
Tabla 21: Indicadores de sociedad del SIMGRE.....	153
Tabla 22: Indicadores de responsabilidad sobre productos del SIMGRE	153
Tabla 23: Indicadores de comportamiento financiero del SIMGRE.....	155
Tabla 24: Indicadores de inversión en gestión medioambiental sobre productos del SIMGRE	155
Tabla 25: Tabla de indicadores de las condiciones de entorno de la instalación	157
Tabla 26: Matriz de valoración	159
Tabla 27: Clasificación de los problemas de decisión.....	160
Tabla 28: Contribución de las corrientes metodológicas MDM a los problemas continuos o discretos..	161
Tabla 29: Clasificación de las técnicas de decisión multicriterio de tipo discreto [FIG05]	162
Tabla 30: Axiomas básicos de AHP [VAR90]	164
Tabla 31: Escala de medidas AHP [SAA90]	165
Tabla 32: Índice de consistencia aleatorio en función de la dimensión de la matriz nxn	166
Tabla 33: Balance de materia y energía en el proceso de secado térmico	173
Tabla 34: balance de materia y energía del proceso de separación magnética.....	173
Tabla 35: Características que debe cumplir el residuo para ser tratado por Ceramización.....	175
Tabla 36: Balance de materia y energía del proceso de ceramización.....	175
Tabla 37: Características que debe cumplir el residuo para ser tratado por Vitrificación.	176
Tabla 38: balance de materia y energía del proceso de vitrificación	176
Tabla 39: Características que debe cumplir el residuo para ser tratado por fitorremediación.	177
Tabla 40: Balance de materia y energía del proceso de fitorremediación.....	178
Tabla 41: Características que debe cumplir el residuo para ser tratado por biorremediación.....	178
Tabla 42: Balance de materia y energía del proceso de biorremediación	178
Tabla 43: Características que debe cumplir el residuo para ser tratado vitrificación in situ.	179
Tabla 44: Balance de materia y energía del proceso de vitrificación in situ.....	179
Tabla 45: Indicadores escogidos como criterios más representativos para el estudio del AHP	182
Tabla 46: Matriz de comparación por pares (A)	185
Tabla 47: Vector de prioridades o pesos de la matriz A	186

Tabla 48: Solución del Proceso de Análisis Jerárquico AHP en el Principado de Asturias199

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de la metodología analítica y toma de decisiones [ISA08].....	17
Figura 2: Base metodológica de análisis. Enfoque de combinación y comparación de incidencia y efectos de factores heterogéneos entre sí [ISA08]	19
Figura 3: Ciclo de Producción de Residuos	28
Figura 4: Jerarquía Europea de Residuos [DMR08]	30
Figura 5: Pasos para desarrollar la metodología objeto de la tesis.	49
Figura 6: Los indicadores y el proceso de decisión	51
Figura 7: Ciclo de vida de los indicadores [ISO66175].	56
Figura 8: Clasificación IHOBE/ISO/EMAS de los indicadores medioambientales [DOUE03]	61
Figura 9: Clasificación de indicadores de comportamiento Operacional (ICO) [DOUE03].].....	62
Figura 10: Clasificación de indicadores de comportamiento de la gestión (ICG) [DOUE03].	67
Figura 11: Clasificación de los indicadores de estado medioambiental (IEM) [DOUE03].	70
Figura 12: Dimensiones de la sostenibilidad según el sistema GRI.	72
Figura 13: Estudio de similitudes entre los sistemas IHOBE/ISO/EMAS-GRI.....	78
Figura 14: Clasificación final del Sistema de Indicadores Medioambientales SIM	82
Figura 15: Diagrama de selección de alternativas de gestión de residuos sólidos.....	92
Figura 16: Proceso de tratamiento de RSI tipo	98
Figura 17: Técnicas para la gestión de residuos sólidos industriales [DWAF98] [CAS00]	99
Figura 18: Proceso de separación magnética y características del RSI a la entrada del proceso.	100
Figura 19: Proceso de separación gravimétrica y características del RSI a la entrada del proceso	101
Figura 20: Proceso de deshidratación mecánica y características del RSI a la entrada del proceso	102
Figura 21: Proceso de cribado y características del RSI a la entrada del proceso	103
Figura 22: Proceso de trituración y características del RSI a la entrada del proceso	104
Figura 23: Proceso de molienda y características del RSI a la entrada del proceso	105
Figura 24: Proceso de estabilización/ solidificación y características del RSI a la entrada del proceso ...	106
Figura 25: Proceso de encapsulación y características del RSI a la entrada del proceso	107
Figura 26: Proceso de ceramización y características del RSI a la entrada del proceso	108
Figura 27: Proceso de vitrificación y características del RSI a la entrada del proceso	109
Figura 28: Proceso de vitrificación” in situ” y características del RSI a la entrada del proceso	110
Figura 29: Proceso de Biometanización y características del RSI a la entrada del proceso	111
Figura 30: Proceso de Compostaje y características del RSI a la entrada del proceso	112
Figura 31: Proceso de Biorremediación y características del RSI a la entrada del proceso	114
Figura 32: Proceso de Fitorremediación y características del RSI a la entrada del proceso	115
Figura 33: Proceso de Secado térmico y características del RSI a la entrada del proceso	116
Figura 34: Proceso de Pirólisis y características del RSI a la entrada del proceso	118
Figura 35: Proceso de Gasificación y características del RSI a la entrada del proceso	119
Figura 36: Triángulo de las 3T.....	120
Figura 37: Proceso de Incineración y características del RSI a la entrada del proceso	121
Figura 38: Modelo Jerárquico para la toma de decisiones con AHP [SAA88].....	163
Figura 39: Representación del problema de decisión según AHP	181

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Ficha de Residuo.....	228
Anexo 2: Ficha de Proceso.....	234
Anexo 3: Ficha de Entorno	237
Anexo 4: Ficha de Indicador	239

1 INTRODUCCIÓN

1.1 CONTEXTO DE LA INVESTIGACIÓN

A lo largo de la historia, y a medida que la población ha ido creciendo, las necesidades y el nivel de comodidades han ido aumentando de manera exponencial, haciendo que paralelamente a la generación de bienes se produjera una excesiva generación de residuos.

Esta falta de conciencia social que había hasta hace poco era innegable, vertiendo estos residuos de manera incontrolada y causando graves problemas tanto económicos, como sociales y ambientales, ha ido dando paso al despertar de una nueva conciencia social.

El problema de contaminación ambiental tiene su origen en la rápida urbanización e industrialización producida en los últimos decenios.

Aunque la cantidad de residuos que se producen en las ciudades es preocupante, aún lo es en mayor medida la generación de residuos a nivel industrial. Además de ser más variados y numerosos son más peligrosos y como consecuencia más difíciles de controlar, causando serios problemas las operaciones de utilización y posterior eliminación de los mismos.

La gran cantidad de residuos industriales producida a nivel mundial unida a la mayor conciencia social, hace que la necesidad de elaborar nuevos métodos y procedimientos de gestión sea cada vez más evidente.

En el año 1975 se empezaron a implantar en la Unión Europea nuevas políticas referentes a este tema. De esta forma surge la primera Directiva Marco sobre residuos [DMR08] seguida por una serie de directivas adicionales que abordaron determinados flujos de residuos, hasta llegar a la Directiva Marco sobre residuos 2008/98/EC publicada en el año 2008, con la actualmente se pretende que los estados miembros adquieran un compromiso a través de programas que se apliquen a nivel nacional destinados a la de prevención de los residuos.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo general de esta tesis es la búsqueda de la solución más eficiente para el tratamiento de los residuos sólidos industriales de forma que si bien su generación es inevitable, se puedan favorecer los posteriores procesos de reutilización o eliminación más óptimos para el medio ambiente.

Para cumplir este objetivo se plantea en esta tesis el desarrollo de una metodología de gestión de residuos sólidos industriales aplicable a cualquier tipo de sector, desde la industria siderúrgica, hasta la industria cementera, metalúrgica, papelera, etc.

El desarrollo de esta metodología toma como punto de partida las metodologías ya existentes para el tratamiento y gestión de residuos dotando a estas de una serie de características que además de favorecer su aplicabilidad, ofrezcan la posibilidad de aplicar diferentes tipos de tratamiento en función de las necesidades en cada momento.

Los principales parámetros considerados además de las características propias del residuo a gestionar son, las distintas técnicas de tratamiento disponibles, las condiciones del entorno físico, medioambiental y social donde se genera el residuo, los aspectos económicos del

tratamiento así como el conjunto de tratamientos que constituirán cada proceso de gestión de cada residuo.

Así mismo debe de permitir la incorporación de parámetros particulares del entorno físico-biótico y socioeconómico donde se gestione el residuo, de forma que la decisión final sea la más adecuada para ese entorno, pudiendo obtener una solución diferente en un entorno cambiante. Así mismo, el resultado final debe permitir una evaluación objetiva y repetible, es decir, una vez aplicado a un residuo en particular en unas determinadas condiciones, ésta pueda volver a ser aplicada para el mismo tipo de residuo en otros posibles escenarios.

A la hora de seleccionar la solución más conveniente, es vital que incorpore un sistema de ayuda a la toma de decisiones, permitiendo seleccionar la mejor alternativa de entre las consideradas al inicio del problema.

Por ultimo esta metodología debe intentar adaptarse a todas aquellas situaciones en las que por un motivo u otro no sea posible disponer de todos los datos idealmente deseables, bien por que estén muy dispersos, porque no sean fiables, o porque no haya posibilidad de tener acceso directo a los mismos.

1.3 ESTRUCTURA DE LA TESIS

La estructura de la tesis se ha organizada a nivel general en cuatro grandes bloques:

1. En primer lugar se describe la relación existente entre la actividad humana y la gestión de los residuos industriales en general. Se describe la problemática que existe actualmente para gestionar las grandes cantidades de residuos sólidos industriales producidos. En ese sentido se recoge cómo la unión Europea intenta solventar el problema mediante el establecimiento de una serie de disposiciones legales o directivas europeas que cada estado miembro debe trasladar a su acervo administrativo en forma de planes integrados de residuos.
2. Una vez dado a conocer la existencia de este problema en el Capítulo 2, se presenta el resultado obtenido en cuanto a la búsqueda en el estado del arte de sistemas de gestión de residuos sólidos industriales tanto a nivel mundial como a nivel nacional, para demostrar la inexistencia de una metodología completa que aparte de gestionar los residuos sólidos industriales sea capaz de medir la eficiencia de todos los procesos considerados y seleccionar el que más interese en cada caso.
3. Esta metodología se desarrolla en el tercer capítulo, y consta de las siguientes etapas:
 - En la primera se desarrolla un sistema de indicadores medioambientales
 - aplicable a la gestión de residuos, partiendo de una serie de sistemas de indicadores existente. Este permitirá medir y cuantificar la información de los procesos, incorporando tanto factores ambientales como socioeconómicos.
 - La segunda etapa se identificarán las posibles soluciones del tratamiento correspondiente al desarrollo de la metodología a través de un diagrama de decisión que ayudará a identificar cuáles de los posibles procesos de gestión son válidos para un determinado residuo de entrada.
 - En la tercera etapa, se particulariza el sistema de indicadores obtenido para el caso de los residuos sólidos con la ayuda del diagrama con el que se evaluarán las

posibles soluciones estableciendo la base para la comparación con otras instalaciones de referencia. Para la selección de la mejor solución, se emplearán técnicas de análisis multicriterio.

4. En el último capítulo se particulariza la metodología para el caso de la industria siderúrgica, en la que se probará la eficacia en la aplicación de la metodología desarrollada.

2 LA ACTIVIDAD HUMANA Y LOS RESIDUOS

El ser humano siempre ha buscado una mejora en su calidad de vida. Como resultado de esta búsqueda se produce un progresivo desarrollo industrial que inicialmente descuidó por completo el factor ambiental. De esta forma, hasta hace muy poco tiempo, los residuos se depositaban sin más en vertederos, ríos, mares o cualquier otro lugar que se encontrara cerca del foco de generación de los mismos.

Anteriormente, en las sociedades agrícolas y ganaderas, se producían muy pocos residuos no aprovechables o contaminantes. Sin embargo, a consecuencia de la industrialización y el desarrollo, la cantidad y variedad de residuos que se generan han aumentado de forma considerable. Durante varios decenios se han seguido eliminando residuos de los procesos industriales por el simple sistema del vertido. Esto se hacía con cualquier tipo de residuo, independientemente de sus características, incluso con sustancias químicas tóxicas que además se producían cada vez en mayor cantidad.

En los años cincuenta y sesenta se empezaron a comprobar las graves repercusiones para la higiene y la salud de las personas de este sistema. Además se van percibiendo también los importantes impactos negativos sobre el medioambiente que tiene este sistema de “eliminación de residuos”. Simultáneamente la cantidad de todo tipo de residuos ha ido aumentando de forma acelerada y se ha hecho patente la necesidad de tratarlos y gestionarlos adecuadamente si se quieren disminuir sus efectos negativos [ECH98].

La contaminación ambiental es, por tanto, el principal problema asociado con la rápida industrialización, la urbanización y el aumento del nivel de vida de las personas. La actividad humana, en cualquiera de sus ámbitos, desde la actividad particular en los hogares, hasta las actividades profesionales, productivas y de servicios, requiere la utilización de recursos que no son consumidos en su totalidad. Los residuos son, por tanto, un subproducto en pleno crecimiento a medida que las sociedades se desarrollan con todos los problemas que esto acarrea. El uso, y posterior eliminación, de todos estos materiales causa serios problemas relacionados con la contaminación del medio ambiente y requieren una gestión adecuada.

Para dicha gestión de los residuos, las actuaciones se jerarquizan en cumplimiento de la denominada Regla de la Tres Erres, que tiene su origen en la cumbre del G8 de Sea Island (EEUU) en el año 2004, donde el Primer Ministro de Japón propone la iniciativa [G8IC04]. Como consecuencia se acuerda el Plan de Acción 3R, que consiste el cumplimiento de las tres siguientes premisas:

- Reducción y prevención de la generación de los residuos: ésta es competencia única de los productores, principalmente en el caso del sector industrial. Esto se puede conseguir mediante modificaciones en el ciclo de producción y consumo, reduciendo entre otras cosas los componentes peligrosos que tienen los residuos mediante el empleo de tecnologías limpias o mejoras introducidas en los procesos productivos de los materiales, o bien diseñando productos sin compuestos peligrosos, prolongando la vida de los productos o cambiando los hábitos de consumo.
- Reutilización: implica la utilización del residuo destinándolo a la misma o a diferentes funciones sin someterlo a ningún tratamiento o transformación.
- Reciclaje: consiste en el aprovechamiento, de parte de los materiales que componen los residuos, de manera que estos subproductos se utilizan como entrada al proceso de fabricación de otros productos, de esta manera se consigue ahorrar materia prima, energía y recursos naturales.

2.1 MARCO LEGAL

Antes de comenzar el desarrollo de las soluciones existentes, se presenta en este apartado una descripción de la situación legal y normativa aplicable a la gestión de residuos sólidos industriales. A partir del análisis de la legislación actual se pretenden determinar los requerimientos de partida a corto y medio plazo en la gestión de residuos, y por tanto, que deben ser tenidos en cuenta en la propia metodología objeto de esta tesis.

El propósito de este punto es presentar los planes actualmente existentes, que marcan las líneas de actuación en cuanto al manejo de determinados grupos de residuos y que establecen la filosofía de trabajo en la gestión de los mismos.

2.1.1 MARCO LEGAL EUROPEO

La primera Directiva marco sobre residuos fue creada en Europa en 1975, seguida por una serie de directivas adicionales que abordaron determinados flujos de residuos [DMR08]. Sin embargo, existen todavía graves deficiencias en cuanto a la aplicación de la legislación comunitaria en materia de residuos debido a la falta de prioridad en los Estados miembros, la falta de datos fiables y de otros factores que conducen a grandes diferencias en la calidad y el estado de aplicación de las mismas entre los Estados miembros [BIO11]. Para asegurar el desarrollo sostenible dentro y fuera de la UE, se ha de aplicar más eficazmente su legislación, junto con el apoyo institucional de la UE a los estados miembros.

Asimismo, el uso generalizado de tecnologías inadecuadas para la gestión de residuos, así como en vertederos y otras instalaciones que no cumplen con los requisitos de la UE, los traslados ilegales de residuos y otros aspectos no suficientemente implementados no sólo dañan el medio ambiente, sino también los costes económicos y los daños en la salud de los ciudadanos.

A continuación se presenta un resumen en el que se pretende dar una visión general de la legislación comunitaria en materia de residuos y de estado actual de su aplicación [BIO11]:

2.1.2 DIRECTIVA MARCO SOBRE RESIDUOS (2008/98/EC)

En febrero de 2007 se publica una Comunicación interpretativa sobre residuos y subproductos elaborada por la Comisión Europea, que define los siguientes términos:

- *Producto*. Todo material obtenido deliberadamente en un proceso de producción. En muchos casos es posible identificar un producto “primario” (o varios), que es el principal material producido.
- *Residuo de producción*. Material que no se produce deliberadamente en un proceso de producción, pero que puede ser o no residuo.
- *Subproducto*. Residuo de producción que no es residuo.

Cabe destacar que el Tribunal de Justicia declaró que si la reutilización del material no sólo es posible, sino segura, sin transformación previa, y sin solución de continuidad del proceso de producción, dicho material no constituye un residuo [COM07] [COM05].

Con el fin de eliminar la relación existente entre crecimiento económico y producción de residuos, la Unión Europea UE presenta la Directiva 2008/98/EC del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008 [DMR08], sobre los residuos que deroga las directivas 75/439/CEE [GAM75], 91/689/CEE [RRP91] y 2006/12/CE [RR06], el plazo de trasposición en los estados miembros es hasta el 12 de diciembre del 2010.

Esta directiva se enmarca jurídicamente en el control de todo el ciclo de los residuos, desde su producción a su eliminación, y se centra, para ello, en la valorización y el reciclaje para el tratamiento de los residuos en la Unión Europea. Su objetivo es proteger el medio ambiente y la salud humana mediante la prevención de los efectos nocivos que suponen la producción y la gestión de residuos [EUROPA09].

El 1 de Enero del 2002, entra en vigor la Decisión 2000/532/CE la cual presenta una única lista de residuos que deroga las dos listas anteriores (Decisión de la Comisión 94/3/CE y Decisión del Consejo 94/904/CE), y que a su vez es modificada por [NAM04]:

- La Decisión de la Comisión 2001/118/CE, donde se amplía el artículo 2, en el que se define residuo peligroso como aquel que presenta una o más características determinadas.
- La Decisión de la Comisión 2001/119/CE, donde se clasifican los vehículos fuera de uso como residuos peligrosos.
- La Decisión 2001/573/CE, donde se modifica la clasificación de algunos residuos.

La revisión de la Directiva Marco de Residuos 2008 establece un nuevo enfoque para la gestión de residuos que se centra en limitar el impacto sobre la salud humana y el medio ambiente. Se introduce una jerarquía de residuos que da prioridad a la prevención de los mismos, y requiere un compromiso de los estados miembros a través de los programas nacionales de prevención de residuos. La Directiva marco de Residuos (2008/98/EC) amplía la responsabilidad del productor de cara a la generación de residuos, estimula el reciclado y la recuperación a través de la promoción de la recogida selectiva, y establece unos objetivos para los flujos de residuos específicos.

En cuanto a la aplicación en la Unión Europea de esta directiva hay que destacar la falta de interés en cuanto a la prevención de la gestión de los residuos, el poco potencial utilizado para el reciclaje, la mala gestión de los residuos biológicos y varios problemas en cuanto a la gestión de los residuos peligrosos [BIO11].

2.1.3 DIRECTIVA VERTEDEROS (99/31/EC)

La Directiva (99/31/EC) sobre vertederos de 1999 tiene por objeto prevenir o reducir al mínimo los impactos del vertido de residuos en el agua, suelo, aire y la salud humana. La Directiva (99/31/EC) se refiere a la ubicación y las prescripciones técnicas de los rellenos sanitarios, tales como la supervisión del agua, gestión de lixiviados, y control de las emisiones de metano. Asimismo, establece metas para la reducción de los vertederos.

En la actualidad, todavía quedan muchos vertederos ilegales, la aplicación de un criterio de residuos aceptable es lento y esporádico, variando el rendimiento en el caso de los residuos biológicos.

2.1.4 DIRECTIVA DE INCINERACIÓN (2000/76/EC)

La Directiva sobre residuos de incineración de 2000 establece las condiciones de operación y monitorización, así como los requisitos técnicos los límites en cuanto las emisiones al agua y al aire.

Esta Directiva (2000/76/EC) se ha transpuesto de manera efectiva por los estados miembros, y muchos estados miembros incluso exceden las condiciones requeridas.

2.1.5 REGLAMENTO SOBRE TRANSPORTE DE RESIDUOS (EC1013/2006)

El Reglamento (EC1013/2006) sobre transporte de residuos del año 2006 incorpora el Convenio de Basilea, que regula las exportaciones e importaciones de residuos y de los movimientos transfronterizos de residuos, en particular, dentro de la legislación europea. El Reglamento (EC1013/2006) define los términos clave en el transporte de residuos, establece normas armonizadas para los movimientos de residuos entre fronteras destinados a eliminación o valorización, y requiere información de los Estados miembros en materia de traslados de residuos.

Este reglamento va estrechamente ligado a la Directiva marco sobre residuos (2008/98/EC), que tanto subraya la jerarquía de residuos de la UE para las opciones de gestión de los mismos. El Reglamento (EC1013/2006) hace énfasis en la protección medioambiental y la autosuficiencia en la eliminación de residuos (principio de proximidad), y se centra en una mayor cooperación refuerzo.

Actualmente en la UE, los traslados de residuos son cada vez mayores, incluyendo los residuos peligrosos, de ahí surgen los problemas en cuanto a la aplicación de esta directiva

2.1.6 OTRAS DIRECTIVAS

Dentro de la Unión Europea existen otras directivas relacionadas con los residuos peligrosos, que se describen a continuación.

- **Directiva sobre Pilas y Acumuladores (2008/12/CE)**, que modifica la del Septiembre 2006/66/CE): la directiva del 2008 sobre Pilas y Acumuladores exige la recogida selectiva de los mismos, limita su contenido peligroso en términos del contenido en mercurio y cadmio, y establece unos objetivos de recogida y reciclaje. Respecto a la aplicación de esta directiva la UE se ha encontrado con el problema de la inexistencia o falta de datos antes del año 2012, existiendo sólo hasta el momento resultados mezclados[DPA08].
- **Directiva sobre el final de la vida de un vehículo (2000/53/EC)**: esta directiva del final de la vida útil vehicular (VFU) del año 2000 tiene como objetivo prevenir el abandono del vehículo y promover la reutilización, el reciclaje y recuperación del vehículo y sus componentes, para minimizar el vertido de residuos de vehículos y mejorar el desarrollo medioambiental de la gestión de residuos de VFU. La Directiva prohíbe, además, ciertos metales pesados utilizados en la fabricación de los vehículos para así mejorar el desmantelamiento y el tratamiento seguro y requiere de medidas nacionales para la recolección y la libre devolución de los vehículos. A la hora de aplicar la directiva en los países de la UE, existen muchos problemas, ya que hay problemas para recopilar información necesaria para abordar el problema de los residuos de VFU, así como la existencia de gran cantidad de infracciones producidas en este sector [DVFU00].
- **Directiva sobre envases y residuos de envases (94/62/EC)**: tiene por objeto armonizar la legislación perteneciente a embalajes de los estados miembros, prevenir y minimizar los impactos medioambientales de los residuos de envases, y para garantizar el funcionamiento eficaz del mercado interior. Se requiere de medidas para reducir los residuos de envases y estimular la reutilización, y fija los objetivos del reciclado y la valorización. En la UE, se han conseguido la mayor parte de los objetivos propuestos, aunque falta mayor énfasis en la prevención[DERE94].
- **Directiva de residuos de aparatos eléctricos y de equipos electrónicos (2002/96/EC)**: esta directiva prioriza la prevención de los mismos y trata de minimizar

su depósito en vertederos. Esta directiva RAEE promueve medidas de eco-diseño que hacen más fácil su desmantelamiento, renovación, reciclaje y recuperación, en particular a través de la reducción de sustancias peligrosas en los productos electrónicos. Asimismo, la Directiva introduce la responsabilidad del productor de cara a los RAEE y la aplicación práctica de esta Directiva se centra en el reciclaje y la recuperación de los residuos. Hasta ahora la mayor parte de los estados miembros no han alcanzado los objetivos, y se han producido muchos casos de infracción [DRAEE02].

Según el análisis realizado por [BIO11] sobre la aplicación de estas directivas, se pone de manifiesto la variedad de temas presentes en la aplicación de las mismas y que aún no han sido bien tratados, surgiendo una serie de barreras para la implantación de estas directivas que se ven reflejadas de forma resumida en la matriz (Tabla 1).

Tabla 1: Barreras para la implementación de políticas de residuos [BIO11].

FACTOR DE IMPLEMENTACION	DIRECTIVAS							
	RESIDUOS	VERTEDEROS	INCINERACIÓN	TRASLADO DE RESIDUOS	BATERIAS	FIN DE VIDA DE UTIL VEHICULOS	ENVASES	APARATOS ELECTRICOS Y ELECTRONICOS
Infraestructura y capacidad de edificación	X	X		X	X	X	X	X
Competencia y capacidad administrativa	X	X	X	X			X	X
Experiencia y conocimientos especializados		X		X	X	X		X
Intercambio de conocimientos	X	X		X	X		X	X
Sensibilización	X	X		X	X		X	X
Medidas de ejecución	X	X	X	X		X		X
Objetivos	X	X			X	X	X	X
Instrumentos económicos	X	X			X	X	X	X
Desarrollo de mercados	X	X		X	X	X		X

2.2 TIPOS DE RESIDUOS

Cada actividad genera sus propios residuos, cuya composición y características son muy variadas en función de su procedencia. Así, es muy distinto el residuo industrial que el agrícola o doméstico.

La eliminación de productos de desecho, se puede clasificar también en tres grandes grupos en función de las características del material base:

1. Emisiones, considerando estas como aquellos residuos que se diluyen o disuelven y transportan en fase gaseosa: gases, soles, etc.
2. Vertidos, generalmente de base acuosa.
3. Residuos sólidos, si bien pueden contener niveles de humedad importantes. En general se incluirán en este grupo todos aquellos elementos que no pueden ser tratados o transportados como un fluido.

Por tanto, si bien existen residuos en todas las fases, en general no se consideran como tales a los residuos gaseosos o líquidos por lo que esta acepción se entenderá aplicable exclusivamente a materiales sólidos, [ECH98] [FOR09].

Dichos residuos sólidos se pueden agrupar según su procedencia en:

- ❖ **Residuos sólidos urbanos (RSU):** son aquellos que se originan en los núcleos de población como consecuencia de la actividad habitual y diaria del ser humano. Se clasifican en dos grandes grupos: Residuos Sólidos Urbanos, RSU, y Aguas Residuales Urbanas, ARU.
- ❖ **Residuos industriales:** pueden clasificarse de varias formas. En función del impacto que se genera en el medioambiente y en la salud humana se dividen en:
 - **Residuos peligrosos:** son materias que en cualquier estado físico o químico, contienen elementos o sustancias que pueden representar un peligro para el medio ambiente, la salud humana o los recursos naturales y que por su composición química u otras características requieren un tratamiento especial.
 - **No peligrosos** (Real Decreto RD 1481/2001) [RD01]: aquellos que no presentan peligro potencial para la salud, humana, medioambiente o patrimonio público, no puedan asimilarse a los generados en los domicilios y tampoco ser englobados dentro de los inertes porque generan cantidades significativas de lixiviado, por ejemplo unos lodos de depuradora no peligrosos.
 - **Residuos inertes** (RD 1481/2001): se definen como aquellos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. No son solubles, ni combustibles, no reaccionan física ni químicamente de ninguna otra manera, no son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto de forma que pueda dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar la salud humana. La lixiviabilidad total, el contenido de contaminantes de los residuos y la del lixiviado deberán ser insignificantes, y en particular no deberán suponer riesgo para la calidad de las aguas superficiales y/o subterráneas. Por ejemplo, restos de escombros, ladrillos, hormigón fraguado, vidrio, etc.
 - **Residuos asimilables a urbanos (ley 10/98):** son aquellos que no tienen calificación de peligrosos y que debido a su naturaleza y composición se pueden asimilar a los producidos en domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios como puede ser material de oficina, componentes eléctricos, etc.
- ❖ **Residuos agrarios:** procedentes de la agricultura, la ganadería, la pesca, las explotaciones forestales o la industria alimenticia.
- ❖ **Residuos médicos y de laboratorios:** restos del trabajo clínico o de investigación.
- ❖ **Residuos radiactivos:** materiales que emiten radiactividad, procedentes de centrales nucleares, o de resultados de actividades industriales, médicas o de investigación.

No todos estos residuos requieren el mismo tratamiento. A pesar de ser cantidades muy inferiores, la gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) se encuentra mucho más desarrollada, debido a una serie de características que favorecen este hecho, entre las que destacan [AND03] las siguientes:

- **Volumen:** su volumen es relativamente pequeño comparado con otros tipos de residuos especialmente los industriales. Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos OCDE -ver Tabla 2-, se producen a nivel mundial más de 1000

millones de toneladas de residuos industriales frente a los 350 millones de toneladas de RSU [OCDE08].

- **Concentración:** su concentración demográfica en los núcleos urbanos permite que se hayan adoptado métodos de gestión sostenibles haciendo que el tratamiento y la eliminación de basura en pueblos y ciudades sea una primera prioridad para vecinos y organismos locales.
- **Uniformidad:** independientemente de las proporciones, los residuos sólidos tienen unas fracciones claramente identificables muy similares en cualquier país del mundo y específicamente en los países desarrollados en los que la gestión de residuos urbanos está más avanzada.
- **Legislación:** dentro de las normas comunitarias, los residuos urbanos tienen un mayor protagonismo y su gestión está más controlada y organizada que la de otro tipo de residuos
- **Similitud:** la cantidad de residuos urbanos peligrosos producida, es muchísimo menor que la procedente de otros tipos, siendo su recogida también abordada por la administración pública.
- **Avance técnico:** debido a esto se han desarrollado múltiples técnicas de tratamiento para los residuos urbanos con lo cual las técnicas pertenecientes a este sector son las más estudiadas, avanzadas y las más respetuosas desde el punto de vista medioambiental

En general, se han llevado a cabo numerosas iniciativas para mejorar la gestión de RSU y se han realizado numerosas inversiones por las administraciones públicas en esta cuestión.

El modo más frecuente de financiar la gestión de residuos urbanos consiste en que las administraciones públicas (en el caso de España, los Ayuntamientos) tienen un sistema de recogida de basuras sin repercutir a los ciudadanos en el coste directamente la cantidad recogida. Por ejemplo, el reciclaje de los residuos urbanos produce un ahorro en los costes económicos de evacuación o incineración, que repercute sobre la administración pública (o, en su caso, sobre la empresa concesionaria encargada de la evacuación) y no sobre quien genera los residuos [AND03].

Como consecuencia de todo ello, el ciclo de la gestión de RSU está fuertemente regulado y desarrollado, existiendo posibles pequeñas mejoras derivadas fundamentalmente técnicas, pero con toma de decisiones y etapas perfectamente caracterizadas. No sucede así en el resto de residuos que, idealmente, deberían seguir una metodología similar pero que, hasta el momento, no se ha desarrollado de forma genérica.

Para el desarrollo de esta Tesis Doctoral solo se tendrán en cuenta solamente los residuos de naturaleza sólida (sólidos y lodos) resultantes de los diferentes tipos de actividad industrial, y considerados a partir del momento de su generación.

2.3 DEFINICIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES

Existen multitud de definiciones de residuos industriales, la mayor parte de las cuales tienen su origen en leyes y reales decretos por los que se rige la gestión de residuos de cada país. A continuación se presentan algunas definiciones de “Residuo Industrial”, desde las incluidas e legislación Española hasta algunas definiciones pertenecientes a otros países o estados en el ámbito internacional.

La mayor parte de las definiciones se pueden encontrar en la legislación aprobada por las administraciones públicas estatales y locales para definir su rango de aplicación. En España, el *Plan Integral de Residuos de Canarias 2000-2006* aprobado por Decreto 161 del año 2001, de

30 de julio (BOC nº 134 de 15/10/2001), considera “Residuo Industrial” cualquier sustancia o producto, resultante de un proceso industrial de producción, transformación, utilización, consumo o de limpieza del que el productor o el poseedor se quiere desprender o tenga la intención de hacerlo. Así quedan excluidos de esta definición los residuos de los comercios, oficinas y servicios [D161/2001] [PIRC00]

Más recientemente la Ley 22/2011, del 28 de Julio, de *Residuos y Suelos Contaminados* del Boletín Oficial del Estado Español BOE, se consideran como “Residuo Industrial” aquellos residuos resultantes de los procesos de fabricación, de transformación, de utilización, de consumo, de limpieza o de mantenimiento generados por la actividad industrial, excluidas las emisiones a la atmósfera reguladas en la Ley 34/2007, de 15 de noviembre. Los residuos industriales [L22/2011]

Una referencia más internacional, es la de la EPA (*Environment Protection Agency*) en EEUU, que en su documento *Waste Guidelines*, define como “residuos industriales” y comerciales en general, como aquellos componentes sólidos pertenecientes a corrientes residuales procedentes de áreas comerciales, industriales, gubernamentales, públicas o privadas que no se hayan recogido como residuos urbanos y que no contengan residuos peligrosos, radioactivos o clasificados [EPA09].

Por último, otra definición más reciente de residuo industrial es la que proporciona la Agencia de Medioambiente Europea *European Environment Agency EEA*, en la que se define como aquellos residuos, sólidos, líquidos o gaseosos originados a partir de la fabricación industrial de productos [EEA12].

Todas estas definiciones son extensivas, se refieren al residuo como todo aquello que queda dentro de las restricciones consideradas. Pero es preciso matizar y realizar una definición intensiva que permita determinar aquellos materiales que sí son considerados específicamente residuos industriales. Resulta muy complejo definir con precisión aquellos residuos que se enmarcan dentro del concepto de residuo industrial. Es importante considerar que no todos los residuos generados en la industria son en realidad específicos; las empresas utilizan envases u otros materiales que se pueden considerar equivalentes a aquellos generados dentro de las actividades urbanas y pueden, por tanto, ser incluidos dentro de sus mecanismos de proceso y gestión.

En España, se puede considerar que la definición más extendida procede del Plan Nacional Integrado de Residuos PNIR [PNIR08] que define los *Residuos Industriales No Peligrosos* (RINP) como aquellos residuos producidos en el ejercicio de una actividad industrial, productiva o de servicios, que no estén identificados como peligrosos en la Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero [ISA07]. Es decir, a efectos del Plan Nacional Integrado de Residuos, se consideran RINP aquellos residuos generados en las actividades industriales, productivas o de servicios en instalaciones industriales, inertes y/o no peligrosas. Esta definición incorpora elementos intensivos a desarrollar los residuos que se incluyen en ella, a saber:

- Los generados en industrias que figuran según el código LER (Lista Europea de Residuos) como generadores de al menos un RINP, existiendo la posibilidad de que se generen este tipo de residuos en otras actividades diferentes, o en su caso, se confirme su no peligrosidad. Es por ello también se consideran las actividades industriales correspondientes al artículo 3 de la Ley 21 de 1992, de Industria, que corresponden a los siguientes grupos de la Clasificación Nacional de Actividades Económicas CNAE-93:
 - Grupo C. Industrias extractivas en las que no se incluyen los residuos propios de los procesos mineros (lodos, de lavados, etc.) y de las actividades de

- investigación, exploración y explotación de los yacimientos minerales y demás recursos geológicos regulados por la Ley 22/1973, de Minas.
- Grupo D: Industrias manufactureras;
- Grupo E: Producción y distribución de energía eléctrica, gas y agua (código 40). Tienen especial consideración las centrales térmicas de carbón.
- Grupo O.OO código 90. Actividades de saneamiento público. Se consideran las actividades de tratamiento de residuos industriales. Los generados en actividades industriales privadas de saneamiento o depuración de efluentes líquidos.
- Por último se incluyen los residuos industriales inertes generados por procesos de inertización desarrollados en plantas de tratamiento físico-químico o biológico de Residuos Peligrosos.

Los residuos que quedan excluidos de esta clasificación son los siguientes:

- Residuos industriales no vinculados a procesos productivos, similares a los que se generan en domicilios, comercios o servicios, y que son gestionados a través de gestor local o el sistema municipal de residuos sólidos Urbanos (RSU).
- Residuos procedentes de actividades de construcción y demolición, Grupo F del CNAE-93, y RCD (Residuos de Construcción y Demolición) objeto del proyecto de II PNRCO del PNIR.
- Residuos de actividades comerciales, hostelería, transporte, servicios, o las debidas a la educación o administraciones públicas.
- Residuos resultantes de las actividades de depuración de aguas urbanas; ya que generan residuos específicos que son objeto del proyecto de II PNLD del PNIR.
- Residuos de las plantas de tratamiento de RU, que son objeto del proyecto de II PNRU del PNIR.
- Determinados residuos industriales específicos (VFU, en el proyecto de II PNVFU del PNIR); NFU (Neumáticos Fuera de Uso), objeto del proyecto de II PNNFU (Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso) del PNIR, que disponen de sistemas propios de gestión, y cuya mayor producción está relacionada con actividades de consumo, no industriales.
- Residuos asimilables a Residuos urbanos que se generan en las instalaciones industriales como consecuencia de la propia presencia humana en dichas instalaciones, pero que no son generados en los procesos productivos, que están incluidos en el Plan Nacional de Residuos Urbanos (PNRU).

2.4 PRODUCCIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES

Desafortunadamente no existe una información completa y exhaustiva de los residuos de carácter industrial generados en el mundo, ni siquiera en los países más avanzados. La información disponible es parcial, generalmente sectorial e incompleta, muchas veces sesgada por las propias empresas que la aportan. No obstante existen indicadores que pueden aportar una idea de su magnitud. Así por ejemplo en el año 2010 se produjeron 173 millones de toneladas de acero [ESA07]. Dado que por cada tonelada de acero se producen 0,13 millones de toneladas de escoria, a nivel mundial se produjeron al menos 21,8 millones de toneladas exclusivamente de escoria de acería [EAMS12], sin considerar todos los demás residuos asociados al proceso, lo que supondría aproximadamente 7 millones de m³.

La información más fiable procede de la OCDE En la Tabla 2 [OCDE08]. Se presentan a nivel mundial los residuos producidos por los diferentes sectores de la actividad económica

(industria, agricultura, minería y canteras, fabricación, producción de energía, tratamiento y distribución de aguas, industria de la construcción, etc.). Esta distribución que separa las corrientes residuales por sectores, se ajusta a las divisiones por sectores a la revisión 3 de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas, CIIU [OCDE08].

Tabla 2: Producción mundial de residuos Industriales en miles de toneladas anuales [OCDE08]

	IND. FORESTAL Y AGRICULTURA	IND. MINERÍA Y CANTERAS	IND. FABRICACIÓN	PRODUCCIÓN DE ENERGÍA	TRATAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA	CONSTRUCCIÓN	OTRAS INDUSTRIAS	RSU	TOTAL
Canadá	-	-	-	-	-	-	-	13.380	-
Méjico	-	-	-	-	-	-	-	36.090	-
USA	-	-	-	-	-	-	-	222.860	-
Japón	90.430	13.770	122.880	6.970	8.310	76.150	3.860	54.930	455.180
Corea	-	-	38.330	-	-	54.200	-	18.250	110.780
Australia	-	-	9.470	-	-	13.740	-	8.900	32.380
N. Zelanda	150	-	800	-	-	800	-	1.540	3.290
Austria	-	-	-	-	1.910	28.600	18.900	4.590	54.000
Bélgica	1.150	120	13.650	850	200	10.490	6.300	4.750	36.360
R. Checa	460	650	6.040	2.310	650	9.110	2.770	2.950	24.940
Dinamarca	-	-	1.850	1.080	820	5.270	1.850	3.340	14.210
Finlandia	860	23.820	15.710	1.570	510	20.840	100	2.370	65.790
Francia	-	-	90.000	-	960	-	-	33.780	128.610
Alemania	-	50.450	53.010	-	-	187.480	-	48.430	339.370
Grecia	-	-	-	-	-	5.000	-	4.710	-
Hungría	-	13.080	5.200	3.330	-	1.740	2.050	4.590	29.990
Islandia	50	-	50	-	-	20	230	150	490
Irlanda	60.170	4.050	5.300	290	60	2.680	-	3.000	57.160
Italia	440	900	37.780	2.800	13.550	46.460	5.530	31.150	138.620
Luxemb	-	50	730	-	130	6.980	90	310	8.300
P. Bajos	2.390	90	16.900	1.430	170	24.000	6.150	10.160	61.290
noruega	160	190	3.800	40	-	1.500	2.260	1.840	9.790
Polonia	-	39.620	58.440	19.840	3.280	240	2.740	9.350	133.960
Portugal	-	3.630	8.980	320	50	-	110	4.620	17.710
Eslovaquia	4.490	-	8.680	-	260	1.690	-	1.400	16.590
España	-	21.780	28.510	5.940	-	-	9.510	27.590	-
Suecia	-	58.640	29.470	1.250	920	11.270	-	4.170	105.710
Suiza	-	-	1.130	-	210	11.900	-	4.910	18.140
Turquía	-	-	17.500	13.890	3.240	-	-	29.740	64.350
Reino Unido	540	96.390	45.000	6.180	1.390	109.000	30.320	36.120	323.430

En la Tabla 3 se presenta la producción mundial de residuos peligrosos de procedencia industrial en los países seleccionados según la misma fuente. Las cantidades producidas y la composición de estos residuos dependen de las pautas que se siguen en los procesos de producción. Los flujos de residuos de la tabla deben cumplir el Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación.

Se ha de tener en cuenta que los datos no representan necesariamente todos los residuos peligrosos, ni su toxicidad potencial, y que las definiciones y los métodos de estimación varían de país a país.

Tabla 3: Producción Mundial de Residuos Peligrosos [OCDE08]

PAÍS	AÑO	PRODUCCIÓN EN MILES DE Tn/ AÑO
Canadá	1991	5.896
Méjico	2000	3.707
USA	2005	34.788
Japón	1999	3.306
Corea	2003	2.913
Australia	2002	642
Nueva Zelanda	2004	-
Austria	2004	1.014
Bélgica	1997	2.016
República Checa	2005	1.372
Dinamarca	2005	340
Finlandia	2004	2.349
Francia	2000	9.150
Alemania	2004	18.401
Grecia	2003	354
Hungría	2002	543
Islandia	2004	8
Irlanda	2004	674
Italia	2004	5.365
Luxemburgo	2002	228
Países Bajos	2002	2.160
Noruega *	2005	939
Polonia	2005	1.779
Portugal	1995	668
Eslovaquia.	2004	1.021
España	2004	3.534
Suecia	2004	1.354
Suiza	2002	1.112
Turquía	2004	1.196
Reino unido	2004	5.285

La cantidad de residuos peligrosos es menor que la cantidad de residuos urbanos producidos a nivel mundial, por ejemplo la producción anual de residuos peligrosos a nivel mundial según la OCDE, resultante de sumar todas las producciones de la Tabla 3, es de más de 100 millones de toneladas anuales, frente a los 350 millones de toneladas de RSU [OCDE08].

A nivel nacional, la información sobre generación de residuos industriales proviene de los planes de RI de cada comunidad autónoma, por ejemplo en la Comunidad Autónoma de Aragón, los datos recopilados provienen de encuestas realizadas para el Plan de Gestión Integral de Residuos De Aragón, Plan GIRA, aprobado en el año 2005, cuyo objeto es minimizar la generación de residuos, maximizar su valoración, coordinar la gestión de los diversos flujos de residuos, planificar la intervención directa, y optimizar los medios para que cada residuo se gestione con el mayor respeto al medio ambiente [GIRA05].

La Tabla 4 representa los residuos más significativos en cuanto a cantidad generadas en el año 2005, si bien es importante destacar que no existe información de todas las comunidades autónomas.

Tabla 4: Orden de generación de residuos industriales no peligrosos en España [PNIR05]

ORDEN DE GENERACIÓN	CÓDIGO LER	RESIDUOS (RINP)	GENERACIÓN (t/a)
1	10	Residuos de procesos térmicos	6.957.638
2	2	Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca; residuos de la preparación y elaboración de alimentos	3.657.897
3	20	Residuos municipales (residuos domésticos y residuos asimilables procedentes de los comercios, industrias e instituciones), incluidas las fracciones recogidas selectivamente	1.582.979
4	3	Residuos de la transformación de la madera y de la producción de tableros y muebles, pasta de papel, papel y cartón	1.407.766
5	12	Residuos del moldeo y del tratamiento físico y mecánico de superficie de metales plásticos	1.134.363
6	19	Residuos de las instalaciones para el tratamiento de residuos, de las plantas externas de tratamiento de aguas residuales y de la preparación de agua para consumo humano y de agua para uso industrial	1.075.817
7	7	Residuos de procesos químicos orgánicos	305.563
8	15	Residuos de envases; absorbentes, trapos de limpieza, materiales de filtración y ropas de protección no especificados en otra 15 categoría	258.228
9	4	Residuos de la industria del cuero, de la piel y textil	240.031
10	6	Residuos de procesos químicos inorgánicos	131.018,90

ORDEN DE GENERACIÓN	CÓDIGO LER	RESIDUOS (RINP)	GENERACIÓN (t/a)
11	11	Residuos del tratamiento químico de superficie y del recubrimiento de metales y otros materiales; residuos de la hidrometalurgia no 11 férrea	92.249,20
12	8	Residuos de la fabricación, formulación, distribución y utilización de revestimientos (pinturas, barnices y esmaltes vítreos), 08 adhesivos, sellantes y tintas de impresión	86.343
13	16	Residuos no especificados en otro capítulo de la lista	85.051,90
14	5	Residuos del refino del petróleo, de la purificación del gas natural y del tratamiento pirolítico del carbón	19.018
15	9	Residuos de la industria fotográfica	261
16	13	Residuos de aceites y de combustibles líquidos (excepto los aceites 13 comestibles y los de los capítulos 05, 12 y 19)	0
17	14	Residuos de disolventes, refrigerantes y propelentes orgánicos 14 (excepto los de los capítulos 07 y 08)	0
	TOTAL	Suma total de residuos	20.269.257

Considerando que el global de residuos urbanos generados anualmente en España es de aproximadamente 3 millones de toneladas, se comprueba la enorme relevancia de este tipo de residuo en el entorno y su importante influencia si se considera su escaso nivel de gestión [PNIR05].

2.4.1 ESTADO ACTUAL DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES

En España el modelo más desarrollado para la gestión de residuos industriales procede del PNIR. En este se efectúa una distinción entre los impactos sobre todos los medios receptores y los costes positivos y negativos, en la generación y los tratamientos y la gestión de los residuos, así como la construcción de las infraestructuras necesarias para su tratamiento y gestión

Este análisis se debe completar con tres tipos de balances, de impactos, de costes y una combinación de ambos. De manera que se da un enfoque matricial que permite la combinación y la comparación sobre la incidencia y los efectos de los factores heterogéneos entre sí.

Para analizar el problema ambiental que supone la generación de residuos, se debe conocer previamente los posibles derroches de las materias primas (incluida el agua) y energía (sobre todo los recursos no renovables). Y hay que tener en cuenta los impactos, y el coste económico del proceso que ocasiona su generación,

En cuanto a su gestión se deben analizar varios consumos, en primer lugar el consumo de recursos (sobre todo no renovables), de materiales, agua y energía, y el impacto del proceso industrial de gestión en el aire, agua, suelo, etc. Se debe tener muy presente que las operaciones de gestión de residuos también generan residuos.

El Plan evalúa la construcción de nuevas infraestructuras para el tratamiento de residuos, teniendo en cuenta los recursos económicos, con la necesidad de evaluar el impacto ambiental, para ello se deben tener en cuenta, los posibles efectos inmediatos, los diferidos en el tiempo y la posibilidad de generación de contaminación difusa.

En el proyecto PNIR diseña una serie de medidas cuyo objetivo es reducir tanto el riesgo mismo como el periodo de exposición a él.

A continuación se enumera la secuencia de acciones, estudios y análisis, y procedimientos decisorios de la metodología analítica de la Figura 2 y de toma de decisiones propuesta en el Plan y que se puede ver en la Figura 1:



Figura 1: Esquema de la metodología analítica y toma de decisiones [ISA08]

- I. *Acciones preventivas*, en esta parte se hace una revisión bibliográfica de toda la información disponible, tanto en España como en otros países, relativa a:
- ✓ Datos estadísticos
 - ✓ Tecnologías disponibles para los distintos tipos de residuos
 - ✓ Planes existentes
 - ✓ Información técnica, científica, toxicológica y jurídica sobre los distintos tipos de residuos
 - ✓ Programas de I+D+i en materia de residuos en España, en especial; y en otros países
 - ✓ Experiencia de planificación sobre residuos tanto de España como en otros países
 - ✓ Legislación vigente
 - ✓ Información económica sobre los costos asociados a la generación y gestión de los distintos tipos de residuos

- ✓ Información relativa a las actitudes y percepciones sociales en materia de residuos
- II. *Estudios y análisis:* Una vez reunidos todos los datos del primer punto se clasifican y evalúan por separado (análisis), llegando a unas conclusiones para una evaluación global (síntesis) que permita:
- ✓ La siguiente toma de decisiones.
 - ✓ El establecimiento de algunas líneas generales mínimas comunes, tanto en análisis como en la síntesis (estas líneas deben ser generales debido a la naturaleza heterogénea de los distintos tipos de residuos, su regulación jurídica, las opciones disponibles para su tratamiento, etc.)
 - ✓ Como resultado del proceso de síntesis y evaluación, se procede a la creación de un juicio sintético en el que se tengan en cuenta al menos los siguientes factores:
 - Dimensiones y naturaleza del problema a resolver;
 - Posibles derivaciones colaterales,
 - Opciones disponibles,
 - Pros y contras de cada una de las opciones disponibles,
 - Previsible evolución futura del problema en función de las distintas hipótesis,
 - Obstáculos y dificultades previsibles en cada opción,
 - Costes económicos,
 - Aspectos sociales,
 - Análisis costo beneficio, tanto en términos ecológicos como económicos,
 - Todo ello aparte de los previsibles impactos ambientales de cada opción.
- III. *Procedimientos decisorios:* tras la acumulación y análisis de información se llegará a la fase de la toma de decisiones y de la selección de opciones. De nuevo, debido a la heterogeneidad de los residuos es difícil dar normas generales válidas para todos ellos. de todas maneras se hacen unas recomendaciones respecto a las decisiones de carácter valido en general:
- ✓ Deben respetar todas las legislaciones vigentes: la de la UE, la española, la de las Comunidades Autónomas CCAA, y la de las Entidades Locales EELL.
 - ✓ Deben ser consistentes y respetar las evaluaciones de impacto ambiental que se hagan en cada caso.
 - ✓ Priorizar las medidas de prevención. En la medida en que sea posible, aplicar el principio de jerarquía contenido en el Art. 1.1 de la Ley 10/1998, de Residuos.
 - ✓ En la medida de lo posible, aplicar un criterio general de optimización de las instalaciones disponibles y futuras de tratamiento de residuos. Como meta a medio plazo, tendencia a la autosuficiencia en España para el tratamiento de residuos, en general. Autosuficiencia en materia de eliminación.
 - ✓ Establecimiento de objetivos, tanto cualitativos como cuantitativos, incluyendo indicadores para su seguimiento diacrónico
 - ✓ Aplicación equilibrada de las consideraciones costo económico/beneficio ecológico
 - ✓ Atención al efecto impulsor del desarrollo de mejores tecnologías disponibles (MTD) y la innovación tecnológica de las medidas posibles
 - ✓ Previsión de iniciativas para la implantación de las MTD, tanto en los sectores productivos como en las plantas de tratamiento de residuos. Aplicación plena del artículo 9.2 de la Ley 10/1998, de Residuos, en la definición de las MTD [LEY10/98].
 - ✓ Previsión de medidas de aprovechamiento de los materiales resultantes de los tratamientos; inclusión de medidas para la creación de mercados secundarios, para crear demanda de materiales reciclados
 - ✓ Consideración e inclusión de precisiones sobre la aplicación del principio de responsabilidad del productor en las medidas adoptadas
 - ✓ Percepción social de las medidas posibles. Medidas para la formación profesional de personal especializado en tratamiento de residuos

Esta secuencia de acciones no va en un sentido único, si no que cada una de sus fases puede retroalimentar a las anteriores, permitiendo un proceso de aproximaciones sucesivas de cara a la adopción de la decisión final.

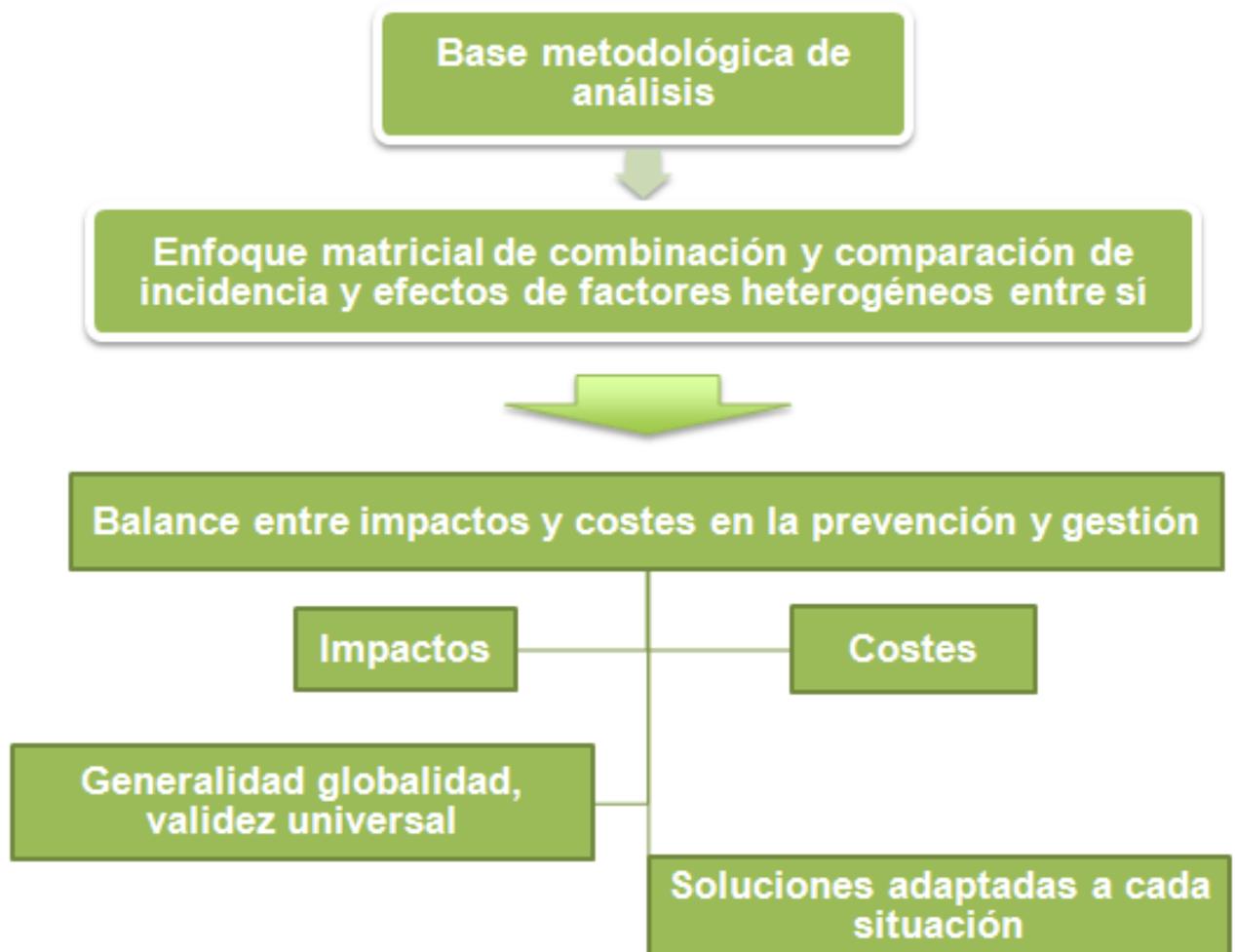


Figura 2: Base metodológica de análisis. Enfoque de combinación y comparación de incidencia y efectos de factores heterogéneos entre sí [ISA08]

En España cada una de las comunidades Autónomas han ido elaborando y aprobando diferentes planes estratégicos en función de sus políticas y prioridades, los contenidos y alcances de las mismas para cada una de ellas se describen a continuación:

2.4.1.1 ANDALUCÍA

Actualmente dispone de un Plan de Prevención y Gestión de Residuos Peligrosos 2004-2010, aprobado por Decreto 134/1998, de 23 de junio (BOJA nº 91, de 13.8.98), revisado por Decreto 99/2004, de 9 de marzo (BOJA nº 64, 01/04/2004).

Para el futuro se prevé la un modelo de Gestión de residuos que incluya los siguientes objetivos:

- Aumento instalaciones de valorización o la gestión de los residuos generados en polígonos industriales.
- Regularización de los productores.
- Revisión y actualización del inventario de Residuos Peligrosos de Andalucía.

- Inspección y evaluación de las instalaciones de gestión existentes en Andalucía.
- La integración de las bases de datos que afectan de forma directa o indirecta a todo lo referente a los residuos peligrosos.
- Utilización de nuevos indicadores para mejorar el seguimiento de los residuos en general.
- Los gestores y productores de residuos deben de establecer comisiones sectoriales, la puesta en marcha de manuales de buenas prácticas, aplicación de actuaciones concretas respaldada con la certificación correspondiente de la autoridad medioambiental, cambios en procesos y modificación de instalaciones, de las materias primas o de la energía a consumir.

2.4.1.2 ARAGÓN

Actualmente se dispone del Plan de Gestión Integral de los Residuos de Aragón también denominado G.I.R.A. (2005-2008), aprobado en el 2005, sobre la gestión de los distintos tipos de residuos del Gobierno de Aragón (BOA nº 10, 21/01/2005), este Plan sustituye al Plan de Ordenación de la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos 1998 y al Plan Regional de Residuos Peligrosos y Residuos Industriales 2001-2004

El Plan consta de nueve programas entre los cuales:

- Dos son programas horizontales (aplicables a la generalidad de los residuos): programa de prevención y valorización y programa de control
- Y siete programas sectoriales o específicos: Programa de residuos urbanos, de RINP, RP, de Residuos de Construcción y Demolición RCD, de neumáticos fuera de uso, de residuos ganaderos y de lodos de depuradoras.

Como objetivos del plan destacan:

- Aumentar los porcentajes de minimización y valorización
- Compartir la responsabilidad de los agentes y administraciones, siendo la Administración Autonómica el líder y motor del cumplimiento de este Plan
- Disminuir los porcentajes de eliminación
- Atracción de inversiones, creación de riqueza y generación de empleo
- Profundizar en el conocimiento de la producción, gestión y aprovechamiento de los residuos
- Asesoramiento de los agentes implicados
- Desarrollo de programas de educación social.
- Control e inspección

Los criterios de gestión por tipo de residuo se basan en la eliminación de RP y RINP y en la valorización y eliminación de NFU y RCD

2.4.1.3 ASTURIAS

Plan Básico de Gestión de Residuos en Asturias, 2001-2010 (aprobado por el Consejo de Gobierno el 14 de junio de 2001) que es sustituido por el Plan estratégico de residuos del principado de Asturias 2011-2020 aprobado el 23 de diciembre del 2010 (BOPA, 14 de Enero de 2011)

Este plan tiene cuenta la necesidad de garantizar la correcta gestión de los residuos producidos en cualquier punto del Principado, estableciendo sistemas de gestión obligatorios, realizados por el Consorcio para la Gestión de los Residuos en Asturias (COGERSA), creado en 1982, e integrado por Gobierno del Principado de Asturias y los municipios asturianos.

Para el cumplimiento del Plan Básico y demás normativa sobre residuos [COG01], COGERSA redactó en el año 2001 un Plan de Futuro que fue aprobado en Junta General en diciembre de 2003, hasta el año 2025. Este Plan se basa en el principio de jerarquía de la Ley 10/1998 de Residuos [LEY10/98] cuyo objetivo como ya se ha descrito en el documento anteriormente es prevenir, reutilizar, reciclar lo que no pueda reutilizarse, y valorizar energéticamente lo que no pueda reutilizarse o reciclarse.

Como medidas de mejora de la gestión de residuos están:

- Mejora de los sistemas de almacenamiento en lugares de origen
- mayor control y vigilancia de los puntos de generación de residuos
- elaboración de inventarios anuales de aparatos.

2.4.1.4 BALEARES

Los consejos de esta comunidad tienen transferida la competencia de planificación de los residuos no peligrosos (Ley 2/2001, del Gobierno Balear), siendo los planes directores que actualmente se siguen en las Islas los siguientes:

1. Plan Director Sectorial para la Gestión de los RU de Mallorca (Decretos 21/2000 (BOCAIB nº 25, de 26.02.00) y 46/2001) y Plan Director Sectorial para la Gestión de los RCD, voluminosos y NFU de la isla de Mallorca (aprobado el 8-4-2002)
2. Plan Director Sectorial para la Gestión de los RU de Ibiza y Formentera. Aprobado por Decreto 46/2001, de 30 de marzo (BOCAIB nº 45, de 14.04.01).
3. Plan Director Sectorial para la Gestión de los Residuos No Peligrosos (RNP) de Menorca (2004-2012) Aprobación definitiva por el Pleno del Consell Insular de Menorca (BOIB nº 109, de 03/08/2006).

2.4.1.5 CANARIAS

El Plan Integral de Residuos de Canarias (2000-2006) (PIRCAN), aprobado por Decreto 161/2001, de 30 de julio (BOC nº 134 de 15/10/2001). Además de la gestión de residuos Urbanos también incluye los residuos especiales, envases y residuos de envases, industriales, sanitarios, agrícolas, ganaderos, forestales y residuos peligrosos.

Para lograr los objetivos previstos a parte de un desarrollo de la legislación, se plantea el impulso de programas de desarrollo de infraestructuras, programas de Desarrollo Administrativo de Control y Seguimiento, de Prevención, y de Reducción y Minimización.

2.4.1.6 CANTABRIA

Actualmente está en vigencia el Plan de Residuos de Cantabria 2006-2010 (decreto 102/2006, del consejo de Gobierno de Cantabria, de 13 de Octubre, (boletín oficial de Cantabria núm. 245 de 26 de Diciembre de 2006).

Los principios de gestión de este plan se abordan de la siguiente manera:

1. La gestión de los residuos se aborda desde el origen, siguiendo las directrices europeas de identificación de residuos de acuerdo a la Lista Europea de Residuos (LER).
2. Se consideran tres líneas de gestión correspondientes a residuos peligrosos, residuos no peligrosos y residuos inertes ya que se debe tener en cuenta el riesgo que estos presentan para las personas y el Medio Ambiente.
3. Medidas para mejorar la gestión de los residuos:

- Instalación de Puntos Limpios en todos los municipios de más de más de 5000 habitantes
- Recogida de aceites vegetales usados en los Puntos Limpios.
- Aumento de la eficacia de la recogida de los residuos oleosos en los Puntos Limpios Portuarios
- Red de vertederos de Cantabria que resuelva en el periodo considerado el destino final de los materiales que desde el punto de vista técnico-económico no resultan valorizables
- Implantación de un sistema de transmisión de datos vía electrónica
- Inventarios elaborados por los gestores y productores de sus residuos por sectores, además de implantar el sistema de transmisión de datos vía electrónica, y aplicar los principios de autosuficiencia y proximidad en los traslados en la propia comunidad autónoma de los residuos

2.4.1.7 CASTILLA LA MANCHA

para los residuos peligrosos en Castilla la Mancha está el Plan Regional de RP de Castilla La Mancha, 2001-2006 (Decreto 158/2001 de 5 de mayo, DOCM nº 81, de 19 de julio de 2001), y más específicamente para lodos, está el Plan de Gestión de Lodos producidos en las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales de Castilla-La Mancha.

La estrategia de gestión consiste en la etapa de planificación estratégica que incluye un plan de Prevención de residuos con unos propósitos, programas y medidas a tomar, seguido de mejoras en la recogida selectiva de residuos con unos objetos para el máximo aprovechamiento de los mismos.

Para llevar a cabo este Plan se utilizan como instrumentos acciones de concienciación y sensibilización, así como modelos económicos a seguir y la mejora de instalaciones y técnicas de tratamiento entre otras cosas.

2.4.1.8 CASTILLA - LEÓN

Los planes que actualmente rigen la gestión de residuos industriales en esta comunidad autónoma son:

El Plan de Gestión de RP de Castilla y León (2000-2003) y la Estrategia Regional de Residuos de Castilla y León 2000-2010, aprobada por Decreto 74/2002, de 30 de mayo (BOCyL nº 107, de 05/06/2002).

Más específico para residuos industriales es el Plan Regional de Ámbito Sectorial de Residuos Industriales de Castilla y León 2006-2010. Decreto 48/2006, de 13 de julio (BOCyL 18-07-2006)

En este plan se sigue una estrategia de gestión formada por la jerarquía de residuos de cinco niveles: prevención, preparación para la reutilización, reciclado, otro tipo de valorización, por ejemplo la valorización energética y eliminación

Las autoridades ambientales adoptarán medidas para:

- Fomentar la reutilización, la preparación para la reutilización, así como el reciclaje.
- Disposición de lugares destinados a almacenamiento de residuos para reutilización con el establecimiento de redes y centros para tal fin.
- Aplicación de cánones por vertido e incineración de residuos domésticos.
- recogida separada de residuos para conseguir un reciclado de alta calidad

- Para el fomento de la prevención y para promover la reutilización y el reciclado de alta calidad, se podrán adoptar medidas destinadas a facilitar el establecimiento de sistemas de depósito, devolución y retorno,

La comunidad autónoma deberá contar con infraestructuras y capacidades suficientes para efectuar las operaciones de transporte, valorización, eliminación y ser valorizados lo más cerca posible de dónde se generan, persiguiendo rentabilidad económica, seguridad en sus traslados y eficiencia ambiental.

Diferencias entre la incineración como operación de eliminación e incineración como recuperación de energía o valorización energética, dándose prioridad a la valorización energética frente a la eliminación.

Cuando no sea factible la valorización de residuos, las autoridades ambientales garantizarán que la eliminación de los mismos se lleve a cabo de forma segura, sin poner en peligro la salud humana y sin dañar el medio ambiente.

2.4.1.9 CATALUÑA

El Programa de Gestión de Residuos Industriales (PROGRIC, 2001-2006), aprobado por Consejo de Dirección de la Junta de Residuos, 11/05/2001, el modelo de gestión de residuos industriales se fundamenta en los productores, transportistas y gestores de residuos.

Los instrumentos de gestión en los que se fundamenta son:

- Registros de establecimientos
- Procedimientos de gestión
- Catálogo de residuos
- Control de la gestión
- Declaración Anual de Residuos (DARI).

Los principios del Plan son los siguientes:

- Prevención
- Jerarquía de opciones de gestión de residuos,
- Uso de las mejores tecnologías disponibles,
- Principio de suficiencia y el de proximidad,
- La valorización
- La protección del suelo
- El principio de responsabilidad del productor, el de responsabilidad compartida y la transparencia en la información.

En el campo de la recuperación energética, siguiendo las directrices de la Unión Europea, el programa recoge a necesidad de valorizar energéticamente residuos para lo que se prevé

- La caracterización detallada de los flujos destinados a depósito controlado que son potencialmente valorizables energéticamente.
- La revisión de la normativa existente para favorecer la valorización energética.
- La evaluación de la necesidad de disponer de plantas de pretratamiento y condicionamiento.

2.4.1.10 COMUNIDAD VALENCIANA

La Comunidad Valenciana cuenta desde 1997 con un Plan Integral de Residuos, PIR., actualmente está sometido a Procedimiento de Evaluación Ambiental Estratégica el Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana 2010 [PEAE10], este documento establece una serie de estrategias y programas de gestión.

- Programa de Minimización de los residuos, que consta de dos partes:
 1. Puesta en marcha de acciones de minimización: que consta de una serie de actuaciones concretas para impulsar la minimización
 2. Soluciones técnicas generales de minimización para distintas corrientes de residuos:
- Generación de una Bolsa de subproductos
- Creación de la infraestructuras necesarias para el almacenamiento intermedio por medio de centros de transferencia(en estas los residuos son caracterizados, clasificados y transportados en los envases o embalajes antes de ser enviados a la planta de tratamiento más adecuada, donde se somete a reciclado, recuperación, otras valorizaciones o eliminación) y centros de agrupamiento (residuos industriales generados en Pequeñas cantidades)
- Instalaciones de recuperación, valorización y eliminación. dando prioridad a la recuperación y valorización de residuos, cuando se agoten las posibilidades de reducción en origen y antes del tratamiento final.
- Tratamientos de eliminación final: incineración (con o sin recuperación de energía), tratamientos físico-químicos destructivos y depósito en vertederos de RSU, No Especiales, inertes o de seguridad.
- Actuaciones para la gestión de espacios contaminados. necesidad de elaborar un programa de acciones encaminadas a reparar los daños ambientales mediante la implantación de medidas de corrección, prevención y control.

2.4.1.11 EXTREMADURA

Plan Director de Gestión Integrada de Residuos de la C.A. de Extremadura, aprobado por Orden de 9 de febrero de 2001 de la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente (DOE nº 20, de 17/02/01). En proyecto un nuevo Plan Integrado. Hay un nuevo Plan de Integral de Residuos de Extremadura 2009 – 2015 PIREX, cuyos objetivos para la gestión de los RINP son los siguientes:

- Fomento en la reducción y prevención de los RINP
- Aumento de la reutilización reciclaje y valorización, desarrollando nuevos mercados para este tipo de residuos
- Adaptación de las infraestructuras a la legislación presente y a la futura en materia de gestión de RINP. Y creación de una red de instalaciones para asegurar el tratamiento de estos residuos
- Valorización y reciclado de los RINP que tengan tecnología de tratamiento tecnológica y económicamente viable
- Limitaciones de vertido o eliminación de la fracción de RINP no valorizable ni tratable de otra forma
- Establecimiento de un modo de financiación, basado en la cooperación de personas, empresas, entidades y organismos
- Aplicación del artículo 9.2 de la Ley 10/1998 de gestión de residuos en la definición de las Mejores técnicas Disponibles (MTD's) a implantar

2.4.1.12 GALICIA

Galicia tiene una Estrategia Gallega de Gestión de Residuos (Resolución de 10 de noviembre de 2000 (DOG nº 236, de 5/12/2000) y un Plan de Gestión de Residuos Industriales y Suelos Contaminados de Galicia 2000-2006, aprobado por Resolución de 21 de noviembre de 2001 (DOG nº 243, de 18/12/01).

Dentro de la estrategia de planificación que prevé el plan, se consideran las siguientes acciones a cumplir:

- Consolidar el Registro de Productores y Gestores, para acordar aquellos instrumentos que aseguren el control de los productores, los gestores y de sus actividades respectivas.
- Realizar las Infraestructuras que den cobertura a los objetivos de gestión que se plantean en el Plan.
- Dar cumplimiento a la normativa vigente: las directrices y objetivos de gestión son impulsados desde el ámbito europeo y es en el marco estatal y autonómico donde se concretan los instrumentos necesarios para llevarlos a cabo.
- Prever aquellos indicadores que han de permitir un seguimiento de las actuaciones propuestas y una adaptación progresiva de la gestión a medida que se obtienen resultados.

2.4.1.13 MADRID

Acuerdo de 18 de octubre de 2007, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba la Estrategia de Residuos de la Comunidad de Madrid.

Esta estrategia se divide en capítulos conformados por los planes específicos para cada tipo de residuo, desde RU, RCD, etc. hasta residuos industriales, en cuanto al Plan Regional de Residuos Industriales 2006-2016, las directrices que marca en cuanto a la gestión son las siguientes:

- El sistema de gestión se basa en la premisa de quien compra paga, con ello el productor del residuo está obligado a gestionarlo correctamente, dando prioridad al reciclado frente a otras formas de valorización o eliminación
- El modelo es común a la mayor parte de los residuos industriales no peligrosos y a los residuos peligrosos
- la entrega de los residuos por parte del productor se realiza a un gestor autorizado o registrado, utilizando los servicios de un transportista de residuos, estas estrategias están perfectamente documentadas en el caso de residuos peligrosos, y no para los peligrosos.
- Cuando los residuos son de origen industrial, y no pueden ser gestionados a través de los servicios municipales entonces las Entidades Locales podrán obligar al poseedor de estos residuos a facilitar información adicional, a depositarlos en forma y lugar adecuados, e incluso a gestionarlos por su cuenta.
- Tendencia creciente del número de gestores, como consecuencia de una mayor clasificación en origen.

2.4.1.14 MURCIA

El 2 de junio de 2003 se publicó el Decreto 48/2003, de 23 de mayo, por el que se aprobó el Plan de Residuos Urbanos y de Residuos No Peligrosos de la Región de Murcia. Actualmente existe el Plan Estratégico de los Residuos 2007-2012.

Dentro del plan se cumplirán, con carácter general, las siguientes premisas para mejorar la gestión de los residuos:

- Localización y acondicionamiento de las instalaciones, situadas lejos de los núcleos de población, asentamientos y áreas protegidas medioambiental o económicamente
- Impermeabilización de zonas de almacenamiento y vertido de residuos.
- Implantación de infraestructuras de valorización de residuos.
- Adaptación para mejorar la capacidad de valorización de las instalaciones ya existentes.
- Los gestores y productores de residuos deben estabilizar la producción y prevenir la generación de los residuos, reducción y eliminación progresiva del vertido de residuos, reutilización de los mismos, aprovechamiento de fracciones residuales, mejorar los sistemas de recogida y de sus rendimientos, optimización de los procesos de valorización, reducción y eliminación del vertido de residuos

2.4.1.15 NAVARRA

El nuevo plan integral de gestión de residuos de Navarra 2010-2020 que agrupa los residuos en tres categorías: residuos urbanos, domésticos, comerciales y de servicios; residuos industriales; y residuos agropecuarios, se rige por una serie de principios generales como son:

- la prevención de la contaminación
- la minimización y valoración de los residuos,
- la eliminación en vertedero como último recurso,
- Apuesta por la incineración como la solución más adecuada
- Aplica los principios de suficiencia y proximidad (evitar el traslado), y el principio de subsidiariedad,
- la máxima de que "quien contamina paga" y la transparencia en la información y la formación.

2.4.1.16 PAÍS VASCO

Los planes que actualmente existen el País Vasco son:

Plan de Gestión de Residuos Especiales de la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV) (1994-2000) y el Plan de Gestión de Residuos Peligrosos de la CAPV, 2003-2006. Resolución 14/2003, de 30 de julio, del Director de la Secretaría del Gobierno y de Relaciones con el Parlamento (BOPV nº 174, de 08.09.03)

Siendo más actuales, el Plan de Prevención y Gestión de Residuos Peligrosos de la Comunidad Autónoma del País Vasco 2008-2011 y el Plan de Prevención y Gestión de Residuos no Peligrosos de la Comunidad Autónoma del País Vasco 2009-2012

Dentro del Plan de Prevención y Gestión de Residuos no Peligrosos 2009-2012, se presentan los siguientes programas y líneas de actuación para mejorar la gestión:

- Asegurar el proceso de gestión más adecuado para cada corriente residual
- Adquirir un conocimiento de valorización de los recursos contenidos en los residuos peligrosos, estimando costes y escenarios de generación y gestión y potenciando el Análisis de Ciclo de Vida como herramienta.
- Impulsar nuevas alternativas de valorización de residuos peligrosos
- Dinamizar la recogida optimizada de los residuos peligrosos
- Los gestores y productores de residuos deben; prevenir la generación de residuos y su peligrosidad, alcanzar una tasa de valorización material de los residuos peligrosos del

65%, asegurando el cumplimiento de la jerarquía de gestión y facilitar un servicio eficiente de gestión de residuos peligrosos a todos los productores, establecer unos valores de referencia de generación de residuos peligrosos.

2.4.1.17 LA RIOJA

Plan director de residuos de la rioja 2007-2015, aprobado por acuerdo de Consejo de gobierno de 7 de noviembre de 2006.

El plan para la mejora en la gestión de los residuos consiste en:

- Fomentar la mejora de la calidad en la recogida selectiva,
- Fomentar la búsqueda de alternativas de gestión distintas a la eliminación para todos los residuos industriales no biodegradables en los que no es posible su reciclaje. se contempla la valorización energética de determinados residuos con un alto poder calorífico.
- Obligación de realizar tratamientos previos a los residuos que se eliminan en vertedero para reducir la cantidad de residuos industriales no peligrosos.
- Elaboración de un inventario de puntos de vertido incontrolados
- Los gestores y productores deberán realizar una estrategia comunitaria de gestión para reducir cantidad y toxicidad de desechos a vertedero.
- El productor debe hacerse cargo de la gestión de los residuos de acuerdo con el principio de jerarquía
- Los residuos se trataran lo más cerca posible al lugar en que se generan
- El Plan adopta como principio el valorizar al máximo los materiales recuperables y la energía contenida en los residuos.

2.5 LOS RESIDUOS SÓLIDOS INDUSTRIALES

La demanda creciente de materias primas para la producción industrial provoca un doble efecto negativo:

1. Por una parte, los materiales no utilizables asociados, derivados de granulometrías o características no adecuadas como la ganga en los procesos de concentración de menas, o aquellos derivados del proceso, como las escorias en procesos de fusión, aumentan exponencialmente con el desarrollo de las sociedades.
2. Por otra parte, el mayor consumo de los recursos no renovables provoca que sus reservas disminuyan día a día. Por lo tanto, se deben hacer los mayores esfuerzos posibles para la conversión de estos residuos no deseados en las materias primas utilizables.

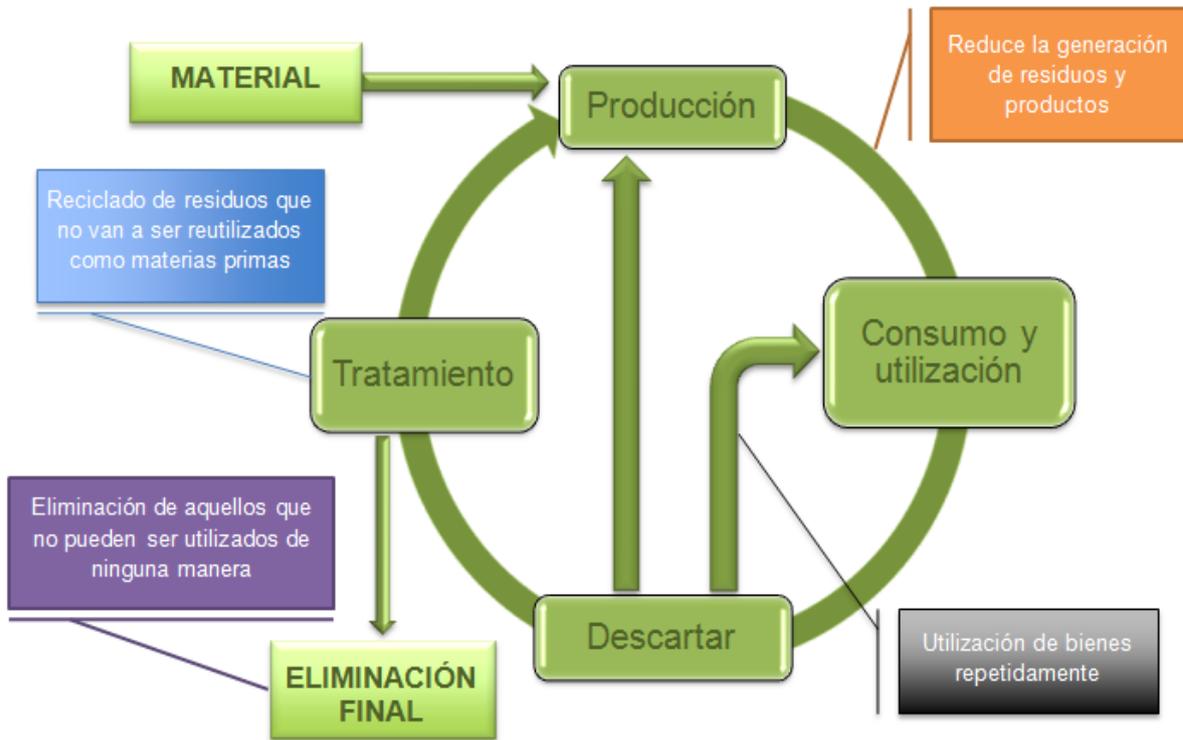


Figura 3: Ciclo de Producción de Residuos

Por otra parte ambos aspectos se reflejan en impactos de gran calado.

1. La extracción o creación de más material del necesario, provoca cambios en el entorno en cadena, que deben ser limitados (ocupación de suelo para la extracción de las materias primas, emisiones por el consumo energético de creación y transporte, etc.)
2. La retirada del residuo, requiere a su vez una nueva ocupación del suelo, generalmente temporalmente indefinida y en ubicaciones distintas de la de extracción, mayor carga de consumo energético para su transformación y transporte, etc.

Ambas circunstancias no son admisibles en la actualidad, tanto por la mayor concienciación social que busca una sociedad respetuosa con el entorno, como por la real disponibilidad de los recursos explotables, muchos de los cuales tienen reservas muy limitadas. Ello exige controlar los efectos de la gestión de estos residuos industriales, con el objetivo último de convertirlos en subproductos utilizables de nuevo en el mismo u otros procesos, evitando las dos circunstancias anteriormente citadas.

Tal como se citó anteriormente, la problemática de los residuos industriales es muy diferente del caso de los residuos urbanos. Su diversidad, concentración y cantidad, no permite una gestión centralizada por parte de las Administraciones Públicas. Son las propias empresas las que, previa solicitud de permiso, se encargan de la gestión de estos residuos. No obstante no todos los casos son iguales. Los problemas relacionados con la eliminación de los residuos sólidos industriales se asocian con la falta de infraestructuras y el escaso interés por parte de las industrias en la búsqueda activa de soluciones reales en un aspecto que suelen considerar estrictamente como un gasto o una obligación de carácter legal.

Evidentemente el comportamiento es diverso, con una gran influencia del tamaño de la empresa que, en su mayor parte, está asociado a la existencia de personal adscrito directamente a este tipo de actividad, así como a un mayor control por parte de la administración. Así, en las industrias grandes y medianas ubicadas en áreas industriales,

suelen existir mecanismos de actuación pactados para la eliminación de sus residuos sólidos. Sin embargo, no ocurre lo mismo con las pequeñas industrias. En muchas ocasiones los pequeños productores, que pueden desarrollar su actividad dentro de entornos urbanos o no específicamente industriales, tienden a eliminar sus residuos de forma conjunta a los residuos del entorno, sin proceder a su separación lo que complicando la labor de los organismos locales que se encuentran estos residuos no apropiados dentro de sus flujos de tratamiento y gestión haciendo muy difícil su separación [MUD12].

La gestión de Residuos Sólidos Industriales (RSI) no es, en general, responsabilidad de los agentes locales, si no que las Industrias generadoras de residuos sólidos deben gestionar este tipo de residuos por sí mismos y están obligados a solicitar autorización a los respectivos organismos de control.

Por ello, se hace necesaria la elaboración de una estrategia global para la recolección, la organización y eliminación de residuos sólidos industriales.

2.6 PROBLEMÁTICA DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES

El gran volumen de residuos industriales generado sumado a los efectos negativos sobre el medioambiente convierten la necesidad de gestionarlos adecuadamente en una prioridad. Desafortunadamente hasta el momento esta gestión no se realiza de forma adecuada o, al menos, no mediante criterios homogéneos que permitan estandarizar el ciclo desde la recogida hasta su desaparición o deposición.

Esto se debe principalmente a cuatro factores:

- La naturaleza de la industria generadora.
- La naturaleza de los residuos generados.
- Su ubicación
- El tratamiento de los residuos.

Estos factores desencadenan una serie de inconvenientes entre los que destacan:

1. La no existencia de vertederos específicos en los que las industrias puedan disponer sus residuos.
2. La dispersión de las industrias que generan residuos sólidos, con tamaños y ubicaciones muy diversas.
3. La asociación de residuos, dado que la emisión de residuos sólidos suele venir asociada con problemas de emisiones al aire, agua y suelo.
4. Las enormes diferencias entre los residuos, no fácilmente catalogables en fracciones como en el caso de los RSU. Estas diferencias no se dan exclusivamente entre diferentes sectores, sino incluso dentro de una misma industria.
5. La existencia de cientos de tratamientos distintos, difícilmente valorables dado el carácter reservado de la información, la existencia de propiedades legales y el pequeño número de casos de uso disponibles que puedan utilizarse a modo de referencia.

Tradicionalmente las empresas consideraban el residuo como un material incómodo y un coste para su proceso productivo. Afortunadamente la generalización de las estrategias de desarrollo

sostenible que actualmente aplican la mayor parte de las empresas, incluye la necesidad de desarrollar políticas integrales de tratamiento, adaptadas a las normativas legales y a las restricciones técnicas y económicas.

Considerar el almacenamiento de estos residuos como única posibilidad de gestión no es una solución sostenible y su destrucción no resulta satisfactoria debido a los desechos que se producen como derivados y a los residuos muy concentrados y contaminantes.

Las alternativas expresadas en la Jerarquía Europea de Residuos (Figura 4) como viene definida en la Directiva Marco Europea de residuos (2008/98/EC) [DMR08], y que tiene su origen el Plan de Acción de las 3R [G8IC04], presenta las alternativas clasificadas por su orden de interés, especificando que frente a la eliminación, la prevención, la reutilización, el reciclado y la recuperación son las alternativas que deberían utilizarse preferentemente.

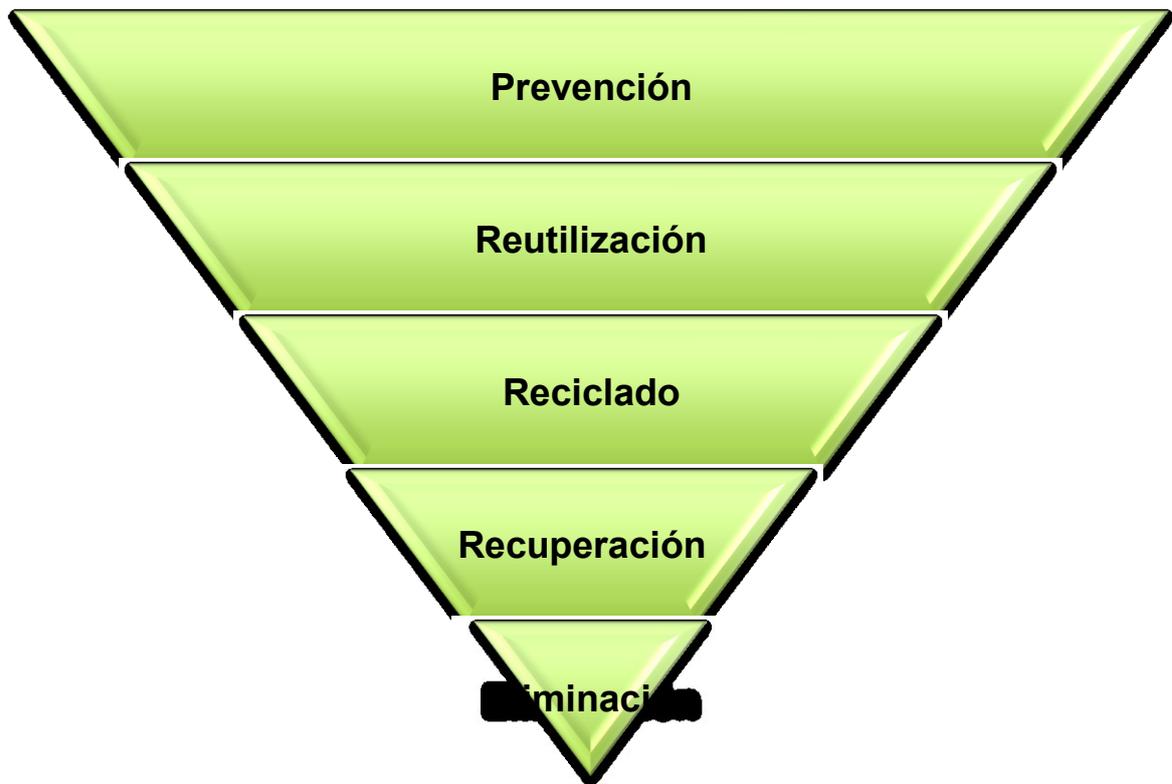


Figura 4: Jerarquía Europea de Residuos [DMR08]

La mejor solución sigue consistiendo en prevenir la producción de residuos y en reintroducirlos en el ciclo de producción mediante el reciclado de sus componentes cuando existan soluciones sostenibles desde los puntos de vista ecológico y económico [EURLex]. No obstante en este caso se encuentra sólo una pequeña cantidad de los materiales puesto que, de ser aprovechados en el interior del proceso no llegan ni siquiera a clasificarse como residuos.

Si no es posible su minimización, la recuperación, reutilización o valorización requieren diversas actividades que han de llevarse a cabo sobre los diferentes flujos de residuos para minimizar su generación y/o realizar una gestión eficiente de los mismos que permita, o bien aprovechar parcial o totalmente el material, ya sea en el propio entorno de fabricación o para otra aplicación, o bien su adecuada eliminación.

El coste de estas acciones varía en función de la naturaleza del material y los usos a los que pueda ser destinado. Los subproductos también están sujetos a las leyes del mercado, por lo

que sólo parte de los materiales son susceptibles de ser reciclados. El resto debe ser tratado de otra manera o depositado en vertederos. La lista de materiales reciclables, de todos modos, aumenta a medida que se desarrollan nuevos avances tecnológicos y técnicas de producción.

Por otra parte la reutilización y reciclado chocan con las restricciones que las administraciones imponen al flujo y comercialización de los residuos ante el temor de una posible mala gestión, como el vertido incontrolado, dado que este tipo de mercado está poco consolidado.

Estas restricciones implican procedimientos y autorizaciones legales. Los principios de proximidad y de suficiencia fuerzan a los productores de residuos a gestionarlos lo más cerca posible de su origen.

La tecnología actual permite, con algunas excepciones, el reciclaje de casi todos los residuos. Por otra parte la problemática es más compleja cuando se precisa la combinación de varias técnicas para la optimización del proceso afectando a su viabilidad y, en definitiva, su rentabilidad. A su vez, cada uno de estos procesos puede ser generador de nuevos residuos, con características distintas a las de partida, entrando en una espiral compleja, que se puede abordar de formas muy diversas.

Para solucionar este problema, los sistemas de ayuda a la decisión son herramientas que permiten identificar las mejores opciones para el tratamiento de un residuo en función de la tecnología disponible buscando aquella solución que optimice el proceso total.

Son necesarias nuevas estrategias de caracterización, control y seguimiento del ciclo de global de residuos en la industria para mejorar las técnicas de tratamiento y control de calidad de los residuos. Es decir, el gran reto tecnológico se centra no sólo en la investigación, el desarrollo y aplicación de tecnologías avanzadas de última generación para el tratamiento de los residuos, con el fin de dar solución a los problemas actuales de ineficiencia y acumulación de los mismos sino también en la caracterización de los tratamientos óptimos dentro del catálogo existente para optimizar desde un punto de vista global el ciclo de gestión culminando con la desaparición del residuo como tal a través de las técnicas medioambientalmente más compatibles.

2.6.1 CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS INDUSTRIALES

Una vez producidos, identificados y recopilados, los residuos sólidos industriales forman un conjunto heterogéneo con problemáticas muy diversas. Existe una gran diversidad dentro de este grupo de residuos industriales. Los mayores generadores de residuos sólidos industriales son las centrales térmicas que producen ceniza de carbón, la industria siderúrgica que produce escoria de horno alto y escoria de acería y las industrias no férreas, como la del aluminio, zinc y cobre que producen los llamados lodos rojos y colas o relaves. Por otra parte están las industrias agroalimentarias generan lodos de prensa, las industrias de pasta y papel, las productoras de cal, yeso y fertilizantes y finalmente la industrias complementarias con estas. Con el fin de intentar su clasificación para la posterior implantación de mecanismos de estandarización, es preciso realizar una clasificación más detallada.

La mayor parte de las clasificaciones de los residuos industriales se realizan en función de la actividad que los produce, La Tabla 5 se pueden ver una clasificación sencilla de residuos sólidos industriales más importantes generados por actividad industrial de acuerdo propuesta por el Ministerio Desarrollo Urbano de la India [MUD12].

Tabla 5: Tipos de Residuos Sólidos Industriales producidos por actividad industrial [MUD12]

RESIDUO SÓLIDO	FUENTE/ORIGENTIPO DE INDUSTRIA
Escoria de horno alto y acería	Industria siderúrgica, conversión de arrabio en acero y producción de hierro.
Lodo de salmuera (Brine mud)	Industria de la sosa caustica.
Escoria de cobre	Subproducto de la fundición de cobre.
Cenizas volantes	Centrales térmicas de carbón.
Polvo de cemento	Plantas de fabricación de cemento.
Lodos de cal	Industrias de la fabricación de Azúcar, papel, fertilizantes, encurtidos, ceniza de sosa, carburo de calcio.
Residuos de chatarra de mica	Minas de mica.
Fosfo-yeso	Plantas de ácido fosfórico, fosfato de amonio y ácido fluorhídrico.
Lodos rojos/bauxita	Minería y extracción de alúmina de la bauxita.
Polvo del lavado de carbón	Minas de carbón.
Colas de hierro	Mineral de hierro.
Residuos de caliza	Canteras de caliza.

Otra clasificación es la de la EPA o Agencia de protección Medioambiental de Estados Unidos, en la que los residuos se clasifican en municipales, industriales no peligrosos y residuos industriales.

Dentro de la EPA, la *Resource Conservation and Recovery Act RCRA* o el Acta de Conservación y Recuperación de Recursos, del año 1976 [WIS78], considera los residuos sólidos industriales o RINP son un subconjunto de los residuos sólidos y se definen como residuos sólidos generados por procesos industriales o de fabricación y que no pertenecen a la categoría de RSU ni corresponden a residuos peligrosos regulados por el Capítulo C de la RCRA, estos residuos deben incluir, (aunque no están limitados), los residuos resultantes de los siguientes procesos de fabricación:

- Fabricación de sustancias químicas orgánicas e inorgánicas
- Industria siderúrgica y metalúrgica,
- Industria del plásticos y resinas,

- Industria textil,
- Industria ornamental (piedra y arcilla)
- Industria del vidrio
- Industria del cemento
- Industria papelera,
- industria agroalimentaria,
- También se incluyen lodos de aguas residuales y de otros tipos y los sólidos, así como residuos de la construcción y demolición.

El capítulo o subtítulo C de este acto establece un programa de acción correctiva de carácter federal, resultado de una serie de enmiendas sobre Residuos peligrosos de 1984 aprobados por el Congreso de los EEUU, para la gestión de los mismos de la Cuna a la Tumba, es decir desde que se generan hasta que son eliminados.

El objetivo del programa de la RCRA es gestionar los residuos peligrosos de una manera sostenible, para ello este capítulo consta de una serie de reglamentos para la generación, transporte, tratamiento, almacenaje o eliminación de estos RP.

Se establecen una serie de inspecciones para vigilar y garantizar que se realicen las operaciones de gestión de los RP de acuerdo a la normativa, trabajando junto con las agencias estatales y el Departamento de Justicia de EEUU [EPA11].

Este programa ha sido el más completo que ha llevado a cabo la EPA y consiste en identificar una serie de criterios para determinar que residuos sólidos son los peligrosos, seguidamente se establecen diversos requisitos para los manipuladores de residuos peligrosos que se dividen en tres categorías; generadores, transportistas, e instalaciones de tratamiento, almacenamiento y eliminación. Los manipuladores deben de sacar una serie de permisos legales, con los que pueden gestionar sus residuos peligrosos [EPA11].

Así pues según el Acta de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA) todo aquel que genere, transporte, trate, almacene o elimine residuos peligrosos o almacene materiales reciclables antes de ser sometidos a tal fin, han de notificar a la EPA sus actividades.

En el caso de la definición de los residuos peligrosos, el Congreso de los EEUU en la sección 1004 definiciones, considera “residuo peligroso” como aquel residuo sólido o combinación de residuos sólidos, que debido a su concentración, cantidad o características químicas, físicas o infecciosas pueden causar:

- Aumento de mortalidad, o disminución de capacidades ya sean reversibles o irreversibles, enfermedad o
- Representar un peligro sustancial para la salud humana o el medio ambiente cuando son tratadas, almacenadas, transportadas, o eliminadas inapropiadamente.

Basada en esta definición el congreso instó a la EPA a ejecutar unos criterios para definir los residuos peligrosos mediante la utilización de dos mecanismos diferentes:

- mediante una lista de ciertos residuos sólidos específicos como peligrosos (es decir, residuos procedentes de ciertos procesos industriales o fuentes),
- o mediante la identificación de características (es decir, propiedades físicas o químicas) las cuales cuando se manifiestan por un residuo sólido, hacen que sea peligroso.

Para ello la EPA utiliza tres criterios para decidir si un residuo entra en la lista de peligrosos o no, que se pueden encontrar codificados según el *Electronic Code of Federal Regulations* o Código Electrónico de Regulaciones Federales CFR 40 parte 261, Subparte D [GPO12]:

- Residuos tóxicos que contienen productos tóxicos para la salud humana o el medioambiente.
- Residuos peligrosos agudos; que contienen sustancias químicas peligrosas para la salud humana y el medioambiente.
- Residuos que contengan una característica que lo haga peligroso, ya sea inflamable, corrosivo, reactivo o tóxico.

Finalmente la EPA aplicó el criterio de listados a cientos de corrientes residuales específicas del sector industrial, de manera que las listas de residuos fueron organizadas de la siguiente manera:

- **Lista F:** incluye residuos de diversos procesos industriales y de fabricación, debido a que los procesos que generan estos residuos pueden ocurrir en diferentes sectores de la industria, los residuos de la lista F son conocidos como residuos procedentes de fuentes no específicas. La lista F se codifica en el reglamento 40 CFR § 261.31 [GPO12].
- **Lista K:** incluyen residuos de ciertas industrias específicas, Como resultado, los residuos de la lista K se conocen como residuos de fuentes específicas. los residuos se codifican en 40 CFR § 261.32 [GPO12].
- **Lista P:** Productos químicos extremadamente tóxicos. Un producto químico es muy tóxico si es peligroso para los seres humanos en dosis bajas, si los estudios científicos han demostrado que tiene efectos letales sobre los organismos experimentales, o si causa una enfermedad grave irreversible o incapacitante. Pertenecen a esta lista los residuos codificados en 40 CFR § 261.33 [GPO12].
- **Lista U:** Se compone en general de productos químicos tóxicos, también incluye productos químicos inflamables o reactivos. Residuos codificados en 40 CFR § 261.33 [GPO12].

A todos los residuos de la lista se les asigna un número de identificación, es decir, un código de residuo, que consiste en una letra asociada a la lista a la que pertenece, es decir, la K, P, U, etc. seguida por un número de 3 dígitos, por ejemplo los residuos de la lista F se les asigna un código que va desde F001 hasta F039, mientras que los residuos de la lista K van desde K001 a K181 [EPA05].

Estos códigos son una parte importante del sistema de regulación de RCRA, ya que su asignación a cada residuo tiene importantes implicaciones para las futuras normas de gestión que se aplicarán a los mismos.

Para una mejor comprensión sobre estos listados de residuos peligrosos, la EPA dispone en su página web de una serie de documentos de ayuda sobre estos temas [EPA11].

A nivel Europeo, la clasificación más extendida, por sus implicaciones legales es la presentada en la Decisión de la Comisión Europea 2000/532/CE transpuesta a la legislación española en la Orden MAM/304/2002 [MAM02] porque se aprueba la Lista Europea de Residuos, incluida en su Anexo 2, que se manifiesta en los llamados códigos LER.

Estos códigos están formados por un total de seis dígitos, asignándose a cada uno de los residuos un código LER, los residuos que aparecen marcados con un asterisco (*) son considerados como residuos peligrosos. Los residuos se codifican en función de su origen y naturaleza, sin la necesidad de realizar ensayos, se listan alrededor de unos 400 tipos de residuos señalados como peligrosos según la fuente que los haya originado.

La lista Europea de residuos está formada por 20 capítulos, de los cuales 16 corresponden a las diferentes actividades que producen el residuo, siendo los 4 restantes de carácter general.

Cada uno de los capítulos está a su vez dividido en varios subcapítulos formados por 4 cifras, de manera que cada código es de 6 cifras en total.

La ley 10/1998, del 21 de Abril, de residuos, de España establece el régimen jurídico básico aplicable a los residuos a nivel Nacional y, en tal sentido, habilita al Ministerio de Medio Ambiente para publicar una serie de medidas adoptadas por las instituciones comunitarias, esta ley establece en su artículo 4, las competencias en materia de residuos, correspondiendo a la Administración General del Estado la elaboración de los Planes Nacionales de Residuos (PNIR) y la autorización de los traslados de los mismos.

Para ello a parte de la Directiva Marco, la Unión Europea ha elaborado diversos documentos que ayudan a cada estado miembro a elaborar sus Planes de Residuos, dando una serie de directrices que cada país aplicará y que pueden extrapolarse a las comunidades locales de cada uno de ellos [EC12].

A Nivel particular, las Comunidades Autónomas Españolas tienen la responsabilidad de elaborar los planes autonómicos de residuos y la autorización, vigilancia, inspección y sanción de las actividades de producción y gestión de los mismos.

El PNIR introduce una clasificación basada en los códigos LER y las cantidades generadas en España. Resultando los siguientes elementos principales:

Tabla 6: Clasificación de Residuos Industriales No Peligrosos según el PNIR.

CÓDIGO LER	RESIDUOS INDUSTRIALES NO PELIGROSOS (RINP)
2	Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca; residuos de la preparación y elaboración de alimentos
3	Residuos de la transformación de la madera y de la producción de tableros y muebles, pasta de papel, papel y cartón
4	Residuos de la industria del cuero, de la piel y textil
5	Residuos del refinado del petróleo, de la purificación del gas natural y del tratamiento pirolítico del carbón
6	Residuos de procesos químicos inorgánicos
7	Residuos de procesos químicos orgánicos
8	Residuos de la fabricación, formulación, distribución y utilización de revestimientos (pinturas, barnices y esmaltes vítreos), 08 adhesivos, sellantes y tintas de impresión
9	Residuos de la industria fotográfica
10	Residuos de procesos térmicos
11	Residuos del tratamiento químico de superficie y del recubrimiento de metales y otros materiales; residuos de la hidrometalurgia no 11 férrea
12	Residuos del moldeado y del tratamiento físico y mecánico de superficie de metales plásticos
13	Residuos de aceites y de combustibles líquidos (excepto los aceites 13 comestibles y los de los capítulos 05, 12 y 19)
14	Residuos de disolventes, refrigerantes y propelentes orgánicos 14 (excepto los de los capítulos 07 y 08)
15	Residuos de envases; absorbentes, trapos de limpieza, materiales de filtración y ropas de protección no especificados en otra 15 categoría
16	Residuos no especificados en otro capítulo de la lista

CÓDIGO LER	RESIDUOS INDUSTRIALES NO PELIGROSOS (RINP)
19	Residuos de las instalaciones para el tratamiento de residuos, de las plantas externas de tratamiento de aguas residuales y de la preparación de agua para consumo humano y de agua para uso industrial
20	Residuos municipales (residuos domésticos y residuos asimilables procedentes de los comercios, industrias e instituciones), incluidas las fracciones recogidas selectivamente

3 METODOLOGÍAS EXISTENTES

Actualmente, no existe ninguna imposición legal acerca del desarrollo de metodologías tanto para la gestión de residuos como para la evaluación de la eficiencia de los procesos, por lo tanto, si se quiere alcanzar una eficiencia en la gestión de residuos por parte de la empresa, municipio, sector de actividad, etc., que desee implantar un método, puede incluir dentro de esta evaluación, estando tan sólo bajo el marco del cumplimiento de las disposiciones legales relativas al manejo de sus residuos según sus características, aquellos elementos que defina como prioritarios.

La mayor parte de las metodologías existentes para la gestión de residuos implantadas en los últimos años, se basan en disposiciones de cumplimiento voluntario en cuanto a la evaluación de la eficiencia y de la gestión de los procesos. Se describen en los siguientes apartados las metodologías más destacadas.

3.1 MÉTODOS DE EVALUACIÓN Y MEJORA DE LA EFICIENCIA

Hoy en día son numerosas las recomendaciones y normas de cumplimiento voluntario existentes orientadas a mejorar la gestión de los procesos de las empresas, y basadas en el análisis exhaustivo de todos los flujos que constituyen las actividades, así como el inventario de los aspectos e impactos derivados de sus procesos, la implantación de herramientas de seguimiento e interpretación de la información, la evaluación de la eficiencia y la revisión de los procedimientos como parte de un proceso de mejora continua.

En lo referente tanto a nivel mundial como a nivel europeo existen tres tipos de recomendaciones y normas de cumplimiento voluntario: los sistemas de gestión Ambiental (SGA), el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y los indicadores medioambientales, de ellas se describen a continuación sus principales ventajas y fundamentos.

3.1.1 SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

Los sistemas de gestión ambiental (SGA) son instrumentos con un gran potencial para proteger el entorno y actuar sobre el impacto ambiental que generan las empresas.

Aparte de buscar la mejora de la imagen de la empresa y su competitividad frente a otras, la implantación de estos sistemas también tiene otra serie de beneficios tales como:

- Mejora de la eficiencia de los procesos, optimización y ahorro de consumos de materias primas y recursos (energía, agua, etc.).
- Prevención y control en la generación de emisiones, residuos, vertidos, que hacen entre otras cosas que los costes de gestión y tratamiento se reduzcan.
- Garantía de cumplimiento con la normativa ambiental vigente y adaptación a futuras disposiciones legales.

Muchas organizaciones han emprendido “revisiones” o “auditorías” ambientales para evaluar su desempeño ambiental. Sin embargo, esas “revisiones” y “auditorías” por sí mismas pueden no ser suficientes para proporcionar a una organización la seguridad de que su desempeño no sólo cumple, sino que continuará cumpliendo los requisitos legales y de su política medioambiental. Para ser eficaces, necesitan ser desarrolladas dentro de un sistema de gestión que esté integrado en la organización.

El objetivo de la implantación de este tipo de sistemas de gestión ambiental, bien sea ISO 14001 o EMAS, es la mejora ambiental permanente y la consolidación en la empresa de una política ambiental que ayude a avanzar hacia modelos de producción más sostenibles [GOAR].

3.1.1.1 ISO 14001

Las Normas Internacionales sobre gestión ambiental tienen como finalidad proporcionar a las organizaciones los elementos de un sistema de eficaz en el que puedan ser integrados otros requisitos de gestión, y así ayudar a las organizaciones a lograr metas ambientales y económicas.

La norma de referencia para el desarrollo de Sistemas de Gestión Ambiental (SGA) se recoge como *UNE-EN-ISO 14001:2004/AC: 2009. Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso* [ISO14001].

Esta Norma especifica los requisitos para un SGA que le permita a una organización desarrollar e implementar una política y unos objetivos que tengan en cuenta los requisitos legales y la información sobre los aspectos ambientales significativos.

Su finalidad es la de ser aplicable a todos los tipos y tamaños de organizaciones y ajustarse a diversas condiciones geográficas, culturales y sociales. El éxito del sistema depende del compromiso de todos los niveles y funciones de la organización y especialmente de la alta dirección.

Este sistema permite desarrollar la política ambiental de una organización, además de establecer objetivos y procesos para alcanzar los compromisos de la política, tomar las acciones necesarias para mejorar su rendimiento y demostrar la conformidad del sistema con los requisitos de esta Norma Internacional. Su objetivo global es el de apoyar la protección ambiental y la prevención de la contaminación en equilibrio con las necesidades socioeconómicas [ISO14001]

La adopción e implementación de manera sistemática de un conjunto de técnicas de gestión ambiental puede ayudar a que se alcancen resultados óptimos para todas las partes interesadas. De todas maneras, la adopción de esta norma internacional no garantiza unos resultados ambientales óptimos, ya que para lograr estos objetivos ambientales el SGA puede estimular a las organizaciones a considerar la implementación de las mejores técnicas disponibles (MTD) cuando sea apropiado y económicamente viable, y a tener en cuenta la relación coste - eficacia de estas técnicas [ISO14001].

A parte de esto, se debe destacar que las normas de gestión ambiental están estrechamente relacionadas con las que desarrollan los requisitos y fundamentos de los sistemas de gestión de la calidad. Estos requisitos aparecen contemplados en las normas ISO 9001:2008 e ISO 9000:2005, existiendo una clara correspondencia entre las normas ISO 14001:2004 e ISO 9001:2008, en cuanto a la importancia de la obtención de resultados del desempeño y eficacia del proceso y la mejora continua de los procesos con base en mediciones objetivas [ISO9001] [ISO9000].

3.1.1.2 REGLAMENTO EMAS III

Se denomina así al sistema comunitario de gestión y auditoría medioambiental, EMAS, que permite la participación con carácter voluntario de organizaciones dentro y fuera de la Comunidad.

Es un sistema puesto a disposición de organizaciones que de forma voluntaria deseen:

- Evaluar y mejorar su comportamiento medioambiental.
- Difundir la información pertinente relacionada con su gestión medioambiental, al público y a otras partes interesadas. Siendo este el punto diferenciador frente a la norma ISO 14001 [EMAS03] [EMAS01].

Este sistema aparece recogido en el Reglamento (CE) nº 1221/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de Noviembre de 2009, por el que se permite la participación voluntaria de organizaciones en un sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales (EMAS), y por el que se derogan el Reglamento (CE) no761/2001 y las Decisiones 2001/681/CE y 2006/193/CE de la Comisión [EMAS09].

Este reglamento tiene como principal objetivo el promover mejoras continuas del comportamiento medioambiental de las organizaciones a través de las siguientes acciones [EMAS09]:

- Establecer y aplicar sistemas de gestión medioambiental.
- Evaluar de forma sistemática, objetiva y periódica el funcionamiento de tales sistemas,
- Difusión de información sobre comportamiento medioambiental.
- El diálogo abierto con el público y las partes interesadas.
- La implicación activa del personal en las organizaciones, así como una formación adecuada.

La nueva revisión del Reglamento EMAS III persigue, entre otros objetivos, aumentar la adhesión de las empresas al esquema (EMAS) y reducir sus cargas y costes administrativos, especialmente para las pequeñas y medianas empresas.

3.1.2 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA (ACV)

El interés por el desarrollo de métodos para comprender mejor y tratar los impactos referentes a la protección ambiental, y los posibles impactos asociados con los productos, tanto manufacturados como consumidos ha ido aumentando a lo largo de los últimos años debido a la conciencia cada vez más creciente.

Una de las técnicas desarrolladas en ese sentido es el análisis de ciclo de vida (ACV), que se desarrolla en las normas *UNE-EN-ISO 14040:2006*. y *UNE-EN-ISO 14044:2006*. [ISO14040] [ISO14044].

El ACV puede ayudar en los siguientes aspectos [ISO14040]:

- La identificación de oportunidades para mejorar el desempeño ambiental de productos en las distintas etapas de su ciclo de vida,
- La aportación de información a quienes toman decisiones en la industria, organizaciones gubernamentales o no gubernamentales (por ejemplo, para la planificación estratégica, el establecimiento de prioridades, el diseño y rediseño de productos o procesos),
- La selección de los indicadores de desempeño ambiental pertinentes, incluyendo técnicas de medición.

Esta herramienta trata los aspectos e impactos ambientales potenciales como por ejemplo, el uso de recursos y las consecuencias ambientales de las emisiones, a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto desde la adquisición de la materia prima, pasando por la producción,

uso, tratamiento final, reciclado, hasta su disposición final, es decir, de la cuna a la tumba [GAR07].

El ACV modela el ciclo de vida de un producto de tal manera que se estudia como un sistema. El sistema se subdivide en un conjunto de procesos unitarios. Los procesos unitarios se vinculan entre sí mediante flujos de productos intermedios y de otros residuos para tratamiento, con otros sistemas de producto, mediante flujos de producto, y con el medioambiente mediante flujos elementales [ISO 14040].

El sistema se divide en una serie de procesos unitarios que facilitan la identificación de las entradas y salidas. En muchos casos, algunas de las entradas se utilizan como un componente del producto resultante, mientras que otras (entradas auxiliares) se utilizan dentro de un proceso unitario pero no forman parte del producto resultante. Un proceso unitario genera otras salidas (flujos elementales y/o productos) como resultado de sus actividades. El nivel de detalle que se requiere para satisfacer el objetivo del estudio determina los límites de un proceso unitarios. Los flujos elementales incluyen la utilización de recursos, las emisiones al aire, y los vertidos al agua y al suelo asociados con el sistema [ISO 14040].

Finalmente, el ciclo de vida posee una fase de revisión crítica, que consiste en un proceso para verificar si ha cumplido con los requisitos de la metodología, los datos, la interpretación y la información, y si es coherente con los principios para los que fue desarrollado [ISO 14040].

3.1.3 INDICADORES MEDIOAMBIENTALES

Hoy en día, la gestión medioambiental en las empresas es un elemento de competitividad cada día más importante. En concreto, la certificación del cumplimiento de una norma de gestión medioambiental es uno de los objetivos claves de ciertos sectores empresariales. Sin embargo, las normas ISO 14001 y el Reglamento EMAS que actualmente son las más aplicadas en gestión medioambiental, no exigen el desarrollo de indicadores ambientales, siendo estos unos instrumentos de medición muy eficaces para poder planificar, controlar y corregir los factores ambientales en la empresa [IHOBE99].

La Organización Internacional de Normalización (ISO) trabajó en la realización de una norma de indicadores medioambientales desarrollando en el año 1999 la norma ISO 14031:1999: *Gestión medioambiental. Evaluación del comportamiento medioambiental. Directrices generales*, donde fijaba sus propias directrices para la implantación de indicadores en las empresas [ISO14031] [IHOBE99]. En esta norma se incluyen las últimas consideraciones.

En el año 2003, a través de la *Recomendación de la Comisión, de 10 de julio sobre las orientaciones para la aplicación del Reglamento (CE) n° 761/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se permite que las organizaciones se adhieran con carácter voluntario a un sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales (EMAS) en lo que respecta a la selección y el uso de indicadores del comportamiento medioambiental* (DOUE L 184 de 23/07/2003 p. 0019 – 0032), se establece también para el reglamento EMAS unas pautas a seguir en cuanto al desarrollo de indicadores medioambientales [DOUE03].

Estos indicadores son instrumentos importantes de gestión del control medioambiental y se emplean como una herramienta de control por parte de la dirección para facilitar información relevante, en la toma de decisiones.

El desarrollo de indicadores ambientales tiene como objetivos principales [AND05a]:

- Servir de herramienta básica en el suministro de información sobre el estado del medio ambiente.

- Ser útil en el seguimiento de la evolución de las políticas ambientales y de la integración de aspectos ambientales en las diferentes políticas sectoriales.

Los indicadores medioambientales sirven para cuantificar la evolución en el tiempo de la protección medioambiental de la empresa, determinando tendencias y permitiendo la corrección inmediata en el caso de ser necesario. Otro importante valor de los indicadores es el de servir de benchmarking o evaluación comparativa entre indicadores de empresas del mismo u otro sector de actividad. De esta manera se pueden encontrar puntos fuertes y débiles, y establecer con una mayor perspectiva cuáles deben ser los objetivos medioambientales de la empresa.

Por lo tanto, el desarrollo de sistemas de indicadores, provee a las empresas de un procedimiento para medir y comprender de forma concisa el comportamiento medioambiental de la empresa y su situación en el sector [IHOBE99].

3.2 SISTEMAS DE AYUDA A LA DECISIÓN (SAD)

Dentro del ámbito de la gestión de residuos industriales, frente a la tradicional valoración cualitativa cada día se utilizan más, modelos ambientales que permiten determinar con mayor precisión los efluentes, sólidos, líquidos o gases producidos por cualquier actividad.

La gestión de los residuos industriales ocasiona cambios en el ambiente que deben ser identificados para poder minimizarlos, ahí es donde entran los modelos ambientales.

En algunas ocasiones es posible la modelización exacta del proceso considerando las reacciones físico-químicas. Así, por ejemplo, se utilizan modelos fotoquímicos para modelar, en áreas urbanas, resultado de complejas reacciones entre la luz solar, la meteorología y las emisiones básicas de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos reactivos.

Pero debido al desconocimiento de la situación real del proceso, es necesario acudir a otro tipo de aproximaciones, una de ellas es el uso de modelos estadísticos, que se aproximan ajustando los resultados reales a distribuciones conocidas.

Entre los modelos más habituales, están los gaussianos, utilizados para estimar las consecuencias de emisiones fugitivas procedentes de actividades industriales a la atmósfera.

Entrando en una categoría más reciente de modelización, se encuentran los sistemas de ayuda a la decisión (SAD), en los que se utilizan dos técnicas, las matriciales y los sistemas expertos, que son modelos basados en el conocimiento y pertenecen a la categoría de modelos basados en la Inteligencia Artificial

A. TÉCNICAS MATRICIALES

Realizan la valoración mediante la construcción de matrices que representan las características más significativas a valorar frente a los diferentes modelos posibles.

Un ejemplo es el método *Design Evaluation* EVAD que consiste en apoyar al evaluador durante la selección de modelo, en el que el aspecto intuitivo tiene gran importancia. La utilidad de la solución se mide sobre una serie de criterios que se consideran críticos.

Los criterios se colocan, en el eje vertical y los modelos en el eje horizontal; las decisiones se toman según las normas establecidas, enfrentando cada concepto con cada modelo. Los criterios seleccionados se someten a un procedimiento formal de evaluación, de acuerdo con una metodología, que se conoce como el Método Harris [KEN99]

B. SISTEMAS EXPERTOS

Constituye un enfoque alternativo al matricial, en el que se utiliza el conocimiento experto implementado en forma de sistema de gestión de conocimiento, se denominan expertos debido a que emulan el comportamiento de un experto en un dominio concreto y en ocasiones son usados por éstos.

Con ellos se busca una mejor calidad y rapidez en las respuestas dando así lugar a una mejora de la productividad del experto. Para que sea efectivo, los usuarios deben interactuar de una forma fácil, reuniendo dos características:

- Base de conocimiento: que consiste en explicar sus razonamientos, siguiendo ciertas reglas o pasos comprensibles de manera que se pueda generar la explicación para cada una de estas reglas, que a la vez se basan en hechos.
- Integrador del sistema: que consiste en adquirir nuevos conocimientos con mecanismos de razonamiento que sirven para modificar los conocimientos anteriores. los sistemas expertos no intentan sustituir a los expertos humanos, sino que se les ayuda a realizar con más rapidez y eficacia todas las tareas que realizan.

Basados en estas dos técnicas y dentro de los sistemas de ayuda a la decisión se encuentra el análisis de decisiones multicriterio, en inglés *Multicriteria Decision Analysis MCDA* [ROM86] [BAR97] [PAR95], que constituye una herramienta que ayuda durante el proceso de la toma de decisiones cuyo desarrollo se detallará más adelante.

Al ser los MDM relativamente recientes, ya que hace poco que han empezado a trascender al ámbito académico y por consiguiente al ámbito público y empresarial, no se tienen referencias de su aplicación en el caso de los residuos sólidos industriales, sin embargo sí que se han aplicado MDM como herramienta para la ayuda en toma de decisiones de problemas de gestión medioambiental [GRE05] [LIN04] [MAD96] como por ejemplo, el que se realizó en un proyecto de gestión de sedimentos, para seleccionar la mejor alternativa de remediación más sostenible [KAN02]

3.3 METODOLOGÍAS PARA LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS

Una metodología de gestión de residuos consiste en la definición de un conjunto de etapas específicas y una selección de técnicas concretas o tratamientos para la gestión adecuada de los residuos en este caso los sólidos industriales.

Esta debe cumplir tres premisas:

- Debe ser normativa, es decir que sea capaz de valorar entre las técnicas existentes de tratamiento.
- Descriptiva, que pueda exponer y analiza las alternativas y problemas a resolver para llegar a una solución final.
- Comparativa, capaz de cotejar diferentes problemas o cuestiones que se plantean y se quieren resolver.

A continuación se presenta una prospectiva sobre las metodologías existentes tanto a nivel nacional como internacional. Destacando las dificultades encontradas a la hora de hallar una metodología individual para la gestión de los RSI, se presentan a continuación las más destacadas.

3.3.1 METODOLOGÍAS EXISTENTES A NIVEL INTERNACIONAL

A nivel internacional se han identificado distintas metodologías de gestión de residuos sólidos, siendo correspondiendo la minoría a residuos sólidos industriales.

Casi todas pertenecen al ámbito de los residuos urbanos [MIN09] [KIS07] [HAM04] [SHO03] [SUN94] o asimilables a urbanos [HOK 98], residuos peligrosos como pueden ser los que se encuentran en un laboratorio [LLA09], y en menor medida residuos industriales [GEN07]

A continuación se recoge una breve descripción de las metodologías más significativas.

1. **Metodología para la elaboración del plan de gestión integral de residuos sólidos en Colombia.** En 2009, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de la República de Colombia decide desarrollar una metodología de gestión de sus residuos a nivel municipal [MIN09].

Esta metodología describe los elementos fundamentales a tener en cuenta para la realización del diagnóstico integral del municipio o los municipios que conforman el plan, a nivel socioeconómico, ambiental, institucional, administrativo, financiero, técnico-operativo y el análisis de la problemática donde se podrán identificar las debilidades, oportunidades fortalezas y amenazas, y sus causas y consecuencias. Este análisis definirá las bases para la realización de un ejercicio de prospectiva, que en consenso permitirá la formulación de objetivos y metas deseables y de alternativas viables y sostenibles en el tiempo.

También se enumeran los elementos a tener en cuenta para desarrollar el estudio de factibilidad de los programas, proyectos y actividades de la alternativa óptima. Este procedimiento incluye una evaluación detallada de ingresos y gastos proyectados para la ejecución de los programas y proyectos, la evaluación financiera, la identificación de las fuentes de financiación, que en conjunto deberán garantizar la sostenibilidad de los procesos, en el horizonte de análisis del plan.

La metodología se basa en una serie de indicadores que deberán ser calculados en la fase de diagnóstico para establecer el punto de partida (línea base), que facilitará el establecimiento de las metas a alcanzar y que permitirá poner en marcha los procesos de seguimiento y monitoreo de su cumplimiento. También incluye los elementos mínimos necesarios para formular el Plan de contingencias para situaciones de emergencia, que eventualmente pongan en riesgo la ejecución del plan.

2. **Gestión integral de residuos sólidos urbanos en México.** Hasta la creación de la “Guía Metodológica para el levantamiento y evaluación de información de campo para efectuar el diagnóstico de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos y residuos de manejo especial”, desarrollada en 2007, no existía en México para el sector residuos ninguna metodología satisfactoria para la gestión de los residuos sólidos urbanos [KIS07].

Esta guía surgió con el objeto de definir y documentar una metodología estandarizada para la recogida de datos en el estudio sobre la gestión integral de los residuos en México, que estableciera las directrices, los requisitos y los criterios deseables para la creación, validación, mantenimiento, uso y actualización en una base de datos dinámica.

Los pasos seguidos para el desarrollo de la guía fueron los siguientes:

- Evaluación de las metodologías y herramientas aplicadas en diagnósticos anteriores.

- Definición de la mejora y estandarización de metodologías para la recogida de datos.
- Definición de los criterios de validación de la información.
- Identificación de necesidades de herramientas de apoyo.

Una de esas herramientas de apoyo desarrolladas fue un cuestionario que incluía una serie de indicadores clave para el diagnóstico de la situación, referentes a aspectos legales, técnico-económicos y ambientales, abarcando la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. Este cuestionario estaba estructurado en diferentes apartados tales como: *datos generales, composición, recogida, separación, tratamiento y disposición final* incluyendo un *índice de cumplimiento de la normativa*.

Los principales problemas encontrados a la hora de aplicar la guía en dos municipios mexicanos fueron la inexistencia de estudios de generación y composición, así como la falta de básculas en los sitios de disposición final, lo que impedía conocer el volumen y características de los residuos manejados.

Identificados los puntos débiles para el correcto funcionamiento de la metodología se pusieron en marcha las reformas necesarias para solventarlas.

La aplicación de la Guía contribuyó a la estandarización de un método para la generación de información del sector residuos y permitió conocer los puntos con necesidades de mejora. Esta Guía está diseñada para ser revisada cada 2 años con el fin de establecer un proceso de mejora continua para la metodología implantada

3. **Metodología para la gestión de residuos de laboratorio (2009).** En el II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos, que tuvo lugar en septiembre de 2009, se analizaron y discutieron nuevas técnicas y procesos para la gestión de diferentes residuos, pero cabe destacar las investigaciones llevadas a cabo por la Universidad Nacional de Cuyo, en Argentina, para la implantación de una metodología para la gestión de residuos de laboratorio [LLA09].

En ese estudio se reconocía como en los laboratorios de investigación y docencia se manipulan diferentes materiales que contribuyen a la generación de residuos especiales, la mayoría de los cuales están incluidos en los listados de sustancias sometidas a control.

El objetivo fue identificar las características peligrosas de los residuos generados con la finalidad de establecer una categorización que facilitara el diseño de procedimientos de etiquetados, envasado y acopio para recomendar tipos de recipientes y lugares de almacenamiento apropiados para todo de tipo de instalaciones con características similares.

Se elaboró una encuesta orientada a la identificación de los tipos de sustancias utilizadas y de los residuos generados. La información recopilada se complementó con la realización de un programa de visitas a los laboratorios con el propósito de establecer otros aspectos relevantes como modalidades operativas, capacitación y formación del personal, distribución espacial del equipamiento, etc.

A partir de la información preliminar generada, se definieron siete grupos de residuos basados en las características de compatibilidad química y se diseñó una encuesta para establecer la participación porcentual de cada laboratorio en la generación de las diferentes corrientes residuales.

Los resultados del estudio fueron concluyentes: la diferenciación de los residuos por categorías a partir de su estado físico, composición y compatibilidad química permitió precisar las cantidades, tipo y volumen de los contenedores y de los espacios necesarios para su almacenamiento.

La conclusión en la implementación de una metodología en la gestión de los residuos contribuyó a:

- Evitar la acumulación de los residuos peligrosos.
- Reducir los riesgos de accidentes por fugas o derrames.
- Y optimizar el uso de los espacios físicos en los laboratorios y sectores comunes

4. La gestión de los residuos en los municipios Suecos (2004). Es la combinación de tecnología medioambiental puntera e iniciativas locales innovadoras la que está ayudando a los municipios suecos a gestionar y tratar sus residuos sólidos y sus aguas residuales [HAM04].

Los métodos usados para adaptar la política de gestión de residuos a las situaciones locales son varios, y pasan a través de diferentes disciplinas, como la ingeniería, la sociología, la economía, etc. Tanto es así, que las políticas de aplicación general son de aplicabilidad a todos los niveles organizativos, y algunas de las propuestas puestas en marcha van desde la monitorización de residuos en grandes sistemas de producción industrial hasta el examen del impacto que tienen los estilos de vida en el reciclaje y la minimización de residuos.

Es precisamente este análisis global y multidisciplinario de las opciones para mejorar la gestión de los residuos, el que tiene el éxito reconocido a nivel mundial, en cuanto a la efectividad en la gestión de residuos y las políticas ambientales en Suecia.

5. Metodología de Análisis basada en un sistema de ayuda a la decisión para evaluar la gestión integrada de residuos Sólidos. La estrategia de gestión empleada en una estación de aire de Alaska perteneciente a la Fuerza Aérea de los Estados Unidos fue la de evaluar diferentes alternativas en la gestión integrada de residuos sólidos en el 2003 [SHO03].

Este estudio fue llevado a cabo por el Instituto de Tecnología de las Fuerzas Aéreas de Estados Unidos. El modelo parte del análisis de 40 alternativas de gestión desarrolladas de acuerdo con los supuestos de toma de decisiones y restricciones de la base militar

El modelo utilizado, proporcionó una visión de la toma de decisiones en cuanto a qué estrategia era la más adecuada para la gestión de los RSU, incorporaba además un análisis de sensibilidad que evaluaba los efectos de los cambios en los parámetros del modelo.

El modelo facilita la toma de decisiones con una herramienta que proporciona la mejor decisión posible a la hora de elegir una nueva estrategia de gestión de RSU.

Los resultados del modelo sugirieron que esta estrategia de gestión presentada correspondía a un tipo de vertedero RSU, junto con una combinación de reciclaje de residuos que incluía al menos papel y cartón. La alternativa propuesta consistía en el mismo tipo de vertedero junto con reciclaje de latas de aluminio y acero, vidrio, papel y

cartón. El análisis de sensibilidad empleado, mostraba que de entre todas las alternativas recogidas, la de la planta de clasificación era la menos viable.

Una metodología similar basada en un sistema de ayuda a la decisión fue desarrollado en la región de Jamsa en Finlandia, se hicieron estudios donde se utilizó la metodología de ayuda a la decisión desarrollando un método denominado ELECTRE II para elegir cuál sería el mejor sistema de gestión de Residuos Sólidos Urbanos, después de analizar diferentes técnicas, se eligieron como posibilidades de tratamiento técnicas de vertido, compostaje e incineración, los resultados fueron bastante positivos y se empezó a utilizar a partir del año 1995 [HOK98].

- 6. Planificación para la gestión integrada de residuos sólidos a nivel de parque industrial. El caso de Tianjin, China.** Los parques industriales desempeñan un importante papel en la producción y utilización de bienes y servicios. La gestión adecuada de los residuos sólidos es un gran desafío para los parques industriales, debido a la gran cantidad de residuos y las diferencias entre las características de los mismos [GEN07].

Esto exige que los administradores de parques industriales evalúen el uso general de los recursos, y busquen oportunidades para reducir, reutilizar y reciclar sus residuos tanto dentro de la propia empresa como fuera (empresas subcontratadas).

La adopción de este tipo de métodos puede llevar a ambos beneficios; económicos y ambientales. Este estudio presentó la planificación de un caso real en China, presentó la información básica sobre la Zona de Desarrollo Económico de Tianjin (TEDA), y luego se introdujeron las prácticas actuales de gestión de residuos sólidos (referentes a regulaciones medioambientales, seleccionando y aplicando tecnologías adecuadas y programas de gestión). El objetivo principal de este trabajo fue el de describir la forma de planificar un sistema integrado de gestión de residuos sólidos en TEDA. Los beneficios y los retos fueron identificados y analizados.

En este contexto, el estudio realizado en el Área de Desarrollo Económico de Tianjin demuestra que el sistema integrado de gestión de residuos sólidos es una herramienta útil para la planificación estratégica de los diferentes residuos a nivel del parque industrial.

Al igual que en los ecosistemas naturales, las empresas forman relaciones simbióticas para asegurar la supervivencia y la eficiencia de los recursos dentro de un parque industrial en la aplicación de este enfoque.

Para las empresas, constituye un valor agregado cuando sus subproductos recirculan en la corriente de producción de un parque industrial o región. Esto cierra el bucle de resultados en cuanto a la conservación de las fuentes naturales y en la reducción de los costes de producción y eliminación.

Además, se podrían disminuir costes con los ingresos potenciales a través de la venta de los residuos sólidos recuperados. También puede ser una poderosa herramienta económica para atraer inversiones extranjeras, y así crecer.

- 7. Enfoque sistemático para la gestión de residuos sólidos urbanos: estudio piloto en Gotemburgo (1993).** El enfoque de sistema propuesto por la Universidad de Tecnologías de Suecia para la gestión de los residuos sólidos se compone de dos partes, en primer lugar, un modelo integral, MIMES/WATE (que consiste en un modelo para la descripción y la optimización de sistemas integrados de flujos de materiales y energía), para analizar las características técnicas del sistema de gestión de residuos, y en segundo lugar, un

procedimiento para hacer del modelo una herramienta eficaz en el proceso de planificación [SUN94].

El estudio se centra en una primera parte de descripción del modelo y la metodología para utilizarlo, con un amplio margen para el análisis técnico del sistema de gestión de residuos.

Se realizó un estudio piloto en la región de Gotemburgo en Suecia, que presenta la metodología y la utilización del modelo. El modelo MINES/WASTE es una herramienta de ingeniería de sistemas para la planificación estratégica de los sistemas municipales de gestión de residuos.

Los resultados ilustran la eficacia del reciclado de cartón corrugado y plástico. El modelo se utiliza para analizar la relación coste-eficacia del reciclado. Lo novedoso es que analiza la eficacia medioambiental del reciclaje. El estudio abarca tanto impactos ambientales internos como externos.

Se combinan costes y emisiones con el fin de mostrar los costes derivados de impedir las emisiones, es decir, los costes para evitar un impacto mediante el reciclaje.

El modelo proporciona un marco para la evaluación de los siguientes puntos:

- Opciones para desarrollar el sistema,
- Los efectos de las incertidumbres en el entorno del sistema,
- Diversos objetivos establecidos para el sistema (por ejemplo, costes de eficiencia, control del medio ambiente, reciclado y producción de energía)

En este estudio se discuten tipos de planificación, a largo plazo, a corto plazo, y análisis de consecuencias.

3.3.2 METODOLOGÍAS EXISTENTES A NIVEL NACIONAL

A este nivel es casi inexistente bibliografía referente a gestión de residuos sólidos, complicándose aún más para el caso industrial. A continuación se describen las siguientes metodologías.

1. **La ecoeficiencia en la gestión de residuos municipales en Cataluña (2008).** En un trabajo de investigación desarrollado por la Universidad Autónoma de Cataluña cuyo objetivo fue el de medir los factores que influyen en la ecoeficiencia de la gestión de residuos sólidos urbanos en esta comunidad, la base de investigación, se centró en la orientación hacia la sostenibilidad, indicada por el *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), quien también recomendaba la aplicabilidad de la ecoeficiencia, dentro de los organismos públicos [DIA08].

Bajo esta perspectiva, se realizó una aproximación empírica, basada en cómo se gestionaban los residuos municipales en Cataluña, tomando una muestra de 48 municipios. Los resultados obtenidos demostraron que en términos generales, sólo existirían dos municipios ecoeficientes, lo que denotaría que existe un alto nivel de ineficiencia en materia de gestión de residuos municipales. Por otro lado, las conclusiones apuntaron a la necesidad de demandar de parte de los órganos de gobierno, más acceso y calidad de información.

Estas conclusiones denotan la importancia de la existencia de una metodología que monitorice la eficiencia de los procesos desarrollados en la gestión de los residuos y la necesidad de herramientas de recopilación de información.

- 2. El punto de vista económico de la gestión de los residuos (2006).** Algunos trabajos han querido aportar nuevas perspectivas para el estudio de los métodos de gestión de los residuos, y una de ellas ha sido, como era de esperar, el análisis de la gestión de residuos sólidos urbanos, desde una perspectiva económica, realizado por la Universidad Complutense de Madrid [AND06b].

Aunque tradicionalmente se ha considerado un problema puramente técnico, la gestión de los residuos abarca numerosos mecanismos cuya plena comprensión requiere de un cuidadoso análisis económico. Los residuos ocasionan un efecto externo en cascada, entre los distintos agentes económicos que intervienen en la cadena de transformación, desde que se extraen las materias primas, pasando por las fases de producción, consumo y generación de los residuos, hasta que estos se eliminan. La incompleta información de que disponen los mercados en dichas fases posibilita la existencia de decisiones ineficientes y, por tanto, abre un campo para la intervención del sector público mediante la aplicación de diversas políticas económicas.

Estos estudios profundizan en los fallos de mercado que producen la generación y la gestión de los residuos y discuten los principales instrumentos de política que se pueden utilizar para corregir dichos fallos. En particular, se presta especial atención a las políticas de incentivos y se clasifican y se enumeran las principales ventajas e inconvenientes de cada una de ellas.

3.4 NECESIDAD DE UNA METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN DE RSI

Como ya se ha descrito en el estado del arte de las metodologías para la gestión de residuos, numerosos sectores han decidido desarrollar sus propios métodos para las actividades relacionadas con el manejo de los mismos, pero sigue sin existir en la actualidad un método estándar de aplicación válido para cualquier sector.

La gestión de los residuos sólidos en los procesos productivos de cualquier sector de actividad industrial se traduce en una disminución de la generación de los mismos pero también implica su aprovechamiento, convirtiéndose así en un subproducto del proceso, y consiguiendo menor cantidad de emisiones y un mayor beneficio económico para la empresa.

Es el objeto de este estudio, el desarrollo de una metodología de gestión de residuos aplicable a cualquier sector industrial de actividad, que se encuentre dentro del marco legal europeo, nacional y autonómico, y que posea un sistema para evaluar la eficiencia de los procesos asociados al manejo de los residuos sólidos.

Para evaluar dicha eficiencia los sistemas de ayuda a la decisión y en concreto los métodos de ayuda a la decisión multicriterio son esenciales, por ello a la hora de decidir que alternativa de gestión es más óptima, eficiente y bondadosa desde el punto de vista sostenible, se utiliza en este estudio el Método Analítico Jerárquico ó AHP.

Como base de ayuda a este análisis y para completar el mismo, se considera esencial disponer de unos indicadores que nos permitan detectar cambios en la gestión de los residuos, y así poder conocer en todo momento cuál es el mejor destino de los mismos en función de la tendencia del proceso que se esté realizando en la empresa.

Debido a la necesidad de una sistemática que nos permita optimizar la gestión de los residuos sólidos industriales, se desarrolla en el siguiente apartado una metodología para tal fin.

4 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta metodología se han seguido una serie de pasos, los cuales se enumeran en la Figura 5:

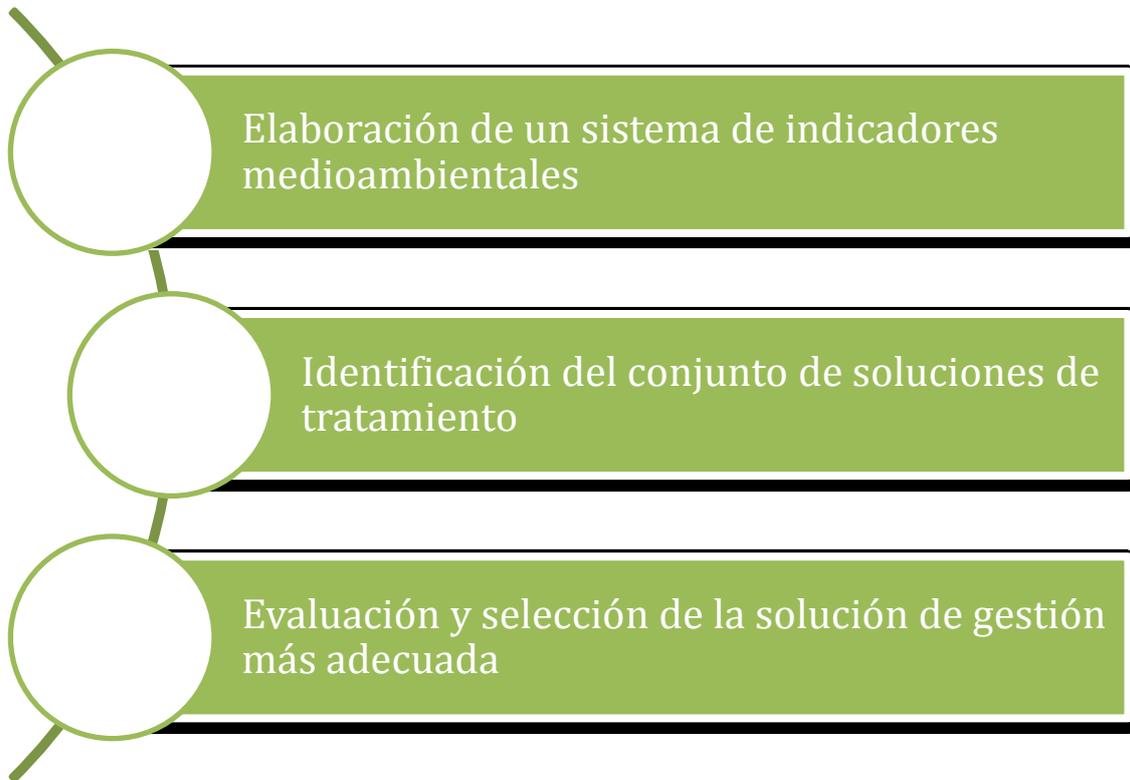


Figura 5: Pasos para desarrollar la metodología objeto de la tesis.

La *elaboración de un sistema de indicadores medioambientales* como el primer paso del desarrollo de la metodología constituye una forma de evaluar una solución globalmente y desde muchos y diferentes puntos de vista, la solución seleccionada al final será en base a múltiples criterios.

Para la elaboración de este sistema se identificarán indicadores cuantificables y representativos del nivel de eficiencia en la gestión de los residuos, tanto desde el punto de vista de su generación como de su reutilización o valorización externa.

Después de realizar un estudio de los principales sistemas de indicadores existentes, se configurará a partir de ellos un sistema propio y optimizado incorporando tanto factores ambientales como socioeconómicos, que permita medir y cuantificar la información de los procesos.

Posteriormente se *identificarán las posibles soluciones del tratamiento* con ayuda de un diagrama de flujo, que determinará los posibles caminos a seguir por cada tipo de residuo en función de sus características.

De la combinación del diagrama y del sistema de indicadores emanará un sistema de indicadores específico para la gestión de los RSI con el que *se evaluará y seleccionará*, de

entre las posibilidades de reutilización o valorización ya identificadas, aquella más factible y eficiente, suponiendo la base para la comparación con otras instalaciones de referencia.

Para la selección de la solución más adecuada, se emplearán técnicas de análisis multicriterio de tipo jerárquico AHP, decidiendo cuál de las posibles vías de gestión es la más adecuada.

Hay que destacar que este estudio se refiere exclusivamente a la gestión de los residuos y no a los procesos que los generan. Los procesos tratados serán aquellos que se deriven del aprovechamiento del residuo una vez generado.

4.1 SISTEMAS DE INDICADORES MEDIOAMBIENTALES

Tal como se ha descrito en los métodos para evaluar la eficiencia, los sistemas de indicadores se han establecido como una de las herramientas de mayor utilidad para el seguimiento de flujos de información de procesos, lo que permite disponer de técnicas para evaluar la efectividad con las que se desarrollan los mismos.

Por ello, esta primera parte del estudio se centra en documentar a diferente escala la importancia de los indicadores, su agrupación en sistemas y los sistemas de indicadores medioambientales de referencia que existen en la actualidad.

Los sistemas de indicadores medioambientales se emplean frecuentemente como herramientas de evaluación por comparación para innumerables procesos. Estos sistemas están formados por unas unidades básicas que son lo que conocemos como indicadores.

En este apartado se procede a detallar en primer lugar las características de esas unidades básicas, para en segundo lugar profundizar en su función como parte de los sistemas de indicadores, y estudiar la relevancia de los mismos.

4.1.1 INDICADORES

Se define indicador como una medida utilizada para describir actividades en términos cuantitativos y cualitativos con el fin de evaluarlas de acuerdo con un método, incluyendo tendencias y progresos a lo largo del tiempo [MMA96].

Se destacan sus principales funciones [AND05b] y características [ENV06], se describen diferentes tipos según distintas clasificaciones [IHOBE99], se detallan las ventajas asociadas al empleo de los indicadores medioambientales [IHOBE99] [EMAS01] [ISO14001] y su relevancia como herramientas para la gestión medioambiental de las empresas [CEEM04] [IHOBE99] [ISO14001].

La principal función de los indicadores es la simplificación de una realidad compleja haciendo posible la comunicación. Así, un indicador es una medida cuantitativa, que puede ser utilizada para explicar y comunicar un fenómeno complejo de manera simple, incluyendo tendencias y progresos a lo largo del tiempo [AND05b].



Figura 6: Los indicadores y el proceso de decisión

De acuerdo con la figura anterior, los indicadores apoyan el proceso de toma de decisiones específicas con respecto a temas de interés. Sin embargo, no pueden ser considerados como valores aislados, su verdadera utilidad no está solamente en identificar un estado técnico de algún aspecto específico, sino en la capacidad que tienen para relacionar causas y efectos en el contexto del tema de interés.

En el ámbito medioambiental, los indicadores aportan información sobre los fenómenos considerados relevantes o críticos para la calidad ambiental. De acuerdo a la definición del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino [MMA06]: “Un indicador medioambiental es una variable que ha sido socialmente dotada de un significado añadido al derivado de su propia configuración científica, con el fin de reflejar de forma sintética una preocupación social con respecto al medioambiente e insertarla coherentemente en el proceso de toma de decisiones”.

Pero para comprender correctamente su concepto, es importante tener en cuenta estas dos características [AND05b]:

- Son variables o estimaciones medioambientales que proveen una información agregada, sintética, sobre un fenómeno, más allá de su capacidad de representación propia.
- La selección de la variable está determinada por la perspectiva social desde la cual se observa el medio, y en ningún caso se orienta hacia la reproducción conceptual objetiva del medio o de uno de sus elementos.

4.1.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS INDICADORES

Para que un indicador medioambiental cumpla su objetivo de manera efectiva debe ser [ENV06]:

- Relevante para el tema de medición: debe medir el problema o condición real.
- Entendible para sus usuarios: debe ser claro e interpretable de forma inequívoca.
- Basado en información fiable: los usuarios deben confiar en lo que muestra el indicador.
- Transparente: debe ser posible su verificación.
- Basado en información específica con relación al lugar y el tiempo: debe reflejar condiciones específicas claras que permitan reaccionar de manera adecuada a los resultados que arrojan.

4.1.1.2 TIPOS DE INDICADORES

Existen diferentes clasificaciones para agrupar los indicadores, distinguiéndose para los indicadores medioambientales aquellos que se clasifican dependiendo del punto de vista ecológico o de comportamiento y aquellos que se relacionan con la cantidad y el coste.

4.1.1.2.1 Indicadores medioambientales según el punto de vista ecológico o de comportamiento

Existen dos tipos de indicadores medioambientales dependiendo de si se tratan de indicadores desde un punto de vista ecológico o desde un punto de vista de comportamiento. Estos son:

- **Indicadores absolutos:**

Desde un punto de vista ecológico, los indicadores absolutos son el enfoque principal, puesto que representan el consumo de recursos por parte de la empresa y su emisión de sustancias contaminantes (por ejemplo, el consumo de energía en kilovatio/hora o la cantidad de residuos en toneladas).

El desarrollo de tales indicadores puede reflejarse durante un período de tiempo de varios meses o años en un análisis de series temporales, proporcionando la base para fijar objetivos y metas medioambientales. Sin embargo, al comparar los aspectos de eficiencia de centros o empresas individuales, estos indicadores absolutos deben examinarse en relación con figuras de referencia válidas (p. ej. volumen de producción anual, número de miembros de la plantilla, tiempo de funcionamiento de máquinas, EBITDA (ganancias antes de intereses, tasas, depreciación y amortización), etc.) [IHOBE99].

- **Indicadores relativos:**

Estos indicadores demuestran el comportamiento medioambiental de una organización en relación con su tamaño o capacidad de producción, es decir, demuestran si las medidas medioambientales dan lugar a mejoras de la eficiencia. Esto es lo que permite realizar las comparaciones entre empresas y el benchmarking (evaluación comparativa).

Un indicador relativo difícilmente puede ser evaluado sin los datos absolutos y viceversa, por lo que para una evaluación global, deben tomarse en consideración indicadores de ambos tipos [IHOBE99].

Tanto unos como otros, pueden referirse al proceso de producción, a toda la empresa y / o al centro de trabajo:

- Indicadores de proceso de producción:

Los indicadores referidos al proceso de producción son apropiados como instrumentos de planificación, control y supervisión para el departamento en cuestión. A fin de detectar puntos débiles e iniciar rápidamente acciones correctoras, es aconsejable determinarlos a intervalos cortos (por ejemplo trimestralmente, mensualmente, o semanalmente). Son especialmente importantes para el seguimiento del mayor foco de consumo de recursos y de la causa principal de las emisiones [IHOBE99].

- Indicadores de empresa:

Se refieren a diferentes departamentos de la empresa, aparte de proporcionar información interna, también sirven como herramienta de análisis de la gestión

medioambiental de la misma durante un período de tiempo más largo que en el caso de los indicadores de proceso [IHOBE99].

○ Indicadores de centro de trabajo:

Los indicadores de centros de trabajo pueden utilizarse para mostrar los impactos al medioambiente en las declaraciones medioambientales [IHOBE99].

4.1.1.2.2 Indicadores medioambientales relacionados con la cantidad y el coste

Los indicadores medioambientales suelen guardar relación con cantidades, esto es, con medidas físicas como kilogramos, toneladas, artículos, etc. Debido a la relevancia cada vez mayor de los aspectos relacionados con los costes en la protección medioambiental, se desarrollan indicadores relativos a los costes medioambientales.

A veces no es posible obtener datos relativos a las cantidades durante la fase de inicio del establecimiento de indicadores, sin embargo, el departamento de contabilidad puede proporcionar una estimación de los gastos conexos.

Por ejemplo, en el caso de no disponer de la composición exacta del volumen de residuos eliminados, pueden utilizarse los costes de eliminación para determinar sus indicadores correspondientes. El indicador relativo a la cantidad “volumen de residuos en kilogramos por producto en toneladas” se sustituye entonces, por el indicador “costes de eliminación de residuos en euros por costes de producción en euros” [IHOBE99].

4.1.1.3 VENTAJAS DE LOS INDICADORES MEDIOAMBIENTALES

Los indicadores resumen diferentes y complejos datos medioambientales combinados con otros de origen diverso, lo que asegura una rápida evaluación de las principales mejoras y puntos débiles en la protección ambiental [IHOBE99].

Las funciones más importantes de los indicadores son:

- Evaluar el comportamiento medioambiental realizando comparaciones entre distintas empresas y dentro de una misma empresa con años posteriores.
- Demostrar la mejora continua de un sistema de gestión ambiental.
- Proporcionar datos esenciales para informes y declaraciones ambientales.
- Ilustrar mejoras medioambientales en un análisis de series temporales.
- Detectar potenciales de optimización.
- Apoyar la puesta en práctica de Reglamentos como EMAS [EMAS09] o la norma ISO 14001 [ISO14001].
- Identificar oportunidades de mercado y potenciales de reducción de costes.
- Proporcionar información de retorno para motivar a los miembros de la plantilla.

Combinando estos indicadores medioambientales con otros relacionados con la productividad y/o de carácter económico, se podrá evaluar si la empresa evoluciona positivamente hacia la consecución de un auténtico desarrollo sostenible, integrado como parte de la responsabilidad social corporativa que una empresa tiene que asumir [CEEM04].

Los indicadores medioambientales pueden utilizarse por las empresas para respaldar cuatro responsabilidades esenciales de la gestión medioambiental en una empresa [IHOBE99]:

Identificación de puntos débiles y potenciales de optimización:

Es una de las funciones más importantes de los indicadores. Las comparaciones pueden poner de manifiesto acciones de mejora medioambiental, que con frecuencia son económicamente viables. Es por esta razón, que los indicadores han de compararse en series temporales o entre empresas, para poder evidenciar esas acciones de mejora (benchmarking/evaluación comparativa).

Los análisis de series temporales revelan los puntos débiles. Permitiendo una detección temprana y el correspondiente ajuste de las tendencias y evoluciones desviadas.

Dentro de una empresa pueden compararse indicadores de centros de trabajo, procesos de producción, maquinaria, o departamentos. Estas comparaciones internas pueden utilizarse para detectar puntos débiles y fuertes iniciales para la protección medioambiental de la empresa. Sin embargo, hay que tener presente que deben emplearse indicadores relativos, los cuales consideran variaciones relacionadas con la actuación en cuanto al tamaño o las desviaciones de la producción [IHOBE99].

Determinación de metas medioambientales cuantificables

El modo más eficaz para conseguir como meta medioambiental una gestión óptima desde el punto de vista ambiental y económico, es que existan metas adecuadas definidas mediante objetivos de empresa concretos y cuantificables. Los indicadores medioambientales ayudan en el proceso de definición de estos objetivos medioambientales y en la persecución de los mismos durante un período de tiempo prolongado.

Además, en la norma ISO 14001 también se exige la definición de estos objetivos medioambientales y metas individuales como parte de un sistema de gestión ambiental.

Sin embargo en la práctica, establecer y cuantificar objetivos entraña una cierta dificultad, por lo que las experiencias con indicadores medioambientales servirían de ayuda. Por ejemplo, las series temporales internas y las comparaciones entre empresas pueden revelar potenciales de optimización, asegurando que se fijen objetivos realistas [IHOBE99].

Documentación de mejora continua:

Una comparación periódica del comportamiento objetivo basada en indicadores medioambientales es útil:

- Para controlar si se han alcanzado los objetivos y metas fijados.
- Para documentar la mejora continua del comportamiento medioambiental.

El examen periódico de los indicadores medioambientales no sólo apoya el seguimiento y el control sistemático de los objetivos, sino que también proporciona información sobre la mejora continua en cuestiones medioambientalmente importantes, como por ejemplo, disminución de residuos, de gasto energético, mejora de productos, etc.

Comunicación del comportamiento medioambiental:

Los indicadores medioambientales son un instrumento interno para medir y mejorar el comportamiento medioambiental de una empresa. Debido a su habilidad de representación de los hechos de una manera compacta y concisa, también son adecuados para la elaboración de informes medioambientales.

Para proporcionar una información exhaustiva así como información sobre el desarrollo medioambiental de la empresa, la creación de informes medioambientales debe incluir tanto los indicadores absolutos como los relativos.

4.1.2 SISTEMAS DE INDICADORES

Una vez caracterizados los indicadores, resulta necesario remontarse a un nivel organizativo superior, que supone proceder al estudio de los sistemas de indicadores

Un sistema de indicadores ambientales es algo más que la simple suma de una serie de indicadores ambientales, y es con respecto a estos, una realidad nueva y distinta. Si cada indicador ambiental está referido a un problema ambiental específico (por ejemplo, la cantidad de energía que se consume en un proceso de secado de un lodo como subproducto de un proceso), el sistema de indicadores responde a un interés social genérico y de totalidad, como por ejemplo es la gestión de residuos. Es decir, el sistema como totalidad tiene por objeto proveer una información que es mayor y distinta de la que ofrece cada una de sus partes [MMA00].

De acuerdo con la definición del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino [MMA00]:

“Un sistema de indicadores ambientales representa un conjunto ordenado de problemas ambientales, descrito mediante variables de síntesis cuyo objetivo es proveer una visión totalizadora de los intereses predominantes relativos al medio ambiente”.

En este apartado se analizan las características de los sistemas de indicadores [DOUE03], y se determina el procedimiento a seguir para el establecimiento e implantación de un sistema de indicadores medioambientales [ISO66175] [IHOBE99]. Este procedimiento pautará las etapas de integración de un sistema de indicadores en cualquier empresa, desde el diseño de los propios indicadores, a su implantación, la explotación de la información que generen y finalmente la revisión de la idoneidad del sistema implantado.

4.1.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE INDICADORES MEDIOAMBIENTALES

Los principios básicos de los sistemas de indicadores medioambientales los definen como [DOUE03]:

1. Comparables: deben prestarse a comparación y reflejar la evolución del comportamiento medioambiental.
2. Equilibrados: entre los aspectos problemáticos (negativos) y prometedores (positivos).
3. Continuos: deben basarse en los mismos criterios de recopilación de datos y referirse a periodos de tiempo o unidades comparables.
4. Actuales: los indicadores deben actualizarse con suficiente frecuencia como para poder tomar las medidas oportunas.
5. Claros: deben ser claros y comprensibles.

4.1.2.2 PROCEDIMIENTO PARA EL ESTABLECIMIENTO E IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE INDICADORES MEDIOAMBIENTALES

El grado de desarrollo de un sistema de indicadores es el reflejo del nivel de madurez de una organización, ya que la calidad de los indicadores es muy importante para la gestión y para la toma de decisiones. De hecho, la calidad de las decisiones está directamente relacionada con la calidad de la información utilizada.

Éste procedimiento se ha elaborado utilizando como base el ciclo de vida de los indicadores representado en la Figura 7.

Este ciclo se aplica íntegramente para una primera definición e implantación del sistema de indicadores. Posteriormente se aplica parcialmente para adaptar el sistema de indicadores a las situaciones y realidades de la organización y asegurarse de su eficacia y eficiencia [ISO66175].



Figura 7: Ciclo de vida de los indicadores [ISO66175].

1 Marco conceptual

Entre las actividades de la dirección de una organización se incluye la gestión de sus procesos. La dinámica de esta gestión consiste, por una parte, en determinar y desarrollar objetivos, según una estrategia de mejora continua previamente definida, y por otra, efectuar los ajustes necesarios para alcanzar dichos objetivos.

Para permitir analizar una situación y tomar las acciones correctivas o preventivas necesarias, la dirección debe conocer la información en tiempo real. Por ello, será objeto del establecimiento e implantación de los sistemas de indicadores, la reagrupación y síntesis de los indicadores para evaluar la evolución en el tiempo y las desviaciones con respecto a los objetivos establecidos [ISO66175].

Para hacer una correcta elección de los indicadores medioambientales, es esencial identificar los impactos medioambientales significativos de las actividades de la empresa, la situación medioambiental, las metas medioambientales sociales y las exigencias externas. Basándose en esta información, se pueden definir los puntos de atención para el establecimiento y uso de los indicadores.

Para las empresas que todavía no tienen un sistema de gestión medioambiental y no tienen previsto ninguno, llevar a cabo un análisis de entradas y salidas es una base segura para obtener indicadores. Puesto que en él se resumen los flujos de materiales, energía y agua entrantes y salientes más significativos, puede servir como base para evaluar el impacto medioambiental de la empresa. Inicialmente, bastará con determinar y registrar los flujos de entradas y salidas más significativos [IHOBE99].

2 Diseño de indicadores

a. Formalización del os sistema de indicadores

La clasificación general de los sistemas de indicadores medioambientales proporciona una estructura preliminar para derivar las categorías principales de un sistema de indicadores hecho a medida para una empresa en concreto. Los aspectos medioambientales de las actividades de la empresa determinadas en el paso uno indican los puntos de atención. Mientras se recopila un registro de indicadores medioambientales, hay que tener presente cuales son los objetivos de estos y sólo hay que definir indicadores para las categorías en las que la empresa puede influir directamente.

Cuando se seleccionan indicadores medioambientales, es esencial que la situación de la empresa respecto al entorno se represente con la máxima precisión posible. Es poco realista limitar los indicadores a unos cuantos muy agrupados o a uno solo cuando se abordan asuntos medioambientales. La idea principal es cubrir eficientemente las categorías relevantes con un número manejable de indicadores concisos [IHOBE99].

b. Selección de indicadores

Existen muchos indicadores posibles que se pueden desarrollar, y probablemente todos ellos interesantes para la organización. No obstante, los recursos de toda organización son limitados y por ello sólo se deben desarrollar aquellos indicadores que son “rentables para la organización, es decir, aquellos para los cuales la importancia de la información que simbolizan justifique el esfuerzo necesario para su obtención [ISO66175].

c. Recopilación de datos

Después de determinar internamente el sistema de indicadores y su registro, se debe organizar la recopilación de datos. Es esencial mantener las pautas establecidas en la toma y clasificación de datos, requisito fundamental para los análisis de series temporales y las comparaciones entre empresas. Debe asegurarse que la comparación de indicadores

se lleva a cabo con unos previamente definidos, obtenidos siempre mediante la utilización de los mismos métodos.

Es aconsejable documentar los criterios determinados para la recopilación de datos por indicador en un registro que incluya los siguientes puntos [IHOBE99] [ISO66175]:

- Denominación del indicador medioambiental
- Descripción del indicador
- Fuentes de datos
- Forma de cálculo
- Factores de conversión que resulten necesarios
- Forma de representación
- Frecuencia de determinación de los indicadores
- Responsabilidad de la recopilación de datos, de la interpretación y de la comunicación de los mismos
- Definición de umbrales y objetivos
- Establecimiento de indicadores medioambientales absolutos y relativos

Los indicadores medioambientales absolutos habitualmente pueden obtenerse a partir de fuentes de datos existentes en la empresa (informes de residuos, estadísticas de ventas, inventarios de sustancias peligrosas) o de los ecobalances.

Para establecer los indicadores relativos debe hacerse una distinción entre dos tipos de indicadores: “cuotas” (también llamadas “proporciones”) y “ratios”. Las “cuotas” se usan para determinar la proporción del total que corresponde a un subgrupo, un ejemplo de cuotas/proporciones son las cuotas de residuos reciclables respecto al total de residuos. Los “ratios”, por el contrario, relacionan los indicadores absolutos con las unidades operativas que los han causado. Frecuentemente, se determina la eficiencia de una entrada o salida por valor de referencia [IHOBE99].

3 Implantación del sistema de indicadores

La implantación del sistema de indicadores, requiere no sólo la correcta especificación de los indicadores, sino también involucrar a las personas afectadas en su implantación [ISO66175].

a. Formación de las personas involucradas

Con independencia de otros conocimientos específicos, es muy importante la formación y sensibilización del personal de la organización involucrado en el área o actividad evaluada, sobre los objetivos que persigue el sistema de indicadores, y sobre su sistema de funcionamiento.

La formación impartida a los responsables designados para la búsqueda de indicadores (responsables de la recogida de información, análisis y comunicación), puede contemplar todos los aspectos sobre diseño, implantación, explotación de la información y mejora. Además, puede ser muy efectiva, la formación sobre las acciones que deben realizar para impedir o corregir desviaciones sobre los objetivos marcados, y mantener la tendencia prevista (aumentar, disminuir o permanecer constante) para los parámetros medidos por los indicadores.

b. Comunicación y motivación

La comunicación tiene como objetivo sensibilizar al personal de la organización sobre los indicadores e inducirles a su participación. Esta acción facilita la colaboración e interés en el sistema de indicadores, predisponiendo al personal en la aceptación del mismo y a participar en las acciones que se deriven para alcanzar los objetivos correspondientes.

c. Validación de indicadores

La validación del sistema de indicadores medioambientales tiene por objeto comprobar que éstos son útiles y rentables, y para ello se debe comparar la utilidad de los resultados alcanzados y su coste de obtención, con los objetivos inicialmente previstos y para los cuales se habían desarrollados dichos indicadores.

La validación se realiza una vez superada la puesta en marcha del sistema de indicadores. Como resultado de la validación se debe tener una idea clara sobre la idoneidad de los indicadores o sobre su modificación o sustitución, en lo referente a su utilidad, si sirve para tomar decisiones, si es compatible con otros indicadores para contrastar resultados, si compensa la utilidad que genera con el costo de recogida de información y desarrollo del indicador, etc.

4 Explotación de la información

La organización puede emplear el sistema de indicadores medioambientales seleccionado con diferentes propósitos en las comparaciones entre empresas o en el análisis de series temporales, tales como análisis de puntos débiles o derivación de objetivos medioambientales. Son principalmente un instrumento interno para medir y mejorar el comportamiento medioambiental. Por lo tanto, es necesario que también puedan emplearlos departamentos individuales para el control y seguimiento de los impactos en el entorno [IHOBE99].

La lectura de los indicadores permite visualizar la diferencia entre los resultados deseados y los resultados reales, así como la evolución de un proceso según sus objetivos, por ello facilita la toma de decisiones y permite identificar las áreas de mejora [ISO66175].

5 Examen periódico del sistema de indicadores

Es importante llevar a cabo un examen periódico del sistema de indicadores para asegurarse de que los indicadores siguen siendo pertinentes y cumplen con los objetivos definidos, además de seguir siendo adecuados para medir y mejorar el comportamiento de la organización [IHOBE99] [ISO66175].

En este contexto, deberían plantearse las siguientes cuestiones para observar la pertinencia de los indicadores:

- Si pueden desarrollarse o utilizarse nuevos o mejorados indicadores medioambientales.
- Si los indicadores permiten que se cuantifiquen nuevos objetivos medioambientales.
- Si pueden incrementarse la calidad y la fiabilidad de la recopilación de datos.
- Si se determinan los indicadores con la suficiente frecuencia para que sean instrumentos de control puestos al día.

Según los resultados de estas revisiones periódicas, se deben mantener, modificar o suprimir los indicadores existentes, o crearse nuevos indicadores, y deben integrarse en el sistema de indicadores medioambientales y documentarse en el registro de indicadores. La formalización de estas revisiones fomenta la mejora continua de la organización [IHOBE99] [ISO66175].

4.2 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INDICADORES

Existen diversos tipos de clasificación de sistemas de indicadores a nivel mundial, atendiendo a finalidades, como la gestión medioambiental o la Responsabilidad Social Corporativa.

De los sistemas de indicadores existentes a nivel mundial, se han seleccionado los más interesantes desde el punto de vista medioambiental. Éstos resultan ser dos sistemas basados en clasificaciones generales de estándares oficiales, como son por uno basado en las normas ISO, y por otro, en sistemas GRI (Global Reporting Initiative).

4.2.1 SISTEMA DE INDICADORES IHOBE/ISO/EMAS

En el año 1999, la norma ISO14031: *Gestión medioambiental. Evaluación del comportamiento medioambiental*. Directrices generales de 1999 [ISO14031] surge como respuesta a la necesidad de numerosas organizaciones que buscan métodos para comprender, demostrar y mejorar su comportamiento medioambiental. Para ello, esta norma internacional proporciona líneas directrices relativas a la implantación de un sistema de indicadores.

En el mismo año, la Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco (IHOBE), presenta una guía que incorpora las características básicas de esta ISO. La *Guía de indicadores ambientales para la empresa* de la Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco (IHOBE) [IHOBE99]

A mediados del 2003, la Unión Europea, publica *la Recomendación de la Comisión referente a la adhesión de las organizaciones al Sistema Comunitario de Gestión Medioambiental contenido en el Reglamento EMAS del año 2001*, en lo que respecta a la selección y el uso de indicadores del comportamiento medioambiental [DOUE03].

Actualmente, esta recomendación ha sido sustituida a favor de su integración en el nuevo reglamento EMAS, el EMAS III [EMAS09]. Esta recomendación recoge todos los posibles indicadores medioambientales para la empresa, que aunque, el EMAS III los simplifica en una serie de indicadores básicos que muestran el comportamiento medioambiental, tales como la eficiencia energética y del consumo, el agua, los residuos, la biodiversidad y las emisiones, para el interés de este documento se aprovecha el detalle de dicha recomendación.

En el sistema de indicadores que se observa en la Figura 8, se recogen los principios de la norma ISO 14031 y de la Recomendación relativa al Reglamento EMAS citadas, ampliadas con la clasificación presente en el documento elaborado por IHOBE.

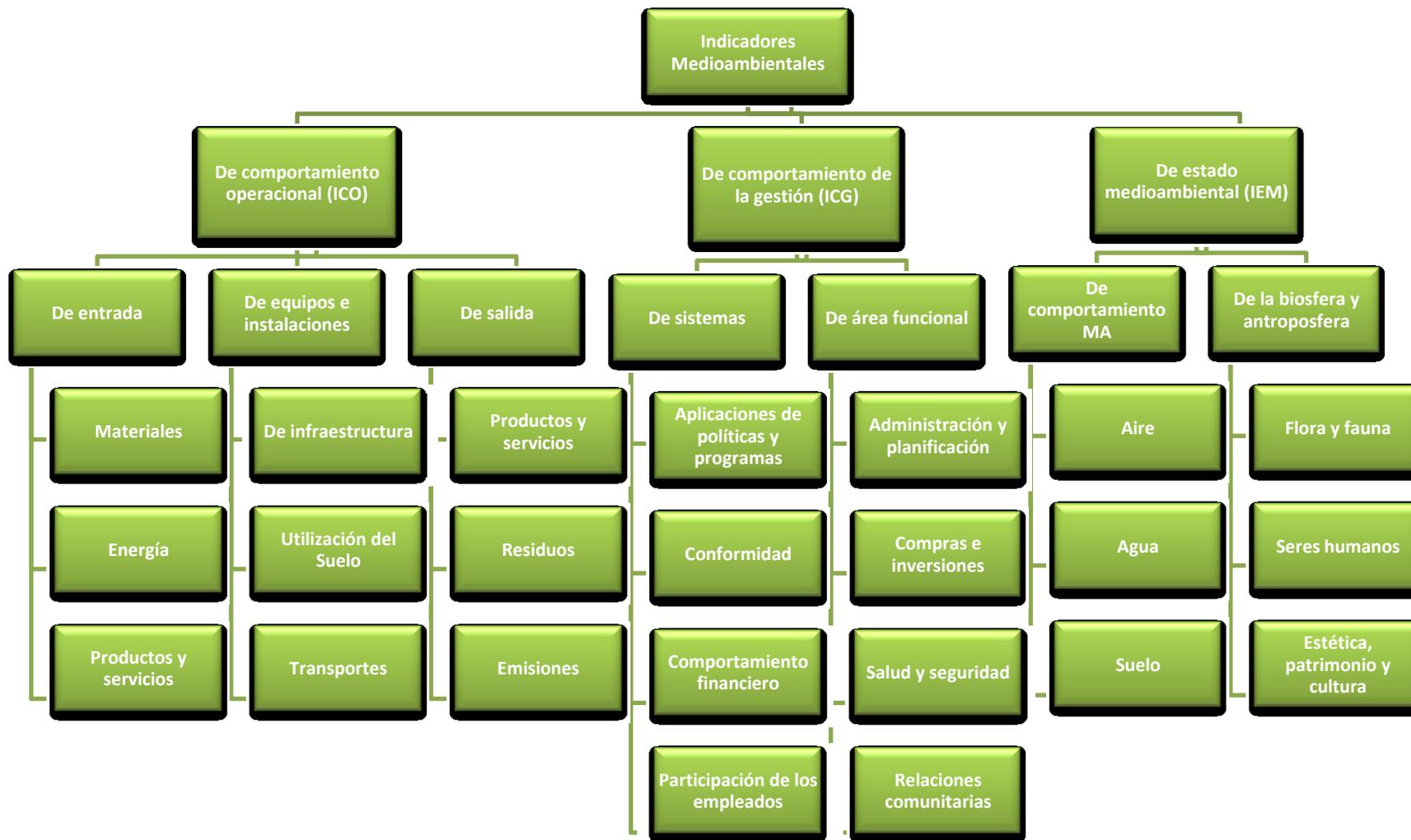


Figura 8: Clasificación IHOBE/ISO/EMAS de los indicadores medioambientales [DOUE03]

La clasificación de este sistema se describe a continuación:

1. Indicadores de comportamiento operacional (ICO)

Estos indicadores describen, de manera sencilla, el impacto que los procesos e instalaciones de una empresa tienen en el entorno e informan sobre su relación con el medio a escala operativa, analizando las entradas y salidas de los medios materiales disponibles para elaborar el producto final [CEEM04].

2. Indicadores de comportamiento de la gestión (ICG)

Los indicadores de gestión están íntimamente relacionados con la forma de controlar y responder a los distintos aspectos medioambientales de una empresa, reflejando el grado de implicación de todos los departamentos en las acciones organizativas diseñadas desde la dirección. Son indicadores que informan por ejemplo, sobre objetivos, metas, formación, programas medioambientales, sistemas de incentivos, frecuencia de auditorías, inspecciones *in situ*, administración y relaciones comunitarias [DOUE03].

Estos indicadores no muestran la interacción real entre empresa y entorno, sino que reflejan cómo gestiona la empresa estas interacciones [CEEM04].

3. Indicadores de estado medioambiental (IEM)

Se denomina así a los indicadores que describen el entorno de ubicación de la empresa, cuyo objetivo es dar a conocer la situación del ecosistema. Un ejemplo de su aplicación es el análisis del nivel de ruido o la calidad de aguas y atmósfera cuando la empresa no está operativa, pudiendo establecer el aporte a nivel de contaminación o impacto en fase de producción mediante determinados parámetros. También es posible realizar estudios de flora y fauna [CEEM04].

4.2.1.1 INDICADORES DE COMPORTAMIENTO OPERACIONAL (ICO)

Estos indicadores se centran en la planificación y control del comportamiento medioambiental. Constituyen también un instrumento relevante para comunicar datos, mediante informes o declaraciones, de acuerdo con el Reglamento EMAS [DOUE03].

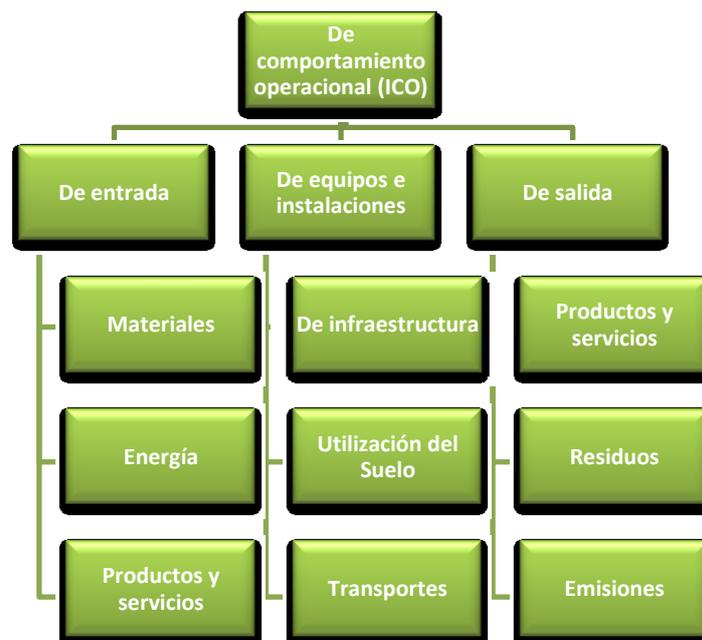


Figura 9: Clasificación de indicadores de comportamiento Operacional (ICO) [DOUE03].]

4.2.1.1.1 Indicadores de entrada

Permiten observar los flujos, energía y otros materiales importantes dentro de una empresa. Por consiguiente, facilitan perseguir los objetivos principales y lograr medidas apropiadas de optimización [IHOBE99].

Estas medidas son:

- El uso eficiente de materias primas, agua y energía.
- La reducción de los costes de producción disminuyendo el consumo.
- La reducción de los residuos y las emisiones por medio de una protección medioambiental integrada.
- La reducción de la degradación medioambiental en etapas preliminares de la producción.
- El desarrollo de productos más seguros para el medio ambiente.

Materiales:

Informan de las principales materias primas y de los materiales auxiliares y secundarios de la empresa. Cada entrada de material corresponde a una cuenta principal, que a su vez se divide en subcuentas relevantes para el medio ambiente. Tomando esto como base, se puede calcular el consumo de material. Para poder comparar cantidades de entrada, deberían estar registradas en una medida estándar de kilogramos o toneladas.

Los primeros indicadores absolutos se pueden derivar del consumo de material. Describen, por ejemplo, la cantidad de materiales relevantes para el entorno utilizados en la producción. Además de las materias primas más importantes cuantitativamente, estos indicadores incluyen principalmente materiales de entrada peligrosos para el medio o aquellos para los que se han fijado objetivos de reducción general. Esto posibilita que los esfuerzos de optimización se centren en un número manejable de materiales medioambientalmente significativos.

Estos indicadores ayudan a controlar la sustitución de materiales problemáticos por alternativas más seguras para el entorno. Para determinar estos materiales y al mismo tiempo tener en cuenta el volumen de entrada, deben tomarse en consideración también aspectos cualitativos, tales como ecotoxicidad, biodegradabilidad y aspectos sanitarios.

Los indicadores de materiales pueden expresarse en términos absolutos y relativos, esto es, en proporción al Rendimiento de la Producción (RP), o en Unidades de Producción (UP). Para evaluar aspectos medioambientales de la producción puede utilizarse el indicador “eficiencia de materias primas”, que se determina por el peso (en kilogramos o toneladas) de entrada de materias primas en relación con la cantidad total de producción (kg o t). Para empresas con productos y procesos especialmente valiosos se recomienda utilizar estos indicadores a escala de proceso o producto. Otros indicadores de materiales pueden obtenerse de la gestión de sustancias peligrosas, por ejemplo cantidades de consumo absolutas (en kg o t), diversidad, etc. Esto asegura una reducción planificada de las mismas [IHOBE99].

Energía:

Proporcionan la información necesaria para mostrar la importancia que tiene en una empresa seleccionar fuentes de energía bajas en emisiones, como el gas natural o las renovables. Además, el consumo de energía puede relacionarse con el Rendimiento de Producción (RP) obtenido por la empresa, expresado en Unidades de Producción (UP). En los casos en que esto no fuera posible o viable debido a diferencias importantes en los productos, puede

emplearse por ejemplo, el indicador “proporción de costes de energía en euros respecto a los costes de fabricación en euros”.

Otra medida para la toma de decisiones es la intensidad de energía, que representa la proporción de un proceso, una máquina, o un departamento como una parte del consumo total. Para los procesos de producción que requieren la mayor cantidad de energía, sirve de ayuda determinar indicadores relativos al proceso para observar la eficiencia [IHOBE99].

Productos y servicios:

Están referidos a aquellos productos y servicios que sirven de apoyo al funcionamiento de la empresa, coordinados con el área funcional de compras e inversiones de la misma.

Destacan los productos preliminares, productos auxiliares y de oficina, etc., expresados en toneladas por año, o en kilogramos de materiales peligrosos o nocivos por tonelada de producto.

En cuanto a los servicios se tiene, por ejemplo, la limpieza, el tratamiento de residuos, el abastecimiento, la comunicación, los servicios de oficina, transporte, etc. [DOUE03].

4.2.1.1.2 Indicadores de equipos e instalaciones

Se refieren a los impactos medioambientales causados por el equipo de fabricación y la logística de producción. Su empleo puede ayudar a alcanzar las siguientes metas [IHOBE99]:

- Utilización eficiente en cuanto al medioambiente del equipo y del área de producción,
- Optimización de la logística,
- Supervisión de los impactos medioambientales locales.

Indicadores de infraestructura:

Se corresponden con los indicadores relativos al diseño, instalación, funcionamiento y mantenimiento de edificios, equipos y maquinaria de la empresa. Este tipo de indicadores surge por la necesidad de evaluar el equipo existente en cuanto a tipo y cantidad. En base a esto, puede determinarse en detalle el impacto medioambiental de cada máquina. Un ejemplo sería considerar el número de instalaciones sometidas a autorización y referirlo al equipo total de producción.

Las máquinas significativas para el medio ambiente que hay que evaluar difieren de una industria a otra. Por ejemplo, puede ser aconsejable para una empresa determinar el número o la proporción de instalaciones que cumplen las regulaciones específicas de protección de ruidos.

Esto refleja la conexión entre aspectos de seguridad y medioambiente, en el sentido de que cuando se produce un fallo, a menudo provoca la contaminación con sustancias peligrosas [IHOBE99].

Utilización del suelo:

El uso del espacio puede ilustrarse con indicadores. Comenzando con la superficie total de la empresa, las zonas se pueden dividir en zonas cerradas y zonas verdes (zonas que permite el drenaje del agua de lluvia). Se expresan en metros cuadrados absolutos o en unidades relativas, como un tanto por ciento de la superficie total o los kilómetros de suelo utilizados por año [IHOBE99].

Indicadores de transporte:

Entre los problemas medioambientales que causa el transporte están la contaminación del aire, consumo de energía y ruido e incluso el asegurar una logística óptima. En el análisis del transporte puede distinguirse entre mercancías y pasajeros.

En lo que respecta al transporte de mercancías, el volumen de transporte en toneladas o toneladas-kilometraje (t-km) es de gran importancia como indicador. Para determinar las toneladas-kilometraje, se multiplica el volumen de transporte (en t) para la entrega, tanto de materias primas principales como de producto fabricado, por la distancia media de transporte (en km). El indicador de intensidad en transporte de la empresa se formula como el volumen total de transporte (entregas en t o t-km) por el peso de la producción obtenida.

Para cada planta, el número de entregas por modo de transporte (aire, carretera y agua) indica hasta qué punto se ve negativamente afectado el público local. El número o el volumen de transporte de sustancias peligrosas también pueden servir como un indicador de interés.

En el transporte de pasajeros, hay dos categorías significativas para establecer indicadores medioambientales, los desplazamientos de los empleados por negocios y el tráfico entre los domicilios y el trabajo. Para cada uno se puede hacer un número absoluto en pasajero-kilometraje, así como una diferenciación por medios de transporte (por ferrocarril, aire, transporte público, coche, etc.) [IHOBE99].

4.2.1.1.3 Indicadores de salida

Los indicadores de salida pueden utilizarse para supervisar las emisiones y los flujos de residuos así como para controlar aspectos de los productos relevantes para el medio ambiente. Apoyan, por tanto, la consecución de las siguientes metas [IHOBE99]:

- Identificar las principales fuentes de emisiones y residuos.
- Reducir los flujos y los costes de los residuos / las emisiones atmosféricas / las aguas residuales.
- Optimizar los aspectos medioambientales de los productos.
- Reducir los impactos medioambientales locales.

Productos y servicios

Miden las mejoras del impacto medioambiental de los productos y servicios individuales o de la gama completa.

Los de producto, pueden referirse sólo a los aspectos medioambientales del proceso interno de fabricación de una empresa, o bien al ciclo de vida completo (incluyendo su uso, producción preliminar e intermedia, transporte, eliminación).

Los indicadores relativos de producto (proporción de productos con características medioambientales específicas respecto a la producción total en porcentaje) deben desarrollarse especialmente para cada organización en particular, puesto que los respectivos atributos de un material difieren dependiendo de la empresa o sector. Pueden estar referidos, por ejemplo, a sustancias determinadas, material de envasado, consumo de energía y aparatos, etc. [IHOBE99].

Puede medirse en toneladas de material peligroso/nocivo por año (y unidad de producto), número y porcentaje de productos con etiquetas ecológicas por año, etc. [DOUE03].

Los de servicios se refieren al diseño, desarrollo y funcionamiento de procesos, como el vertido de residuos, abastecimiento, comunicación, servicio de oficina, etc. Se expresan en toneladas

de sustancias peligrosas o nocivas utilizadas por unidad y año de servicio, consumo de combustible en litros por unidad de servicio y año, etc. [DOUE03].

Residuos

Los indicadores de residuos son de gran importancia para la gestión medioambiental, puesto que su prevención y reciclaje aúnan los objetivos medioambientales con las ventajas económicas.

La base para establecer estos indicadores es la cantidad total de residuos medida en kilogramos o toneladas.

Los residuos pueden ser destinados a “valorización”, (incluidos los reciclables), o “eliminación”, depositados en vertedero. Al relacionar la cantidad total de residuo producido con el material reciclado, se obtiene la tasa de reciclaje, mientras que si se compara con el material eliminado, se obtiene la tasa de eliminación.

Los residuos peligrosos requieren un control especial. Para ello se requieren datos como la cantidad absoluta generada, cuya proporción del total de residuos representa la tasa de residuos peligrosos en tanto por ciento.

El indicador “cantidad específica de residuos (en kg por t de producto)” relaciona la cantidad total de los mismos con el Rendimiento de Producción (RP), pudiendo determinarse para la cantidad total de residuos o bien para una fracción concreta del mismo (cantidad reciclable en kg por t de producto, cantidad de residuos peligrosos en kg por t de producto). Si un flujo de residuos se considera de alto coste económico, en términos cuantitativos o en términos ecológicos, podría ser interesante establecer subcategorías adicionales de análisis [IHOBE99].

Emisiones:

Las emisiones a la atmósfera y los efluentes tienen una especial importancia debido a sus diversos impactos medioambientales (efecto invernadero, contaminación de los suelos, contaminación de masas naturales de agua, etc.). Las cantidades absolutas de sustancias tóxicas emitidas pueden usarse como indicadores básicos. Debido a la variedad de emisiones, los indicadores deberían limitarse a las sustancias más relevantes [IHOBE99].

Como efluentes existen vertidos y sustancias peligrosas específicas, agua de proceso o agua de refrigeración entre otros. Se suelen medir en toneladas por año, kilogramos por tonelada de producto, metros cúbicos por año, porcentaje de residuos reciclables por año, megajulios por tonelada de producto, decibelios en un lugar concreto [DOUE03].

4.2.1.2 INDICADORES DE COMPORTAMIENTO DE LA GESTIÓN (ICG)

Muestran los esfuerzos de la organización para reducir los impactos medioambientales que genera. Este tipo de indicadores tienen una serie de objetivos que son [IHOBE99]:

- Medir hasta qué punto están integrados los aspectos medioambientales en las actividades de la empresa.
- Mostrar conexiones entre los impactos y las actividades de la gestión medioambiental.
- Evaluar el estado de su implantación.
- Controlar y supervisar las políticas medioambientales.
- Posibilitar la integración de las variables de coste medioambiental en la gestión medioambiental.

Asimismo, unos ICGs eficaces pueden contribuir a [ISO14031]:

- Prever cambios en el comportamiento.
- Identificar las causas fundamentales por las que el comportamiento real excede o no alcanza los criterios de comportamiento medioambiental relevantes.
- Identificar oportunidades para llevar a cabo acciones preventivas.

Estos indicadores no miden impactos medioambientales directos, sólo es apropiada su utilización cuando haya una conexión lógica entre la contaminación medioambiental causada por la empresa y las actuaciones concretas de gestión o control [IHOBE99].



Figura 10: Clasificación de indicadores de comportamiento de la gestión (ICG) [DOUE03].

4.2.1.2.1 Indicadores de sistemas

Proporcionan información sobre la capacidad y los esfuerzos de la organización en la gestión de aspectos tales como formación, requisitos legales, asignación y empleo eficiente de recursos, gestión de costes ambientales, adquisiciones, desarrollo de productos, documentación o acciones correctoras, que tengan o puedan tener influencia en el comportamiento medioambiental de la empresa [ISO14031].

Aplicaciones de políticas y programas:

Sirven para mostrar dentro de un sistema de gestión, la situación y los avances de la implantación del mismo [IHOBE99].

También pueden emplearse para establecer los objetivos y metas medioambientales, condiciones del lugar de trabajo, gestión de datos, etc. [DOUE03]

Para cuantificarlos se utiliza, por ejemplo, el porcentaje de objetivos alcanzados por año, o porcentaje de unidades/lugares de trabajo con requisitos ambientales por año, etc. [DOUE03].

Conformidad:

Estos indicadores presentan una herramienta de medición interna, que se ponen de manifiesto mediante auditorias, conformidad con acuerdos ambientales, voluntarios, etc. Se miden en porcentaje de unidades o lugares de trabajo auditados por año, número de metas o acuerdos voluntarios alcanzados por año, etc. [DOUE03].

Comportamiento financiero

Integran los aspectos medioambientales en las herramientas de decisión de la dirección y pueden servir como instrumentos de motivación e incentivo para una protección del entorno eficiente en cuanto a inversión medioambiental, costes operativos de la protección medioambiental, ahorro de costes generados por medidas medioambientales, etc. [IHOBE99].

Participación de los empleados

Es un tipo de indicador que da una idea a la empresa de la formación que reciben los empleados, así como de la percepción que tienen éstos del comportamiento medioambiental de la misma.

Esta información se recoge en forma de número o porcentaje de sugerencias de mejora anuales, o por empleado, días de formación por empleado y por año, etc. [DOUE03].

Dentro de este apartado también se incluyen los indicadores establecidos por las empresas para ilustrar el comportamiento medioambiental bajo el criterio del cumplimiento de las disposiciones legales, por ejemplo el número de sanciones medioambientales impuestas, o el número de accidentes declarados o vertidos accidentales [IHOBE99].

4.2.1.2.2 Indicadores de área funcional

Se refieren a áreas funcionales individuales como la de compras, desarrollo de productos, comunicaciones, etc., en las que las empresas pueden fijar diversos puntos de atención, dependiendo de su importancia [IHOBE99].

Administración y planificación

Proporciona información sobre los aspectos e impactos medioambientales directos e indirectos de la planificación de decisiones políticas, ordenación del suelo, participación en mercados de tecnologías ecológicas, etc. [DOU03].

Se cuantifican mediante el número de decisiones políticas en las que se hizo un análisis de las consecuencias para el medioambiente (por año), porcentaje del suelo que continuará siendo o que se convertirá en hábitats naturales o zonas verdes (por año), etc.

Compras e inversiones

Engloban aquellos indicadores que reflejan los esfuerzos de gestión medioambiental de un proveedor o contratista, así como inversiones en proyectos medioambientales, entre otros, y que tienen una importante influencia en el propio comportamiento medioambiental de una empresa [IHOBE99] [DOUE03].

Se miden en número/porcentaje de proveedores y contratistas con políticas o sistemas de gestión medioambiental, valor total en euros o porcentaje de inversiones de capital y proyectos medioambientales por año, etc. [DOUE03].

Salud y seguridad de los lugares de trabajo.

Son aquellos indicadores referidos a los riesgos medioambientales que pueden reducirse evitando accidentes profesionales e incidentes peligrosos. Un equipo con altos niveles de seguridad habitualmente es más respetuoso con el medioambiente [IHOBE99].

Un ejemplo de estos es la calidad del aire y del agua en los lugares de trabajo, ruido, accidentes, enfermedades ambientales, días de baja por enfermedad de empleados por año, concentración de sustancias nocivas en mg/l o ppm, etc. [DOUE03]

Relaciones comunitarias

Contribuyen a mejorar las conversaciones entre partes interesadas mediante reuniones, peticiones externas de declaraciones medioambientales por parte de organismos públicos, etc. [DOUE03]

Las medidas de comunicación pueden mejorar la comprensión de la percepción que el público tiene de cuestiones medioambientales así como la importancia dada por asociaciones de vecinos, grupos medioambientales, científicos, etc. [IHOBE99].

Estas relaciones se expresan por ejemplo como el número de días de conversaciones en persona, o número de peticiones externas por año [DOUE03]

4.2.1.3 INDICADORES DE ESTADO MEDIOAMBIENTAL (IEM)

La situación medioambiental de una empresa está influenciada, entre otras cosas, por los flujos de entrada y salida y es medida y evaluada por instituciones públicas usando indicadores medioambientales a escala local, regional, nacional y global [DOUE03] [IHOBE99].

Los indicadores medioambientales públicos a menudo pueden servir como datos de referencia para empresas que utilizan indicadores de comportamiento y de gestión medioambientales, así como para identificar impactos medioambientales relevantes de sus actividades operativas y fijar sus prioridades. Estos indicadores, se pueden obtener a partir de publicaciones, como las de la Unión Europea, o la Organización para la Cooperación y el Desarrollo económico (OCDE) [IHOBE99].

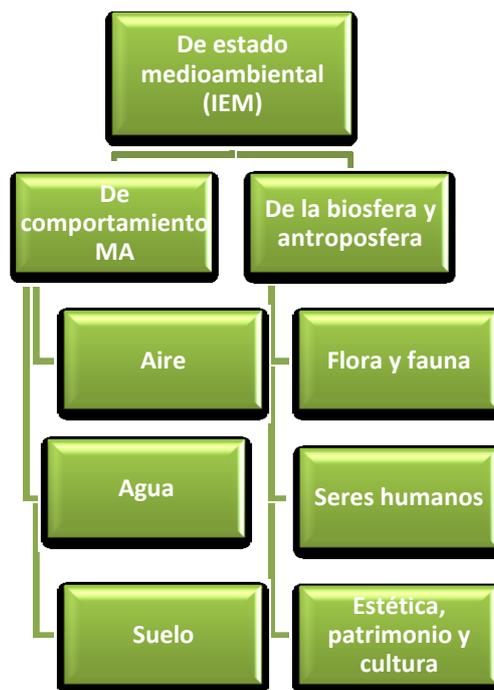


Figura 11: Clasificación de los indicadores de estado medioambiental (IEM) [DOUE03].

4.2.1.3.1 Indicadores de comportamiento medioambiental

Permiten evaluar la situación del entorno de la empresa y cómo le afecta la actuación de ésta. Los indicadores de comportamiento sólo podrán ser determinados directamente si la organización es la causa principal de un problema medioambiental, ya que su aplicación práctica podría tener repercusión en las condiciones ambientales.

Para valorar el comportamiento del medio ambiente a escala local, las empresas pueden reunir información general a partir de bases de datos e informes de las autoridades locales responsables como ayuntamientos, mancomunidades, consorcio de aguas, etc. [IHOBE99].

Aire:

Estos indicadores miden la cantidad de sustancias específicas presentes en el aire, tales como óxidos de azufre, nitrógeno, ozono, compuestos orgánicos volátiles y partículas en suspensión (medidos en mg/l o ppm) [DOUE03].

Agua:

Al igual que para el caso del aire, estos indicadores cuantifican sustancias específicas en ríos, lagos y aguas subterráneas tales como nutrientes, metales pesados, compuestos orgánicos, etc. (mg/l) [DOUE03].

Suelo:

En lo referente al suelo, estos indicadores reflejan la situación de los hábitats naturales y áreas protegidas, además de la evolución del suelo contaminado por metales pesados y otros. Las mediciones se hacen en porcentaje de área por año. El cambio de suelo natural ha contaminado y viceversa, se cuantifica en kilómetros cuadrados por año [DOUE03].

4.2.1.3.2 Indicadores de la biosfera y antroposfera

Tienen el mismo fin que los indicadores de comportamiento medioambiental, pero en este caso la empresa realiza un estudio sobre la diversidad referente a flora y fauna, la calidad de vida de los seres humanos y conservación del patrimonio cultural [DOUE03].

Flora y fauna:

Reflejan las especies protegidas (extinguidas o en peligro de extinción, vulnerables, sensibles a la alteración del hábitat, etc.) comparando su número o porcentaje con los hábitats naturales [DOUE03].

Seres humanos:

Miden aspectos relativos a la calidad de vida como, la aparición de enfermedades relacionadas con impactos en el medioambiente, como la concentración de contaminantes en sangre y la esperanza de vida de la población local. Se expresan en porcentaje de población local enferma, mg contaminantes/l y años, respectivamente [DOUE03].

Estética, patrimonio, cultural:

Cuantifica como afecta la contaminación resultante de la actividad de la empresa en los monumentos naturales, (valles, cañones u otros accidentes geográficos), así como el patrimonio cultural [DOUE03].

4.2.2 SISTEMA DE INDICADORES GRI

Global Reporting Initiative, conocido por las siglas GRI, es el principal estándar internacional para la elaboración de Memorias de Sostenibilidad y Responsabilidad Social Corporativa (RSC).

La *Guía GRI* es una guía para uso voluntario de las organizaciones que deseen recabar información sobre los aspectos económicos, ambientales y sociales de sus actividades, productos y servicios, y su objetivo es el de apoyar a las organizaciones en sus contribuciones al desarrollo sostenible [GRI05]. Además esta información puede servir como punto de comparación con otras empresas con el fin de valorar el correcto desempeño de una organización a nivel de sostenibilidad y las posibles oportunidades de mejora que existan.

En ocasiones, la definición de la sostenibilidad en función de tres elementos distintos (económicos, ambientales y sociales) puede llevar a pensar en cada uno de esos elementos por separado en lugar de hacerlo en conjunto. Sin embargo, esta triple visión constituye un punto de partida que resulta fácilmente comprensible y que ha alcanzado un amplio consenso para el análisis de un tema complejo como es el estudio del desarrollo sostenible (Figura 12) [GRI05].

Es por esta razón, que aunque desde el punto de vista de este documento los indicadores que resultan más interesantes son los de la dimensión ambiental, se toman en cuenta también los de las dimensiones económica y social.

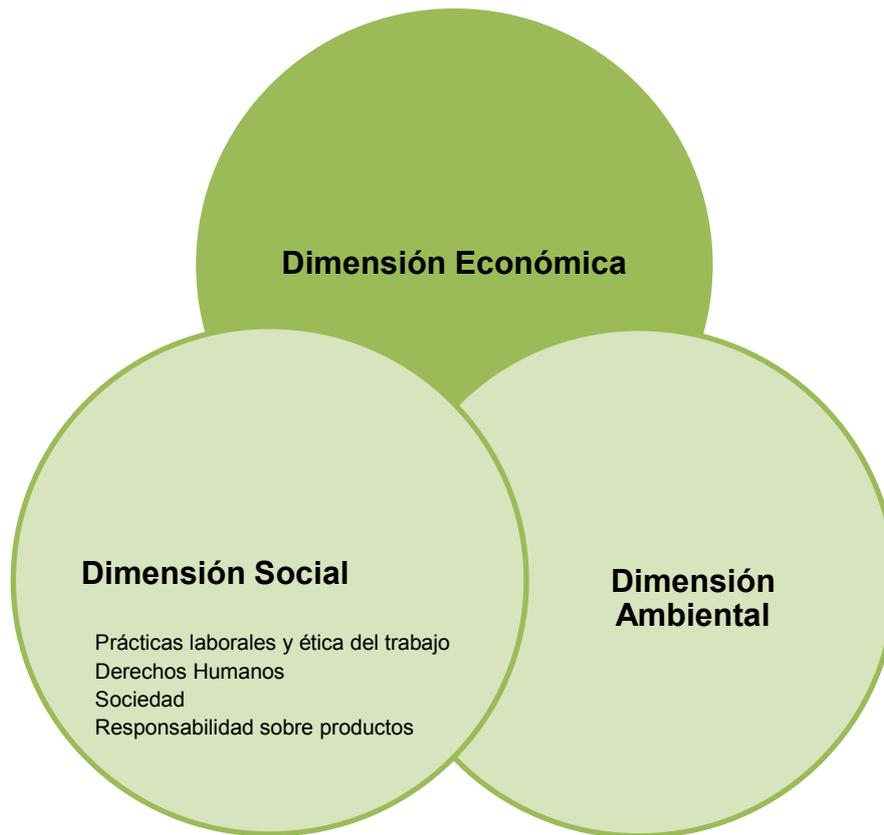


Figura 12: Dimensiones de la sostenibilidad según el sistema GRI.

Cada dimensión dentro de la guía GRI está integrada por diferentes aspectos. Estos aspectos, proporcionan un contexto para la comprensión del desempeño en áreas concretas y desarrollan indicadores que facilitan la comparación de la información. La cobertura de estos aspectos y de sus indicadores resulta suficiente para reflejar los impactos sociales, económicos y ambientales significativos y permite la evaluación del desempeño de la organización en cuanto a sostenibilidad durante el periodo que se haya establecido [GRI06].

Para este documento se tendrán en cuenta todos los aspectos recogidos en la dimensión ambiental de la *Guía GRI*, además de aquellos aspectos de dimensión social y económica que resultan pertinentes desde un punto de vista medioambiental [GRI05].

En los siguientes apartados se describe la organización del sistema GRI, basada en la definición de los aspectos e indicadores de cada dimensión y clasificados según la codificación GRI original, cuyos códigos se especifican en la Tabla 7:

CÓDIGO	SIGNIFICADO
Desempeño Económico	
EC	Económicos
Dimensión Ambiental	
EN	Ambientales
Dimensión Social	
LA	Prácticas laborales y ética del trabajo
SO	Sociedad
PR	Responsabilidad sobre productos

Tabla 7: Clave para códigos de indicadores GRI [GRI05] [GRI06].

4.2.2.1 INDICADORES DE DESEMPEÑO ECONÓMICO:

La dimensión económica de la sostenibilidad afecta al impacto de la organización sobre las condiciones económicas de sus grupos de interés y de los sistemas económicos a nivel local, nacional y mundial [GRI06]:

1. Aspecto: Desempeño económico

EC2	Consecuencias financieras y otros riesgos de oportunidades para las actividades de la organización debido al cambio climático.
EC4	Ayudas financieras significativas recibidas de gobiernos.

4.2.2.2 INDICADORES DE DESEMPEÑO AMBIENTAL.

Se refieren a los impactos de una organización en los sistemas naturales vivos e inertes, incluidos los ecosistemas, el suelo, el aire y el agua. Los indicadores ambientales cubren el desempeño en relación con los flujos de entrada (materiales, energía, agua) y de salida (emisiones, vertidos, residuos). Además, incluyen el desempeño en relación con la biodiversidad, cumplimiento de la normativa medioambiental y otros datos relevantes como pueden ser los gastos de naturaleza ambiental o los impactos de productos y servicios [GRI06].

1. Aspecto: Materiales

EN1	Materiales utilizados, por peso o volumen.
EN2	Porcentaje de los materiales utilizados que son materiales valorizados.

2. Aspecto: Energía

EN3	Consumo directo de energía desglosado en fuentes primarias.
------------	---

EN4	Consumo indirecto de energía desglosado por fuentes primarias.
EN5	Ahorro de energía debido a la conservación y a mejoras en la eficiencia.
EN6	Iniciativas para proporcionar productos y servicios eficientes en el consumo de energía o basados en energías renovables, y las reducciones en el consumo de energía como resultado de dichas iniciativas.
EN7	Iniciativas para reducir el consumo indirecto de energía y las reducciones logradas con dichas iniciativas.

3. Aspecto: Agua

EN8	Captación de agua por fuentes.
EN9	Fuentes de agua que han sido afectadas significativamente por la captación de agua.
EN10	Porcentaje y volumen total de agua reciclada y reutilizada.

4. Aspecto: Biodiversidad

EN11	Descripción de terrenos adyacentes o ubicados dentro de espacios naturales protegidos o de áreas de alta biodiversidad no protegidas. Se debe indicar la localización y el tamaño de terrenos en propiedad, arrendados, o que son gestionados de alto valor en biodiversidad en zonas ajenas a áreas protegidas.
EN12	Descripción de los impactos más significativos en la biodiversidad en espacios naturales protegidos o en áreas de alta biodiversidad no protegidas, derivados de las actividades, productos y servicios en áreas protegidas y en áreas de alto valor en biodiversidad en zonas ajenas a las áreas protegidas.
EN13	Hábitats protegidos o restaurados.
EN14	Estrategias y acciones implantadas y planificadas para la gestión de impactos sobre la biodiversidad.
EN15	Número de especies, desglosadas en función de su peligro de extinción, incluidas en la Lista Roja de la IUCN (International Union for Conservation of Nature) y en listados nacionales y cuyos hábitats se encuentren en áreas afectadas por las operaciones según el grado de amenaza de la especie.

5. Aspecto: Emisiones, vertidos y residuos

EN16	Emisiones totales, directas e indirectas de gases de efecto invernadero, en peso.
EN17	Otras emisiones indirectas (emisiones que resultan de las actividades de la empresa, pero se producen desde fuentes propiedad de otra entidad, o controladas por ella) de gases de efecto invernadero, en peso.

EN18	Iniciativas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y las reducciones logradas.
EN19	Emisiones de sustancias destructoras de la capa de ozono, en peso.
EN20	NO, SO y otras emisiones significativas al aire por tipo y peso.
EN21	Vertimiento total de aguas residuales, según su naturaleza y destino.
EN22	Peso total de residuos gestionados, según tipo y método de tratamiento.
EN23	Número total y volumen de los derrames accidentales más significativos.
EN24	Peso de los residuos transportados, importados, exportados o tratados que se consideran peligrosos según la clasificación del Convenio de Basilea, anexos I, II, III, y VIII y porcentaje de residuos transportados internacionalmente.
EN25	Identificación, tamaño, estado de protección y valor de la biodiversidad de recursos hídricos y hábitats relacionados, afectados significativamente por vertidos de agua y aguas de escorrentía de la organización informante.

6. Aspecto: Productos y servicios

EN26	Iniciativas para mitigar los impactos ambientales de los productos y servicios, y grado de reducción de ese impacto.
EN27	Porcentaje de productos vendidos, y sus materiales de embalaje, que son recuperados al final de su vida útil, por categorías de productos.

7. Aspecto: Cumplimiento normativo

EN28	Coste de las multas significativas y número de sanciones no monetarias por incumplimiento de la normativa ambiental.
-------------	--

8. Aspecto: Transporte

EN29	Impactos ambientales significativos del transporte de productos y otros bienes y materiales utilizados para las actividades de la organización, así como del transporte de personal.
-------------	--

9. Aspecto: General

EN30	Desglose por tipo del total de gastos e inversiones ambientales.
-------------	--

4.2.2.3 DIMENSIÓN SOCIAL

Está relacionada con los impactos de las actividades de una organización en los sistemas sociales en los que opera. Identifican los principales aspectos del desempeño en relación a los laborales, los derechos humanos, la sociedad y la responsabilidad sobre productos.

Dentro de esta dimensión se consideran los siguientes aspectos específicos con sus correspondientes indicadores [GRI06]:

4.2.2.4 PRÁCTICAS LABORALES Y TRABAJO DIGNO

Se fundamentan en normas reconocidas en todo el mundo, como la Declaración Universal sobre los Derechos Humanos de las Naciones Unidas o convenios internacionales sobre derechos civiles, políticos, económicos y sociales, etc.

1. Aspecto: Salud y seguridad en el trabajo

LA7	Tasas de absentismo, enfermedades profesionales, días perdidos y número de víctimas mortales relacionadas con el trabajo por región.
LA8	Programas de educación, formación, asesoramiento, prevención y control de riesgos que se apliquen a los trabajadores, a sus familias y a los miembros de la comunidad en relación con enfermedades graves.

2. Aspecto: Formación y educación:

LA10	Promedio de horas de formación (medioambiental) al año por empleado, desglosado por categoría de empleado.
-------------	--

4.2.2.5 SOCIEDAD

Centran su atención en los impactos que las organizaciones tienen en las comunidades en las que operan y aclaran como se gestionan los riesgos que pueden aparecer a partir de sus interacciones con otras instituciones sociales.

1. Aspecto: Comunidad:

SO1	Naturaleza, alcance y efectividad de programas y prácticas para evaluar, y gestionar los impactos de las operaciones en las comunidades, incluyendo entrada, operación y salida de la empresa.
------------	--

2. Aspecto: Política pública:

SO5	Posición en las políticas públicas y participación en el desarrollo de las mismas y de actividades de "lobbying" (por ejemplo para el cambio climático).
------------	--

4.2.2.6 RESPONSABILIDAD SOBRE PRODUCTOS

Abordan aquellos aspectos de los productos y servicios de una organización que afectan directamente a los consumidores, como la salud y seguridad, o la información y el etiquetado.

1. Aspecto: Salud y seguridad del cliente

PR1	Fases del ciclo de vida de los productos y servicios en las que se evalúan, para en su caso ser mejorados, los impactos de los mismos en la salud y seguridad de los clientes, y porcentaje de categorías de productos y servicios significativos sujetos a tales procedimientos de evaluación.
PR2	Número total de incidentes derivados del incumplimiento de la regulación legal o de los códigos voluntarios relativos a los impactos de los productos y servicios en la salud y la seguridad durante su ciclo de vida, distribuidos en función del tipo de resultado de dichos incidentes.

2. Aspecto: Etiquetado de productos y servicios:

PR3	Tipos de información sobre los productos y servicios que son requeridos por los procedimientos en vigor y la normativa, y porcentaje de productos y servicios sujetos a tales requerimientos informativos.
PR4	Número total de incumplimientos de la regulación y de los códigos voluntarios relativos a la información y al etiquetado de los productos y servicios, distribuidos en función del tipo de resultado de dichos incidentes.

4.3 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE INDICADORES

La elección de un sistema de indicadores y de los propios indicadores que lo van a integrar, debe tener una relación directa con la forma en que la empresa aborda la temática del desarrollo sostenible y una estrecha vinculación con su actividad específica. Sólo de esta manera se podrá cumplir el doble rol de servir a la mejora de una gestión enfocada a la sostenibilidad y de ser vínculos de comunicación con grupos de interés [CEADS05].

Debe tenerse en cuenta que los indicadores no han de ser seleccionados sólo por la disponibilidad de información, sino que la misma debe ser relevante y coherente con los objetivos que la empresa impulsa. La ausencia de un indicador puede dar idea de no tener objetivos claros en la estrategia trazada, ni capacidad de evaluar la efectividad de las acciones llevadas a cabo [CEADS05].

En este caso, se procede a la selección de un sistema de indicadores medioambientales que sirva de referente para cualquier sector de actividad. Para ello se desarrollan una serie de tablas, comparando las clasificaciones descritas en el apartado 4.1

En la Figura 13 se hace una primera criba confrontando las dos clasificaciones de tipo genérico que son el sistema IHOBE/ISO/EMAS y el GRI. El objetivo de esta matriz es la búsqueda de elementos comunes con el fin de conformar el esqueleto del sistema de indicadores buscado.

Una vez desarrolladas las matrices, se puede observar que hay grandes similitudes entre los diferentes indicadores de cada uno de los sistemas, hecho que permitirá fusionarlos en bloques de información como se refleja en Tabla 8.

Existen indicadores como el de “Energía”, que en ambos sistemas, representa la misma información. Por otro lado, existen indicadores, como “Biodiversidad” en el GRI, que englobaría “Suelo”, “Flora y Fauna” y “Estética, patrimonio y cultura” del sistema IHOBE/ISO/EMAS.

También hay que destacar la presencia de indicadores que no encuentran correspondencia de un sistema al otro (columnas sombreados en color más oscuro). Cuando se plantea esta situación, son absorbidos por otros indicadores, o bien pasan a formar un bloque propio de información. Esto último ocurre con “Productos y servicios (entrada)”, “Infraestructuras” y “Utilización del suelo”.

En la Tabla 8 se establece una clasificación de indicadores que integra los procedentes de la comparativa anterior, clasificándolos en dos grandes grupos (ambientales y socioeconómicos), así como su relación con los sistemas de indicadores GRI e IHOBE/ISO/EMAS

Tabla 8: Esqueleto del sistema de indicadores según su correspondencia con los sistemas ISO/EMAS/IHOBE-GRI

Clasificación Provisional			Correspondencia			
			Sistema GRI	Sistema IHOBE/ISO/EMAS		
SISTEMA DE INDICADORES MEDIOAMBIENTALES	AMBIENTALES	Materiales		Materiales	Materiales	
		Energía		Energía	Energía	
		Agua		Agua	Agua	
		Biodiversidad		Biodiversidad	Suelo Flora y fauna Estética, patrimonio y cultura	
		Utilización del suelo		-	Utilización del suelo	
		Emisiones, vertidos y residuos		Emisiones, vertidos y residuos	Residuos Emisiones Aire	
		Productos y servicios (entrada)		-	Productos y servicios (entrada)	
		Productos y servicios (salida)		Productos y servicios	Productos y servicios (salida)	
		Cumplimiento normativo		Cumplimiento normativo	Participación de los empleados	
		Transporte		Transporte	Transporte	
		Infraestructuras		-	Infraestructuras	
	SOCIOECONÓMICOS	Económicos	Comportamiento financiero		Desempeño económico	Comportamiento financiero
			Inversión en gestión medioambiental		General	Compras e inversiones
		Sociales	Prácticas laborales	Salud y seguridad en el trabajo	Salud y seguridad en el trabajo	Salud y seguridad Seres humanos
				Formación y educación	Formación y educación	Participación de los empleados
				Comunidad	Comunidad	Relaciones comunitarias
			Sociedad	Política Pública	Política pública	Aplicación de políticas y programas Administración y planificación
				Responsabilidad sobre productos	Salud y seguridad de productos	Salud y seguridad del cliente
			Etiquetado de productos y servicios		Etiquetado de productos y servicios	Conformidad

Tras observar la validez de los indicadores y su correspondencia con los utilizados de forma general, se procede a una ordenación que simplifique su uso, partiendo de los dos grandes bloques configurados en el paso anterior: ambientales y socioeconómicos.

En el primer grupo, ambientales, los indicadores siguen siendo los mismos, pero se organizan en los siguientes subgrupos:

- Flujo de materiales y residuos; la distribución se tuvo en cuenta desde el punto de vista de los flujos de entrada y la salida.
 - Entrada: *materiales, energía, agua, productos y servicios de apoyo.*
 - Salida: *residuos sólidos, emisiones, residuos de productos y servicios de apoyo y producto y energía.*
- Impacto de las actividades de la empresa; estudian los efectos sobre el medioambiente que tienen los procesos productivos como consecuencia del desarrollo de su actividad, en lo referente a:
 - *Transporte*
 - *Infraestructuras*
 - *Utilización del suelo*
- Biodiversidad: refleja y cuantifica la situación medioambiental de los ecosistemas debida a la contaminación.
 - *Suelo*
 - *Flora y fauna*
 - *Conservación natural*

El segundo grupo, socioeconómicos, pretende reflejar valores económicos y sociales asociados a cuestiones ambientales. Su distribución es la siguiente:

- Sociales, se dividen en las siguientes líneas.
 - Prácticas laborales: incluye todo lo referente a *formación de trabajadores* en materia medioambiental asociado a la *salud y seguridad* de estos en el lugar de trabajo.
 - Sociedad: gestión de los riesgos que aparecen como consecuencia de la interacción de las empresas con las *comunidades* en las que operan y posición adoptada por la empresas en la *política pública* (participación en proyectos medioambientales)
 - Responsabilidad sobre productos: búsqueda de la conformidad medioambiental con el fin de conseguir la *salud y seguridad del cliente* y el correcto *etiquetado de los productos y servicios.*
- Económicos, ayudas financieras recibidas e inversiones realizadas para disminuir el impacto ambiental que se clasifican en:
 - *Comportamiento financiero*
 - *Inversión en gestión medioambiental*

Por último, cabe destacar que *cumplimiento normativo* pasa de ser un indicador ambiental a poseer la misma posición jerárquica que los bloques ambiental y socioeconómico, ya que todo el sistema ha de cumplir la normativa vigente.

El nuevo sistema generado se referencia a partir de este momento como: **Sistema de Indicadores Medioambientales (SIM).**

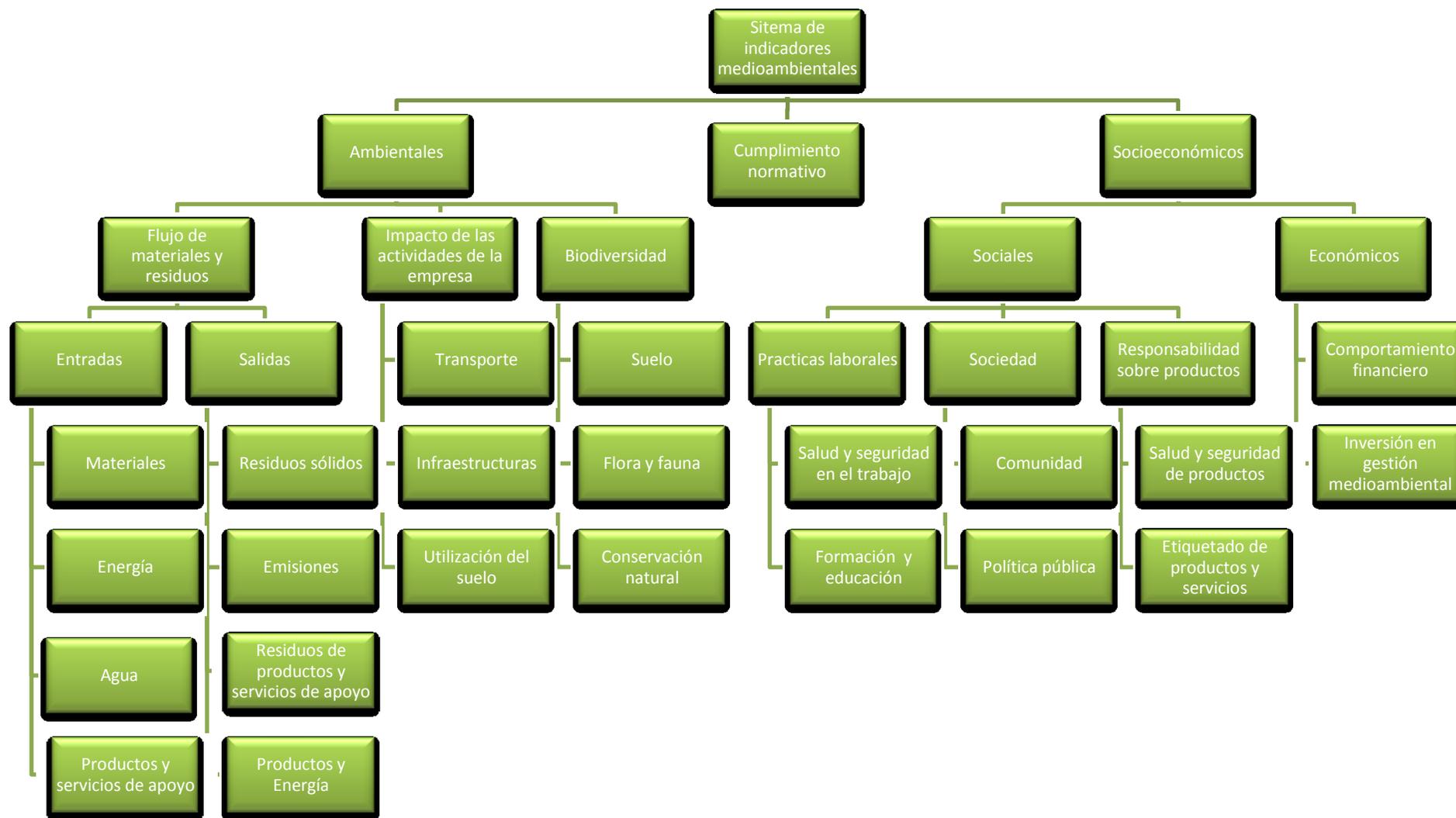


Figura 14: Clasificación final del Sistema de Indicadores Medioambientales SIM

4.4 SISTEMA DE INDICADORES MEDIOAMBIENTALES SIM

Una vez definida la clasificación del nuevo Sistema de Indicadores SIM, se procede a definir cada uno de los campos de estudio para completar la información básica y fundamental pertinente a su área, a fin de diseñar unas directrices que permitan el desarrollo de indicadores específicos acordes con el interés y la política de la empresa en la que se desea implantar.

Estos indicadores, ateniéndose a lo descrito en apartados anteriores, deberán desarrollarse tanto de forma relativa como de forma absoluta.

4.4.1 INDICADORES AMBIENTALES

Cuantifican los flujos de materiales y residuos que surgen como consecuencia de la actividad productiva, y el impacto que tienen las operaciones para el desarrollo de estas actividades en los sistemas naturales.

4.4.1.1 FLUJO DE MATERIALES Y RESIDUOS

Tienen como objetivo la definición de los flujos de entrada y salida de materiales y residuos que tienen lugar durante el desarrollo de las actividades de la empresa.

4.4.1.1.1 Entradas

Reflejan los inputs que por norma general forman parte de cualquier proceso.

Materiales

Están referidos al empleo, consumo y rendimiento de las principales materias primas, y de los materiales auxiliares y secundarios. Se expresan en kg o tonelada de material y se suele referir a la tonelada de producto final producido.

También se refieren a la proporción de materiales o residuos valorizados empleados por el porcentaje total de materiales introducidos en el proceso.

Energía

Se relacionan con la optimización del consumo de energía (considerando todos los combustibles) y la eficiencia del consumo de electricidad con respecto a la producción. También se pueden asociar a la intensidad energética, entendida como una proporción del consumo total. Otro aspecto que valoran es el uso eficiente y la recuperación de energía a lo largo del proceso de producción.

Agua

Se refieren a las captaciones de agua que se realizan para abastecer el consumo de la misma en los procesos de la empresa.

Se puede estudiar la captación en fuentes o las fuentes que han sido afectadas significativamente por la captación de agua, aunque también resultan especialmente interesantes la determinación de indicadores como:

- El consumo total de agua para todos los tipos y puntos de consumo, y también el consumo desglosado por procesos.
- La cuota de consumo de agua que fije la proporción de un flujo específico en relación con el consumo total.

- El consumo específico de agua, que constituya el consumo de agua por unidad o cantidad producida de producto final, reflejando las variaciones del volumen de producción. Es decir, relaciona el consumo de agua con la producción.

Así mismo el estudio del porcentaje y el volumen total de agua reciclada, reutilizada y recirculada es de gran interés desde el punto de vista del ahorro de recursos.

Productos y servicios de apoyo

Estarán referidos a los productos y servicios que sirven de apoyo al funcionamiento de la empresa, como los productos preliminares, auxiliares y de oficina, así como a los servicios de limpieza y abastecimiento.

Reflejan la cantidad de producto específico en toneladas por año o relacionado con la cantidad total de productos de apoyo.

4.4.1.1.2 Salidas

Consideran los outputs que de forma genérica se producen como consecuencia de cualquier proceso productivo.

Residuos sólidos

De forma general se estudian como la cantidad total de residuos medida en kilogramos o toneladas expresadas por kilogramo o tonelada de producto final. También se puede expresar como el peso total de residuos gestionados, según tipo y método de tratamiento, y pueden emplearse para cuantificar la disminución de la producción de los mismos como estudio de la evolución de la gestión de residuos.

Aquellos residuos que son reciclables y se destinan a la “valorización”, pueden permitir obtener las *tasas de reciclaje* como resultado de la relación entre la cantidad total de residuo producido con el material reciclado.

Aquellos residuos que no son reciclables y su fin es la “eliminación”, ya que o bien se depositan en vertedero directamente o bien se ceden a gestores especializados para su manipulación, permiten obtener *tasas de eliminación* comparando la cantidad total de residuo producido con el material eliminado. Relacionado con esto, cabe mencionar la evaluación de la *eficiencia en el uso de materiales*, como la medición de la cantidad de material que se envía para su disposición permanente, a vertederos o para incineración, relativo a la producción. El rendimiento ideal para este caso sería del 100%, entendiéndolo que representaría un proceso de producción en el que ningún material se considera residuo.

En el caso de los residuos peligrosos, se requiere la cantidad absoluta generada, con el fin de calcular la tasa de residuos peligrosos en tanto por ciento como proporción de la cantidad total de los residuos peligrosos en relación con la cantidad total de residuos producida.

Emisiones

Las cantidades absolutas de sustancias tóxicas emitidas a la atmósfera y de los efluentes industriales pueden usarse como indicadores básicos.

Algunos indicadores adecuados para las emisiones atmosféricas serían: las emisiones totales, directas e indirectas de gases de efecto invernadero y las emisiones de sustancias destructoras de la capa de ozono, en peso y por tonelada de producto. NO, SO y otras emisiones significativas al aire por tipo y peso, compuestos orgánicos (VOC), partículas en suspensión, ruido, etc.

Como efluentes se consideran el vertido total de aguas residuales en metros cúbicos, según su naturaleza y destino, el número total y volumen de los derrames accidentales más significativos, el vertido de sustancias peligrosas específicas, carga total de contaminantes y en relación con la producción, concentración de contaminantes antes de descargar en la red de alcantarillado o de aguas, aguas de proceso o aguas de refrigeración (teóricamente no contaminadas) entre otros.

Residuos de productos y servicios de apoyo

Reflejan la cantidad de residuos derivados del consumo de productos de servicios de apoyo en toneladas por año o relacionado con la cantidad total de productos de apoyo. También reflejan el porcentaje de materiales de apoyo que son recuperados al final de su vida útil, por categorías de productos.

Productos y energía

Recogen la información pertinente a la salida del producto como fin del proceso productivo, y se puede comparar con el coste ambiental que supone su fabricación, con los consumos energéticos, de agua y de materiales para su fabricación, etc. También tiene en cuenta los posibles subproductos que se generan durante el proceso productivo.

Por otro lado, tiene en cuenta la salida de energía como un producto aprovechable o reutilizable.

4.4.1.2 IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES DE LA EMPRESA

Agrupan aquellos factores que son inherentes al desarrollo productivo pero externos al propio proceso y que pueden suponer un impacto ambiental.

4.4.1.2.1 Transporte

Se refiere tanto al transporte de mercancías como al transporte de personal derivado del desarrollo de la actividad productiva.

En cuanto al transporte de mercancías son interesantes el volumen de transporte en toneladas o toneladas-kilometraje, que reflejaría el volumen de transporte (en t) por la distancia media de transporte (km). Es importante conocer el número de entregas por modo de transporte, particularizando también para el producto transportado, especialmente si se trata de sustancias peligrosas.

En cuanto al transporte de personal, se tienen en cuenta los desplazamientos por negocios y el tráfico entre los domicilios y el trabajo. También se puede realizar el cálculo de pasajeros-kilometraje, y una diferenciación por medios de transporte.

4.4.1.2.2 Infraestructuras

En general se corresponden con los indicadores relativos al diseño, instalación, funcionamiento y mantenimiento de edificios, equipos y maquinarias de la empresa.

Evalúan los equipos existentes en cuanto a tipo y cantidad y consideran el número de instalaciones sometidas a autorización referidas al equipo total de producción.

4.4.1.2.3 Utilización del suelo

Pueden expresar la superficie total de la empresa relacionada con las áreas cerradas y las áreas verdes (aquellas que permiten el drenaje del agua de lluvia por ejemplo). Se puede

expresar en metros cuadrados o en unidades relativas refiriendo cada superficie a un tanto por ciento de la superficie total o a los kilómetros de suelo utilizados por año.

4.4.1.3 BIODIVERSIDAD

Evalúan el impacto de la actividad productiva en los hábitats asociados al entorno de la empresa en lo referente al impacto sobre el suelo, la flora y la fauna y a la conservación natural de los mismos.

4.4.1.3.1 Suelo

Es necesaria la descripción de la localización y el tamaño de los terrenos afectados por la actividad empresarial, reflejando la situación de las áreas protegidas, restauradas y hábitats naturales, además de la evolución de la contaminación del suelo por metales pesados entre otros, que se expresa en porcentaje de área contaminada frente a la superficie total y por año.

4.4.1.3.2 Flora y fauna

Reflejan las especies protegidas (extinguidas o en peligro de extinción, vulnerables, sensibles a la alteración del hábitat, etc.) comparando su número o porcentaje con los hábitats naturales.

También se podría expresar como el número/porcentaje de explotaciones identificadas como necesitadas de planes de gestión de la biodiversidad, número/porcentaje de explotaciones con planes implantados.

4.4.1.3.3 Conservación natural

Se basan en la cuantificación de cómo afecta la contaminación derivada de la actividad productiva a los monumentos naturales así como al patrimonio cultural.

4.4.2 CUMPLIMIENTO NORMATIVO

Son indicadores establecidos por las empresas para ilustrar el comportamiento medioambiental bajo el criterio del cumplimiento de las disposiciones legales, como el coste que suponen las multas significativas y el número de sanciones no monetarias por incumplimiento de la normativa ambiental, el número de accidentes declarados, etc.

También se tienen en cuenta los indicadores de decisión basados en la legislación vigente referente a la caracterización, tratamiento, gestión y deposición de los residuos.

Otra forma de valorar el cumplimiento normativo a nivel medioambiental es el número de instalaciones registradas que han sido certificadas como un sistema de gestión ambiental como el Reglamento EMAS y la norma ISO 14001 reconocida internacionalmente, ya que estos recogen la necesidad de cumplir con la legislación vigente en materia de medioambiente. Además tienen en cuenta la situación y los avances en la implantación de los sistemas de gestión, y el establecimiento de objetivos y metas medioambientales, por medio del porcentaje de objetivos alcanzados por año, etc.

4.4.3 INDICADORES SOCIOECONÓMICOS

Son aquellos indicadores relativos a la integración de cuestiones ambientales con aspectos socioeconómicos.

4.4.3.1 SOCIALES

Representan las principales áreas de estudio de cuestiones sociales vinculadas con el medioambiente, en cuanto a los impactos de las actividades de una organización en los sistemas sociales en los que opera.

4.4.3.1.1 Prácticas laborales

Referidas a los comportamientos laborales en relación con la productividad de la empresa y el medioambiente.

Salud y seguridad en el trabajo

Se refieren a los riesgos medioambientales que pueden reducirse evitando accidentes profesionales e incidentes peligrosos. Describen criterios utilizados para la identificación, prevención y respuesta a situaciones de emergencia que afecten a los trabajadores, las comunidades locales o el medioambiente.

Algunos indicadores son la calidad del aire y agua en los lugares de trabajo, ruido, accidentes, índice de accidentes con tiempo perdido o incapacitantes, enfermedades ambientales, días de baja por enfermedad de empleados por año, concentración de sustancias nocivas, etc.

Formación y educación

Estos indicadores dan una idea a la empresa de la formación que reciben los empleados, así como de la percepción que tienen éstos del comportamiento ambiental de la misma. Se recoge como número o porcentaje de sugerencias de mejora anual, o por empleado, promedio de horas o días de formación medioambiental al año por empleado o por el total de horas trabajadas, desglosado por categoría de empleado, etc.

4.4.3.1.2 Sociedad

Indican cómo se gestionan los riesgos ambientales que pueden aparecer a partir de la interacción de la empresa con las instituciones sociales.

Comunidad

Estudian la naturaleza, alcance y efectividad de programas y prácticas para gestionar y evaluar el impacto de la entrada, operación y salida de la empresa en las comunidades. Describen el número de peticiones externas de declaraciones medioambientales por año por parte de organismos públicos, y el número de incidentes significativos que afecten a las comunidades durante los periodos establecidos, además de los recursos dedicados a la solución de esos incidentes y sus resultados.

Política pública

Son relativos a la posición de la empresa en cuanto a política medioambiental, y participación de la misma en el desarrollo de proyectos medioambientales.

También proporcionan información sobre la planificación de decisiones políticas sobre cuestiones ambientales, ordenación del suelo, participación en mercados de tecnologías ecológicas, etc.

4.4.3.1.3 Responsabilidad sobre productos

Relativos a aquellos aspectos de los productos y servicios que afectan directamente a los consumidores, como la salud y seguridad, o la información y el etiquetado.

Salud y seguridad de productos

Registran el número de incidentes derivados del incumplimiento de la regulación legal o de los códigos voluntarios relativos a los impactos de los productos y servicios, durante las fases del ciclo de vida determinadas por el fabricante.

Etiquetado de productos y servicios

Recogen la información sobre los productos y servicios que sean requeridos por los procedimientos en vigor y la normativa, y miden el porcentaje de productos y servicios sujetos a tales requerimientos informativos. También recopilan el número total de incumplimientos de la regulación y de los códigos voluntarios relacionados con el etiquetado de productos y la información que deben contener.

4.4.3.2 ECONÓMICOS

Estudia los aspectos económicos asociados al comportamiento medioambiental de la empresa. Es en este punto, donde aparecen principalmente los indicadores clasificados como indicadores relacionados con la cantidad y coste citados en el apartado 4.1.1.2.2.

4.4.3.2.1 Comportamiento financiero

Observan por un lado las ayudas financieras recibidas por parte de los gobiernos y por otro las consecuencias financieras y los riesgos de oportunidad para las actividades de la empresa que se derivan del cambio climático, etc. Estas consecuencias afectan a indicadores económicos puros como pueden ser el margen operativo, el retorno sobre el capital empleado y el valor agregado de los procesos y productos de la empresa.

También tiene en cuenta la aparición de costes operativos como consecuencia de la protección medioambiental, el ahorro de costes generados por el empleo de medidas medioambientales, etc. Además suponen una serie de inversiones medioambientales que son objeto de estudio en el siguiente apartado.

4.4.3.2.2 Inversión en gestión medioambiental

Reflejan los esfuerzos de las empresas para la mejora de la gestión medioambiental en cuanto a la inversión en proyectos medioambientales (desglosado por tipo total de gastos e inversiones ambientales).

4.5 PARTICULARIZACIÓN DEL SIM A LA GESTIÓN DE RESIDUOS

Según la Ley 10/1998, de Residuos, se entiende por gestión de los residuos:

La recogida, el almacenamiento, el transporte, la valorización y la eliminación de los residuos, incluida la vigilancia de estas actividades, así como la vigilancia de los lugares de depósito o vertido después de su cierre.

La gestión de residuos conforma un caso particular y especial, a la hora de aplicar los sistemas de indicadores medioambientales diseñados de forma general para cualquier área de las empresas.

Una de las principales diferencias de la gestión de residuos respecto a otros procesos de la empresa se centra principalmente en la presencia del residuo como una entrada fija, a

diferencia de la mayoría de los procesos en los que los residuos representan siempre un flujo de salida.

Este estudio tiene como objetivo el desarrollo de una metodología de gestión de residuos que se apoye en un sistema de indicadores. Al ser estos indicadores parte del proceso general de eficiencia integral deben ser coherentes con los generados para un proceso estándar y, más específicamente con los desarrollados en los apartados anteriores.

No obstante los indicadores no constituyen en sí mismos un fin, sino que son parte de un proceso al que le aportan valores cuantitativos que permiten su análisis y, en consecuencia, la mejora del proceso.

Es por ello necesario, definir en primer lugar la metodología de gestión de los residuos que se aplicará en la organización (desarrollada a tal efecto en este estudio) para, a partir de ella, identificar los indicadores que, siendo compatibles con el sistema general, aporten la información suficiente para un sistema de control y mejora continua.

En los siguientes apartados se desarrollará esta metodología, incluyendo, sus indicadores y relacionando estos con el sistema generado para el ciclo integral.

Estas son algunas de las razones por las que para poder definir los indicadores específicos de la gestión de residuos resulta necesario ubicarlos dentro de la metodología que van a evaluar, con el fin de poder valorar con precisión los valores que miden y las magnitudes que cuantifican.

Para desarrollar estos indicadores, en primer lugar se han de establecer y definir los flujos de entrada y de salida más significativos en la gestión de residuos sólidos de cualquier empresa:

Flujos de entrada (inputs):

- Residuos: En forma sólida y en forma de lodo.
- Empleo de agua, energía, electricidad y agentes químicos para el tratamiento de los residuos.

Flujos de salida (outputs):

- Residuos sólidos transformados como consecuencia de su tratamiento y que seguirán finalmente el camino de la eliminación o de la valorización.
- Residuos que se producen como consecuencia del tratamiento de los diferentes residuos de entrada.

Una vez identificados estos flujos, se describe la metodología propuesta para la gestión de residuos sólidos, en la que se ubica a estos flujos con el fin de seleccionar los indicadores más interesantes desde el punto de vista de los procesos y desde el punto de vista de la política medioambiental de la empresa.

4.6 METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS

Tras el análisis de diversas metodologías de gestión de residuos descritas en el apartado 3.3 Específicas de algunos sectores y empresas, se decide trasladar los conocimientos adquiridos de cada una de ellas, para estructurar una metodología de gestión de residuos sólidos de aplicación general materializada en forma de diagrama de flujo denominado a partir de ahora

Diagrama de selección de alternativas de gestión de residuos,, este método se ha elegido por su facilidad para la representación en forma detallada de un proceso tan complicado como es la gestión de los residuos.

Este consiste en un sistema de representación de los diversos pasos que es necesario realizar para completar un proceso, organizados de forma jerárquica según su consecución temporal en base a líneas de flujo. El diagrama desarrollado presenta el proceso necesario para el tratamiento de un residuo sólido desde su generación hasta su disposición, eliminación o reutilización, y funciona como un sistema de ayuda a la decisión, es decir, simplifica la toma de decisiones asociada al ciclo de vida de los residuos.

El diagrama supone el primer nivel de detalle, es la envolvente que posteriormente debe explotarse para cada uno de los métodos específicos de tratamiento de cada residuo requeridos, dependiendo del residuo y del sector de actividad para el que se implante.

Existen 4 tipos de elementos en el diagrama en torno a los cuales se estructura la metodología:

1. *Inputs*: entradas al diagrama. Se enmarcan en esta categoría el residuo inicial y todos los insumos necesarios para el tratamiento del mismo. Se representa con romboides.
2. *Outputs*: salidas o terminaciones del proceso. Son resultados a los que se llega después de completar el diagrama y que no tienen continuación dentro del mismo residuo. Se representan mediante rectángulos con bordes redondeados.
3. Decisiones: Selecciones que es necesario hacer sobre el residuo y que modifican el trayecto del mismo, desviándolo a unas ramas u otras según la característica de análisis (gráficamente rombos).
4. Procesos: Etapa en la que es necesario realizar algún proceso real sobre el residuo, cambiando sus características físicas y químicas. Representado por rectángulos.

A su vez el diagrama está dividido en 5 grandes grupos representados por 5 columnas en las que se enmarcan las decisiones, procesos, inputs y outputs asociados a cada uno de ellos. Dos de dichas columnas pertenecen al proceso de gestión, mientras que las tres restantes abarcan las entradas y los resultados del proceso.

1. *Inputs*: Se agrupan en esta columna todas las entradas al diagrama, incluyendo el residuo a tratar, y todos los insumos, es decir, los recursos necesarios para la consecución de cada uno de los procesos a los que se somete al residuo.
2. *Producto no aprovechable*: Esta columna comprende aquellos residuos que no es posible transformar en subproducto o reutilizar de forma definitiva, de forma que para su eliminación del flujo se necesita la acción de un gestor externo o un almacenamiento definitivo, si no es posible su deposición o emisión al ambiente.
3. *Caracterización y Valorización*: Primera etapa del proceso de gestión. En ella se busca establecer las propiedades del residuo, lo que resulta interesante a la hora de evaluar su posible valor para algún tipo de reutilización o venta como subproducto. Esta etapa se puede definir como dos etapas separadas pero muy relacionadas entre sí, de forma que para valorizar un residuo es necesario conocer algunas de sus características, diferentes según el uso que se esté contemplando.
4. *Tratamiento*: Segunda etapa del proceso de gestión. Comprende todas las acciones a llevar a cabo para la conversión de un residuo en un elemento reutilizable, eliminable o almacenable. También se incluyen aquellos tratamientos necesarios para la expedición a un gestor externo.

5. *Producto aprovechable*: Aquellos residuos que por su configuración inicial o tratamientos realizados son eliminados del flujo en forma de un producto aprovechable total o parcialmente. También incluye la energía que se genera y que se puede aprovechar de determinados tratamientos.

El objetivo de este diagrama es proporcionar una metodología genérica para la gestión integral de un residuo sólido. Para su utilización simplemente es necesario seguir las líneas de flujo determinadas por las decisiones que se tomen en base a los datos (caracterización) del residuo.

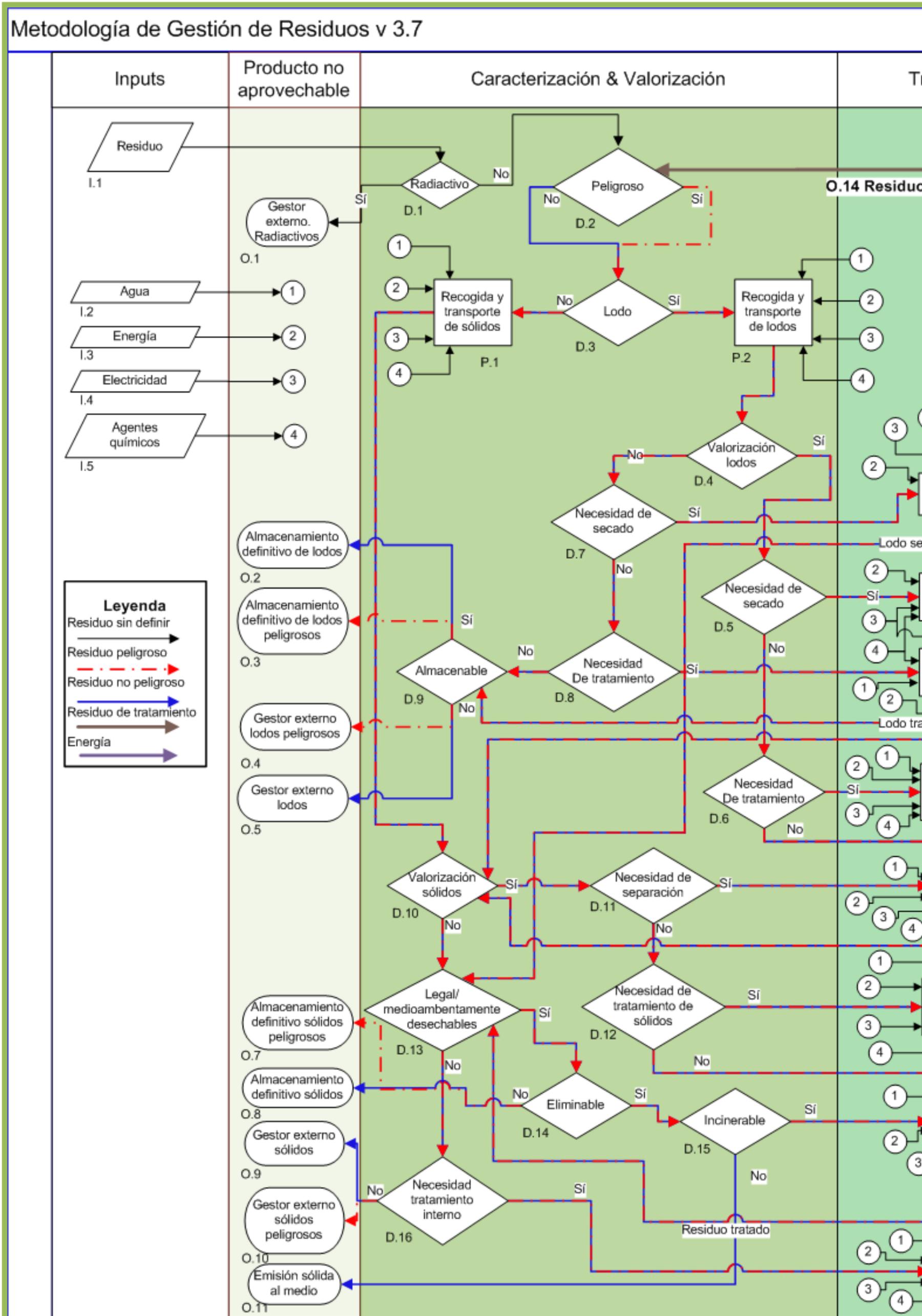


Figura 15: Diagrama de selección de alternativas de gestión de residuos sólidos

4.6.1 INPUTS

4.6.1.1I.1. – RESIDUO

Punto inicial del diagrama. Se define residuo como aquel material, sustancia o elemento que prestó un servicio, fue usado o consumido en diferentes actividades y ahora se desecha; o bien aquel que se produce de forma secundaria e indeseada en un proceso productivo, pudiendo ser aprovechado o no.

Dentro de estos residuos, se contemplan tan solo los de tipo sólido (sólidos y lodos), ya que las emisiones, tanto líquidas como gaseosas, no están contempladas dentro del alcance del presente estudio.

Debido a que la procedencia de los residuos es muy diversa, según sea su origen de un sector de actividad o de otro, se ha decidido hacer un diagrama de selección de alternativas de aplicación general, que priorice las principales decisiones, siendo estas las relacionadas con la radiactividad y la peligrosidad de los residuos. Este diagrama es compatible con cualquier plan de manejo específico de determinados residuos.

4.6.1.2I.2. – INSUMOS

Recursos utilizados en los procesos físicos y químicos necesarios para la gestión del residuo. Incluye al menos:

I.2. – Agua

Se considera agua aquella que entra como insumo dentro del diagrama de decisión y que se utilizará en los distintos procesos de tratamiento para gestionar el residuo inicial.

Es el agua de entrada necesaria para llevar a cabo cualquier tipo de proceso de tratamiento de residuos. Puede tener tres orígenes: la red de abastecimiento, la planta de tratamiento de agua (EDAR) o el agua reciclada/recirculada que tras haber sido empleada en el tratamiento de residuos puede volver a emplearse sin tratamiento.

I.3. – Energía

Dentro de este subgrupo se hace referencia a toda la energía necesaria dentro del proceso de gestión del residuo, así como la eficiencia en la intensidad utilizada, siempre que no se trate de energía eléctrica, que se considerará en un apartado diferente.

I.4. – Electricidad

Dentro de este subgrupo se considerará aquella energía necesaria para la gestión del residuo, únicamente obtenida de forma eléctrica.

I.5. – Agentes químicos

Se consideran agentes químicos a aquellas sustancias utilizadas en el proceso de gestión de residuo, que a partir de reacciones químicas producen cambios en la composición del residuo tratado.

Debido a la gran variedad de residuos que pueden llegar a ser gestionados, resulta necesario disponer de una documentación que lo identifique y acompañe a lo largo de sus etapas de tratamiento de la forma más completa posible. En el Anexo 1, se adjunta una ficha tipo

denominada *Ficha de residuo*, cuyo fin es el de facilitar el manejo y la interpretación de las características del mismo durante su gestión.

4.6.2 DECISIONES

4.6.2.1 D.1. – RADIATIVO

En esta etapa se trata de discernir el carácter radiactivo o no del residuo contemplado. Aquellos residuos identificados como radiactivos son enviados a un gestor externo para que los trate, mientras que los no radiactivos continúan el ciclo para evaluar su peligrosidad.

A la hora de definir residuo radiactivo, el 6º Plan General de Residuos Radiactivos de Junio de 2006 remite a la Ley 54/1997 del Sector Energético que establece residuo radiactivo como cualquier material o producto de desecho, para el cual no está previsto ningún uso, que contiene o está contaminado con radionucleídos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear.

Dichos límites de exención se encuentran recogidos para algunos residuos sólidos de instalaciones de 2ª y 3ª categoría, en el Anexo de la Orden ECO/1449/2003, de 21 de mayo, sobre gestión de materiales residuales sólidos con contenido radiactivo generados en las instalaciones radiactivas de 2ª y 3ª categoría en las que se manipulen o almacenen isótopos radiactivos no encapsulados, que se publicó en el Boletín Oficial del Estado nº 134, de fecha 5 de junio de 2003. Para el resto de radionucleídos de instalaciones de 2ª y 3ª categoría no contenidos en dicha orden, se recogen en el Anexo I del Reglamento sobre instalaciones nucleares y radiactivas, aprobado por el Real Decreto 1836/1999, de 3 de diciembre y son actualizados por la Instrucción IS/05, de 26 de febrero de 2003, del Consejo de Seguridad Nuclear, por la que se definen los valores de exención para nucleídos según se establece en las tablas A y B del anexo I del Real Decreto 1836/1999, publicada en el Boletín Oficial del Estado nº 86, de fecha 10 de abril de 2003.

4.6.2.2 D.2. – PELIGROSO

Aquellos residuos considerados como peligrosos según la legislación vigente, dada su toxicidad, inflamabilidad o alguna otra característica, deben de ser identificados en las primeras etapas de su gestión, con el objeto de establecer las consideraciones especiales adecuadas para su gestión y tratamiento dentro del ámbito de la seguridad.

Según el Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2007-2015, son Residuos Peligrosos [PNIR06]:

- Aquellos comprendidos en la acepción dada en el punto 3.c) de la ley 10/1998 de Residuos, es decir, aquellos presentes en la lista europea de residuos, traspuesta a normativa nacional según la ley MAM/304/2002 [ORDEN02a].
- Aquellos que presenten normativas específicas para su gestión, fruto de desarrollo de Planes y Programas Nacionales: vehículos fuera de uso, pilas, Baterías, etc.
- Aquellos que presenten alguna de las características de peligrosidad descritas en la tabla 5 del Anejo 1 del RD 952/1997 [RD952/97], que a su vez vienen descritas en el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas [RD363/95] con todas sus modificaciones.

Según el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas [RD363/95], en su anexo VI y con todas sus

modificaciones (Orden de 30 de junio de 1998[ORDEN98], Orden de 5 Octubre de 2000[ORDEN00], Orden de 5 de abril de 2001[ORDEN01], Orden PRE/2317/2002, de 16 de septiembre [ORDEN02b]), especifica las características de peligrosidad estableciendo límites para cada una de ellas. Existen 4 dimensiones en las que un residuo puede ser peligroso:

- Propiedades físico-químicas
- Propiedades toxicológicas
- Efectos específicos sobre la salud humana: carcinogénicos y mutagénicos
- Efectos sobre el medioambiente

Los ensayos de caracterización de peligrosidad citados en dicho Anexo VI, están recogidos en el Anexo V del mismo Reglamento, el cual según el RD 1802/2008 en su artículo 6, puntos diez y once, queda suprimido y sustituido por el Reglamento (CE) N° 440/2008 de la comisión de 30 de mayo de 2008 [RE440/08].

Todas estas relaciones legales pueden modificarse cuando se trasponga a la normativa nacional el Reglamento (CE) N° 1272/2008 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el Reglamento (CE) no 1907/2006. Su trasposición deberá efectuarse antes del día 1 de Diciembre de 2010 para sustancias y antes del 1 de Junio de 2015 para mezclas [RE1272/08].

4.6.2.3D.3. - LODO

En esta etapa se caracteriza el residuo en base a su morfología: lodo o sólido. Se define lodo como una mezcla de líquido con partículas sólidas de pequeña granulometría en la que el agua se encuentra agregada o como agua capilar.

4.6.2.4D.4. - VALORIZACIÓN DE LODOS

Se evalúa la posibilidad de extraer algún valor del lodo de forma rentable. En esta etapa puede ser necesario conocer algunas características de ambas fases del lodo para poder establecer su valor: cantidad de fase líquida y sólida, composición de ambas fases, granulometría de la fase sólida, sólido homogéneo o heterogéneo y alguna otra dependiente del residuo a analizar.

4.6.2.5D.5. - NECESIDAD DE SECADO PARA LA VALORIZACIÓN

Una vez establecido el valor del lodo, este puede encontrarse en la fase sólida o en la fase líquida. Si la fase valorizable es el sólido, puede ser necesario un secado con el objeto de tratarlo y aprovecharlo de forma separada. Se debe evaluar la necesidad y posibilidad de dicho tratamiento, así como su viabilidad económica frente a otros posibles tratamientos aplicables.

4.6.2.6D.6. - NECESIDAD DE TRATAMIENTO PARA LA VALORIZACIÓN

En el caso de que el secado del lodo sea imposible o menos rentable que otras opciones, se estudia la necesidad de un tratamiento posterior para aprovechar su valor. En caso de que no se necesite ninguno, el residuo puede reutilizarse directamente o venderse como subproducto sin efectuar sobre él ninguna transformación.

4.6.2.7D.7. - NECESIDAD DE SECADO DE LODOS

Si el lodo no tiene ningún elemento valorizable, se establece su disposición. Para la disposición final se deben de cumplir una serie de requisitos, de forma que el secado puede ser necesario a la hora de ajustarse a los mismos.

4.6.2.8D.8. - NECESIDAD DE TRATAMIENTO DE LODOS

Si no se puede realizar ningún tipo de secado, existe la posibilidad de que el residuo precise un tratamiento anterior a su disposición final. En caso de ser factible y necesario, se establece una etapa intermedia antes del almacenamiento definitivo.

4.6.2.9D.9. – ALMACENABLE

Una vez el residuo esté preparado para su eliminación del flujo, se considera la posibilidad de almacenarlo definitivamente o entregarlo para su gestión externa, teniendo en cuenta aspectos medioambientales, técnicos y económicos.

4.6.2.10 D.10 - VALORIZACIÓN DE SÓLIDOS

En caso de que el residuo no se encuentre en forma de lodo sino que se encuentre en estado sólido, se evalúa la existencia de algún elemento valorizable mediante un tratamiento económicamente rentable. Para esta etapa puede ser necesario obtener una caracterización más detallada del sólido: composición, residuo mixto o único, granulometría, densidad, propiedades magnéticas eléctricas u otras, abrasividad, nivel de ataque químico, etc.

4.6.2.11 D.11 - NECESIDAD DE SEPARACIÓN DE SÓLIDOS VALORIZABLES

En caso de que algún parámetro del sólido a evaluar pueda ser valorizable, se estudia la necesidad de la separación del algún componente del residuo mixto, de forma que aquellos elementos con valor puedan ser extraídos del resto para su aprovechamiento.

4.6.2.12 D.12. - NECESIDAD DE TRATAMIENTO DE SÓLIDOS VALORIZABLES

Si la separación del residuo es inviable o no es necesaria, es posible que se necesite un tratamiento para aprovecharlo. En caso de no ser necesario, el sólido se aprovecha de forma directa, mientras que en caso contrario es necesaria una etapa intermedia de tratamiento.

4.6.2.13 D.13. - LEGAL/MEDIOAMBIENTALMENTE DESECHABLE

Si el sólido resulta no valorizable, debe ser eliminado de alguna forma del flujo de gestión. Se evalúa la posibilidad de procesarlo y almacenarlo definitivamente, de incinerarlo o de verterlo al medio ambiente para lo cual se contemplan los límites legales y medioambientales con el fin de reducir al máximo el impacto producido, siempre dentro del marco legal.

Un residuo se considera emisible a la atmósfera cuando los valores de sus contaminantes se encuentran por debajo de los valores límite establecidos por la comunidad autónoma o en su lugar por el Gobierno, según la ley 16/2002 de prevención y control integrados de la contaminación, en su artículo 7 parte dos, concretado en el Anexo II con todas las normativas implicadas [LEY16/02].

Se considera incinerable cuando los valores de emisión a la atmósfera y en aguas residuales de las instalaciones de incineración, no superan los establecidos en el RD 653/2003, de 30 de mayo, sobre incineración de residuos [RD653/03].

4.6.2.14 D.14. – ELIMINABLE

Un sólido eliminable es aquel susceptible de emisión al ambiente o incineración, de forma que se elimine del flujo, o se reduzca físicamente de forma notable. En caso de no ser eliminable se procede a su almacenamiento definitivo en vertederos u otras instalaciones acondicionadas a tal efecto.

4.6.2.15 D.15. – INCINERABLE

Se define sólido incinerable como aquel que pueda utilizarse como combustible para la combustión autógena, y que sus niveles de emisiones estén dentro del marco legal establecido por el RD 653/2003. Es necesario consultar la estrategia global de la empresa y evaluar otras alternativas con menor impacto a la hora de decidir si el sólido será incinerado o no.

4.6.2.16 D.16. - NECESIDAD DE TRATAMIENTO INTERNO

Si el sólido no es legal o medioambientalmente deseable en su estado actual, se evalúa la posibilidad de realizar un tratamiento intermedio para que sí lo sea. Este tratamiento puede requerir de una caracterización del residuo más específica, para conocer algunos parámetros como son: granulometrías, composición, abrasión, propiedades especiales, etc.

4.6.3 PROCESOS

Los procesos que se explican a continuación, se pueden clasificar en dos grupos, por una parte se tienen los procesos, P.1. y P.2 que corresponden a la recogida y transporte de residuos, mientras que el resto, de P.3 hasta P.9 corresponden a procesos o técnicas de tratamiento de residuos en general.

Con el fin de crear el sistema de ayuda a la decisión y poder realizar su validación, es preciso desarrollar con suficiente nivel de detalle este segundo grupo de técnicas, de modo que sea evaluable por el sistema incluido en la metodología.

Sin realizar un recorrido exhaustivo, se definen primero las técnicas más habituales, especialmente aquellas destinadas al tratamiento de residuos sólidos de industrias metálicas, dado que estas constituyen el caso de aplicación y por tanto se utilizan para la validación, para posteriormente definir los procesos P.1 a P.9 tal y como aparecen denominados en el diagrama dentro de los cuales estarán incluidos una o varias técnicas como se verá más adelante.

La utilización por parte de la metodología exige una estandarización que permita a los módulos de diagnóstico la valoración automática. Para ello se han definido de una manera sencilla una serie de elementos característicos, que deben ser conocidos para cada uno de los procesos. Estas características, incluidas en la ficha de procesos, son las siguientes:

1. Material de entrada o inputs
 - Residuo de entrada
 - Consumos del proceso:, como agua, energía, agentes químicos y electricidad
2. Aspectos técnicos del proceso, descripción somera de la técnica o proceso que se va a utilizar
3. Salidas u outputs del proceso:
 - Productos
 - , subproductos
 - y residuos, y descripción

Tanto las entradas como las salidas vendrán descritas para cada proceso en forma de caja, estando además provistas de un cuadro con las características más representativas que deberá cumplir el contaminante para ser tratado por dicha técnica. De esta manera, en la Figura 16 se representa un modelo de caja tipo donde se ven todos los posibles parámetros a considerar, cuyo número variará en función del tipo de tratamiento.

Asimismo, las fracciones o cantidades de salida serán dependientes de los parámetros del proceso y de las características del residuo.

Para la elección de la tecnología adecuada de tratamiento, se ha de llevar a cabo una correcta selección, evaluación y búsqueda relacionada con la posibilidad de optimización en dicha técnica, siendo el tipo de residuo a manejar el que va a dar las directrices de este proceso, para ello es de suma importancia definir las características del contaminante y los tipos de tratamientos adecuados.

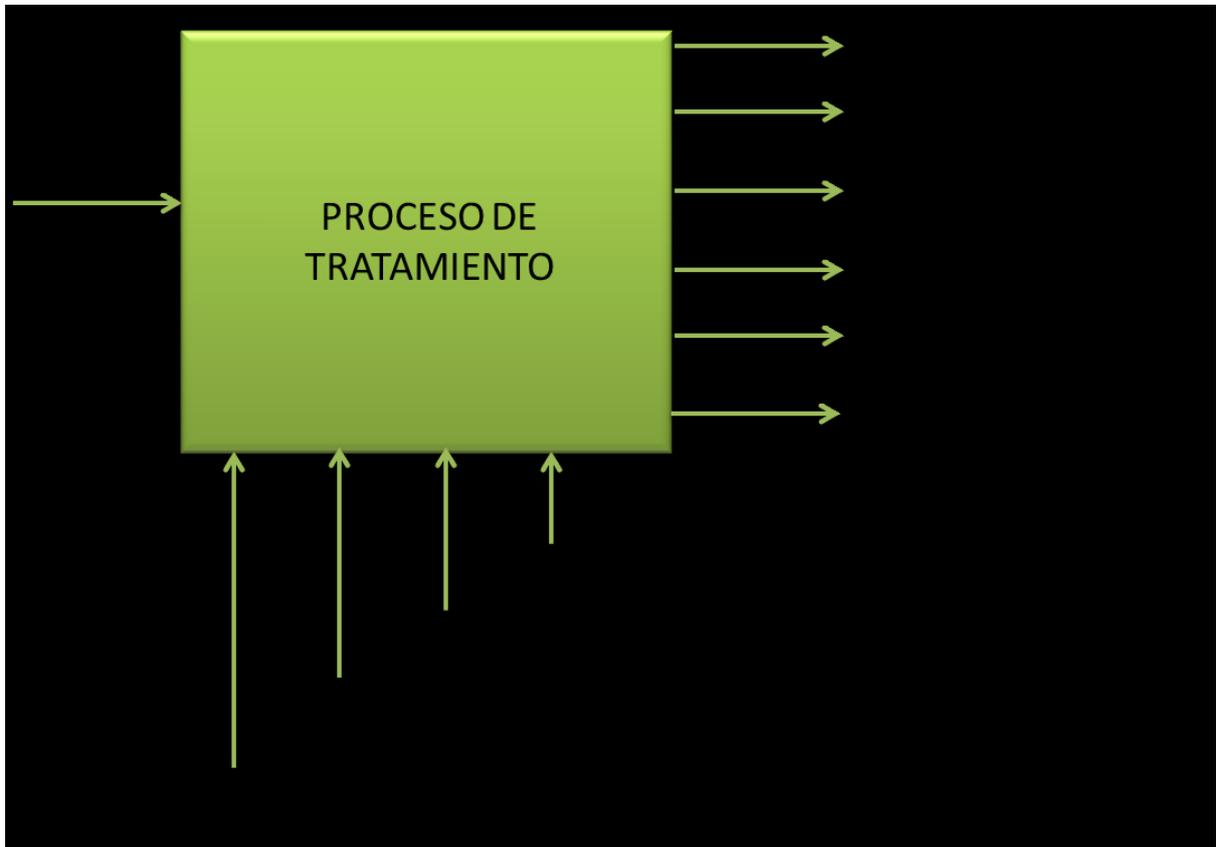


Figura 16 Proceso de tratamiento de RSI tipo

Dado el importante número de procesos a incluir, se ha realizado una división de estos en función del tipo de tratamiento así como del tipo de material a tratar, en este caso sólidos. Así, la Figura 17 recoge algunas de las técnicas más comunes encontradas en la bibliografía existente, pero solamente aplicables a la gestión de residuos sólidos, de acuerdo con los tipos básicos de procesos: físico-químicos, biológicos y energéticos [DWAF98] [CAS00]

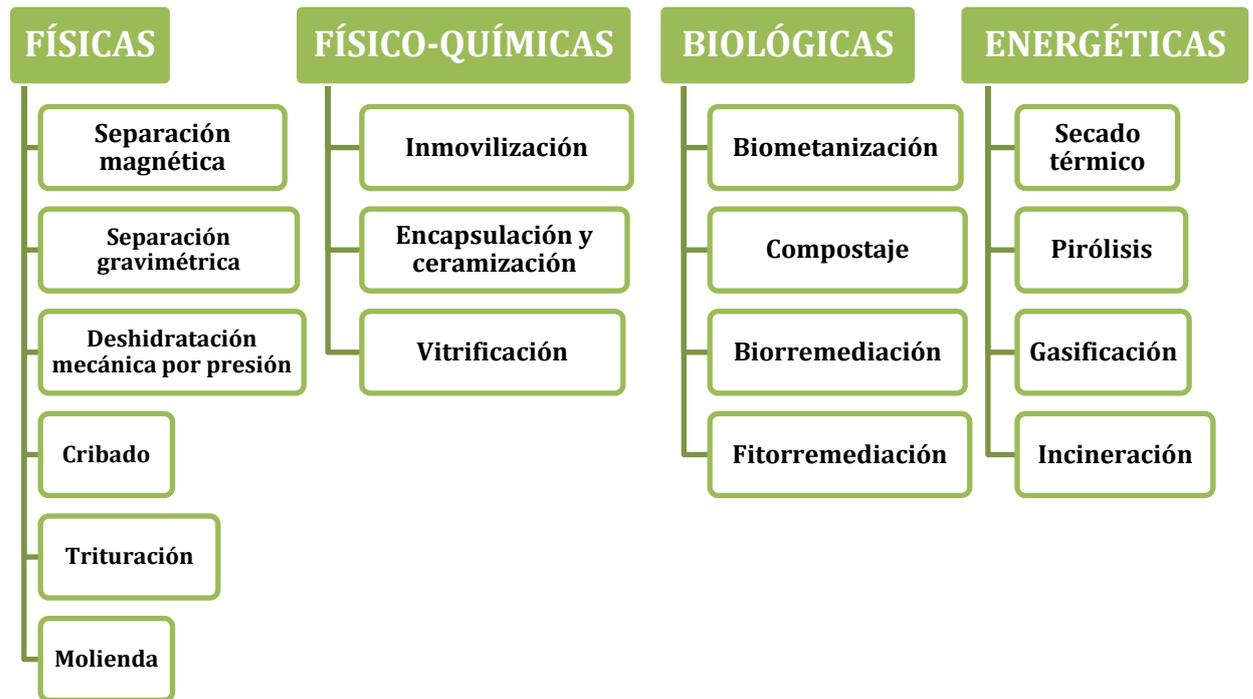


Figura 17: Técnicas para la gestión de residuos sólidos industriales [DWAF98] [CAS00]

Cada una de estas técnicas a su vez pueden ser parte de la necesidad de utilización de técnicas físicas más específicas, como es el caso de la separación magnética o la molienda y trituración, etc., definidas en el siguiente apartado.

4.6.3.1 TÉCNICAS FÍSICAS

Los tratamientos físicos se utilizan, principalmente, en pretratamiento de residuos sólidos industriales. Estas técnicas en ocasiones se pueden utilizar como complemento a los métodos físico-químicos y biológicos, pudiendo cumplir las siguientes funciones en un sistema de gestión de residuos sólidos industriales:

- Permitir la recuperación de un compuesto para su posterior utilización como materia prima en otro proceso.
- Separar los constituyentes peligrosos de la masa total del residuo sólido.
- Reducir la peligrosidad del residuo sólido mediante la transformación de sus componentes, convirtiéndolos en compuestos menos peligrosos o reduciendo su movilidad en el medio ambiente.
- Transformar el residuo sólido en un material que cumpla con las condiciones para ingresar a otro sistema de tratamiento o al sistema de disposición final.

Existen numerosas tipos de procesos físicos (Figura 17). Estos deben ser diseñados para tratar uno o varios contaminantes específicos y tendrán restricciones particulares involucradas. [CAS00]

4.6.3.1.1 Separación Magnética

Se aplican en minerales con características magnéticas, como el hierro metal, y el objetivo es la concentración de estos minerales y la extracción de partículas magnéticas suspendidas en corrientes de fluido.

Se separa haciendo pasar las mezclas o suspensiones de partículas a través de un campo magnético no homogéneo, que produce una retención preferencial o una desviación de las partículas magnéticas [MET04]. Como fuerza dominante en este proceso destaca la magnética, la separación entre dos minerales o la extracción de partículas magnetizables en medios fluidos depende de su movimiento en respuesta a la fuerza magnética y a otras fuerzas como son la gravedad, las fuerzas hidrodinámicas, las inerciales y las fuerzas centrífugas.

Existen dos tipos de separadores magnéticos [MET04]:

1. Separadores magnéticos de alto campo y gradiente, formados por bobinas a base de cobre o de materiales superconductores.
2. Separadores de imanes permanentes cerámicos (ferritas) o a base de tierras raras (Fe-Nd-B, Sm-Co), para aplicaciones en “baja intensidad” y en “alta intensidad” en vía seca. Las actuales mejoras de estas técnicas, unidas a que los imanes permanentes no consumen energía, han hecho que se utilicen mucho en la industria de la minería, principalmente en la producción de minerales industriales (feldespatos, wollastonita, andalucita, sílice, etc.)

Este tipo de tratamiento también es muy utilizado en el campo del Reciclaje y el Medio Ambiente, sobre todo para la depuración de fluidos contaminados.

En el campo de la siderurgia, se utiliza como proceso de tratamiento para separar el hierro metal de los residuos posteriormente reconducidos a la Acería como aporte de chatarra.

En la Figura 18 se pueden ver un proceso tipo de separación magnética.



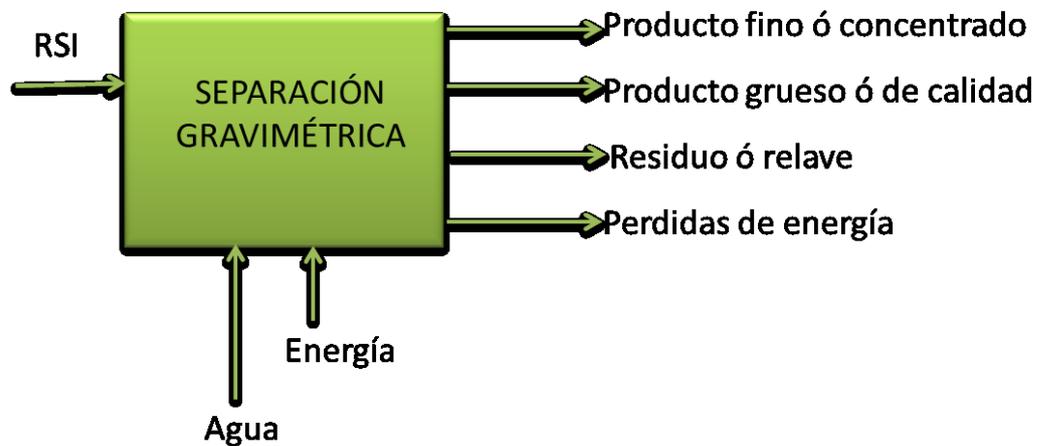
Figura 18: Proceso de separación magnética y características del RSI a la entrada del proceso.

4.6.3.1.2 Separación Gravimétrica

Existen dos tipos de separación gravimétrica en función de la separación por tamaños o por densidades que son:

- Clasificación: que consiste en la separación en función de una clasificación por tamaños, en la que se utilizan materiales de la misma densidad.
- Concentración: que consiste en la separación de acuerdo a diferentes densidades de materiales de aproximadamente el mismo rango de tamaño y debido a un movimiento relativo como consecuencia de la gravedad y otras fuerzas, como la que ofrece al movimiento de un cuerpo un fluido viscoso, como el agua, aire, etc.

Para que la separación se lleve a cabo sin ningún problema, es muy importante que exista una marcada diferencia de densidades entre el mineral y el medio de separación. Este proceso es muy sensible a la presencia de materiales finos, con lo que se debe evitar en la medida de lo posible la presencia de los mismos [RUD11]



CARACTERÍSTICAS DEL RESIDUO DE ENTRADA AL PROCESO	
ESTADO DEL RESIDUO	Sólido / lodo
GRANULOMETRIA	200 mm-50 µm

Figura 19: Proceso de separación gravimétrica y características del RSI a la entrada del proceso

4.6.3.1.3 Deshidratación Mecánica por Presión

Consiste en la extracción mecánica del agua contenida en un fango o cuerpo de semejante naturaleza de forma mecánica, en filtros mediante presión o de forma centrífuga y sin aplicar ninguna fuente de calor.

La deshidratación mecánica suele ser la primera etapa del secado, en la que se elimina hasta un 30% de materia seca [ELI05], si se requiere un material con menos contenido en agua se utiliza una segunda etapa de secado denominada secado térmico, descrita en el apartado correspondiente a los procesos energéticos.

En fango o lodo residual, puede tener como mínimo un 4% en contenido de sólidos a la entrada, con estos sistemas mecánicos se puede pasar desde el 4% hasta el 22 a 30% de materia seca. El consumo energético preciso es despreciable frente a la demanda que tendría un proceso térmico [ELI05].

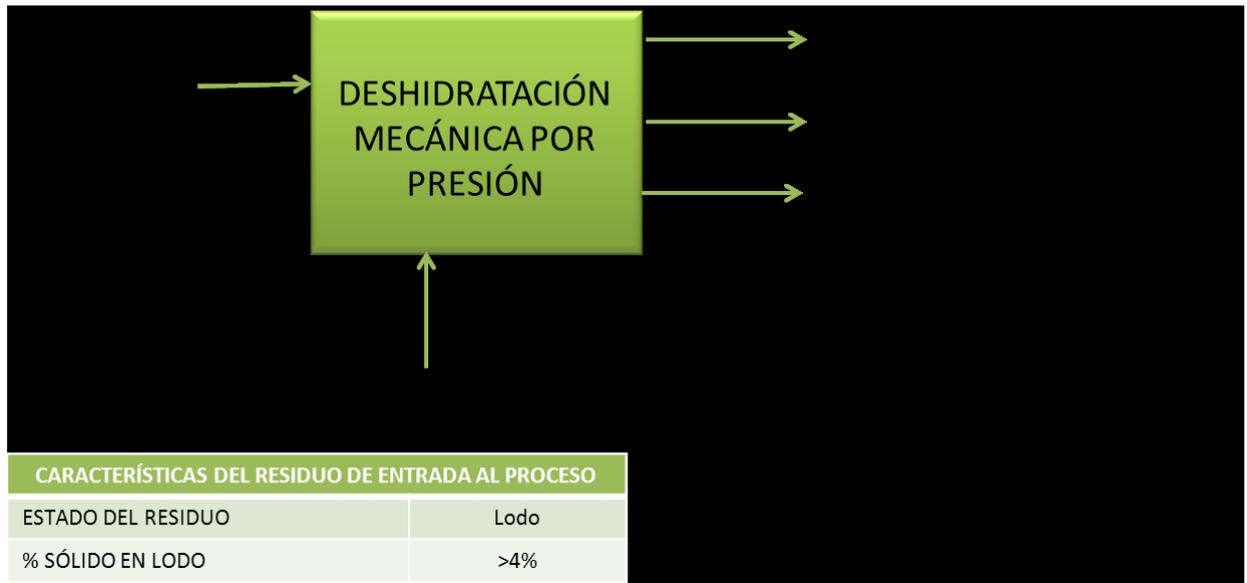


Figura 20: Proceso de deshidratación mecánica y características del RSI a la entrada del proceso

4.6.3.1.4 Cribado

Es un proceso que sirve para clasificar el material por tamaños, en función de su granulometría, es un sistema muy utilizado a nivel industrial ya que existen gran variedad de equipos, por ejemplo en la preparación de áridos, donde se dispone un producto final en un rango de tamaños.

Se emplea con tamaños gruesos de material, debido a que cuanto más fino sea este menor es la eficacia del proceso.

El tamaño mínimo de material a la entrada de la criba se suele limitar a las 250µm, utilizándose para tamaños menores la clasificación, aunque esto depende de factores como el tipo de mineral, la capacidad de la planta, etc.

El cribado evita la entrada de finos en las máquinas de trituración, lo que hace que se incremente la capacidad y la eficiencia, previniendo el paso de material de mayor tamaño a etapas posteriores, mediante la configuración en circuito cerrado.

En esencia, una criba es una superficie con gran número de aberturas de una determinada dimensión, en función del tamaño que se quiera separar; la alimentación se presenta ante dicha superficie, pasando por las aberturas las partículas menores y siendo retenidas el resto.



Figura 21: Proceso de cribado y características del RSI a la entrada del proceso

4.6.3.1.5 Trituración

El objetivo de la trituración es el de conseguir un material más homogéneo, el proceso de fragmentación del material suele realizarse en dos o tres etapas, la trituración corresponde a la primera parte.

Los tamaños de alimentación, de hasta 150cm, son reducidos en trituración primaria por debajo de 10-20cm, posteriormente y si es necesario, pasan a trituración secundaria, donde se reduce el producto a tamaños inferiores a 0,5 ó 2 cm. El proceso puede constar de una o dos etapas de reducción de tamaño, con trituradores y cribas adecuadas.

Dependiendo del tamaño de grano que se necesite, la trituración se puede realizar en circuito abierto o cerrado.

El proceso de trituración tiene un consumo energético y un mantenimiento mucho más elevado que el cribado.

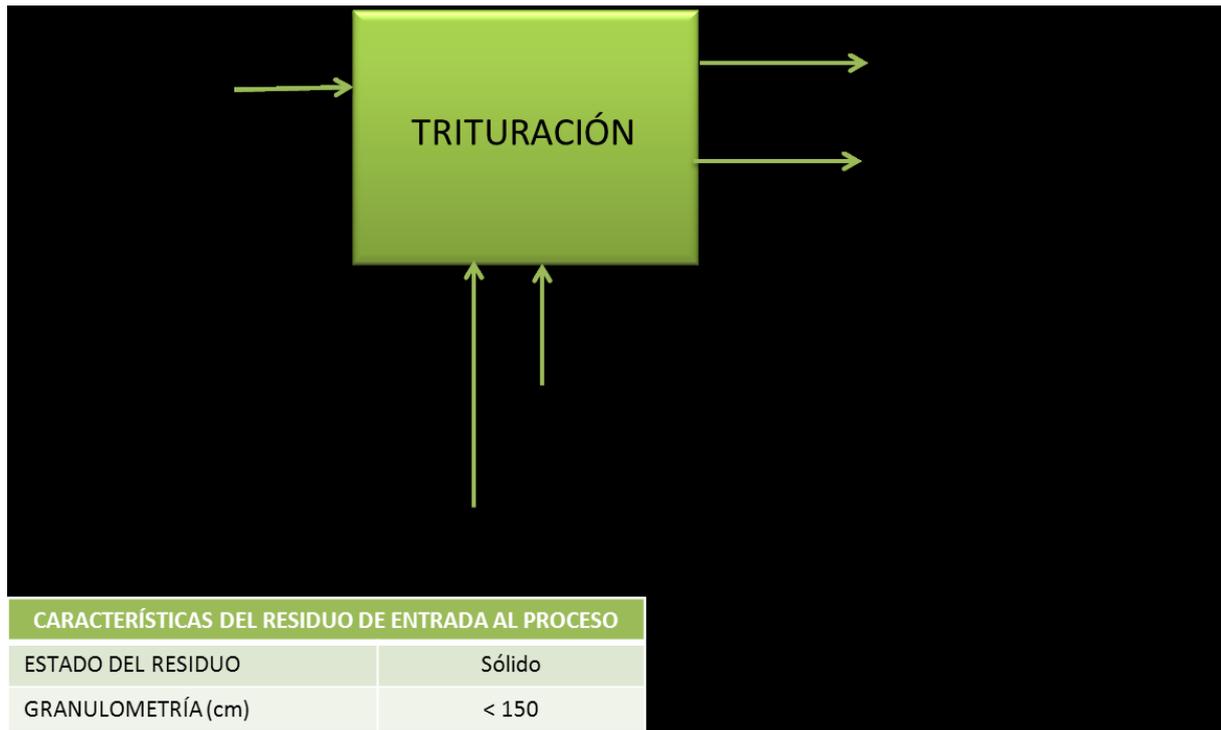


Figura 22: Proceso de trituración y características del RSI a la entrada del proceso

4.6.3.1.6 Molienda

Es la operación final y la de mayor consumo energético en el procesamiento del RSI, pudiendo suponer el 50% del total. Una desventaja de este método es que además de ser muy costoso lleva asociado unos costes de mantenimiento muy elevados.

En la molienda el tamaño de grano de las partículas se reduce por combinación de esfuerzos de impacto y abrasión, puede tener lugar en seco o en húmedo. Las partículas de entre 5 y 250 mm son reducidas a un tamaño situado entre 10 y 300µm.

El proceso tiene lugar en cilindros rotativos de acero, utilizándose como medio de molienda barras o bolas de acero, roca dura, o el propio mineral. Los esfuerzos producidos cambian la forma de las partículas, más allá de los límites de elasticidad, causando la rotura. Al girar el molino, la mezcla de medio, mineral y agua (carga), en el caso de molienda la húmeda, se mezcla y se produce la conminución por esfuerzos según la velocidad del molino. La mayor parte de la energía cinética de la carga se disipa como calor, ruido y pérdidas, empleándose solo una pequeña parte para producir la disminución del tamaño de grano del material.

El control del tamaño del producto es muy importante, ya que si es demasiado grueso implica poca liberación y baja recuperación, y si es muy fino debido a una excesiva molienda, se producen pérdidas tanto energéticas como por ultra-finos indeseables.

La molienda es función de varias variables como son; el tamaño, la cantidad, el tipo de movimiento, y los espacios entre las piezas del medio de molienda.

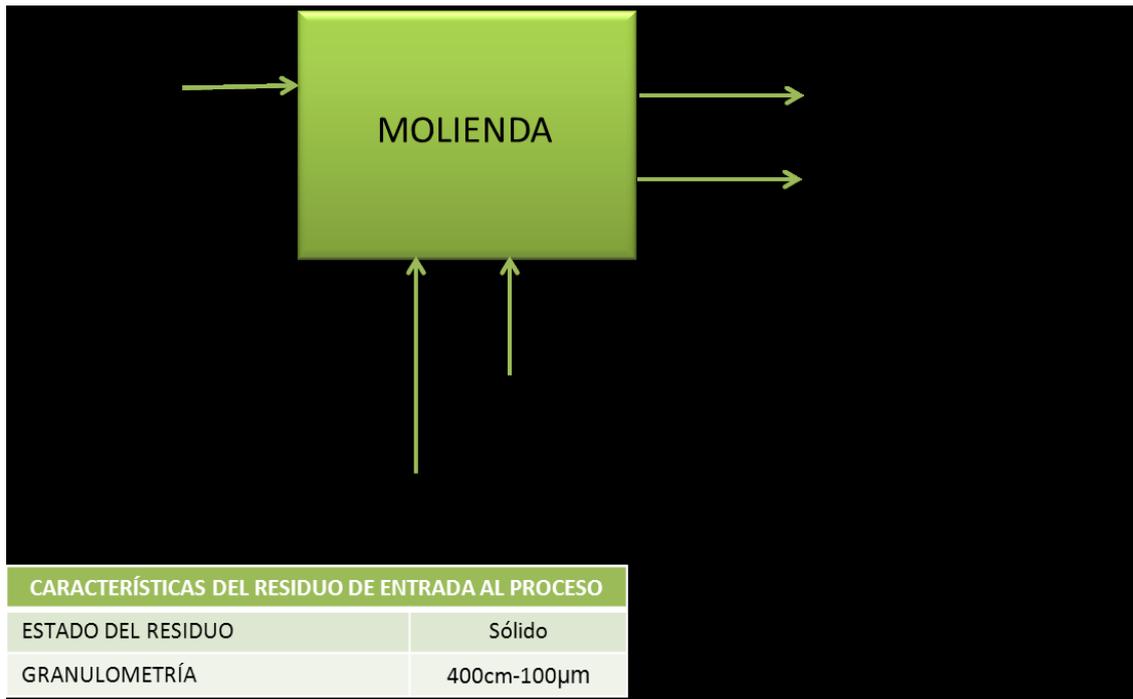


Figura 23: Proceso de molienda y características del RSI a la entrada del proceso

4.6.3.2 TÉCNICAS FISCOQUÍMICAS.

Dentro de estas técnicas se engloban aquellas que alteran las condiciones tanto químicas como estructurales de los residuos después de ser tratados [CAS00], de ahí su nombre.

El principal objetivo de muchas de estas operaciones es el de minimizar o eliminar (inertización) las posibilidades de liberación por lixiviación de los metales pesados o compuestos poco biodegradables [BREF06]. Como procesos destinados a este fin se tiene los siguientes:

4.6.3.2.1 Inmovilización

El objetivo es el de disminuir el nivel de toxicidad de los contaminantes para cambiar o mejorar las características del residuo y que se pueda eliminar. Se busca reducir la toxicidad, la movilidad y mejorar las propiedades técnicas del material estabilizado [DIAZ08] [EPA01a].

Existen dos tipos de procesos de inmovilización, uno es la estabilización y el otro la solidificación.

La *estabilización* agrupa aquellas técnicas destinadas a reducir el potencial de peligrosidad de un residuo transformando el contaminante en su forma menos soluble, tóxica o móvil, consiguiendo así su fijación.

La naturaleza del residuo y sus características de manejo no tienen por qué ser alteradas por esta técnica. Hoy en día se suele utilizar como sinónimo los términos fijación y estabilización.

La *solidificación* consiste en un conjunto de técnicas que permiten mejorar el manejo y características físicas del residuo al encapsular el residuo sólido en una forma monolítica de alta rigidez estructural.

La encapsulación se puede desarrollar en forma de pequeñas partículas de residuo, *microencapsulación*, o bien en forma de bloques de tamaño apreciable, *macroencapsulación*.

La solidificación no involucra necesariamente una interacción química entre el residuo y el agente solidificante, pero lo retiene mecánicamente dentro del sólido obtenido. La migración del contaminante es restringida, bien disminuyendo la superficie expuesta a la lixiviación o bien aislando el residuo con una cápsula impermeable [CAS00].

Para la forma o aspecto físico que se obtiene en muchos procesos se utiliza el término *monolítico*, y presenta problemas de identificación porque se suele interpretar en su forma literal “bloque de piedra” y no como “sólido parecido al terreno” que es [ORT04].

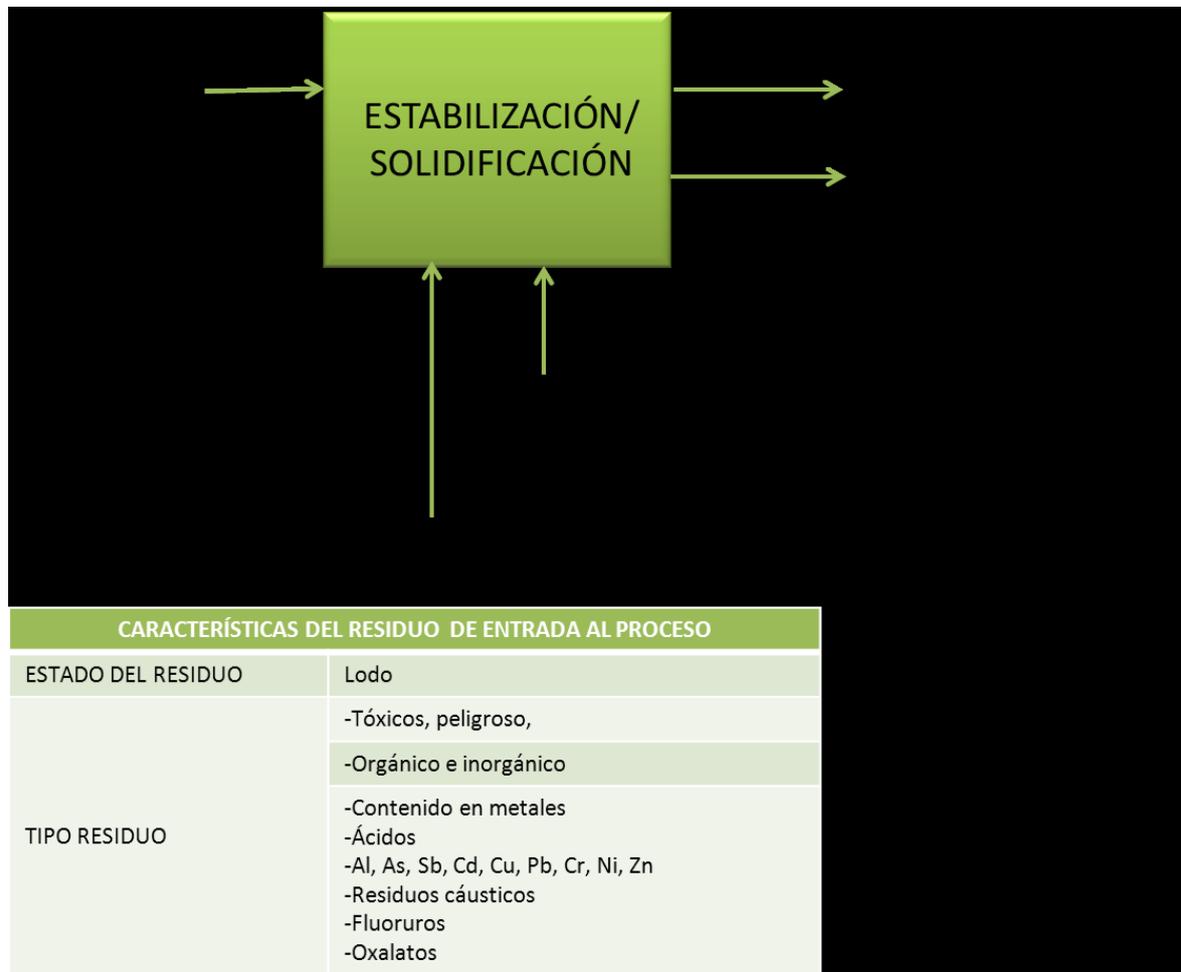


Figura 24: Proceso de estabilización/ solidificación y características del RSI a la entrada del proceso

La inmovilización de residuos se utiliza en multitud de residuos inorgánicos como son:

- Residuos pastosos y lodos que contienen componentes inorgánicos y pequeñas cantidades de componentes orgánicos insolubles
- Residuos sólidos y secos con componentes inorgánicos, en cuyo caso se agrega agua de hidratación. Ejemplos son tierras contaminadas y tortas de filtración; desechos con muy pocos hidrocarburos insolubles; cenizas de fondo y escoria

4.6.3.2.2 Encapsulación y Ceramización

En la *encapsulación* el residuo entra a formar parte del nuevo compuesto, pero es retenido solo físicamente sin cambiar su estructura morfológica ni química, su futura evolución dependerá más del medio donde se encuentre que de su propia resistencia o estabilidad.

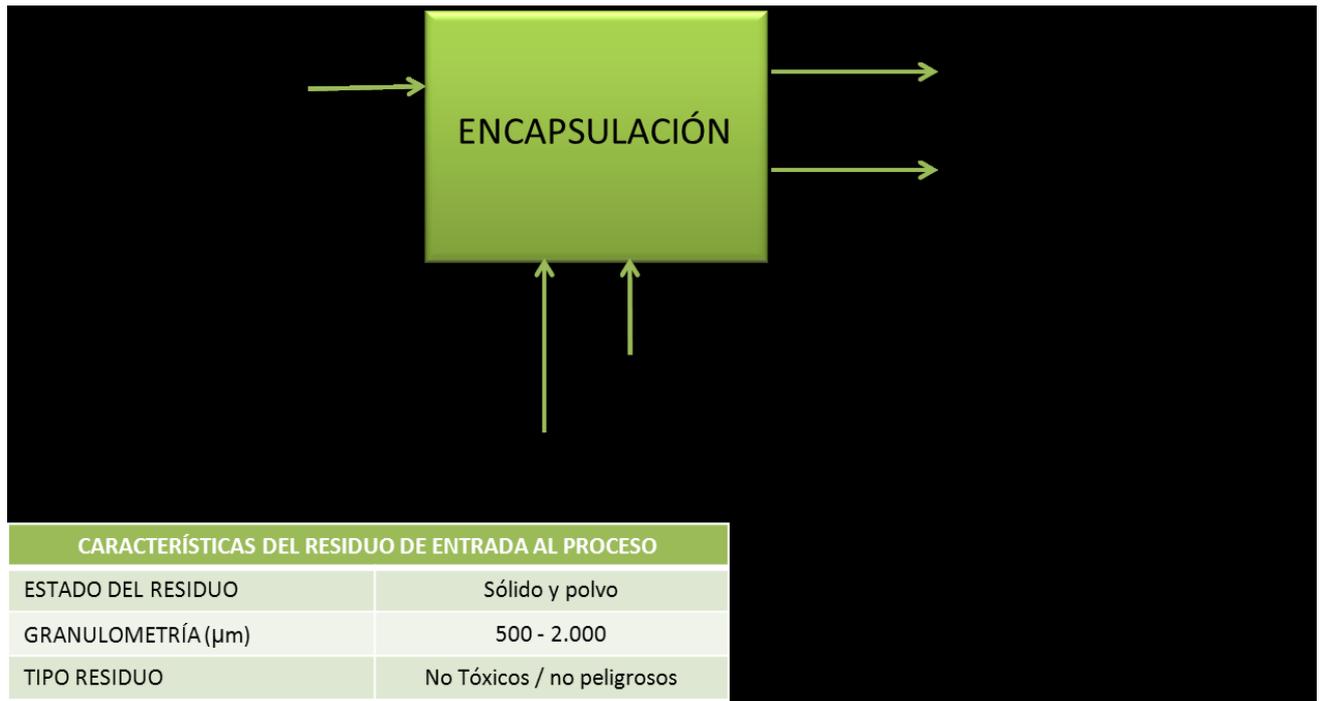


Figura 25: Proceso de encapsulación y características del RSI a la entrada del proceso

Al contrario que en el caso anterior, el objetivo de la *ceramización* consiste en eliminar la parte de los componentes tóxicos de un residuo sólido industrial mediante su incorporación en la masa cerámica con la intención de inertizarlo, de ahí se dice que esta técnica es la verdadera inertización [CAS00a].

La someter un residuo sólido industrial a ceramización, la primera operación que debe llevarse a cabo es la trituración de la arcilla en molinos, cuyo principio de funcionamiento depende de la naturaleza de la arcilla empleada, posteriormente el material se pasa a una amasadora para mezclarlo con agua y posteriormente se somete a extrusión y secado para eliminar la humedad sobrante, y prepararse para la última etapa de cocción, en la que se somete el producto a una temperatura cada vez mayor hasta que la viscosidad de la fase líquida cohesiona y hace que el conjunto quede rígido, alcanzando temperaturas de 1.000°C.



Figura 26: Proceso de ceramización y características del RSI a la entrada del proceso

4.6.3.2.3 Vitrificación

Con la vitrificación de un RSI se pretende, por una parte, la insolubilización de determinados compuestos químicos, en principio todos aquellos solubles en agua, y en segundo lugar la disminución de la toxicidad de sus componentes [ELI03] [EPA01b].

Los residuos que mejor encajan en este tratamiento son aquellos muy tóxicos y de naturaleza 100% inorgánica, aunque admiten componentes orgánicos en muy pequeña cantidad, pudiendo disminuir rendimiento del proceso [CAS99], siendo esta tecnología reconocida como más segura para la inertización de residuos peligrosos.

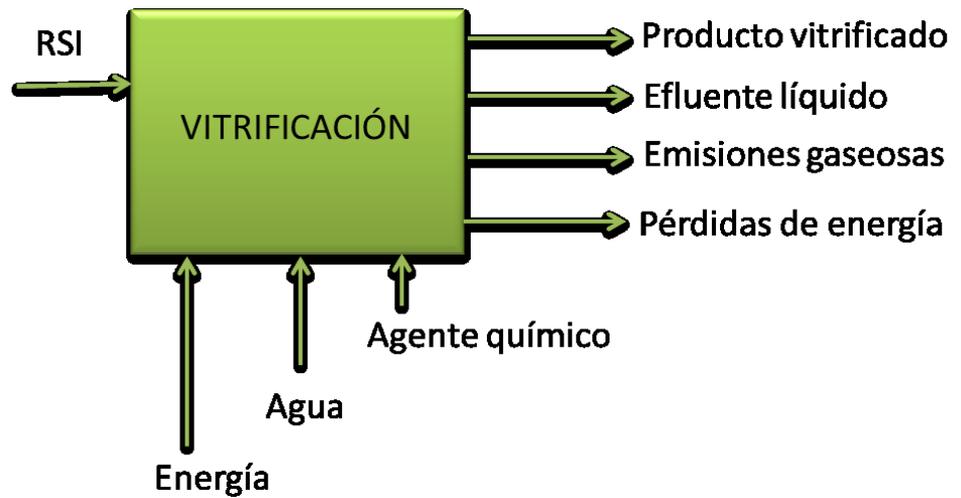
Como residuos de entrada al proceso se tienen: cenizas volantes, escorias previamente homogeneizadas (tamaños), chatarras y polvos de acería de la industria siderúrgica, polvos de fundición de la industria minera, y residuos tóxicos y peligrosos en general.

La técnica de la vitrificación consiste en confinar óxidos metálicos dentro de una matriz vítrea cuya cantidad no debe ser fija, como acontece en un cristal. Para ello la técnica emplea calor para convertir un material contaminante en un producto cristalino, químicamente inerte y estable, parecido al vidrio, en el que se encuentran incluidos metales pesados.

El proceso consiste en mezclar un formador de vidrio, (el cuarzo es el más habitual, aunque puede ser el boro o el fósforo) y un modificador del retículo, formado por el flujo fundente, básicamente óxidos alcalinos y alcalinotérreos, a los que pueden añadirse los metales pesados que se desea inertizar.

Este proceso denominado de vitrificación ex situ, consiste en introducir todo los materiales anteriores mezclados en un horno que se calienta hasta llegar a la fusión total que puede llegar a los 1600°C. Una vez el líquido ha adquirido una viscosidad baja, se vierte sobre agua, o se deja enfriar al aire. El enfriamiento brusco colapsa la estructura vítrea y la convierte en un sólido inerte.

Este sistema minimiza la emisión de gases, y la corriente de gases, volátiles y partículas se someten a filtrado, lavado y enfriamiento posterior y después se emiten al medio.



CARACTERÍSTICAS DEL RESIDUO DE ENTRADA AL PROCESO	
ESTADO	Sólido
HUMEDAD %	<10 %
NATURALEZA	95-100% Inorgánico
TIPO RESIDUO	Muy tóxicos / muy peligrosos

Figura 27: Proceso de vitrificación y características del RSI a la entrada del proceso

La vitrificación también puede aplicarse en el propio vertedero denominándose vitrificación “in situ”. En este caso se calienta el suelo mediante una corriente eléctrica, con lo cual este alcanza una elevada temperatura (1600-2000 °C). La corriente se envía a dos electrodos sumergidos en el terreno provocando que se funda el suelo que queda entre ambos, a medida que el suelo funde los electrodos se van hundiendo cada vez más, cuando la corriente eléctrica se corta, el material fundido se enfría y vitrifica, este vitrificado encoge el material haciendo que aparezca una zona deprimida, que se debe rellenar hasta alcanzar el nivel del suelo.

La descontaminación de los componentes del suelo se produce de la siguiente manera:

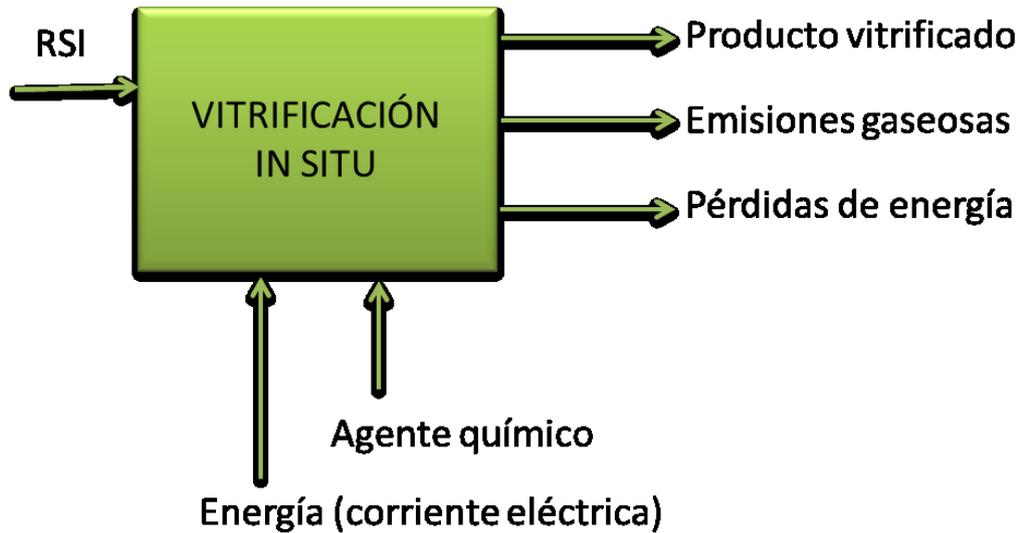
- Compuestos químicos inorgánicos (metales pesados principalmente) que quedan atrapados en la masa vítrea, evitando los lixiviados
- Los compuestos orgánicos se destruyen y volatilizan durante el proceso de calentamiento, para ello se instala un sistema de recogida y depuración de gases en la superficie.

Se utiliza en suelos polifásicos, algunas características que ha de tener el suelo a la hora de utilizar esta técnica son las siguientes:

1. Humedad del suelo. Debe estar entre el 20 y el 25%. Además, se pierde eficacia energética, ya que el calor generado se emplea en evaporar el agua y no en fundir el suelo.
2. Contenido en sales y ácidos. Debe ser un suelo con bajo contenido en sales ya que si no este presenta una elevada conductividad eléctrica, no ofreciendo resistencia al paso de la corriente, lo que dificulta su calentamiento.

3. Porosidad. No debe ser muy poroso, ya que si no lo es disminuye la eficacia de la corriente eléctrica.
4. Composición del suelo. Se necesita una cantidad suficiente de materiales vitrificantes, ya que si existe un exceso de escombros, cascotes, etc. o de materia orgánica combustible, limita la aplicación de la técnica.

Actualmente la vitrificación “in situ” es aplicable a problemas relativamente superficiales, aplicándose con éxito hasta unos 6 m de profundidad.



CARACTERÍSTICAS DE ENTRADA AL PROCESO		
RESIDUO	ESTADO	Sólido, polvo y lodos
	NATURALEZA	Orgánico / inorgánico
SUELO	TIPO	Suelos polifásicos de grandes volúmenes
	POROSIDAD %	20-40
	HUMEDAD %	20-25
	CONTENIDO EN SALES Y ÁCIDOS	Bajo
	% ALCALI (Na ₂ O y K ₂ O)	1,4
	COMPOSICIÓN	Con fases vítreas (SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Na ₂ O, K ₂ O, CaO)

Figura 28: Proceso de vitrificación “in situ” y características del RSI a la entrada del proceso

4.6.3.3 TÉCNICAS BIOLÓGICAS

El objetivo principal de los procesos de tratamiento biológicos es la conversión de la materia orgánica presente en los residuos industriales en un producto final estable.

Ciertos productos pueden ser degradados en productos relativamente inocuos por la acción biológica de microorganismos. Una característica general, que poseen estos residuos biodegradables es el de ser mayoritariamente orgánicos, miscibles con el agua y presentarse en bajas concentraciones.

Generalmente, estos residuos orgánicos industriales, se generan en grandes cantidades, poseyendo una elevada Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y se diferencian de los residuos domésticos en:

- La gran proporción de compuestos orgánicos presentes.
- La concentración de los contaminantes biodegradables.
- El contenido en nutrientes inorgánicos.
- La presencia de sustancias tóxicas en la biomasa.

Dentro de los tratamientos biológicos existentes, los más adecuados para el tratamiento de residuos sólidos industriales son:

4.6.3.3.1 Biometanización o Digestión anaerobia

Consiste en la transformación de una parte de la fracción fermentable o putrescible de los residuos (materia orgánica) en forma de metano o biogás para aprovecharla posteriormente en otros procesos [CAS05]

Esta transformación o degradación tiene lugar en cuatro fases [PER01], Hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

Este proceso también se adapta a residuos húmedos, una vez que el residuo está preparado entra en el digestor húmedo, (mediante una operación que se llama pulping, en el que se tritura previamente el RSI, se mezcla con agua obteniéndose flotantes que van al digestor y materiales pesados), donde se genera biogás (mezcla de metano y gas carbónico), este se lava, comprime y almacena en un gasómetro, materiales pesados que salen por la parte de abajo del digestor y un efluente [CSIC08].

El biogás puede servir de combustible para una unidad de cogeneración, o quemarse en una antorcha. Por la parte inferior del digestor se extrae la fracción residual (no gasificada) denominada fango que se puede compostar.

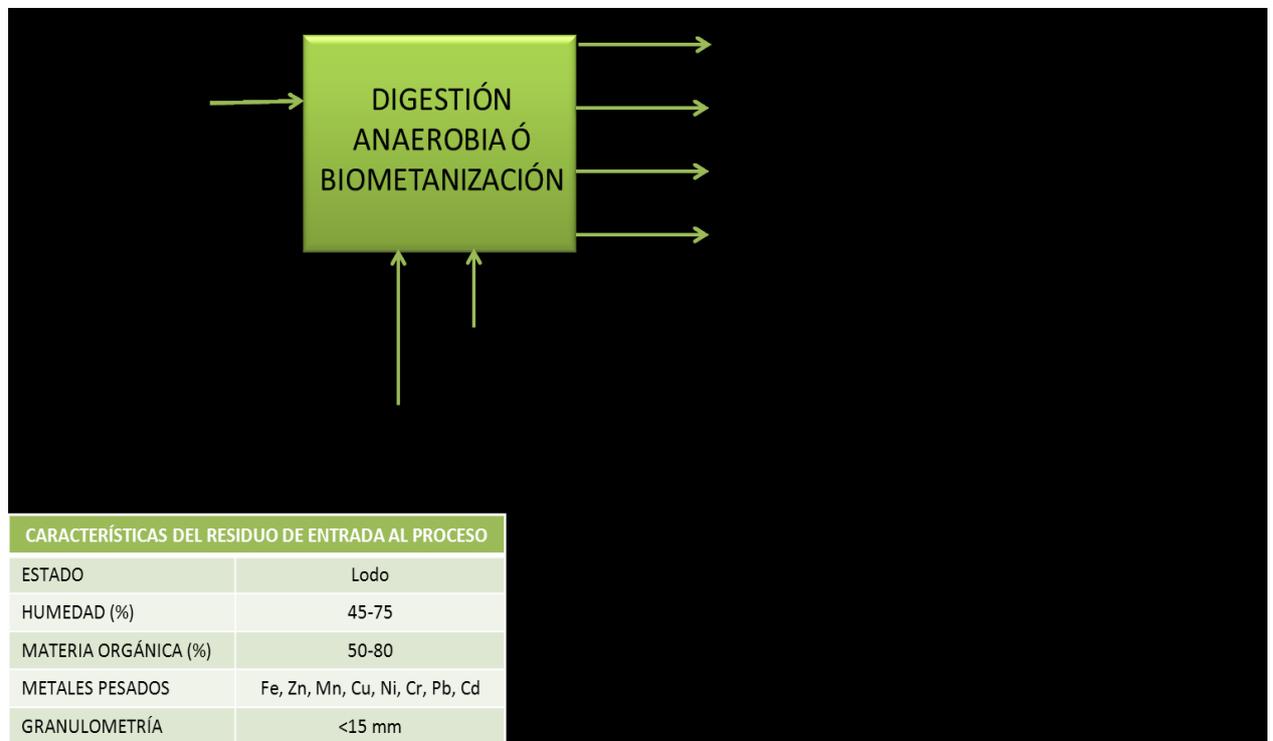


Figura 29: Proceso de Biometanización y características del RSI a la entrada del proceso

4.6.3.3.2 Compostaje o Digestión Aerobia

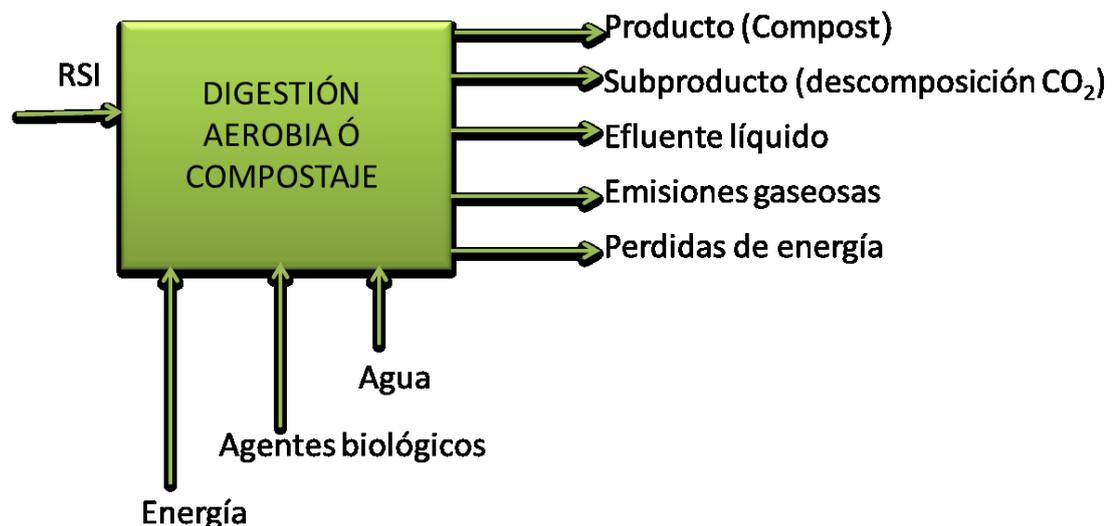
En este proceso la materia orgánica se elimina mediante la acción de microorganismos por oxidación biológica. El proceso de descomposición aerobio incluye la transformación de los residuos orgánicos en energía y materia en presencia de oxígeno, al contrario que la anaerobia que es en ausencia. Es una técnica que cada vez se utiliza más para el tratamiento de los lixiviados de los vertederos.

Básicamente el proceso está formado por dos etapas:

La primera es la *descomposición de la fracción de materia orgánica* debido a la actuación de los Microorganismos, es una fase exotérmica donde las temperaturas pueden alcanzar del orden de los 70°C.

En la segunda fase, denominada *maduración*, tienen lugar procesos de *biopolimerización* por la que se forman moléculas complejas y estables y microorganismos y diversa microfauna colonizan el material para obtener un compost estabilizado y parcialmente humificado.

En este tratamiento se obtiene un producto denominado compost valorizable, y calor, CO², agua de tratamiento y otros compuestos gaseosos.



CARACTERÍSTICAS DEL RESIDUO DE ENTRADA AL PROCESO	
ESTADO	Lodo
HUMEDAD (%)	40-60
MATERIA ORGÁNICA (%)	45-90
RELACIÓN C/N	30-35
FAS	0,3
GRANULOMETRÍA	<20mm

Figura 30: Proceso de Compostaje y características del RSI a la entrada del proceso

4.6.3.3.3 Biorremediación

La biorremediación es una tecnología de descontaminación de suelos, que utiliza el potencial metabólico de los organismos para transformar contaminantes orgánicos en compuestos más

simples poco o nada contaminantes, y, por tanto, se puede utilizar para limpiar terrenos o aguas contaminadas [GLA95].

Tradicionalmente se aplica mediante el uso de microorganismos (fundamentalmente bacterias, pero también hongos y levaduras).

Su ámbito de aplicabilidad es muy amplio, pudiendo considerarse como objeto cada uno de los estados de la materia, sólido, líquido o gas, en cuanto a los residuos sólidos se aplica sobre medios contaminados como suelos o sedimentos, o bien directamente en lodos, residuos, etc. Para gases se aplica en el caso de productos derivados del tratamiento de suelos [EOPA01].

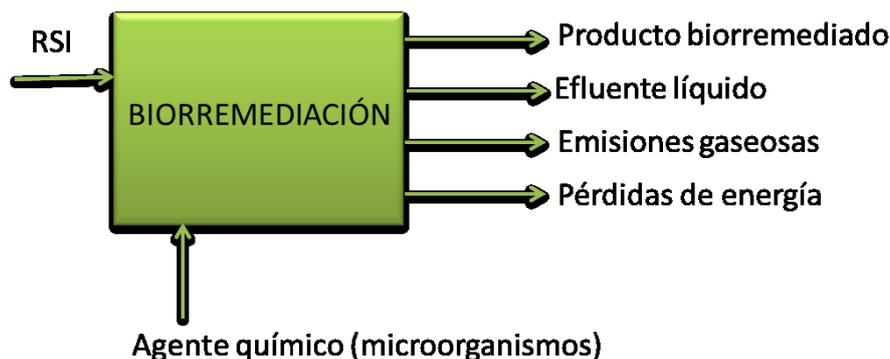
También se puede realizar una clasificación en función de los contaminantes con los que se puede trabajar [ALE99]:

- Hidrocarburos de todo tipo (alifáticos, aromáticos, BTEX, PAH's, clorados, etc.).
- Compuestos nitroaromáticos.
- Metales pesados: Estos no se metabolizan por los microorganismos de manera apreciable, pero pueden ser inmovilizados o precipitados.
- Otros contaminantes como compuestos organofosforados, cianuros, fenoles, etc.

Las técnicas de biorremediación pueden tener lugar como en el caso de la vitrificación in situ o ex situ:

- In-situ: consiste en modificar las condiciones ambientales del medio (pH, nutrientes, humedad, temperatura, oxígeno, etc.), se añaden nutrientes para multiplicar los organismos del lugar, o bien se inoculan microorganismos más eficaces para el vertido concreto. La primera opción es la más económica y la que ofrece más posibilidades de éxito hoy día.
- Ex-situ: El contaminante se extrae y se degrada en otro sitio en condiciones controladas de laboratorio. Es un proceso más caro que el anterior y no puede realizarse en la mayoría de las ocasiones.

Otro tipo de tratamiento ocurre cuando el propio medio ambiente resuelve el problema si se dan las condiciones óptimas, intrínsecamente, aunque se debe controlar el proceso por si se producen compuestos tóxicos secundarios.



CARACTERÍSTICAS DE ENTRADA AL PROCESO		
RESIDUO	NATURALEZA	-Orgánico (hidrocarburos) -Inorgánico (metales pesados)
	BIODISPONIBLE	
SUELO	CARACTERÍSTICAS	-pH:6-8 -T:20-30°C -C:N:P:100:10:1 -Suelo polifásico de poca profundidad (1,2 a 9 m) -Suelo poroso -Clima suave -No lluvioso -Biodisponibilidad -Contenido en agua (250-150g H ₂ O/kg terreno seco) -Características topográficas buenas

Figura 31: Proceso de Biorremediación y características del RSI a la entrada del proceso

4.6.3.3.4 Fitorremediación:

Desde hace años también se emplean especies vegetales más desarrolladas para la descontaminación de suelos con metales pesados, denominándose a esta técnica fitorremediación [BAT09]

Este proceso constituye una variación de las técnicas de biorremediación, en la que se usan plantas verdes junto con los microorganismos asociados a ellas, así como técnicas dirigidas a liberar, contener o transformar en compuestos inofensivos para el medioambiente a los contaminantes presentes en el suelo.

En este tipo de proceso, se tratan tanto contaminantes inorgánicos (metales, metaloides, haluros y radionucleidos) como orgánicos, y comprende tanto procesos de descontaminación por los que se libera el contaminante de la matriz del suelo, como procesos de estabilización en los que se secuestran los mismos en dicha matriz.

En cuanto a los niveles normales de metales pesados y arsénico en el suelo, estos se encuentran en ($\mu\text{g/g}$) entre los siguientes valores: <0,1-40 As; 0,01-2,7 Cd; 0,1-65 Co; 1-3000 Cr; 1-100 Cu, 7000-550000 Fe; 0,008-0,7 Hg; 7-4000 Mn; 0,2-5,0 Mo; 1-1000 Ni; 2-200 Pb; y 3-300 Zn. Los niveles para considerar un suelo contaminado dependen del elemento en cuestión, uso del suelo y la legislación de cada país [BER12].

Las especies fitorrecuperadoras también pueden mejorarse gracias a las condiciones del suelo, (textura, estructura, pH, complejo de cambio), de ahí que sea necesario analizar para la utilización de este proceso las condiciones edáficas [SAN12]

El pH óptimo para la mayor parte de las especies vegetales es de 6-7, ya que este rango de valores la disponibilidad de nutrientes es máxima y la solubilidad de los metales pesados es

baja, favoreciendo el crecimiento vegetal. La excepción es el As, un metaloide, cuya solubilidad es más baja a pH bajo (< 6), con lo cual el pH óptimo sería de 6 [BER12].

Actualmente se tiene los conocimientos para poder seleccionar plantas en función de la tolerancia hacia el contaminante específico.

Este proceso depende de las condiciones del entorno de crecimiento de las plantas que son las siguientes, de esta manera es más atractiva en medios con las siguientes características [SAN12]:

- El clima, mejor en climas suaves sin condiciones extremas),
- la topografía (sin muchos escarpes y grandes pendientes), con pocos procesos de erosión, como vientos, lluvias, etc.
- Las concentraciones de contaminante no deben exceder el nivel de tolerancia de las plantas.
- La descontaminación se debe poder producir en un periodo muy largo de tiempo, ya que la fitorremediación es lenta
- El contaminante no debe estar cerca de zonas sensibles de ser contaminadas, como ríos, lagos, lagunas y aguas subterráneas

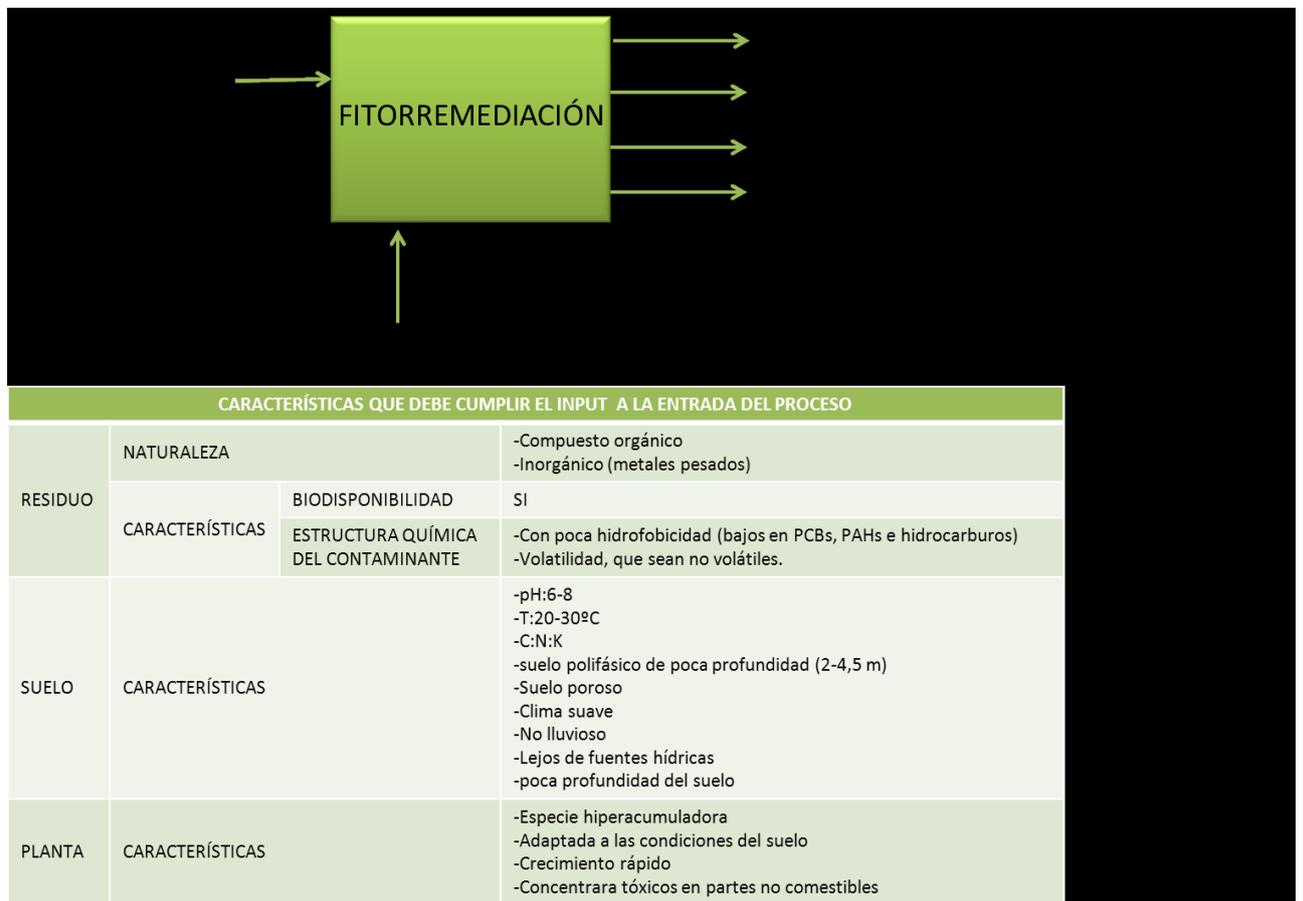


Figura 32: Proceso de Fitorremediación y características del RSI a la entrada del proceso

4.6.3.4 TÉCNICAS ENERGÉTICAS

Las técnicas de tratamiento térmico de residuos se dividen en dos grandes categorías:

- Aquellas en las que los residuos se queman en presencia de oxígeno, es decir, técnicas de incineración;

- Aquellas en las que se someten a altas temperaturas los residuos en ausencia total o con poco oxígeno, de modo que no hay combustión directa, es decir, la pirólisis (a veces denominada termólisis) y la gasificación.

En la siguiente tabla se muestran las principales técnicas y su principio de funcionamiento.

Técnica	Principio de funcionamiento
Pirólisis	Degradación térmica en ausencia de oxígeno
Gasificación	Transformación en gases combustibles
Incineración	Combustión con exceso de aire

Tabla 9: Técnicas energéticas y principio de funcionamiento

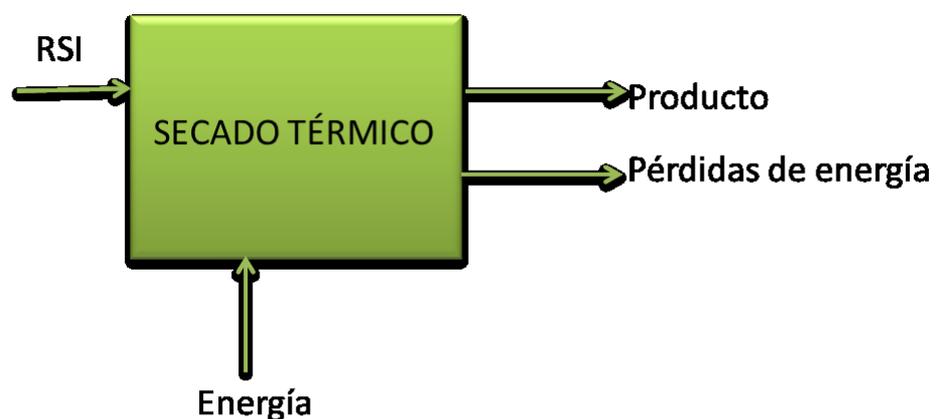
4.6.3.4.1 Secado Térmico

En un proceso de tratamiento térmico a baja temperatura y muchas veces suele ser considerado como pretratamiento para acondicionar un residuo antes de introducirlo en el proceso posterior, de ahí que no esté incluido en el Tabla 9.

En el secado térmico, se elimina el agua libre y parte del agua capilar que permanece en el residuo tras la deshidratación mecánica, el producto final seco después de pasar por el secado térmico todavía contiene un porcentaje de agua (intracelular y molecular) que aunque depende del tipo de lodo o fango que se trate puede variar del 1 al 3 % de agua. Este proceso, se utiliza para el secado de lodos o fangos residuales, y la cantidad de energía necesaria es función de la sequedad del material a tratar [SAN04]

Se considera un proceso de tratamiento intermedio que permite:

- Reducir de volumen del lodo.
- Concentrar los compuestos para su posterior valorización y aumento del poder calorífico.
- Estabilizar (en caso de que el secado sea completo)



CARACTERÍSTICAS DEL RESIDUO DE ENTRADA AL PROCESO

ESTADO	Lodo
HUMEDAD (%)	70-3

Figura 33: Proceso de Secado térmico y características del RSI a la entrada del proceso

4.6.3.4.2 Pirólisis

La pirólisis, aparte de ser una etapa de gasificación, también se utiliza como proceso industrial. [ELI05]. En él se produce la descomposición térmica de residuos orgánicos en ausencia de oxígeno para producir un residuo carbonoso o char, aceites y gases combustibles.

La principal ventaja de este proceso, es que el gas y los aceites producidos provenientes del residuo de entrada, pueden ser utilizados como combustible en el mismo proceso de pirólisis [WILL05] [UBA01] [ESP00].

El resto de ventajas del proceso son las siguientes [TWG03] [TWG04]:

- Posibilidad de recuperar la fracción orgánica, p. ej. como metanol
- Generación de electricidad a partir del gas de salida utilizando motores o turbinas de gas
- Producción de menores volúmenes de gases de combustión, que pueden reducir los costes de inversión al tratarlos
- Utilización en otras industrias y procesos el coque producido mediante lavado.

Este tipo de proceso se utiliza cuando el residuo a tratar está mayoritariamente compuesto por materia orgánica. Este residuo ha de ser triturado previamente antes de entrar al proceso, se prepara y muele para normalizar su calidad y mejorar la transferencia de calor.

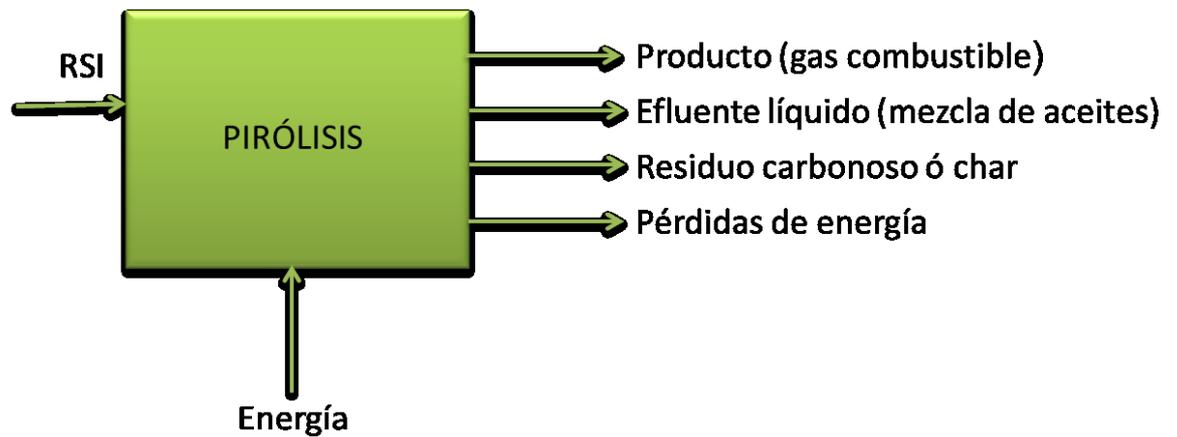
Posteriormente, se seca, ya que no deben entrar al pirolizador con una humedad superior al 10%, la etapa de secado previa depende del tipo de pirólisis que se realice y del tipo de reactor que se utilice, si se hace anterior al proceso, este mejora el poder calorífico inferior (PCI) de los gases que se generan y aumenta la eficiencia de las reacciones dentro del horno.

Algunos de los residuos industriales que se pirolizan son [TWG03] [TWG04]:

- Lodos de tratamiento de aguas residuales industriales
- Residuos industriales en general y con elevado contenido en aluminio
- Residuos no metálicos del desguace de automóviles (ASR)
- Residuos de madera o lignocelulosos
- Puntas de cables
- Materiales compuestos metálicos
- Plásticos
- Residuos sintéticos y neumáticos usados
- Suelos contaminados de materia orgánica

Dependiendo del tipo de productos de la pirólisis y en función del tipo de pirólisis que se realice y del tipo de reactor que se utilice se obtienen: gases (H_2 , CH_4 , C_2H_6 , CO y otros), líquidos (alquitranes, aceites, acetona, ácido acético, metanol, compuestos oxigenados complejos, etc.) y un residuo carbonoso, cuyas cantidades relativas dependen de las propiedades del residuo a tratar y de los parámetros de operación seleccionados.

El gas y coque de salida se pueden incinerar para destruir sus componentes orgánicos y aprovechar su energía calorífica [ELI05]



CARACTERÍSTICAS DEL RESIDUO DE ENTRADA AL PROCESO	
ESTADO	Sólido
NATURALEZA	ORGÁNICO
HUMEDAD (%)	<10
GRANULOMETRÍA (mm)	2-6

Figura 34: Proceso de Pirólisis y características del RSI a la entrada del proceso

4.6.3.4.3 Gasificación

La gasificación es un proceso termoquímico en el que un sustrato carbonoso (residuo orgánico) es transformado en un gas combustible de bajo poder calorífico, mediante una serie de reacciones que ocurren a una temperatura determinada en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno y/o vapor de agua).

Los factores de los que depende el proceso de gasificación son: el tamaño y forma del residuo, el aprovechamiento de la energía del gas producido que vaya a hacerse y, por supuesto, de los condicionantes económicos.

El agente gasificante utilizado en el proceso puede ser aire, oxígeno, aire enriquecido con oxígeno, vapor de agua o hidrógeno, de modo que se obtienen diferentes mezclas de gases que a su vez pueden tener diferentes utilidades

Para que el proceso de gasificación se produzca con un buen rendimiento, se requiere un residuo carbonoso suficientemente homogéneo. De ahí que algunos tipos de residuos no se puedan tratar y otros requieran pretratamiento, es decir, un troceado o cribado previo para evitar la alimentación de partículas demasiado finas que podrían ser arrastrados por la corriente gaseosa.

Entre los residuos que pueden entrar directamente al proceso destacan; los residuos de fangos de papeleras, plásticos mezclados, residuos de la industria forestal y de actividades agrícolas, biomasa y residuos orgánicos, no peligrosos, neumáticos y residuos procedentes de la industria del automóvil y residuos peligrosos en general.

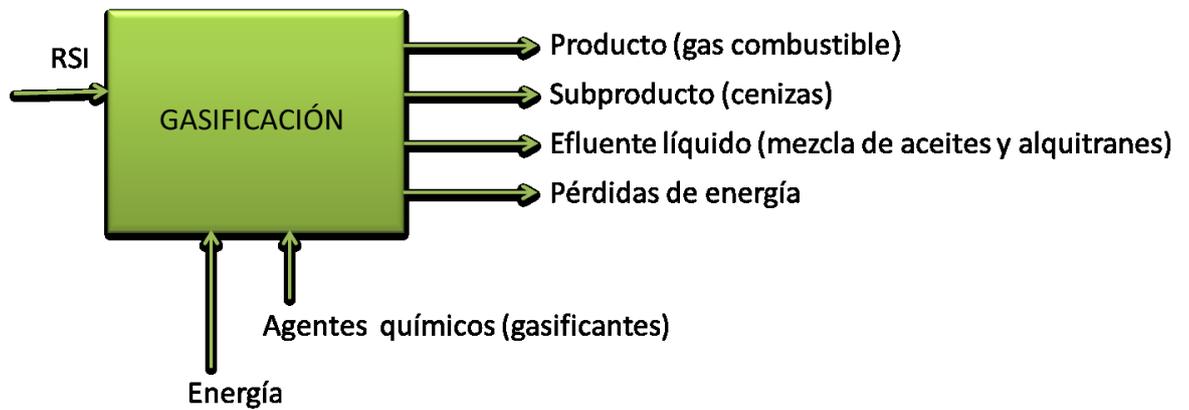
La composición del gas de salida depende principalmente de la composición del sólido gasificado, de las condiciones de operación del gasificador y especialmente de su diseño inicial. Las salidas del proceso de gasificación serían las siguientes [ELI05]:

- Gas combustible compuesto de: Monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono CO₂, hidrógeno H₂, metano CH₄, pequeñas cantidades de hidrocarburos más pesados como

etano C_2H_6 , etileno C_2H_4 , agua, nitrógeno N_2 (cuando se usa aire como agente oxidante).

- Contaminantes como pequeñas partículas carbonosas, cenizas, alquitranes y aceites

Se puede aprovechar energéticamente el gas pobre quemándolo inmediatamente en una cámara de combustión, o introduciéndolo en una turbina de gas o un motor de combustión interna [CAS05]



CARACTERÍSTICAS DEL RESIDUO DE ENTRADA AL PROCESO	
ESTADO	Sólido
NATURALEZA	ORGÁNICO
HUMEDAD (%)	10-30
GRANULOMETRÍA (mm)	0,1-50
BAJO % EN	Cenizas, HCl, Na, K, H ₂ S, NH ₃
ALTO %EN	volátiles
DENSIDAD (kg/m ³)	200-250

Figura 35: Proceso de Gasificación y características del RSI a la entrada del proceso

4.6.3.4.4 Incineración

Se define como el procesamiento de residuos en cualquier unidad técnica, equipo fijo o móvil que involucre un proceso de combustión a altas temperaturas en el que la materia orgánica es oxidada con el oxígeno del aire, generando emisiones gaseosas que contienen mayoritariamente dióxido de carbono, vapor de agua, nitrógeno y oxígeno [INC04].

Trata cualquier tipo de compuesto orgánico que tenga al menos uno de estos tres elementos susceptibles de combinarse con el oxígeno: carbono, hidrógeno y azufre, y cualquier tipo de residuo, sea sólido líquido o pastoso.

Es una tecnología demostrada y disponible comercialmente para el tratamiento de residuos peligrosos. Es considerada como la mejor alternativa disponible para la destrucción de la mayoría de los residuos orgánicos peligrosos. Alguno de los residuos industriales sólidos que se pueden tratar o someter a este proceso son [ELI05]

- Residuos de la industria agrícola, industria forestal; y ganadera:
- Fangos EDAR y residuos pastosos con alto contenido en humedad
- Neumáticos, textiles, plásticos, bidones y envases de acero
- Residuos de la trituración de automóviles (ASR), etc.

- Mezclas de residuos con PCI no definidos, residuos conflictivos con PCI bajo
- Residuos de asfaltos carbonosos, carbones sub-bituminosos de baja potencia calorífica y alto contenido en azufre/cenizas mezclado con biomasa y alquitranes
- Residuos clorados, benceno y tolueno, con compuestos halogenados y con acetona

El proceso complejo que es la incineración, debe ser cuidadosamente diseñado y operado y requiere altos costos de inversión, operación y mantenimiento, así como mano de obra cualificada.

Para que la combustión sea efectiva en un incinerador se han de tener en cuenta tres variables operativas son: la temperatura, el tiempo de residencia y la turbulencia. Estas repercutirán directamente en la eficiencia de la destrucción del sistema y en la generación de productos de combustión incompleta que formarán parte de las emisiones gaseosas del incinerador.

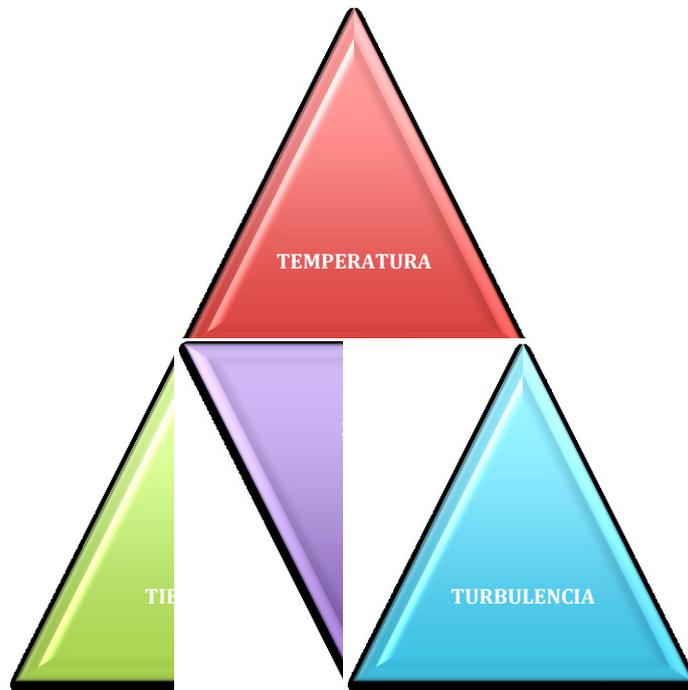


Figura 36: Triángulo de las 3T

A efectos de lograr una combustión eficiente es muy importante tener una buena disponibilidad de oxígeno, de manera que se suelen utilizar cantidades superiores a las teóricas y dependerán del tipo de combustible y del horno [DIR03].

La elección de la incineración como sistema de tratamiento de residuos dependerá de las características del residuo y de la instalación de incineración. En particular se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- En cuanto al residuo:
 - Debe ser apto para el proceso de incineración (mayoritariamente orgánico y no contenga metales que puedan volatilizarse en el proceso).
 - Con bajo contenido en cenizas y alto contenido en volátiles, ideales para este proceso junto con los residuos pequeños y con baja dureza perfectos para incinerar.

- Lo más seco posible, si es muy húmedo se debe pasar por una etapa previa de secado antes de someterlo al proceso de incineración.
- El incinerador debe estar diseñado para el tratamiento de residuos peligrosos, en particular que se cumplan los parámetros de temperatura, turbulencia y tiempo de residencia necesarios verificar si existen restricciones específicas para algunos grupos de compuestos.
- Debe de estar compuesto de un sistema de tratamiento y control de emisiones atmosféricas acorde con los residuos que procesa.

A la salida del proceso de combustión, el principal producto que se obtiene es el gas de combustión y calor que va a la caldera para generación de vapor, también se obtienen residuos como escorias que se evacúan por la parte final de la parrilla u horno rotatorio, cenizas volantes, que pueden proceder de la limpieza de la caldera (recogidas por la parte inferior de la propia caldera o cenizas volantes procedentes del filtro de mangas o electrofiltros) no combustibles, y emisiones fugitivas, como alquitranes, COVs, SO_x, NO_x y CO₂ y cantidades menores de monóxido de carbono, ácidos clorhídrico, yodhídrico y bromhídrico, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, etc. [DIR00]

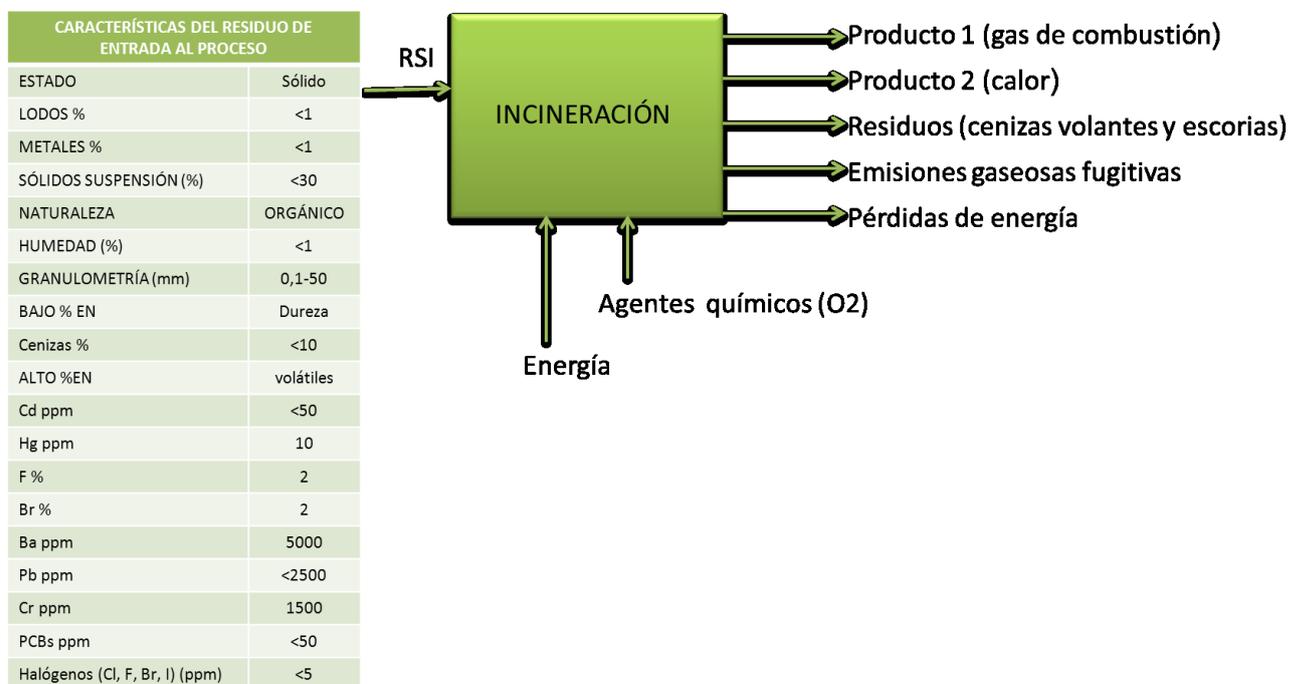


Figura 37: Proceso de Incineración y características del RSI a la entrada del proceso

Una vez definidos todos los posibles procesos o técnicas de tratamiento se pasa a definir los procesos que aparecen en el sistema de ayuda a la decisión.

4.6.3.5P.1. – RECOGIDA Y TRANSPORTE DE SÓLIDOS

Una vez generado el residuo, se establece la necesidad de un sistema de recogida y transporte para disponer de él en el lugar de posible tratamiento, utilización o recogida por el gestor externo. En el caso de residuos peligrosos es el propio generador el que tiene la responsabilidad de proporcionar la base para la subsecuente recogida, transporte, tratamiento y procedimientos de eliminación del gestor externo.

Entre los sistemas de recogida y transporte de residuos sólidos podemos destacar: tolvas de recogida, transportadores de cadena, transportadores blindados, tornillo de Arquímedes, cintas

magnéticas, transportadores de racletas (scrapers), grúas, transportadores neumáticos (utilizados para granulometrías finas), transportadores de cangilones, cintas transportadoras, bandas metálicas, cintas sándwich y el transporte tradicional.

La realización de actividades de transporte y/o gestión de residuos no peligrosos requiere la autorización de gestión de residuos no peligrosos, la inscripción en el registro de gestores de residuos no peligrosos que incluye las operaciones para facilitar la manipulación de estos residuos o a reducir su volumen, incluido el almacenamiento temporal, y la inscripción en el registro de transportistas de residuos.

Los residuos peligrosos que son transportados, requieren ser empaquetados. Los contenedores deben permanecer cerrados, de modo que el contenido no se escape cuando se someten a un manejo habitual. Además, debe detallarse por escrito un registro de los residuos, incluyendo su clasificación y cantidad, así como su origen y destino.

La recogida y los procesos de transporte de residuos peligrosos se basan en los procedimientos desarrollados para sustancias químicas puras. Esto implica una evaluación de la exactitud de la descripción de los residuos llevada a cabo por el generador de residuos y la selección de un método apropiado para transportarlos. Tanto el sellado, transporte hermético, recirculaciones, aislamiento de la instalación, y distancia a lugares de trabajo, deben de tenerse en cuenta a la hora de diseñar estos dispositivos.

Los envíos deberían ser inspeccionados para garantizar el apropiado embalaje, marcado y etiquetaje. Deben cumplir las regulaciones nacionales y, en el caso de movimientos transfronterizos, la regulación internacional correspondiente. Los residuos peligrosos también pueden ser considerados frecuentemente mercancías peligrosas, en cuyo caso existirán regulaciones y exigencias adicionales.

Puede ser necesario algún pretratamiento para facilitar el transporte, o evitar su degradación o contaminación durante el mismo. Estos pretratamientos consisten generalmente en un proceso de conminución por trituración y en algunos casos molienda, lavado y secado para evitar la dispersión de polvos si existe dicha posibilidad o una primera clasificación o separación de algún tipo.

Los recursos necesarios para llevar a cabo el transporte pueden variar en función del sistema elegido. De forma genérica se puede requerir: agua, energía, electricidad y/o agentes químicos para su realización.

4.6.3.6P.2. – RECOGIDA Y TRANSPORTE DE LODOS

Tras caracterizar la peligrosidad del residuo y su morfología en forma de lodo, se ha de disponer de este en un lugar apropiado para su tratamiento, utilización o recogida del gestor externo. A tal efecto, se utilizan sistemas de recogida y transporte entre los que podemos destacar: balsas de recogida, tolvas de recogida, bombas de impulsión de lodos, canales inclinados, transporte tradicional. Para la selección de uno u otro sistema puede existir la necesidad de conocer algunas características del residuo en cuestión.

Al igual que en el caso de los sólidos, puede ser necesario algún pretratamiento para facilitar el transporte, o evitar su degradación o contaminación durante el mismo. Estos pretratamientos consisten generalmente en un proceso de conminución por trituración y en algunos casos molienda en húmedo o una primera clasificación o separación de algún tipo, como un primer filtrado o secado parcial.

Todos estos sistemas deben implementarse teniendo en cuenta las características del residuo peligroso, asegurando en todo momento la seguridad en su manipulación y tratamiento

mediante los sistemas adecuados: sellado, transporte hermético, recirculaciones, aislamiento de la instalación, distancia a lugares de trabajo u otras consideraciones que deben tenerse en cuenta a la hora de diseñar estos dispositivos.

Los recursos necesarios para llevar a cabo el transporte pueden variar en función del sistema elegido. De forma genérica se puede requerir: agua, energía, electricidad y/o agentes químicos para su realización.

4.6.3.7P.3. – SECADO DE LODOS

Si el lodo no es valorizable, se ha de preparar para su disposición final por alguna vía. A tal efecto puede ser necesario secarlo con el fin de separar los sólidos presentes en la mezcla y disponer de ellos separadamente, siempre analizando la dimensión económica y ambiental de este proceso. Este proceso conlleva una reducción del volumen del residuo importante mediante la evaporación del agua o disolvente que contiene, lo que facilita su manipulación y posterior transporte, reduciendo considerablemente los costes de transporte y disposición.

Técnicamente se distinguen dos fases; en la primera de ellas, el agua se elimina en la superficie, conllevando una importante disminución de volumen, utilizando en este caso procesos de **deshidratación mecánica por presión**; en la segunda fase, el agua se evapora de los poros o capilares y sale a la superficie en forma de vapor utilizando procesos de **secado térmico**. Entre los sistemas utilizados se pueden citar: filtración en vacío, filtrado bajo presión, balsas de secado, lechos de evaporación, métodos de centrifugado, espesamientos y secados por calentamiento.

A la salida del secador, los lodos están higienizados. El poder de fermentación de los lodos y consecuentemente sus olores asociados se reducen drásticamente, lo que favorece la conservación del producto y evita efluentes molestos.

Si el residuo es peligroso, estas técnicas pueden requerir alguna modificación para garantizar la seguridad en el trabajo. Entre dichas medidas pueden citarse: recogida de vapores, impermeabilización, hermeticidad o distancias de seguridad a núcleos de trabajo.

Los recursos necesarios para llevar a cabo este proceso pueden variar en función del sistema elegido. De forma genérica se puede requerir: energía, electricidad y/o agentes químicos.

4.6.3.8P.4. – SECADO DE VALORIZACIÓN DE LODOS

Cuando el lodo es valorizable puede ser necesario aplicar un secado al mismo para extraer el valor del sólido. Corresponden a este punto los tratamientos de **deshidratación mecánica** como la primera etapa de secado y **secado térmico** para la segunda.

En caso del residuo peligroso, al igual que en los demás procesos, pueden ser necesarias consideraciones adicionales que aseguren el trabajo en el ámbito de la seguridad.

Para su uso como enmienda, se transforma en un producto en forma de pellets o bolas de entre 1 y 3 mm de diámetro. Al conservar el poder fertilizante de los lodos, el secado se presenta como una solución particularmente interesante para su valorización agrícola. El producto seco puede ser homologado.

En el caso de una valorización energética, la disminución de la humedad de los lodos permite alcanzar la auto-termicidad.

Los recursos necesarios para llevar a cabo este secado de valorización pueden variar en función del sistema elegido. De forma genérica se puede requerir: energía, electricidad y/o agentes químicos.

4.6.3.9P.5. – TRATAMIENTO DE LODOS

En caso de que el lodo no pueda ser dispuesto directamente y que el secado sea inviable o más costoso que otros métodos, se precisa de un tratamiento previo a la eliminación del residuo.

Como tratamientos específicos incluidos en este apartado se tienen, técnicas físicas como la **separación gravimétrica y magnética**, **deshidratación mecánica por presión**, técnicas fisicoquímicas como la **inmovilización, vitrificación in situ, biorremediación y fitorremediación** y técnicas energéticas como **secado térmico**.

Si el residuo es peligroso se deben seguir una serie de disposiciones adicionales con el objetivo de evitar riesgos durante su manipulación y tratamiento.

Los recursos necesarios para llevar a cabo este proceso pueden variar en función del sistema elegido. De forma genérica se puede requerir: agua, energía, electricidad y/o agentes químicos.

4.6.3.10 P.6. – TRATAMIENTO DE VALORIZACIÓN DE LODOS

Si el lodo es valorizable y para su extracción no se precisa de un secado, o este no es económicamente más rentable que otros sistemas, el lodo será tratado para su aprovechamiento.

Los tratamientos para obtener valor a un lodo varían según en qué fase se encuentre dicho valor y de qué tipo sea: aprovechamiento energético en forma de calor residual, recuperación parcial o total de alguna de las fases (líquido o sólido), extracción de algún componente o transformación del residuo en otra sustancia de valor.

Para el tratamiento de lodos se incluyen en este apartado técnicas físicas como la **separación gravimétrica, magnética**, fisicoquímicas como la **inmovilización**, y técnicas energéticas como, la **biometanización** y el **compostaje**.

Cualquiera de ellas puede requerir de consideraciones especiales según la peligrosidad del residuo a tratar.

4.6.3.11 P.7. - SEPARACIÓN DE SÓLIDOS

Existe la posibilidad de que en un residuo sólido mixto, exista algún elemento con valor dentro de la mezcla que deba ser separado para su aprovechamiento. Si lo que se pretende es recuperar esos elementos para obtener materias primas para procesos industriales, cuanto más pura sea la fracción recuperada, mayor aprovechamiento al incorporarlo en el proceso productivo, obteniendo por tanto mayores beneficios económicos.

En este caso se establece un proceso de separación del que se obtienen n residuos nuevos a analizar, que pueden ser a su vez individuales o mixtos.

Existen multitud de métodos de separación de muchos tipos, entre los que se pueden destacar técnicas físicas como son el **cribado, trituración, molienda, separación magnética y gravimétrica**, esto es debido a la decisión de si el tratamiento de valorización posterior, requiera una etapa previa de separación o no, es decir, si necesitamos por ejemplo una granulometría específica de entrada a un proceso, se cribará, de manera que la fracción de material válida ira a tratar, y la no válida a la decisión de valorización de sólidos, lo mismo

ocurre cuando se necesite separar el material magnético del residuo porque el proceso de tratamiento en el que se valorizará el sólido no admita, por lo que se utilizará una separación magnética.

En el caso de residuos peligrosos es necesario diseñar los sistemas de acuerdo a ciertos criterios que garanticen la seguridad en todo momento de la gestión.

Los recursos necesarios para llevar a cabo este proceso pueden variar en función del sistema elegido. De forma genérica se puede requerir: agua, energía, electricidad y/o agentes químicos.

4.6.3.12 P.8. - TRATAMIENTO DE VALORIZACIÓN DE SÓLIDOS

Se entiende como tal tratamiento aplicado a sólidos valorizables para extraer de ellos su valor, transformándolos en otras sustancias, extrayendo de ellos algún componente de interés o preparándolos para una utilización directa.

Este proceso comprende una serie de etapas a llevar a cabo entre las que se encuentran la preparación para el tratamiento y el tratamiento en sí mismo. Entre estos procesos de transformación se pueden citar: técnicas físicas como **separación magnética y gravimétrica y cribado, trituración y molienda**, técnicas fisicoquímicas como **ceramización, y vitrificación ex situ y técnicas energéticas como Incineración, pirólisis y gasificación**.

Los recursos necesarios para llevar a cabo este proceso pueden variar en función del sistema elegido. De forma genérica se puede requerir: agua, energía, electricidad y/o agentes químicos.

4.6.3.13 P.9. - INCINERACIÓN

La incineración es un proceso cuya función principal es la reducción del volumen entrante de residuos, obteniéndose como residuo final un incinerado formado por cenizas volantes y escorias, ambos sólidos.

Previamente a la incineración, debe realizarse una preparación general de los materiales consistente en la molienda de los residuos o en la adición de algún aditivo para favorecer el proceso. Además debe tenerse en cuenta la existencia de algún tratamiento específico para el residuo que se va a incinerar. A continuación ha de determinarse el sistema de alimentación, valorando la continuidad o discontinuidad de la actividad de la incineradora y, por tanto, la adición continua o discontinua de los residuos en el tiempo.

Una vez en la incineradora, se produce la combustión, obteniéndose el incinerado antes mencionado y energía, que puede ser aprovechada en la caldera. Por último, los gases formados en el proceso pasan por un separador de partículas, y una posterior neutralización de los gases ácidos, para finalmente ser emitidos al medio ambiente por las chimeneas.

Los recursos necesarios para llevar a cabo este proceso pueden variar en función del sistema elegido para la preparación del residuo a incinerar. De forma genérica se puede requerir: agua, energía, electricidad y/o agentes químicos.

4.6.3.14 P.10. - TRATAMIENTO DE SÓLIDOS

Tratamiento que transforma al sólido para permitir su eliminación del flujo en base a límites legales y medioambientales. Comprende procesos para reducir el impacto o la concentración en diversos elementos de forma que entren dentro de los límites legales para la eliminación por cualquier vía.

Se pueden citar técnicas físicas como la **separación magnética** y **gravimétrica**, el **cribado**, la **trituration y molienda**, técnicas fisicoquímicas como, **vitrificación in situ**, **biorremediación** y **fitorremediación**.

Los recursos necesarios para llevar a cabo este proceso pueden variar en función del sistema elegido. De forma genérica se puede requerir: agua, energía, electricidad y/o agentes químicos.

Debido a la gran diversidad de residuos existentes, tanto por tipo como por sector de actividad, existe una gran variedad de procesos específicos. De ahí la necesidad de desarrollar una *Ficha de proceso* como la que se adjunta en el Anexo 2, que permita disponer de los datos necesarios para llevar a cabo cada proceso y así posibilitar la decisión en cuanto a que opción de tratamiento es más rentable y ventajosa.

4.6.4 OUTPUTS

Los materiales resultantes del proceso de tratamiento se pueden considerar o bien productos (productos del tratamiento) o bien residuos (residuos de tratamiento).

Los productos del tratamiento se podrán clasificar en:

- No aprovechables. En función de su grado de peligrosidad podrán ser depositados en un vertedero o llevados a un gestor para que se encargue de ellos.
- Aprovechables.

Los residuos de tratamiento siguen el mismo proceso de diagnóstico que cualquier residuo que entre a seguir la metodología del diagrama de decisión, pasando a ser caracterizado y valorizado.

A continuación se describe en mayor detalle cada uno de estos materiales.

4.6.4.1 PRODUCTOS DEL TRATAMIENTO

4.6.4.1.1 No aprovechables

O.1. – Gestor externo de residuos radiactivos.

Aquellos residuos radiactivos de media y baja actividad generados en la acería necesitan ser enviados a un gestor externo para su disposición o reutilización. Existen una serie de obligaciones que los productores de residuos radiactivos deben cumplir antes de su envío a un gestor externo:

- Envasado y etiquetado de la sustancia radiactiva.
- Almacenamiento temporal en condiciones de seguridad.
- En algunos casos, el transporte de la sustancia hasta el lugar de tratamiento.

En España la empresa encargada de gestionar estos residuos es ENRESA, supervisada por el CSN (Consejo de Seguridad Nuclear), que los almacena en condiciones de seguridad en las instalaciones de El Cabril.

O.2. – Almacenamiento definitivo de lodos

El lodo que no pueda ser tratado para su reutilización debe ser eliminado del flujo de gestión mediante almacenamiento definitivo en primer lugar. Los residuos se disponen en instalaciones adecuadas a tal efecto, con el objeto de minimizar su contacto con el medioambiente y evitar la contaminación del mismo. Entre estos sistemas se encuentran: balsas de lodos y depósitos de lodos.

0.3. – Almacenamiento definitivo de lodos peligrosos

Si el lodo que se desea almacenar tiene la consideración legal de peligroso por alguna de sus características, debe seguir una serie de consideraciones especiales para su disposición. De tal manera, según sea su característica de peligrosidad se han de tener en cuenta diversos factores: el almacenaje a cierta temperatura, la distancia a núcleos de trabajo, evitar el contacto con llama, el almacenamiento estanco, evitar la exposición al sol u otros. El residuo también debe de ser identificado, etiquetado y envasado adecuadamente, siguiendo un registro de la producción del mismo.

0.4. – Gestor externo. Lodos peligrosos

Si el lodo que se desea eliminar es un residuo peligroso, se han de tener en cuenta una serie de obligaciones específicas de los productores de estos residuos:

- Separar adecuadamente y no mezclar los residuos peligrosos, evitando particularmente aquellas mezclas que supongan un aumento de su peligrosidad o que dificulten su gestión.
- Envasar y etiquetar los recipientes que contengan residuos peligrosos en la forma que reglamentariamente se determine.
- Llevar un registro de los residuos peligrosos producidos o importados y el destino de los mismos.
- Suministrar a las empresas autorizadas para llevar a cabo la gestión de residuos la información necesaria para su adecuado tratamiento y eliminación.

En función del contrato estipulado con los gestores, puede ser necesaria alguna disposición adicional, como transporte, almacenamiento temporal u otras antes de enviarlo al gestor.

0.5. – Gestor externo. Lodos

Aquellos lodos que no pueden ser tratados o almacenados en la propia planta, deben ser eliminados mediante la acción de un gestor externo. Los residuos han de ser identificados, etiquetados y almacenados temporalmente hasta su disposición al gestor, siempre que la recogida por este no sea continua. Según contrato puede ser necesario transportarlos hasta algún lugar concreto para su gestión.

0.7. – Almacenamiento definitivo de sólidos peligrosos

Los residuos sólidos peligrosos no valorizables son aquellos que cumplen los requisitos para ser almacenados definitivamente. Requieren identificación y almacenamiento en condiciones especiales según su peligrosidad, que garanticen la seguridad en su gestión. Puede disponerse de ellos en vertederos especiales o en almacenes con el correcto envasado y etiquetado.

0.8. – Almacenamiento definitivo de sólidos

Aquellos residuos sólidos no valorizables que cumplen los requisitos legales para su almacenamiento definitivo se disponen en vertederos u otras instalaciones acondicionadas a tal efecto, eliminándose así del flujo de gestión y pasando a los procedimientos de gestión de vertederos a desarrollar también en el proyecto.

0.9. – Gestor externo. Sólidos

Son enviados a gestor externo aquellos residuos sólidos no valorizables que no cumplen los requisitos legales para su eliminación o almacenamiento definitivo. Según el contrato con el gestor puede ser necesario proporcionar transporte, etiquetado y envasado del residuo antes de su cesión.

0.10. – Gestor externo. Sólidos peligrosos

Son enviados a gestor externo de sólidos peligrosos, aquellos residuos sólidos no valorizables que cumplen las mismas consideraciones que el resto de residuos de la misma naturaleza de peligrosidad: identificación, envasado, etiquetado y transporte pueden ser necesarios en función del contrato con el gestor. Dado el riesgo en la manipulación de estos residuos se han de tomar las medidas necesarias para su adecuada gestión.

0.11. – Emisión sólida al medio

Son susceptibles de emitirse al medio, aquellos residuos tratados o no, que por sus características actuales o pequeño volumen se encuentre dentro del marco legal y medioambiental para su deposición directa al ambiente sin perjuicio de este [LEY16/02].

Los residuos peligrosos no pueden ser emitidos ni depositados al medioambiente en ninguna cantidad, incurriendo en dicho caso en la sanción correspondiente por la autoridad competente en la materia.

4.6.4.1.2 Aprovechables

0.6. – Lodos aprovechables

Son aquellos lodos que tras recibir un tratamiento o por su configuración inicial pueden ser aprovechados para algún tipo de aplicación ya conocida o de nuevo desarrollo. Entre estas aplicaciones se encuentra el aprovechamiento energético en forma de calor, extracción de algún subproducto o componente con valor para el reciclado o la venta, o el aprovechamiento directo del lodo para mejorar la eficiencia de algún proceso. Puede ser necesaria su disposición en algún lugar concreto o su envasado y etiquetado.

0.12. – Sólido aprovechable

Son aquellos residuos sólidos cuyas propiedades intrínsecas hacen que sea un material susceptible de reutilización o reaprovechamiento, pasando a ser un subproducto, capaz de aportar beneficios tanto económicos para la empresa, como ambientales.

0.13. – Energía

El único tratamiento susceptible de generar energía es el proceso de incineración.

Si el residuo es incinerable es posible aprovechar la energía generada en el proceso mediante el uso de una caldera. Igualmente pueden existir residuos con potencial de combustión u otras fuentes energéticas.

4.6.4.20.14. – RESIDUOS DEL TRATAMIENTO

Dentro de este tipo de residuos, se incluyen aquellos residuos sólidos procedentes de procesos de incineración, valorización de sólidos o lodos y otros procedimientos, pertenecientes a la fase de tratamiento que aparece en el diagrama de selección de alternativas.

También se consideran residuos de tratamiento los agentes químicos residuales de carácter sólido que no pueden ser reciclados ni reutilizados, por lo que, todos los tratamientos serán susceptibles de generarlos. Todos estos materiales vuelven a la etapa inicial “D.2. - Caracterización y valorización”, para ser analizados.

Son las únicas salidas de los tratamientos que se tienen en cuenta, junto con los lodos y sólidos aprovechables, y la energía generada en la incineración.

Los residuos del tratamiento de carácter líquido, como pueden ser las aguas residuales o algunos agentes químicos, y las emisiones gaseosas, no son tomados en consideración en el desarrollo de esta metodología por no formar parte del alcance del presente estudio.

4.7 SISTEMA DE INDICADORES MEDIOAMBIENTALES PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS (SIMGRE)

Una vez desarrollado el sistema de indicadores medioambientales (SIM) descrito en el apartado 4.4 y el diagrama de selección de alternativas que define la propiamente dicha metodología de gestión de residuos, surge la necesidad de fusionarlos para obtener un sistema de mayor complejidad: el **Sistema de Indicadores Medioambientales para la Gestión de Residuos Sólidos (SIMGRE)**. Este sistema será el método seleccionado para hacer efectiva la evaluación de la eficiencia en la gestión de residuos sólidos, objeto de este estudio.

Fruto de esta fusión, y como análisis de los procesos a los que el residuo es sometido a lo largo del diagrama, se deben incluir un nuevo subtipo de indicadores que midan como afecta el entorno donde estarán situadas las actividades de gestión en el propio proceso, para ello se incluyen los indicadores de entorno, cuya información a la hora de su análisis aparece recogida en el Anexo 3: Ficha de Entorno.

Al estar constituido el SIMGRE por la integración del SIM en el diagrama de gestión de residuos, se define a sí mismo como una herramienta de identificación de indicadores cuantificables representativos del nivel de eficiencia en la gestión de los residuos de proceso, tanto desde el punto de vista de su generación como de su reutilización, valorización y/o eliminación.

A la hora de definir los indicadores de gestión de residuos, se toma como referencia el volumen, peso, gasto energético, etc. del residuo generado, y no a la facturación o al volumen de producto final [ANG01] [DOUE03] [GRI06] [IHOBE99] [ISO14031] [MMA01]. Estos indicadores se distribuyen en tablas organizadas según el grupo, el nombre del indicador, el código de identificación del indicador, la fórmula para su cálculo, la unidad en la que se expresa y la tendencia que cada indicador debería seguir para que la evolución del sistema sea favorable.

Cabe citar que los indicadores aquí desarrollados son ejemplos generales para cualquier sector de actividad, los cuales pueden ser seleccionados según el interés de cada empresa. Pero, no obstante, aunque sean de aplicación general, cumplen con el objetivo de servir como referencia para la evaluación de la eficiencia de las operaciones desarrolladas en la metodología de gestión de residuos sólidos.

Esto no genera ningún tipo de limitación a la hora de aplicar la metodología, ya que se no hay ningún tipo de restricción para que se puedan añadir indicadores más específicos para determinados compuestos.

Con el fin, de desarrollar los indicadores individualmente con más detalle, se ha realizado en él una ficha tipo, denominada *Ficha de indicador*, que contiene todos los datos necesarios para conseguir el adecuado seguimiento de la información de los procesos. Esta información será la herramienta de comparación para evaluar la eficiencia de los procesos estudiados [AND05b].

Debido a la cantidad de indicadores que conforman el sistema SIMGRE, se establece una codificación para cada uno de ellos que se muestra en la Tabla 10:

AMBIENTALES		AMB
Flujo de materiales y residuos		AMB_FLU
	Entradas	AMB_FLU_E
	Materiales	AMB_FLU_EM
	Energía	AMB_FLU_EE
	Agua	AMB_FLU_EA
	Salidas	AMB_FLU_S
	Residuos sólidos	AMB_FLU_SR
	Producto y energía	AMB_FLU_SP
Impacto de las actividades de la empresa		AMB_IM
	Recogida y transporte	AMB_IM_R
	Infraestructuras	AMB_IM_I
	Utilización del suelo	AMB_IM_U
Biodiversidad		AMB_BIO
	Suelo	AMB_BIO_S
	Flora y fauna	AMB_BIO_F
	Conservación natural	AMB_BIO_C
CUMPLIMIENTO NORMATIVO		CN
SOCIOECONÓMICOS		SE
Sociales		SE_SO
	Prácticas laborales	SE_SO_P
	Salud y seguridad en el trabajo	SE_SO_PS
	Formación y educación	SE_SO_PF
	Sociedad	SE_SO_S
	Comunidad	SE_SO_SC
	Política pública	SE_SO_SP
	Responsabilidad sobre productos	SE_SO_R
	Etiquetado de productos y servicios	SE_SO_RE
Económicos		SE_EC
	Comportamiento financiero	SE_EC_C
	Inversión en gestión medioambiental	SE_EC_I
CONDICIONES DE ENTORNO.....		CEN
Condiciones meteorológicas		CEN_ME
Condiciones edáficas		CEN_ED
Condiciones de habitabilidad		CEN_HA
Condiciones hídricas		CEN_HI

Tabla 10: Clave para códigos de indicadores.

En las tablas desarrolladas para constituir el SIMGRE, se sigue la siguiente estructura:

- La primera columna refleja el grupo de indicadores que se desarrolla en la tabla.
- En la columna *Indicador* aparece el nombre del indicador.
- La columna "código" contiene los códigos de identificación de cada indicador.
- La columna "fórmula" describe la fórmula, decisión, método de cálculo o explicación del indicador.
- La columna "unidad" describe las magnitudes en las que se expresa el indicador.
- Por último, la columna "tendencia" (expresada como T*) define la tendencia que cada indicador debería seguir para que la evolución del sistema sea favorable.

A continuación se procede a desarrollar el SIMGRE siguiendo el siguiente orden: indicadores ambientales en primer lugar, y a continuación, indicadores socioeconómicos.

4.7.1 AMBIENTALES

Este tipo de indicadores se refiere tanto a los flujos de entrada y salida de la gestión de residuos sólidos, como al impacto que a su vez tienen las operaciones de tratamiento de estos residuos en las actividades medioambientales de la empresa.

4.7.1.1 FLUJO DE MATERIALES Y RESIDUOS

Al igual que en el SIM también en este caso se clasifican en dos tipos de flujos, los de entrada y los de salida, como vemos a continuación.

4.7.1.1.1 Entrada

Hay que destacar que las entradas en forma de material a las que se refiere la tabla son los residuos y las materias descritas como inputs del diagrama de selección.

Estas entradas se clasifican en tres grupos: materiales, energía y agua, prescindiendo de los productos y servicios de apoyo del SIM, para el caso de la gestión de residuos.

Los indicadores para los residuos vienen referidos de forma general debido a la imposibilidad de especificar para todas las categorías de residuos pertinentes a este estudio, si bien serán perfectamente aplicables a los residuos de cualquier sector de actividad.

El resto de indicadores (agua, energía, etc.) surgen de la asociación de los inputs al resto de columnas del diagrama.

Tabla 11: Indicadores de entrada del SIMGRE

Entradas	Indicador	CÓDIGO	Fórmula/Explicación	
Residuos	Proporción de residuos peligrosos generados respecto a la producción anual en una determinada instalación	AMB_FLU_EM001	_____	
	Proporción de residuos no peligrosos generados respecto a la producción anual en una determinada instalación	AMB_FLU_EM002	_____	
	Proporción de residuos peligrosos generados respecto a la cantidad total de residuos generados	AMB_FLU_EM003	_____	
	Proporción de residuos no peligrosos generados respecto a la cantidad total de residuos generados	AMB_FLU_EM004	_____	
	Proporción de residuos peligrosos generados desglosado por tipos respecto a la producción total de residuos peligrosos	AMB_FLU_EM005	_____	
	Proporción de residuos no peligrosos generados desglosado por tipos respecto a la producción total de residuos no peligrosos	AMB_FLU_EM006	_____	
	Proporción de residuos radiactivos generados respecto a la producción anual de una determinada instalación	AMB_FLU_EM007	_____	
	Proporción de residuos radiactivos generados respecto a la cantidad total de residuos generados	AMB_FLU_EM008	_____	
	Consumo total de agentes químicos desglosado por tipos	AMB_FLU_EM009	Absoluto	
	Consumo de agentes químicos desglosado por tipos respecto a la cantidad de residuo de entrada tratado y por tratamiento	AMB_FLU_EM010	_____	
Materiales	Agentes químicos	AMB_FLU_EM011	_____	
		AMB_FLU_EM012	_____	
		AMB_FLU_EM013	_____	
		AMB_FLU_EM014	_____	
		AMB_FLU_EM015	_____	
		AMB_FLU_EM016	_____	
		AMB_FLU_EM017	_____	
		AMB_FLU_EM018	_____	
		AMB_FLU_EM019	_____	
		AMB_FLU_EM020	_____	
		AMB_FLU_EM021	_____	
		AMB_FLU_EM022	_____	
		AMB_FLU_EM023	_____	
		Consumo específico de agentes químicos	AMB_FLU_EM024	_____
		AMB_FLU_EM025	_____	
		AMB_FLU_EM026	_____	
		AMB_FLU_EM027	_____	

Entradas	Indicador	CÓDIGO	Fórmula/Explicación
		AMB_FLU_EM037	_____
		AMB_FLU_EM038	_____
		AMB_FLU_EM039	_____
		AMB_FLU_EM040	_____
		AMB_FLU_EM041	_____
		AMB_FLU_EM042	_____
		AMB_FLU_EM043	_____
		AMB_FLU_EM044	_____
		AMB_FLU_EM045	_____
		AMB_FLU_EM046	_____
		AMB_FLU_EM047	_____
		AMB_FLU_EM048	_____
		Tasa de reciclaje de los agentes químicos desglosada por tipos	AMB_FLU_EM049

* Tendencia que dicho indicador debería seguir para que la evolución de dicho sistema sea favorable (D: disminuir/A: aumentar)

Entradas	Indicador	CÓDIGO	Fórmula/Explicación
		AMB_FLU_EE003	
		AMB_FLU_EE004	
		AMB_FLU_EE005	
		AMB_FLU_EE006	
		AMB_FLU_EE007	
		AMB_FLU_EE008	
		AMB_FLU_EE009	
		AMB_FLU_EE010	
		AMB_FLU_EE011	
		AMB_FLU_EE012	
		AMB_FLU_EE013	
		AMB_FLU_EE014	
		AMB_FLU_EE015	
		AMB_FLU_EE016	
		AMB_FLU_EE017	
		AMB_FLU_EE018	
		AMB_FLU_EE019	
		AMB_FLU_EE020	
		AMB_FLU_EE021	
		AMB_FLU_EE022	
		AMB_FLU_EE023	
		AMB_FLU_EE024	
		AMB_FLU_EE025	
		AMB_FLU_EE026	
		AMB_FLU_EE027	
		AMB_FLU_EE028	
		AMB_FLU_EE029	
		AMB_FLU_EE030	
		AMB_FLU_EE031	
		AMB_FLU_EE032	

Entradas	Indicador	CÓDIGO	Fórmula/Explicación
		AMB_FLU_EE045	
		AMB_FLU_EE046	
		AMB_FLU_EE047	
		AMB_FLU_EE048	
		AMB_FLU_EE049	
		AMB_FLU_EE050	
		AMB_FLU_EE051	
		AMB_FLU_EE052	
		AMB_FLU_EE053	
		AMB_FLU_EE054	
		AMB_FLU_EE055	
		AMB_FLU_EE056	
		AMB_FLU_EE057	
		AMB_FLU_EE058	
		AMB_FLU_EE059	
		AMB_FLU_EE060	
		AMB_FLU_EE061	
		AMB_FLU_EE062	
		AMB_FLU_EE063	
		AMB_FLU_EE064	
		AMB_FLU_EE065	
		AMB_FLU_EE066	
		AMB_FLU_EE067	
		AMB_FLU_EE068	
		AMB_FLU_EE069	
		AMB_FLU_EE070	
		AMB_FLU_EE071	
		AMB_FLU_EE072	
		AMB_FLU_EE073	
		AMB_FLU_EE074	

Entradas	Indicador	CÓDIGO	Fórmula/Explicación
Agua	Consumo total de agua	AMB_FLU_EA001	<i>absoluto</i>
	Consumo específico de agua	AMB_FLU_EA002	_____
		AMB_FLU_EA003	_____
		AMB_FLU_EA004	_____
		AMB_FLU_EA005	_____
		AMB_FLU_EA006	_____
		AMB_FLU_EA007	_____
		AMB_FLU_EA008	_____
		AMB_FLU_EA009	_____
		AMB_FLU_EA010	_____
		AMB_FLU_EA011	_____
		AMB_FLU_EA012	_____
		AMB_FLU_EA013	_____
		AMB_FLU_EA014	_____
		AMB_FLU_EA015	_____
		AMB_FLU_EA016	_____
		AMB_FLU_EA017	_____
		AMB_FLU_EA018	_____
		AMB_FLU_EA019	_____
		AMB_FLU_EA020	_____
		AMB_FLU_EA021	_____
		AMB_FLU_EA022	_____
		AMB_FLU_EA023	_____
		AMB_FLU_EA024	_____
		AMB_FLU_EA025	_____
		Intensidad de agua	AMB_FLU_EA026

4.7.1.1.2 Salida

De los flujos de salida contemplados en el Sistema de Indicadores Medioambientales SIM, resulta pertinente al alcance del presente estudio, el desarrollo del flujo de *Residuos sólidos, Emisiones, y Productos y energía* prescindiendo de los productos y servicios de apoyo del SIM, para el establecimiento de indicadores de gestión de residuos.

Debido a que el ámbito de esta metodología engloba solo el tratamiento y gestión de los residuos sólidos industriales, incluidos los lodos, no se reflejará un análisis exhaustivo de los indicadores correspondientes a las emisiones gaseosas, no considerando relevante desarrollar indicadores para cada tipo de componentes gaseoso, de la misma manera ocurre con los efluentes líquidos y el material particulado, incluyendo solo para estos indicadores generales.

En cuanto a la medida del nivel de toxicidad de los efluentes líquidos, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA) mide de forma directa la toxicidad del efluente en función de su composición mediante el índice de toxicidad total o integrada del efluente *Whole Effluent Toxicity WET* [EPA02]

Para la evaluación de este índice la EPA proporciona un análisis normalizado del WET, denominado *TIE* por sus siglas en inglés *Toxicity identification evaluation*, que facilita un método para conocer la toxicidad de los efluentes, el TIE también es conocido como “prueba de bioensayo”. [EPA12] [MAR12] [EPA04]

Estos ensayos se realizan en muestras de agua, en las que se mide su toxicidad, se analiza el efecto biológico (por ejemplo, el crecimiento, la supervivencia y reproducción) de efluentes o aguas receptoras en los organismos acuáticos. Se ensayan con grupos de organismos de una especie en particular y se llevan a cabo en cámaras de prueba, exponiéndose a diferentes concentraciones en una muestra acuosa (por ejemplo, combinado efluente o efluentes con agua receptora). Las observaciones se realizan en períodos de exposición determinados. Las respuestas de los organismos de prueba se utilizan para estimar los efectos de un efluente en las aguas receptoras). [EPA04]

Para cuantificar las emisiones gaseosas producidas por un determinado proceso en una instalación industrial, no existe ningún indicador global específico que mida la peligrosidad del gas, contabilizándose simplemente como emisiones de gases de efecto invernadero (NO_x , SO_2 , CO_2 , CH_4 , O_3 , Clorofluorocarbonos, etc). En la bibliografía actual consultada aparecen indicadores que cuantifican la producción de un determinado compuesto contaminante generado anualmente en un proceso o en una instalación, como por ejemplo toneladas de CO_2 equivalente generadas anualmente en una instalación, etc.

Estos gases se califican en función del inventario europeo de emisiones y fuentes responsables (EPER), implementado mediante la Decisión 2000/479/CE [EPER00]

Dentro de éste apartado de salidas, se tienen en cuenta para la definición de los indicadores, los outputs considerados en la metodología (productos de tratamiento (aprovechables y no aprovechables) y residuos de tratamiento), las relaciones entre ellos mismos y las asociaciones con los flujos de entrada y los tratamientos.

Tabla 12: Indicadores de salida del SIMGRE

Salidas		Indicador	CÓDIGO	Fórmula	
Residuos sólidos	Productos del tratamiento	Aprovechables	Proporción total de lodos aprovechables	AMB_FLU_SR001	_____
			Proporción de lodos aprovechables respecto a cada residuo específico de entrada**	AMB_FLU_SR002	_____
			Cantidad de lodos aprovechables respecto al consumo de agua	AMB_FLU_SR003	_____
			Cantidad de lodos aprovechables respecto al consumo de energía	AMB_FLU_SR004	_____
			Cantidad de lodos aprovechables respecto al consumo de electricidad	AMB_FLU_SR005	_____
			Proporción de lodos aprovechables respecto al consumo de agente químico	AMB_FLU_SR006	_____
			Tasa de aprovechamiento de los lodos resultantes del tratamiento de los residuos de entrada	AMB_FLU_SR007	_____
				AMB_FLU_SR008	_____
				AMB_FLU_SR009	_____
				AMB_FLU_SR010	_____
				AMB_FLU_SR011	_____
				AMB_FLU_SR012	_____
		No aprovechables	Proporción total de sólidos aprovechables	AMB_FLU_SR013	_____
			Proporción de sólidos aprovechables respecto a cada residuo específico de entrada**	AMB_FLU_SR014	_____
			Cantidad de sólidos aprovechables respecto al consumo de agua	AMB_FLU_SR015	_____
			Cantidad de sólidos aprovechables respecto al consumo de energía	AMB_FLU_SR016	_____
			Cantidad de sólidos aprovechables respecto al consumo de electricidad	AMB_FLU_SR017	_____
			Proporción de sólidos aprovechables respecto al consumo de agente químico	AMB_FLU_SR018	_____
			Tasa de aprovechamiento de los sólidos resultantes del tratamiento de los residuos de entrada	AMB_FLU_SR019	_____
				AMB_FLU_SR020	_____
				AMB_FLU_SR021	_____
				AMB_FLU_SR022	_____
				AMB_FLU_SR023	_____
				AMB_FLU_SR024	_____
	Residuos de gestión	Proporción total de lodos no aprovechables	AMB_FLU_SR025	_____	
		Proporción de lodos de gestor externo de residuos radiactivos respecto a cada residuo específico de entrada	AMB_FLU_SR026	_____	
		Proporción de lodos de almacenamiento definitivo	AMB_FLU_SR027	_____	

Salidas		Indicador	CÓDIGO	Fórmula
		Cantidad de lodos destinados a emisión sólida al medio respecto al consumo de agua	AMB_FLU_SR037	_____
		Cantidad total de lodos no aprovechables respecto al consumo de energía	AMB_FLU_SR038	_____
		Cantidad de lodos de almacenamiento definitivo respecto al consumo de energía	AMB_FLU_SR039	_____
		Cantidad de lodos peligrosos de almacenamiento definitivo respecto al consumo de energía	AMB_FLU_SR040	_____
		Cantidad de lodos llevados a gestor externo respecto al consumo de energía	AMB_FLU_SR041	_____
		Cantidad de lodos peligrosos llevados a gestor externo respecto al consumo de energía	AMB_FLU_SR042	_____
		Cantidad de lodos destinados a emisión sólida al medio respecto a energía	AMB_FLU_SR043	_____
		Cantidad total de lodos no aprovechables respecto al consumo de electricidad	AMB_FLU_SR044	_____
		Cantidad de lodos de almacenamiento definitivo respecto al consumo de electricidad	AMB_FLU_SR045	_____
		Cantidad de lodos peligrosos de almacenamiento definitivo respecto al consumo de electricidad	AMB_FLU_SR046	_____
		Cantidad de lodos llevados a gestor externo respecto al consumo de electricidad	AMB_FLU_SR047	_____
		Cantidad de lodos peligrosos llevados a gestor externo respecto al consumo de electricidad	AMB_FLU_SR048	_____
		Cantidad de lodos destinados a emisión sólida al medio respecto al consumo de electricidad	AMB_FLU_SR049	_____
		Proporción total de lodos no aprovechables respecto al consumo de agente químico	AMB_FLU_SR050	_____
		Proporción de lodos de almacenamiento definitivo respecto al consumo de agente químico	AMB_FLU_SR051	_____
		Proporción de lodos peligrosos de almacenamiento definitivo respecto al consumo de agente químico	AMB_FLU_SR052	_____
		Proporción de lodos llevados a gestor externo respecto al consumo de agente químico	AMB_FLU_SR053	_____
		Proporción de lodos peligrosos llevados a gestor externo respecto al consumo de agente químico	AMB_FLU_SR054	_____
		Proporción de lodos destinados a emisión sólida al medio respecto al consumo de agente químico	AMB_FLU_SR055	_____
		Proporción total de sólidos no aprovechables	AMB_FLU_SR056	_____
		Proporción de sólidos de gestor externo de residuos radiactivos respecto a cada residuo específico de entrada	AMB_FLU_SR057	_____
		Proporción de sólidos de almacenamiento definitivo respecto a cada residuo específico de entrada**	AMB_FLU_SR058	_____
		Proporción de sólidos peligrosos de almacenamiento definitivo respecto a cada residuo específico de entrada**	AMB_FLU_SR059	_____
		Proporción de sólidos llevados a gestor externo respecto a cada residuo específico de entrada**	AMB_FLU_SR060	_____
		Proporción de sólidos peligrosos llevados a gestor externo respecto a cada residuo específico de entrada**	AMB_FLU_SR061	_____
		Proporción de sólidos destinados a emisión sólida al medio respecto a cada residuo específico de entrada**	AMB_FLU_SR062	_____
		Cantidad total de sólidos no aprovechables respecto al	AMB_FLU_SR063	_____

Salidas		Indicador	CÓDIGO	Fórmula		
		Cantidad de sólidos peligrosos llevados a gestor externo respecto al consumo de energía	AMB_FLU_SR073	_____		
		Cantidad de sólidos destinados a emisión sólida al medio respecto al consumo de energía	AMB_FLU_SR074	_____		
		Cantidad total de sólidos no aprovechables respecto al consumo de electricidad	AMB_FLU_SR075	_____		
		Cantidad de sólidos de almacenamiento definitivo respecto al consumo de electricidad	AMB_FLU_SR076	_____		
		Cantidad de sólidos peligrosos de almacenamiento definitivo respecto al consumo de electricidad	AMB_FLU_SR077	_____		
		Cantidad de sólidos llevados a gestor externo respecto al consumo de electricidad	AMB_FLU_SR078	_____		
		Cantidad de sólidos peligrosos llevados a gestor externo respecto al consumo de electricidad	AMB_FLU_SR079	_____		
		Cantidad de sólidos destinados a emisión sólida al medio respecto al consumo de electricidad	AMB_FLU_SR080	_____		
		Proporción total de sólidos no aprovechables respecto al consumo de agente químico	AMB_FLU_SR081	_____		
		Proporción de sólidos de almacenamiento definitivo respecto al consumo de agente químico	AMB_FLU_SR082	_____		
		Proporción de sólidos peligrosos de almacenamiento definitivo respecto al consumo de agente químico	AMB_FLU_SR083	_____		
		Proporción de sólidos llevados a gestor externo respecto al consumo de agente químico	AMB_FLU_SR084	_____		
		Proporción de sólidos peligrosos llevados a gestor externo respecto al consumo de agente químico	AMB_FLU_SR085	_____		
		Proporción de sólidos destinados a emisión sólida al medio respecto al consumo de agente químico	AMB_FLU_SR086	_____		
		Residuos del tratamiento		Proporción total de residuo de tratamiento para ser caracterizado y valorizado	AMB_FLU_SR087	_____
				Proporción de residuo de tratamiento para ser caracterizado y valorizado respecto a cada residuo específico de entrada**	AMB_FLU_SR088	_____
Cantidad de residuo de los tratamientos respecto al consumo de agua	AMB_FLU_SR089			_____		
Cantidad de residuo de los tratamientos respecto al consumo de energía	AMB_FLU_SR090			_____		
Cantidad de residuo de los tratamientos respecto al consumo de electricidad	AMB_FLU_SR091			_____		
Proporción de residuo de los tratamientos respecto al consumo de agente químico	AMB_FLU_SR092			_____		
Proporción de residuo de los tratamientos respecto a la cantidad total de lodos aprovechables	AMB_FLU_SR093			_____		
Proporción de residuo de los tratamientos respecto a la cantidad total de lodos no aprovechables	AMB_FLU_SR094			_____		
Proporción de residuo de los tratamientos respecto a la cantidad de lodos para almacenamiento definitivo	AMB_FLU_SR095			_____		
Proporción de residuo de los tratamientos respecto a la cantidad de lodos peligrosos para almacenamiento definitivo	AMB_FLU_SR096			_____		
Proporción de residuo de los tratamientos respecto a la cantidad de lodos llevados a gestor externo	AMB_FLU_SR097			_____		
Proporción de residuo de los tratamientos respecto a la cantidad de lodos peligrosos llevados a gestor ext.	AMB_FLU_SR098			_____		
Proporción de residuo de los tratamientos respecto a la cantidad de lodos destinados a emisión sólida al medio	AMB_FLU_SR099			_____		
Proporción de residuo de los tratamientos respecto a la cantidad total de sólidos aprovechables	AMB_FLU_SR100			_____		
Proporción de residuo de los tratamientos respecto a la	AMB_FLU_SR101			_____		

Salidas	Indicador		CÓDIGO	Fórmula	
		Proporción de un determinado compuesto contaminante emitido en el gas de salida respecto a la cantidad total de residuos de entrada a tratamiento	AMB_FLU_SR111	_____	
		Contenido de partículas en suspensión en el gas	AMB_FLU_SR112	_____	
	Tratamiento	Rendimiento de los procesos	Rendimiento del proceso de secado de lodos	AMB_FLU_SR113	_____
			Rendimiento del proceso de secado de valorización de lodos	AMB_FLU_SR114	_____
			Rendimiento del tratamiento de lodos	AMB_FLU_SR115	_____
			Rendimiento del tratamiento de valorización de lodos	AMB_FLU_SR116	_____
			Rendimiento del proceso de separación de sólidos	AMB_FLU_SR117	_____
			Rendimiento del tratamiento de valorización de sólidos	AMB_FLU_SR118	_____
			Rendimiento del proceso de incineración	AMB_FLU_SR119	_____
			Rendimiento del tratamiento de sólidos	AMB_FLU_SR120	_____
	Técnica empleada	Este tipo de indicadores son específicos de la técnica empleada para los diferentes procesos, tantos y tan var cuenta los requisitos de entrada de los residuos para cada técnica, el rendimiento de la misma y la generación. <i>A completar con la recopilación de datos de las fichas de procesos descritas en el Anexo 2.</i>			
Producto y Energía	Producto aprovechable	Energía	Producción de energía en la incineración respecto a la cantidad total de residuos de entrada	AMB_FLU_SP001	_____
			Producción de energía en la incineración respecto a la cantidad de cada residuo específico de entrada**	AMB_FLU_SP002	_____
			Producción de energía en la incineración respecto a la cantidad de sólidos incinerados	AMB_FLU_SP003	_____
			Ahorro energético	AMB_FLU_SP004	_____
			Producción de energía en la incineración respecto a la cantidad de electricidad consumida	AMB_FLU_SP005	_____
			Producción de energía en la incineración respecto a la cantidad de agua consumida	AMB_FLU_SP006	_____
			Producción de energía en la incineración respecto a la cantidad de agente químico consumido	AMB_FLU_SP007	_____

* Tendencia que dicho indicador debería seguir para que la evolución de dicho sistema sea favorable (D: disminuir/A: aumentar)

**Cada residuo específico de entrada aparece vinculado a los indicadores de entradas AMB_FLU_EM001-008.

4.7.1.2 IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS

Al igual que se veía para el caso del SIM, los indicadores pertenecientes a este grupo están relacionados con las labores de transporte, infraestructura de procesos y equipos, y el impacto medioambiental derivado de la ocupación del espacio por la planta de gestión de residuos en este caso.

En este caso se presentan los ejemplos de indicadores más interesantes de acuerdo a la gestión de residuos.

4.7.1.2.1 Recogida y transporte

Engloba aquellos indicadores destinados a medir o cuantificar el volumen de residuos transportados a la planta de gestión, entre instalaciones de la planta, y de ésta al vertedero donde tiene lugar el almacenamiento definitivo.

También incluye los consumos de los medios de transporte (tren, carretera, etc.) y las distancias recorridas.

4.7.1.2.2 Infraestructura

Están formadas por equipos y procesos de tratamiento de los residuos cuyas actividades también causan un impacto medioambiental.

4.7.1.2.3 Utilización del suelo

Se refieren a la superficie ocupada por las infraestructuras de equipos e instalaciones en relación a gestión de residuos.

Tabla 13: Indicadores de recogida y transporte del SIMGRE

	Indicador	CÓDIGO	Fórmula/Explicación	Unidad	T*
Recogida y transporte	Volumen de transporte	AMB_IM_R001	Absoluto en t ó t-km	T(o t-km)**	D
	Volumen total de transporte de residuos (peligrosos /no peligrosos)	AMB_IM_R002	Absoluto	m ³	D
	Volumen total de transporte de residuos radiactivos	AMB_IM_R003	Absoluto	m ³	D
	Proporción de cada medio de transporte de residuos (peligrosos /no peligrosos)	AMB_IM_R004	_____	%	D
	Intensidad de transporte de residuos (peligrosos /no peligrosos)	AMB_IM_R005	_____	%	D
	Tasa de utilización de la capacidad	AMB_IM_R006	_____	%	D
	Proporción de cada medio de transporte de mercancías peligrosas	AMB_IM_R007	_____	%	D
	Consumo total en combustible de cada medio de transporte	AMB_IM_R008	Absoluto	t	D
	Consumo específico de combustible de cada medio de transporte	AMB_IM_R009	_____	m ³ /km	D
	Transporte de residuos (peligrosos /no peligrosos) diario/anual	AMB_IM_R010	_____	—	D
		AMB_IM_R011	_____	—	D
	Eficiencia del transporte	AMB_IM_R012	_____	t/m ³	D

* Tendencia que dicho indicador debería seguir para que la evolución de dicho sistema sea favorable (D: disminuir/A: aumentar)
 ** t-km: toneladas kilometraje

Tabla 14: Indicadores de infraestructura del SIMGRE.

	Indicador	CÓDIGO	Fórmula/Explicación	Unidad	T*
Infraestructura	Proporción de máquinas eficientes en cuanto al medioambiente	AMB_IM_I001	_____	%	A
	Equipo aprobado en cuanto a medioambiente y seguridad	AMB_IM_I002	_____	%	A
	Proporción de equipos con etiquetas ecológicas al año	AMB_IM_I003	_____	%	A
	Proporción de zona cerrada	AMB_IM_I004	_____	%	D
	Proporción de zona verde	AMB_IM_I005	_____	%	A
	Consumo de equipos y procesos (agua, energía, combustible, etc.)	AMB_IM_I006	Los indicadores de consumo de los equipos utilizados dentro de la infraestructura pasan a depender de la recopilación de datos de las fichas de procesos distribuidas a los socios		-
* Tendencia que dicho indicador debería seguir para que la evolución de dicho sistema sea favorable (D: disminuir/A: aumentar)					

Tabla 15: Indicadores de utilización del suelo del SIMGRE.

	Indicador	CÓDIGO	Fórmula/Explicación	Unidad	T*
Utilización del suelo	Km ² de zona verde ocupada por las instalaciones de la planta	AMB_IM_U001	Absoluto	Km ² /año	D
	m ² de área pavimentada perteneciente a las instalaciones de la planta	AMB_IM_U002	Absoluto	m ² /año	D
	m ² de área ocupada por máquinas y equipos perteneciente a las instalaciones de la planta	AMB_IM_U003	Absoluto	m ² /año	D
* Tendencia que dicho indicador debería seguir para que la evolución de dicho sistema sea favorable (D: disminuir/A: aumentar)					

4.7.1.3 BIODIVERSIDAD

Evalúan el impacto de la planta de gestión de residuos, sobre los hábitats naturales que la rodean, tales como suelo, flora y fauna y conservación natural.

4.7.1.3.1 Suelo

Refleja la situación del suelo ocupado por la planta de gestión de residuos, desde el punto de vista del grado de contaminación causado por las actividades que tienen lugar en la misma

4.7.1.3.2 Flora y fauna

Expresa el número de especies afectadas por la contaminación generada por las actividades de la planta, en cuanto a emisiones y vertidos.

4.7.1.3.3 Conservación natural

Al igual que en flora y fauna, en este caso se refiere al número de monumentos naturales o patrimonio cultural afectado por los procesos o actividades pertenecientes a la gestión de residuos.

Tabla 16: Indicadores de suelo del SIMGRE.

	Indicador	CÓDIGO	Fórmula/Explicación	Unidad	T*
Suelo	Superficie contaminada por la planta	AMB_BIO_S001	_____	m ² /año	D
	Proporción de suelo contaminado por la planta	AMB_BIO_S002	_____	%	D
	Superficie anual revegetada	AMB_BIO_S003	_____	m ² /año	A
	Proporción de superficie revegetada	AMB_BIO_S004	_____	%	A
	Proporción de superficie compactada	AMB_BIO_S005	_____	%	A
* Tendencia que dicho indicador debería seguir para que la evolución de dicho sistema sea favorable (D: disminuir/A: aumentar)					

Tabla 17: Indicadores de flora y fauna de residuos del SIMGRE.

	Indicador	CÓDIGO	Fórmula/Explicación	Unidad	T*
Flora y fauna	Proporción de especies afectadas	AMB_BIO_F001	_____	%	D
	Proporción de especies protegidas desglosado por el tipo de protección	AMB_BIO_F002	_____	%	A
	Proporción anual de hábitats naturales o áreas protegidas	AMB_BIO_F003	_____	%/año	A
	Proporción de explotaciones identificadas como necesitadas de planes de gestión de la biodiversidad	AMB_BIO_F004	_____	%	A
	Proporción de explotaciones con planes de gestión de la biodiversidad implantados	AMB_BIO_F005	_____	%	A
* Tendencia que dicho indicador debería seguir para que la evolución de dicho sistema sea favorable (D: disminuir/A: aumentar)					

Tabla 18: Indicadores de conservación natural del SIMGRE

Conservación natural	Indicador	CÓDIGO	Fórmula/Explicación	Unidad	T*
	Proporción de patrimonio natural afectado	AMB_BIO_P001	_____	%	D
	Monumentos históricos afectados por la contaminación de la planta	AMB_BIO_P002	_____	Nº/km ²	D

* Tendencia que dicho indicador debería seguir para que la evolución de dicho sistema sea favorable (D: disminuir/A: aumentar)

4.7.2 CUMPLIMIENTO NORMATIVO

Son los indicadores que reflejan el cumplimiento de las disposiciones legales para cuestiones medioambientales y concretamente para la gestión de residuos.

En primer lugar, se tienen en cuenta los indicadores de decisión de la metodología, basados en la legislación vigente referente a la caracterización, tratamiento, gestión y manipulación de los residuos.

En segundo término, se exponen ejemplos de indicadores referidos al cumplimiento de la legislación vigente desde el punto de vista de las sanciones y multas recibidas, como indicadores de tendencias que han de desaparecer.

Por último, se relacionan algunos ejemplos de indicadores de implantación de los sistemas de gestión ambiental, que son interesantes desde el punto de vista de la normalización del sistema de indicadores medioambientales, para la gestión de residuos al formar parte de un sistema de gestión certificado.

En la Tabla 19 se refleja el desarrollo de los indicadores citados

Tabla 19: Indicadores de cumplimiento normativo del SIMGRE

Cumplimiento normativo	Indicador	CÓDIGO	Fórmula/Explicación	Unidad	T*	
Disposiciones legales para la metodología	Radioactividad	CN001	Existencia en el residuo de contenido o contaminación por radionucleidos en niveles de actividad superiores a los establecidos.	Si/No	D	
	Peligrosidad	CN001	PNIR (2007-2015)	Lista europea de residuos transpuesta a normativa nacional por la ley MAM/304/2002	Si/No	D
				Residuos con normativas específicas para su gestión, del desarrollo de Planes y Programas Nacionales		
				Características de peligrosidad descritas en el RD952/1997 y en el RD 363/1995		
			Anexo VI del RD363/1995 y modificaciones	Propiedades físico-químicas		
			Propiedades toxicológicas			
		Efectos carcinógenos y mutagénicos				
		Efectos sobre el medioambiente				
	Legal/medioambientalmente desechable	CN002	Los valores de sus contaminantes se encuentran por debajo de los valores límites establecidos por las CCAA o según la ley 16/2002. Los valores de emisión a atmósfera y aguas residuales de la instalación de incineración, no superan los establecidos en el RD 653/2003	Si/No	-	
	Incinerabilidad	CN003	Puede ser utilizado como combustible para combustión autógena y sus niveles de emisión están dentro del marco establecido por RD 653/2003	Si/No	-	
Cumplimiento de las disposiciones legales	Número de sanciones monetarias por incumplimiento de la normativa legal	CN004	_____	_____	D	
	Número de sanciones no monetarias por incumplimiento de la normativa legal	CN005	_____	_____	D	
	Número de accidentes ambientales declarados	CN006	_____	_____	D	
	Número de reclamaciones por contaminación acústica	CN007	_____	_____	D	
	Número de reclamaciones por contaminación por olor	CN008	_____	_____	D	

Cumplimiento normativo	Indicador	CÓDIGO	Fórmula/Explicación	Unidad	T*
	Número de excesos temporales de los valores límite	CN009	_____	_____	D
Implantación del Sistema de Gestión Ambiental	Centros de trabajo con un sistema de indicadores medioambientales	CN010	Número de centros de trabajo con un sistema de indicadores medioambientales	número	A
	Centros de trabajo con programas medioambientales	CN011	Número de centros de trabajo con programas medioambientales	número	A
	Centros de trabajo con un sistema de gestión ambiental conforme al Reglamento EMAS o ISO 14001	CN012	Número de centros de trabajo con un sistema de gestión ambiental conforme al Reglamento EMAS o ISO 14001	número	A
	Auditorías medioambientales llevadas a cabo	CN013	Nº auditorías ambientales	número	-
	Desviaciones descubiertas en auditorías medioambientales	CN014	Nº desviaciones descubiertas en auditoría	número	D
	Medidas correctoras llevadas a cabo	CN015	Nº medidas correctoras llevadas a cabo	número	A
	Propuestas de mejora para cuestiones medioambientales	CN016	_____	_____	A
	Proporción de propuestas de mejora medioambientales llevadas a cabo	CN017	_____	%	A
	Grado de consecución general de los objetivos y metas medioambientales	CN018	_____	_____	A
		CN019	_____	%	A

* Tendencia que dicho indicador debería seguir para que la evolución de dicho sistema sea favorable (D: disminuir/A: aumentar)

4.7.3 SOCIOECONÓMICOS

El objetivo de estos indicadores es el estudio de las relaciones entre los factores ambientales y los factores socioeconómicos en lo referente a la gestión de residuos.

4.7.3.1 SOCIALES

Representan la relación o el impacto de la gestión de residuos en los sistemas sociales en los que opera, desde el punto de vista de las prácticas laborales asociadas, el papel que tiene en la sociedad y la responsabilidad que adoptan sobre esa gestión.

4.7.3.1.1 *Prácticas laborales*

Salud y seguridad en el trabajo

Son indicadores relacionados con la seguridad y salud de los trabajadores que manipulan residuos o trabajan en instalaciones donde se almacenan o manipulan los mismos. Tienen en cuenta los accidentes y enfermedades de los trabajadores derivados de esta situación y la calidad del ambiente de trabajo en cuanto a calidad del aire, agua y ruido. Algunos ejemplos generales aparecen en la Tabla 20.

Formación y educación

Comprende los indicadores que reflejan el esfuerzo dedicado a la formación y capacitación en materia medioambiental y especialmente en gestión de residuos. También incluye aquellos que cuantifican las consultas a los empleados y las sugerencias de los mismos en estas materias. En la Tabla 20 se reflejan algunos ejemplos.

4.7.3.1.2 *Sociedad*

Indican cómo se gestionan los riesgos y oportunidades ambientales de la gestión de residuos mediante la interacción de la empresa con las instituciones sociales.

Comunidad

Se refieren a las relaciones que la empresa establece con la comunidad a nivel de conversaciones y transmisión de información de las actividades relacionadas con el medioambiente y, en este caso, con la gestión de residuos. Algunos indicadores figuran en la Tabla 21.

Política pública

Reflejan la posición de la empresa en cuanto a las decisiones sobre política medioambiental para la gestión de residuos y los reconocimientos sociales que le reporta. En la Tabla 21 aparecen algunos ejemplos.

4.7.3.1.3 *Responsabilidad sobre productos*

Desde el punto de vista de la gestión de residuos, este apartado sólo se contempla para la responsabilidad en la gestión en cuanto al correcto etiquetado de los residuos.

Etiquetado de productos y servicios

Son indicadores que refieren el cumplimiento de los requerimientos informativos obligatorios o voluntarios de la manipulación y envasado de residuos. Algunos ejemplos aparecen reflejados en la Tabla 22.

Tabla 20: Indicadores de prácticas laborales del SIMGRE.

Prácticas laborales	Indicador	CÓDIGO	Fórmula/Explicación	Unidad	T*
Salud y seguridad en el trabajo	Accidentes de trabajo	SE_SO_PS001	_____	_____	D
		SE_SO_PS002	_____	_____	D
	Índice de frecuencia de accidentes con tiempo perdido	SE_SO_PS003	_____	número	D
	Enfermedades ambientales	SE_SO_PS004	_____	_____	D
		SE_SO_PS005	Número de casos de enfermedades profesionales por tipo	Nº	D
	Calidad del aire interior	SE_SO_PS006	Concentración de sustancias nocivas en mg/l o ppm	mg/l	D
		SE_SO_PS007		ppm	
	Calidad del agua en los lugares de trabajo	SE_SO_PS008	Concentración de sustancias nocivas en mg/l o ppm	mg/l	D
		SE_SO_PS009		ppm	
	Ruido	SE_SO_PS010	Nivel de ruido en decibelios	dB	D
Formación y educación	Formación de los empleados en materia medioambiental y de gestión de residuos	SE_SO_PF001	_____	_____	A
		SE_SO_PF002	_____	%	A
		SE_SO_PF003	_____	_____	A
		SE_SO_PF004	Número empleados responsables de cuestiones medioambientales	Nº	-
	Consulta a los empleados	SE_SO_PF005	_____	_____	A
	Sugerencias de mejora hechas por los empleados	SE_SO_PF006	_____	_____	A
		SE_SO_PF007	_____	_____	A
		SE_SO_PF008	_____	%	A

Tabla 21: Indicadores de sociedad del SIMGRE.

Sociedad	Indicador	CÓDIGO	Fórmula/Explicación	Unidad	T*
Comunidad	Conversaciones con grupos de partes interesadas	SE_SO_SC001	_____	_____	A
	Peticiones externas de declaraciones medioambientales	SE_SO_SC002	_____	_____	-
	Incidencias externas	SE_SO_SC003	_____	_____	D
Política pública	Actividades de patrocinio medioambiental	SE_SO_SP001	_____	_____	A
	Premios medioambientales/recibidos/respuesta positiva de los medios de comunicación	SE_SO_SP002	Número	Número	A
	Número de decisiones políticas para las que se hizo un análisis de las consecuencias para el medioambiente	SE_SO_SP003	_____	_____	-

* Tendencia que dicho indicador debería seguir para que la evolución de dicho sistema sea favorable (D: disminuir/A: aumentar)

Tabla 22: Indicadores de responsabilidad sobre productos del SIMGRE

Responsabilidad sobre productos	Indicador	CÓDIGO	Fórmula/Explicación	Unidad	T*
Etiquetado de productos y servicios	Porcentaje residuos sujetos a requerimientos informativos derivados de procedimientos en vigor y normativa	SE_SO_RE001	_____	%	-
	Nº total de incumplimientos de regulación y de códigos voluntarios relativos a información y etiquetado de productos y servicios, distribuidos en función del tipo de resultado de dichos incidentes	SE_SO_RE002	_____	_____	D
		SE_SO_RE003	_____	_____	D

* Tendencia que dicho indicador debería seguir para que la evolución de dicho sistema sea favorable (D: disminuir/A: aumentar)

4.7.3.2 ECONÓMICOS

Estos indicadores valoran la importancia de una correcta gestión de los residuos o de la inversión en nuevas técnicas para aportar beneficios al conjunto de la empresa.

4.7.3.2.1 *Comportamiento financiero*

Reflejan las ayudas recibidas por parte de los gobiernos, y los riesgos y las oportunidades financieras que resultan como consecuencia de la inversión en proyectos medioambientales relacionados con la gestión de los residuos. En la Tabla 23 aparecen algunos ejemplos.

4.7.3.2.2 *Inversión en gestión medioambiental*

Representan el esfuerzo de las empresas para realizar mejoras en la gestión medioambiental y de los residuos en cuanto a la inversión en proyectos medioambientales. Algunos ejemplos relacionados con estas cuestiones aparecen en la Tabla 24

Tabla 23: Indicadores de comportamiento financiero del SIMGRE

Económicos	Indicador	CÓDIGO	Fórmula/Explicación	Unidad	T*
Comportamiento financiero	Coste medioambiental del tratamiento de los residuos	SE_EC_C001	_____	—	D
	Costes operativos de la protección medioambiental	SE_EC_C002	_____	—	D
	Proporción de los costes operativos	SE_EC_C003	_____	%	D
	Costes de gestión medioambiental (puesta en marcha y funcionamiento del sistema)	SE_EC_C004	_____	—	-
	Ahorro de costes generado por medidas medioambientales	SE_EC_C005	_____	—	A
	Ayudas financieras recibidas de gobiernos	SE_EC_C006	_____	—	A
	Coste que suponen las multas significativas por incumplimiento de las disposiciones legales	SE_EC_C007	_____	—	D

* Tendencia que dicho indicador debería seguir para que la evolución de dicho sistema sea favorable (D: disminuir/A: aumentar)

Tabla 24: Indicadores de inversión en gestión medioambiental sobre productos del SIMGRE

Económicos	Indicador	CÓDIGO	Fórmula/Explicación	Unidad	T*
Inversión en gestión medioambiental	Inversión en nuevos procesos	SE_EC_I001	_____	€	-
	Desglose por tipo del total de gastos en inversiones medioambientales	SE_EC_I002	_____	%	-
	Inversiones medioambientales	SE_EC_I003	_____	—	A
	Proporción de la inversión medioambiental	SE_EC_I004	_____	%	A
	Gastos en patrocinio medioambiental	SE_EC_I005	_____	—	A

* Tendencia que dicho indicador debería seguir para que la evolución de dicho sistema sea favorable (D: disminuir/A: aumentar)

4.7.4 INDICADORES DE CONDICIONES DE ENTORNO

Corresponden a aquellos indicadores que miden las condiciones de entorno en cuanto a la elección del proceso o conjunto de procesos posibles para el tratamiento del residuo sólido industrial, analizando las posibilidades que ofrece el entorno elegido de cara a la implantación de los procesos.

Los indicadores pertenecientes a este grupo vienen dados por la ficha presente en el Anexo 3: Ficha de Entorno y analizan si la zona reúne o no las siguientes condiciones:

4.7.4.1 CONDICIONES METEOROLÓGICAS

Estos indicadores establecen las condiciones climáticas mínimas que permitan una viabilidad mínima para las características del proceso de tratamiento del residuo:

- La temperatura, sus valores máximos y mínimos absolutos, presión, humedad, etc.
- Las precipitaciones de la zona, en este caso las variables a tener en cuenta son:
 - El período de heladas para cada año
 - El período de sequía, siendo esta las semanas en las que se producen menos de 25 mm de lluvia de forma ininterrumpida
 - La precipitación media anual
 - La precipitación media del mes más lluvioso.

4.7.4.2 CONDICIONES EDÁFICAS

Hacen referencia a las propiedades fisicoquímicas del suelo, textura, porosidad, composición, fertilidad, acidez, nivel de pH, salinidad, etc.

También se reflejan las características biológicas del mismo, como el número de microorganismos, bacterias, etc.

4.7.4.3 CONDICIONES DE HABITABILIDAD

En el caso de las condiciones de localización o habitabilidad actual de la instalación, se realiza un análisis social con el fin de perfilar si existe aceptación de los impactos del proceso dependiendo de la cercanía a los núcleos rurales, urbanos, naturales o industriales, por ejemplo:

Para la elaboración de este tipo de indicadores se podrían utilizar datos de clasificación actual del suelo desde el punto de vista urbanístico, industrial o rural

4.7.4.4 CONDICIONES HÍDRICAS

Condiciones hídricas; mediante indicadores que reflejen la distancia de fuentes de este tipo (ríos, lagos, mares, acuíferos, etc.) a la instalación, y que analicen tanto las posibilidades de aprovechar el agua como entrada al proceso para tratar el residuo, como el peligro de que alguna de estas fuentes sea contaminada por las actividades de tratamiento necesarias para gestionar el mismo.

Algunos de estos indicadores se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 25: Tabla de indicadores de las condiciones de entorno de la instalación

Condiciones de Entorno	Indicador	Código	Fórmula/Explicación	Unidad	T*
Condiciones Meteorológicas	Pluviosidad de la zona en la que está situada una instalación	CEN_ME001	_____	—	D
	Humedad ambiental de la zona en la que está situada una instalación	CEN_ME 002	_____	_____	-
	Número de horas de día en verano	CEN_ME003	_____	%	A
	Número de horas de día en invierno	CEN_ME004	_____	%	A
	Velocidad del viento respecto de la media en la zona en la que está situada la instalación	CEN_ME005	_____	%	D
	Predominancia de la dirección del viento en la zona en la que está situada la instalación	CEN_ME 006	Viene dado por el tipo de viento (norte, sureste, noroeste, etc.)		-
Condiciones Edáficas	Porosidad del suelo sobre el que se sitúa una instalación	CEN_ED 001	_____	%	
	% materia orgánica del suelo sobre el que se sitúa una instalación	CEN_ED 002	_____	%	
	Relación Carbono/Nitrógeno/Oxígeno del suelo sobre el que se sitúa una instalación	CEN_ED 003	C:N:K	-	-
	Alcalinidad/ acidez del suelo del suelo sobre el que se sitúa una instalación	CEN_ED 004	pH	Número	D
Condiciones de Habitabilidad	Clasificación del suelo en la zona en la que está situada una instalación	CEN_HA001	Tipo de zona según catastro	-	-
	Proximidad a núcleos de población de más de más de 10.000 habitantes	CEN_HA002	Distancia	km	A

Condiciones de Entorno	Indicador	Código	Fórmula/Explicación	Unidad	T*
	Tipo de suelo Rural o Urbano en función del número de habitantes por superficie	CEN_HA003	_____	_____	
	Número de especies biológicas en la zona	CEN_HA004	_____	_____	A
Condiciones hídricas	Distancia a fuentes hídricas	CEN_HI001	Distancia	km	A
	Número de fuentes hídricas superficiales en la zona	CEN_HI002	_____	_____	A
	Número de fuentes hídricas subterráneas en la zona	CEN_HI003	_____	_____	A
* Tendencia que dicho indicador debería seguir para que la evolución de dicho sistema sea favorable (D: disminuir/A: aumentar)					

4.8 MÉTODOS DE DECISIÓN MULTICRITERIO.

Como ya ha descrito en el apartado 3.2 los métodos de decisión multicriterio MDM están basados en el análisis de decisiones multicriterio, en inglés *Multicriteria Decisión Analysis* MCDA.

Un problema de decisión multicriterio ocurre cuando un decisor ha de elegir entre un conjunto de alternativas teniendo en cuenta diferentes puntos de vista que se llaman criterios, estos suelen estar en conflicto, lo que significa que cuando se quiere encontrar una solución adecuada a un problema bajo unos puntos de vista, esta es peor que otra que está bajo otros puntos de vista o criterios.

El proceso de decisión está formado por los siguientes elementos [ROM86]:

- Decisor: individuo o conjunto de individuos que toman las decisiones
- Analista: aquel que recoge las preferencias del decisor y las trata de la manera más objetiva posible
- Ambiente o entorno (S_k): también denominado estado del ambiente o de la naturaleza, son las características que definen la situación de decisión con respecto al entorno
- Criterios (C_j): son una serie de elementos formados por los objetivos (indican la dirección correcta de la unidad decisora para hacer mejor su trabajo), los atributos (que son las características de las alternativas y miden el grado de cumplimiento de un objetivo y la meta (que cuantifica el nivel de logro aceptable que un atributo debe esforzarse por alcanzar
- Pesos: a los criterios se les asocia un vector de pesos que mide la importancia relativa que tiene cada uno de los criterios para el decisor
- Alternativas (A_i): están formadas por el conjunto de decisiones, acciones, soluciones y estrategias que se deben analizar durante el proceso de resolución del problema de decisión
- Solución eficiente: conjunto de soluciones eficiente por estar formado por soluciones realizables, de tal manera que no hay otra solución que proporcione mejoras en un atributo sin producir un empeoramiento en al menos otro atributo

Todos estos elementos se representan mediante una herramienta denominada **matriz de valoración** (Z_{ij}) (Tabla 26), donde se representan un conjunto de valores numéricos o símbolos ($Z_{11}, Z_{12}...Z_{1n}$), que expresan una evaluación o juicio de una alternativa A_i , con respecto a un criterio C_j y que una vez establecidos los criterios y los pesos asociados, serán los valores que el decisor será capaz de dar para cada uno de los criterios considerados y para cada una de las alternativas del conjunto de elección.

Las filas de la matriz representan las cualidades de la alternativa A_i con respecto a las n criterios considerados y cada columna recoge las evaluaciones o juicios de todas las alternativas emitidas por el decisor con respecto al criterio C_j .

Tabla 26: Matriz de valoración

		Criterios y pesos asociados				
		C_1	...	C_j	...	C_n
		W_1	...	W_j	...	W_n
Alternativas	A_1	Z_{11}	...	Z_{1j}	...	Z_{1n}

	A_i	Z_{i1}	...	Z_{ij}	...	Z_{in}

	A_m	Z_{m1}	...	Z_{mj}	...	Z_{mn}

Lo que caracteriza a un problema de decisión multicriterio, es que los criterios se encuentran en conflicto, con lo cual si encontramos una solución que desde un punto de vista puede parecer la buena, desde otro punto de vista puede que no lo sea tanto, esto se resuelve buscando las denominadas soluciones de compromiso.

Cuando se está frente a un problema de decisión, se tienen los siguientes elementos de partida (Tabla 26):

- Un conjunto de Alternativas $A_i \in A$ ($i=1, 2, 3...m$)
- Un conjunto de estados de la naturaleza $S_k \in S$ ($k=1, 2...n$)
- Un conjunto de criterios $C_j \in C$ ($j=1,2...n$). Para cada alternativa i y para cada estado de la naturaleza S_k , se tiene $C_j(A_i, S_k)$ de forma que $C_j: A \times S \rightarrow C \subset \mathfrak{R}^n$.

Una vez que se conocen el conjunto de criterios, se formaliza el proceso de decisión de manera que:

$$\text{Max } C_j(A_i) = C_1(A_i), C_2(A_i), C_n(A_i) \text{ donde } A_i \in A$$

Con esta representación formal se pueden identificar diferentes situaciones de decisión (Tabla 27) que dan lugar a diferentes enfoques metodológicos y por consiguiente diferentes técnicas para resolver los problemas, que se verán en los apartados posteriores.

Tabla 27: Clasificación de los problemas de decisión

Según el estado del entorno	Decisiones bajo incertidumbre	Se conoce la naturaleza de la alternativas
	Decisiones bajo riesgo de incertidumbre	Existe un grado de desconocimiento de cómo van a evolucionar las alternativas
Según el número de criterios de decisión	Monocriterio	En las que se utiliza solo un criterio
	Multicriterio	Se utiliza más de un criterio, pero generalmente se produce una contradicción entre alternativas que hace que la solución eficiente este formada por más de una de ellas
Según la naturaleza de las alternativas	Continuo	El conjunto de alternativas es infinito, y no numerable
	Discreto	El conjunto de alternativas es finito
Según las características de la unidad decisora	Uniexperto	Solo existe una entidad física o jurídica
	Multiexperto	El decisor está formado por un conjunto de individuos que deben adoptar una decisión única que refleje los intereses del grupo.

4.8.1 CLASIFICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE DECISIÓN MULTICRITERIO

Las técnicas de decisión multicriterio se pueden agrupar en función dos tipos de características, por una parte de los modelos desarrollados y por otra las del proceso de desarrollo de estos modelos.

Esta clasificación hace referencia al tipo de problema de decisión, continuo o discreto, que se pretende resolver, esto hace que sea más fácil seleccionar la herramienta más adecuada a cada problema. Según esta clasificación existen cuatro grandes corrientes metodológicas [PAR95] [FIG05]:

1. La programación matemática multiobjetivo, tiene la desventaja de estar orientada a técnicas dirigidas a casos de alternativas infinitas, siendo lo que se buscan casos de alternativas finitas. Dentro de ella se encuentran :
 - El método de las restricciones, en los que solo se optimiza un objetivo restringiendo los restantes
 - El método de las ponderaciones: en el que a cada objetivo se le asigna un peso y se combinan todos en una única función
 - La programación compromiso: en la que se selecciona la alternativa más próxima a la ideal siendo esta inalcanzable
 - La programación por metas: seleccionando la alternativa más próxima a la meta.
2. La teoría de la utilidad multiatributo, dentro de la cual existen varios métodos entre los cuales está la suma ponderada, el método UTA, PRES y los Procesos Analíticos Jerárquico *Analytic Hierarchy Process* (AHP) y Analítico en Red (ANP)
3. La teoría de las relaciones de sobre clasificación:, dentro de la cual se incluyen los métodos ELECTRE y PROMETHEE
4. El análisis de disgregación de preferencias.

Como se ha descrito en la Tabla 27, los problemas de decisión se clasificaban en continuos o discretos en función de la naturaleza de las alternativas, según [ZOU02] las cuatro corrientes metodológicas contribuyen al análisis de los problemas de la toma de decisiones bien sean estos continuos o discretos como se presenta en la Tabla 28:

Tabla 28: Contribución de las corrientes metodológicas MDM a los problemas continuos o discretos

CORRIENTES METODOLÓGICAS	PROBLEMAS DE TOMA DE DECISIONES	CONTRIBUCIÓN
PROGRAMACIÓN MATEMÁTICA MULTI OBJETIVO	Discretos	Indirectos
	Continuos	Directo
TEORÍA DE LA UTILIDAD MULTIATRIBUTO	Discretos	Directo
	Continuos	Indirectos
TEORÍA DE LAS RELACIONES DE SOBRECLASIFICACIÓN	Discretos	Directo
	Continuos	Indirectos
ANÁLISIS DE DISGREGACIÓN DE PREFERENCIAS	Discretos	Directo
	Continuos	Indirectos

La programación matemática multiobjetivo es más adecuada para la resolución de problemas de tipo continuo, sin embargo en el resto ocurre al contrario, es decir, las tres se ajuntan más a la hora de tratar problemas discretos, en los que se evalúan un conjunto de alternativas cuyo fin es seleccionarlas y clasificarlas, aunque también se pueden aplicar a problemas discretos aunque se debe hacer en combinación con otras técnicas más habituales.

Dentro de las corrientes de decisión que se aplican directamente a problemas discretos, que es el objeto de esta tesis, (ya que dentro del proceso de decisión se tienen alternativas limitadas), y haciendo referencia al apartado 4.8.1 se tiene la siguiente clasificación:

Tabla 29: Clasificación de las técnicas de decisión multicriterio de tipo discreto [FIG05]

CORRIENTES METODOLÓGICAS	TÉCNICAS DE DECISIÓN MULTICRITERIO
Teoría de la utilidad multiatributo	Suma ponderada
	Método UTA
	Método PRES y PRESII
	Proceso Analítico Jerárquico (AHP)
	Proceso Analítico en Red (ANP)
Teoría de las relaciones de sobreclasificación	Método ELECTRE
	Método PROMETHEE
Análisis de disgregación de preferencias	-

4.8.2 SELECCIÓN DEL MÉTODO DECISIÓN MULTICRITERIO.

En la presente tesis se ha seleccionado como técnica de decisión multicriterio AHP, [SAA80], [SAA95] [SAA00], en la que se modela el problema de decisión como una jerarquía de varios niveles, en los cuales el objetivo global o meta se encuentra en el nivel superior, seguido por una serie de niveles intermedios donde se sitúan los criterios y subcriterios que contribuyen al objetivo del problema y en base a los cuales se evalúan las alternativas, estando el nivel inferior formado por las alternativas a evaluar.

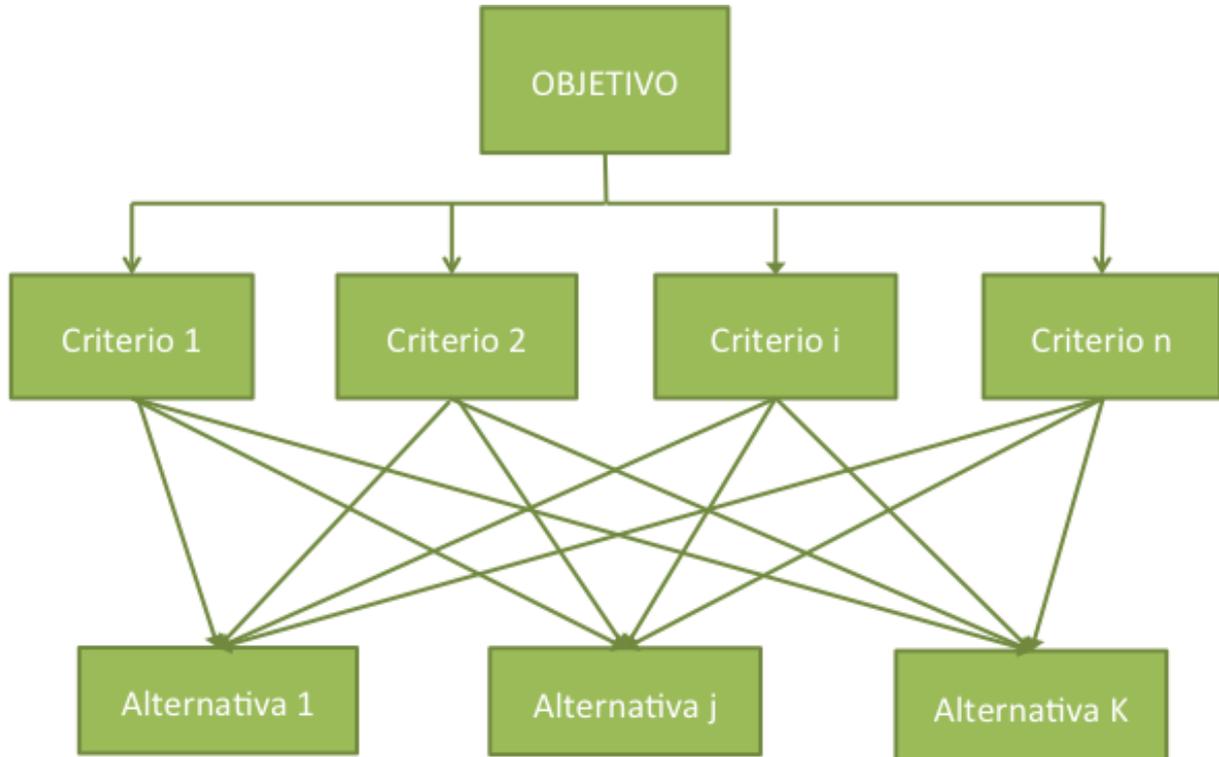


Figura 38: Modelo Jerárquico para la toma de decisiones con AHP [SAA88]

Se ha seleccionado este método para el caso de estudio objeto de esta tesis por las siguientes premisas [MAR07] [SAA01]:

1. Es un método simple y flexible que permite solucionar problemas de decisión de tipo discreto, que está formado por una serie de alternativas limitadas, y facilita la comprensión del problema planteado para llevar a cabo un proceso adecuado de toma de decisión.
2. Se modela el problema de decisión jerarquizando los criterios, cosa que no pueden hacer otros métodos en los que se comparan globalmente las alternativas
3. Solamente es necesaria información respectiva juicios de valor del centro decisor, no siendo necesaria información cuantitativa con respecto al resultado alcanzado por cada alternativa en cada uno de los criterios considerados.
4. Se analiza por separado la contribución de cada uno de los componentes del modelo al objetivo general.
5. Las incoherencias de los individuos son detectadas y aceptadas
6. Se puede integrar con otras metodologías multicriterio

4.8.2.1 METODOLOGÍA DEL PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP)

El método AHP, está formado por una serie de axiomas básicos que se presentan en la siguiente tabla [SAA95]:

Tabla 30: Axiomas básicos de AHP [VAR90]

AXIOMAS	PREFERENCIAS
AXIOMA DE RECIPROCIDAD	El decisor realiza las comparaciones y establece la fuerza de las preferencias, estas deben cumplir la condición de reciprocidad del AHP, en el que si A es x veces más preferido que B, entonces B es 1/x más preferido que A
AXIOMA DE HOMOGENEIDAD	Las preferencias se representan en una escala limitada
AXIOMA DE DEPENDENCIA	En los que se asume que los criterios son independientes de las propiedades de las alternativas y entre si
AXIOMA DE LAS EXPECTATIVAS	En los que cuando se toma una decisión se asume que la jerarquía es completa.

A continuación se presentan etapas del proceso AHP, propuestos por Thomas Saaty [SAA80]:

1ª ETAPA: FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE DECISIÓN COMO JERARQUÍA

En esta fase el decisor debe desglosar el problema en subpartes más importantes. Así en el primer nivel o nivel superior de la jerarquía se sitúa el objetivo o meta del problema de decisión a resolver, para alcanzar este objetivo se debe escoger de entre las alternativas posibles, aquella que más se acerca al cumplimiento de la meta del nivel uno.

En el segundo nivel se encuentran los criterios C_j donde $j=1, 2, \dots, n$, con los que se evalúan las alternativas que constituyen el nivel inferior.

Estos criterios se pueden descomponer en subcriterios de segundo, tercer, cuarto... nivel teniendo una jerarquía descendente.

Estas alternativas que se denotan por la letra A_i con $i= 1, 2, \dots, m$, deben ser excluyentes, ya que la elección de una de ellas imposibilita la elección de cualquier otra, y exhaustivas, porque una vez definido el conjunto de alternativas y habiendo empezado el análisis, si se introduce una alternativa nueva al proceso, el anterior análisis no sirve para nada y se debe volver a realizar con el nuevo análisis al conjunto de alternativas.

2ª ETAPA: VALORACIÓN DE LOS ELEMENTOS

El objetivo de esta fase es la construcción de un vector de prioridades o pesos que evalúa la importancia relativa que la unidad decisora asigna a cada criterio.

En este caso el decisor debe emitir los juicios de valor sobre la importancia relativa de los criterios y alternativas, de forma que se refleje la importancia de un elemento frente a otro respecto de un atributo para cada nivel de la jerarquía, o de una propiedad o cualidad común si se está en el último nivel. En esta etapa se comparan los valores subjetivos por parejas, estableciendo una comparación binaria.

Estas comparaciones se basan tanto en factores cualitativos (no tangibles) como cuantitativos (tangibles), de manera que el AHP tiene su propia escala de medida que va del 1 al 9 cuya representación se ve en la Tabla 31 que se aplica cuando el decisor representa las preferencias entre dos elementos mediante valores numéricos aparte de verbalmente.

Tabla 31: Escala de medidas AHP [SAA90]

ESCALA NUMÉRICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACIÓN
1	Misma importancia	Dos actividades contribuyen de la misma manera al objetivo
3	Moderadamente más importante un elemento que otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento sobre el otro
5	Importancia fuerte de un elemento sobre el otro	El juicio y la experiencia previa favorecen a fuertemente un elemento frente a otro
7	importancia mucho más fuerte la de un elemento sobre el otro	Un elemento domina fuertemente
9	Importancia extrema de un elemento sobre otro	Un elemento domina al otro con al menos un orden de magnitud de diferencia
2,4,6,y,8	Corresponden a los valores intermedios entre dos juicios contiguos	Se usan como compromiso entre dos juicios
0,1	Estos valores corresponden a incrementos y son intermedios	Se utilizan para una valoración más fina de los juicios

La escala está justificada teóricamente, habiendo sido validada su efectividad aplicándola a casos reales con buenos resultados.

Al aplicar estas comparaciones se obtiene una matriz cuadrada de nominada “Matriz de comparaciones pareadas”, donde cada uno de los elementos de esta matriz son valores numéricos positivos que reflejan la preferencia o importancia relativa de un criterio C_i , y otro C_j respecto al elemento de nivel inmediato superior en la jerarquía, que según la Figura 38 corresponde a la meta u objetivo el elemento menor tiene un valor inverso o recíproco respecto al mayor, resultando una matriz denominada recíproca, es decir si z es el número de veces q un elemento es preferente con respecto a otro, entonces este último elemento es $z-1$ veces preferente con respecto al primero de tal modo que la matriz obtenida tiene la forma:

$$R =$$

Donde $r_{ij} \cdot r_{ji} = 1$, para este tipo de matrices se cumple que el autovalor máximo, λ_{max} es un número real y positivo, asociado a un vector propio Z , cuyas componentes son también positivas. El autovector asociado al autovalor de la matriz R se normaliza, para que sus suma sea la unidad.

Es muy importante que el proceso de comparación pareada sea muy cuidadoso con la valoraciones, para que se genere una matriz con un autovalor suficientemente representativo, para ello existen formas de detectar lo que se denomina inconsistencia de la matriz, una de ellas es consiste en resolver la siguiente ecuación:

$$—$$

Donde CI es el Índice de consistencia (Consistency Index) y RI es el índice de consistencia aleatorio (Random Consistency Index) y CR es el ratio de consistencia (Consistency Ratio), que es el que mide la consistencia de la matriz A [SAA98]

Siendo:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n(\lambda_{\max} - 1)}$$

Donde n es la dimensión de la matriz A y λ_{\max} es el autovalor de dicha matriz.

Y RI viene dado en función de la dimensión de la matriz nxn, representada en la Tabla 32:

Tabla 32: Índice de consistencia aleatorio en función de la dimensión de la matriz nxn

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
RI	0	0	0,525	0,882	1,115	1,252	1,341	1,404	1,452	1,484	1,513	1,535	1,555	1,570	1,583	1,595

Los valores para una matriz de 3x3 para CR se fijan en 0,05, siendo la matriz consistente si su $CR \leq 0,05$, siendo CR válido, el autovector principal también lo es, y sirve como vector de prioridad entre elementos comparados.

En el caso de que la matriz sea 4x4 CR ha de ser $\leq 0,08$, siendo para matrices 5x 5 o mayores el $CR \leq 0,10$.

Si no se cumplen estos límites la matriz es inconsistente, debiendo estudiarse de nuevo el problema de decisión sometiendo de nuevo a revisión los juicios emitidos.

Una vez calculado el vector de prioridades se analizan los resultados y se calcula el vector definitivo.

3ª ETAPA: DETERMINACIÓN DE LAS PRIORIDADES LOCALES DE LAS ALTERNATIVAS

Se determinan las prioridades de cada elemento, de forma que se obtienen una serie de rangos numéricos, existen tres tipos de prioridades, locales, globales y totales

1. Las prioridades locales son las que cuelgan de un mismo nodo y se calculan a partir de información contenida en las matrices de comparación, y se utiliza el método del autovector principal por la derecha.
2. Las prioridades globales son las referentes a cada nodo de la jerarquía respecto al nodo inicial u objetivo, y se calculan utilizando el principio de composición jerárquica.
3. La prioridad total de las alternativas se obtiene mediante la agregación de las prioridades globales, este valor total permite ordenar el conjunto de alternativas que se han considerado y seleccionar las más indicadas para conseguir el objetivo o meta propuesto.

Se pueden calcular las prioridades locales y globales entre subcriterios, si al principio en el nivel de jerarquía se han tenido en cuenta los mismos, el cálculo es similar a la etapa anterior pero realizando las comparaciones pareadas entre subcriterios y determinar así la importancia relativa con respecto a criterio inmediatamente superior de la jerarquía.

Una vez calculada la importancia de los criterios (en la etapa 2) y la de los subcriterios, se calcula la importancia relativa global de cada subcriterio con respecto a la meta del problema, esto se hace multiplicando cada uno de los pesos de cada uno de los criterios y subcriterios a lo largo de todo el proceso jerárquico.

El cálculo de las prioridades locales de las alternativas, se plantea la matriz R de juicios por comparación pareada entre alternativas, para cada uno de los criterios o subcriterios del último nivel de la jerarquía. Se calcula el autovalor de la matriz R, el vector propio asociado y el índice de consistencia (igual que en la etapa 2), si el análisis es consistente, se obtiene para cada criterio un vector de pesos locales de las alternativas que corresponde con el autovector calculado.

Para calcular las prioridades totales asociadas a cada alternativa, que presenta la importancia de las alternativas respecto a la meta, se puede utilizar el método de la suma ponderada utilizado por Saaty

4ª ETAPA: ANÁLISIS DE LA SENSIBILIDAD

Como última fase de la metodología, se realiza un análisis que confirme que los resultados obtenidos en la etapa anterior son robustos y no fruto de la casualidad.

Para ello suele utilizarse un software de apoyo denominado Expert Choice, que consiste en una herramienta informática de cálculo que permite realizar el análisis de sensibilidad en diferentes escenarios implementando la metodología AHP [MAR07].

5 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA: LODOS DE ACERÍA LD

Una vez descrita la metodología y desarrollado el diagrama de selección de las alternativas de gestión, se procede a particularizarla para el caso de la industria siderúrgica.

El proceso siderúrgico está dividido en dos etapas, la primera en la que se produce hierro fundido o arrabio y la segunda donde se genera el producto final que es el acero, en ellas se originan gran cantidad de residuos, siendo la mayor parte sólidos y lodos.

Uno de estos residuos generados es el lodo resultante del tratamiento húmedo de los gases que resultan del proceso de fabricación del acero en el convertidor de oxígeno BOF denominado así por sus siglas en inglés, *Basic Oxygen Furnace* y también denominado convertidor LD cuyas siglas provienen de las dos compañías localizadas en *Linz y Donawitz* que desarrollaron este sistema.

Como ejemplo de aplicación de la metodología desarrollada en esta tesis, se ha escogido este residuo, lodo de acería LD, algunas de las propiedades físico-químicas más importantes encontradas en la bibliografía aparecen reflejadas según el modelo de Ficha de Residuo que se amplía en el Anexo 1: Ficha de Residuo.

El lodo de acería LD resulta un ejemplo de aplicación muy interesante y representativo a la hora de aplicarle la metodología; ya supone un problema real, se generan importantes volúmenes de residuo, unos 27 kg de lodo LD por tonelada de metal caliente, y su composición fisicoquímica lo hace apto para que a la hora de gestionarlo surjan diferentes alternativas o posibilidades, como se verá en los siguientes apartados. Por otra parte, tiene un porcentaje de material valorizable, que es su parte metálica, que lo hace ser un producto reaprovechable tanto para la industria siderúrgica como para otro tipo de industrias.

Para el lodo de acería se dispone de una serie de datos que han resultado ser representativos para poder aplicar la metodología, estos datos de composición y características del residuo, se encuentran disponibles en el apartado 5.1 en la Ficha 1: Ficha del residuo lodo de acería LD.

Para gestionar el residuo y en base a la información de la ficha se utiliza el diagrama de ayuda a la decisión descrito en la Figura 15, según este diagrama y tras una serie de decisiones se obtienen las diferentes alternativas, viables para la gestión del mismo, todas estas alternativas se describen en el apartado 5.2.

La metodología de análisis multicriterio o Método de Análisis Jerárquico AHP aplicada posteriormente, permitirá diferenciar entre todas las alternativas, aquella que resulte más viable desde el punto de vista sostenible

Al no disponer de datos suficientes para cuantificar por medio de los indicadores medioambientales del SIMGRE qué alternativa de las obtenidas es la medioambientalmente más adecuada para tratar el lodo de acería LD, se utilizarán estos indicadores como criterios de decisión del método de análisis jerárquico AHP. Se obtendrá así un vector de pesos resultado de someter estos indicadores a una comparación pareada entre ellos, otorgándoles una serie de puntuaciones en función del nivel de importancia o preferencia que tengan a la hora de conseguir el objetivo común que sería la gestión sostenible del lodo de acería.

Los indicadores escogidos serán los más representativos en función de los impactos que se quieran analizar.

En este caso, el grupo de indicadores ha sido seleccionado en función de los impactos ambientales, sociales y económicos que los procesos de gestión de los residuos pueden causar en el medio, así como los impactos que el entorno puede causar los procesos de gestión.

Sin embargo, en otros casos puede interesar más escoger la alternativa que tenga menos coste medioambiental, o la que menos problemas medioambientales genere, por lo que los criterios a considerar serán en forma de indicadores financieros o indicadores ambientales de salida, y así sucesivamente.

Para comprobar que, el proceso de gestión de un residuo sólido industrial en general y del lodo de acería en particular, puede verse afectado en distinto grado por las características del entorno donde esté ubicada la instalación, se escogen dos escenarios sensiblemente diferentes, uno el norte de España, caracterizado por un clima más húmedo y lluvioso, y entorno industrial, y el otro el sur de España, donde el clima es más seco y árido y el entorno es rural.

Para ello se añaden al conjunto de indicadores medioambientales anterior, unos indicadores de entorno que variarán la puntuación de las alternativas a la hora de aplicar el análisis multicriterio.

5.1 CARACTERIZACIÓN DEL LODO DE ACERÍA LD

El primer paso consiste en la caracterización del lodo de acería LD. A continuación se describen las características de dicho lodo en forma de ficha, que recopila de manera representativa las propiedades del mismo. De esta forma, en el momento de seleccionarlo como entrada a un proceso resultará más sencillo determinar si las características del lodo de acería son las adecuadas para la entrada a un determinado proceso:

CARACTERÍSTICAS DEL RESIDUO				
PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL RESIDUO				
1. Nombre/Tipo del residuo/Códigos				
Nombre	Lodo procedente del tratamiento de gas húmedo BOF			
Tipo de Residuo	Peligroso <input checked="" type="checkbox"/>		No peligroso <input type="checkbox"/>	
Código LER ¹	10 02 13			
Fuente de Generación	Industria siderúrgica			
Volumen generado/Tn acero producido: 27 kg/tn metal caliente				
C.N.A.E. ²	24.10			
C.P.A. ³	24.10			
2. Composición/Información sobre los componentes				
Descripción Química				
Componente	Densidad (g/cm3)	Propiedades Magnéticas	Porcentaje (peso)	CASRN ⁴
Fe total	7,87	Ferromagnético	64,12	7439-89-6
FeO	5,74	Ferromagnético	79,58	7439-89-6
CaO	3,3	Paramagnético	8,9	1305-78-8
Fe2O3 (magnetita)	5,24	Magnético	2,79	1309-37-1
MgO (periclasa)	3,79	Magnético	0,38	1309-48-4
SiO2	2,64	No magnético	0,71	7631-86-9
Al2O3 (alúmina)	3,96	No magnético	0,32	1344-28-1
P	1,82	Diamagnético	0,101	7723-14-0
MnO	5,1	Anti-ferromagnético	0,1	1344-43-0
Zn	7,13	Diamagnético	0,2-4,1	7440-66-6
Pb	11,30	Diamagnético	0,04 – 0,14	7439-92-1
S	2,07	No magnético	0,03 – 0,35	7704-34-9
C	2,26	No magnético	0,7 -4,6	7440-44-0
3. Propiedades físicas y químicas				
Humedad	35-40%			
Estado físico	Semisólido			
Granulometría	Mayoritariamente de 38 µm			
% Peso materia orgánica	4 %			
% Peso materia inorgánica	96%			
Aspecto	licuado, aceitoso			
Color	Gris oscuro / negro			
Pto. fusión °C	-			
Pto. Inflamación °C	-			
Pto. de ebullición °C	-			
Densidad Relativa (g/cm ³)	-			
Densidad de cada componente (g/cm ³)	Se ha considerado por un mejor manejo de la tabla poner en el punto 2			
Propiedades magnéticas de cada componente	Se ha considerado por un mejor manejo de la tabla poner en el punto 2			
Solubilidad en agua	No soluble (metales)			
4. Estabilidad y reactividad				
Estabilidad	-			
Reacciones peligrosas	-			
Descomposición térmica	-			
Condiciones y materiales a evitar	-			
Productos de descomposición peligrosos	-			

Ficha 1: Ficha del residuo lodo de acería LD

5.2 IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS NECESARIOS PARA TRATAR EL LODO DE ACERÍA LD

Una vez conocidas las propiedades físico químicas de lodo, se describen todas las posibles etapas que tienen lugar durante el proceso de decisión resultantes de la aplicación del diagrama para seleccionar las alternativas de la gestión del residuo (Figura 15).

A continuación se describen las distintas decisiones y procesos (D y P) que tienen lugar durante el desarrollo:

D.1 ¿ESTAMOS ANTE UN RESIDUO RADIATIVO?

La primera decisión a tomar la selección de las alternativas de gestión, es si se está ante un residuo radioactivo o no. El lodo de acería no contiene ningún componente clasificado como radioactivo, como se puede ver en su ficha (apartado 5.1), por lo que no es de este tipo.

El lodo de acería no contiene radionucleídos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por el Ministerio de Industria y según el informe del Consejo de Seguridad Nuclear, ni proviene de ninguna actividad donde se generen tales residuos.

D.2. ¿ES PELIGROSO?

Según la lista Europea de Residuos, (Orden MAM/304/2002, del 8 de Febrero), el lodo de acería se corresponde con la categoría o número LER 10 02 13, "Lodos y tortas de filtración del tratamiento de gases que contienen sustancias Peligrosas", dato que aparece en el punto 1 de la ficha (apartado 5.1), por lo que este tipo de producto es considerado a efectos legales como residuo peligroso, estando formado por sustancias tóxicas y peligrosas como son el Zn, S, Fe, etc. incluidas en el anexo de la ley 20/1986, Básica de Residuos Tóxicos y peligrosos [LEY20/86]

D.3. ¿ES UN LODO?

Según la Agencia de Protección Medioambiental de los Estados Unidos EPA [EPA99], se clasifican residuos en sólidos, líquidos y lodos, en función del contenido en Sólidos Totales (ST) que tiene una determinada muestra después de haber sido sometida a evaporación a temperaturas que van desde los 103°C a los 105°C.

- Líquido (agua residual): contenido en sólidos totales entre el 0 y el 1%
- Lodo, contenido en TS entre el 1 % y el 50%
- Sólido, contenido en TS entre el 50% y el 100%

Esta clasificación es demasiado genérica, ya que hay valores de porcentajes intermedios donde el material es más o menos plástico pudiendo ser considerado como sólido o como lodo, no se ha encontrado ninguna referencia en la bibliografía más exacta respecto a los límites con respecto a estos porcentajes. El lodo de acería LD tiene un contenido en humedad del orden del 35 al 40%, por este contenido, se ha considerado que se acerca más a un lodo que a un sólido, pasando a la siguiente etapa correspondiente a recogida y transporte del residuo (P.2.) para proceder a la decisión de valorización.

El lodo se transporta en un camión cisterna habilitado para transporte de mercancías peligrosas por carretera, según el Acuerdo Europeo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera ADR 2011 [ADR11]

D.4. ¿ES UN LODO VALORIZABLE?

Para saber si es el lodo de acería es valorizable o no, se estudia la presencia o ausencia de algún componente cuya extracción pueda resultar rentable.

La ficha del residuo, en el punto referente a su composición química, muestra un elevado porcentaje de metales potencialmente reaprovechables, entre ellos el hierro, este porcentaje supera el 70% si se considera el hierro total y óxido de hierro, esta cantidad de hierro hace que el residuo sea considerado como un residuo valorizable.

D.5 ¿NECESITA SECADO?

Esta decisión depende de si la fase valorizable del lodo es la sólida o la líquida. En el caso de los lodos de acería interesa su contenido en metales, estando estos siempre en fase sólida, ya que no son solubles en agua.

Otra característica que tiene el lodo es la humedad, del 35 al 40% (punto 3 de la ficha de residuo), que lo hace ser un material viscoso y difícil de manejar, ya que al estar en fase plástica, se aglomera tras tiempos de exposición mantenidos a la atmósfera. Por ello, los lodos han de ser secados de forma eficiente para aumentar su manejabilidad antes de ser reciclados [SAN04].

Esta primera premisa hace que se necesite un secado en el lodo, pero aparte, esta necesidad también depende de si el proceso de tratamiento que se aplica posteriormente admite un estado u otro del material de entrada.

P.3 SECADO DE VALORIZACIÓN

En esta etapa el material está semilíquido con un % humedad del orden del 35 al 40%, por su contenido en humedad, entraría en el proceso de secado térmico (no necesitando un secado mecánico previo), en el que se obtendría un lodo seco, o sólido con un 1 al 3% de humedad. En la Tabla 33 se pueden ver los flujos de entrada y salida al proceso:

En este proceso de tratamiento, se obtienen una serie de entradas y salidas de materiales y energía (Figura 33) que se representan mediante la Tabla 33 de forma simplificada.

A partir de ahora, para este y todos los demás procesos desarrollados en este apartado, se presentará la tabla de balances de masas del proceso, formada a nivel general por una serie de entradas y salidas que vienen dadas en base al balance general representado en la Figura 16, y que se denotarán de la siguiente manera:

Para las entradas al proceso:

- Residuos (R)
- Agua (A)
- Energía (E)
- Electricidad (EE)
- Agentes químicos (AQ)

En cuanto a las salidas se tendrá:

- Productos (P) y sólidos aprovechables (SA)
- Subproductos (S)
- Sólido a Deposición (SD)
- Efluentes líquidos (L)
- Emisiones gaseosas (G)
- Pérdidas de energía (PE)

Seguidos de una serie de números correlativos en función del orden en que se vayan obteniendo y para cada alternativa.

Tabla 33: Balance de materia y energía en el proceso de secado térmico

ENTRADAS		SALIDAS	
RSI: Lodo	R1	Producto: polvo	P1
Energía	E1	Pérdidas de energía	PE1

Según en diagrama de selección, este lodo seco pasaría al proceso de decisión D.10 “valorización de sólidos”, formulándose la siguiente pregunta.

D.10. ¿ES UN SÓLIDO VALORIZABLE?

En esta etapa ocurre lo mismo que en D.4, pero en este caso se tiene un sólido, la composición del sólido sigue siendo la misma que la del lodo antes de ser secado, este sólido al igual que el lodo de la decisión 4, muestra un elevado porcentaje de metales potencialmente reaprovechables, entre ellos el hierro, este porcentaje supera el 70% si se considera el hierro total y óxido de hierro, esta cantidad de hierro hace que el residuo sea considerado como un residuo valorizable, pasando a la siguiente decisión:

D.11. ¿NECESITA SEPARACIÓN?

Como se ha comentado en el apartado 4.6.2.11(D.11 - Necesidad de separación de sólidos valorizables), esta decisión se tomará si en el residuo sólido mixto, existe algún elemento con valor dentro de la mezcla que deba ser separado para su aprovechamiento.

En el caso particular que se estudia, el lodo seco o polvo de acería tiene un contenido en Hierro bastante elevado, en torno al 64%, según aparece en el apartado 2 de la ficha, por lo cual dentro de los procesos de separación que se han presentado en la bibliografía, se aplicaría la separación magnética, en la que se obtiene:

- Por una parte el producto magnético que puede ser aprovechado en otros procesos, como por ejemplo como aporte metálico de chatarra al convertidor LD de la misma acería.
- Y por la otra el subproducto que estaría compuesto por el resto de materiales no magnéticos, que volvería a entrar en el diagrama.

En la Tabla 34 se puede ver el balance de materia correspondiente al proceso de separación magnética,

Tabla 34: balance de materia y energía del proceso de separación magnética

ENTRADAS		SALIDAS	
RSI: Polvo	P1	Producto magnético	SA1
Energía (campo magnético)	E2	Subproducto no magnético	P2
		Pérdidas de energía	PE2

El hierro separado de la mezcla, vuelve a introducirse en el diagrama de selección a nivel de la decisión D.10, que permite su aprovechamiento por su contenido en metales, siendo apto para ser

valorizado, después pasa a la decisión D.11, en la que no necesita separación puesto que ya es el hierro separado magnéticamente, en la decisión D12, no necesitaría tratamiento de sólidos porque ya ha sido tratado, con lo cual pasaría directamente a ser un sólido aprovechable.

La otra parte del sólido o polvo no magnético vuelve a entrar al diagrama, las decisiones D.1 y D.2, serán las mismas que en el apartado anterior ya que este subproducto procede del lodo no radiactivo ni peligroso, al llegar a la decisión 3 ocurre lo siguiente:

D3. ¿ES UN LODO?

En este caso no lo es, puesto que se ha sometido a secado, yendo al proceso P.1 recogida y transporte de sólidos mediante camión cisterna que cumpla la ADR 2011 al igual que en el caso de los lodos peligrosos.

D.10. ¿ES UN SÓLIDO VALORIZABLE?

Por una parte este sólido al tener cierta composición en metales como el Al, Ca, Hg, Mn, etc. podría interesar aprovecharlo como entrada a otros procesos con la posibilidad de obtener un sólido utilizable en otras industrias como puede ser la industria del cemento o la del vidrio, etc. Como consecuencia se entraría al proceso de decisión D.11 pasando a estudiarse la *Alternativa 1*, que se describe a continuación.

Pero por otra podría interesar no valorizarlo de manera que se decidiría que no conviene aprovecharlo y pasaría a la decisión D.13 del diagrama (legal o medioambientalmente desechable), estudiándose la *Alternativa 2*.

1. ALTERNATIVA Nº 1: VALORIZAR EL SÓLIDO

D.11. ¿NECESITA SEPARACIÓN?

No necesita separación, ya que se ha separado el componente magnético que tiene con lo cual pasaría a la siguiente decisión.

D.12. ¿NECESITA TRATAMIENTO DE SÓLIDOS?

Este subproducto formado mayoritariamente por partículas de 38 micras de tamaño tiene un contenido en metales que pueden ser tratados o estabilizados para poder ser utilizados como material de entrada en otras industrias, por tanto pasaría a la caja P.8

P.8. TRATAMIENTO DE VALORIZACIÓN DE SÓLIDOS.

Dentro de este apartado se consideran los siguientes procesos de tratamiento de residuos ya descritos en el apartado 4.6.3.12:

1. Técnicas físicas como **separación magnética y gravimétrica y cribado, trituración y molienda.**
2. Técnicas fisicoquímicas como **ceramización, y vitrificación ex situ**
3. Técnicas energéticas como **incineración, pirólisis y gasificación.**

Para el polvo de acería no se pueden utilizar las técnicas energéticas por ser un residuo mayoritariamente inorgánico en el punto 2 de la ficha de residuo se observa que tiene un porcentaje muy bajo de carbono que no lo hace apto para estos procesos.

En cuanto a las técnicas físicas no sería tampoco necesario aplicarlas, por dos motivos:

- Muchas de ellas ya se han aplicado a este residuo como parte del proceso de decisión que ha sido desarrollado a lo largo del diagrama.
- Por otra parte las técnicas fisicoquímicas de ceramización y vitrificación no necesitan que el polvo sea pretratado como parte del proceso de acondicionamiento de la alimentación.

En cuanto a las técnicas fisicoquímicas, en las tablas que hay a continuación se observa si el lodo cumple las características que tiene que tener el residuo a la entrada de cada uno de los de procesos ceramización y vitrificación ex situ.

2. ALTERNATIVA 1A. CERAMIZACIÓN:

En este apartado se estudia la posibilidad de gestionar el residuos mediante la ceramización, que consiste en incorporación de parte de los componentes tóxicos de un residuo sólido industrial en una masa cerámica con la intención de inertizarlo, en la Tabla 35 se enfrentan las características que debe tener un residuo para ser tratado por ceramización frente a las propiedades que tiene el polvo de acería objeto de gestión:

Tabla 35: Características que debe cumplir el residuo para ser tratado por Ceramización.

VARIABLES DE DECISIÓN	CARACTERISTICAS QUE DEBE CUMPLIR EL RESIDUO	CARACTERISTICAS DEL POLVO DE ACERÍA
ESTADO DEL RESIDUO	Sólido	Sólido
GRANULOMETRIA DEL RESIDUO (µm)	10-500	85
TIPO DE RESIDUO	Tóxico/peligroso/con metales	Residuo clasificado como peligroso con contenido en metales

Una vez sometido el polvo al proceso de ceramización se obtiene el siguiente balance de materia y energía de la Tabla 36 basado en la Figura 26.

Tabla 36: Balance de materia y energía del proceso de ceramización

ENTRADAS		SALIDAS	
RSI: Polvo	P2	Producto inertizado	SA2
Energía	E3	Emisiones gaseosas	G1
Agua	A1	Pérdidas de energía	PE3
Agentes químicos	AQ1		

3. ALTERNATIVA 1B. VITRIFICACIÓN EX SITU

En el proceso de vitrificación ex situ consiste en confinar óxidos metálicos dentro de una matriz vítrea, en la Tabla 37 se enfrentan las características que debe tener un residuo para ser tratado por vitrificación frente a las propiedades que tiene el polvo de acería objeto de gestión:

Tabla 37: Características que debe cumplir el residuo para ser tratado por Vitrificación.

VARIABLES DE DECISIÓN	CARACTERISTICAS QUE DEBE CUMPLIR EL RESIDUO	CARACTERISTICAS DEL POLVO DE ACERÍA
ESTADO DEL RESIDUO	Sólido	Sólido
NATURALEZA	95% al 100%	99 al 96%
TIPO DE RESIDUO	Tóxico/peligroso/con metales	Residuo clasificado como peligroso con contenido en metales
OTRAS CARACTERÍSTICAS	Residuos con fases vítreas	Si

Una vez sometido el polvo al proceso de vitrificación se obtiene balance de masas presentado en la Tabla 38 en función de la Figura 27:

Tabla 38: balance de materia y energía del proceso de vitrificación

ENTRADAS		SALIDAS	
RSI: Polvo	P2	Producto vitrificado	SA2
Energía	E3	Efluente líquido	L1
Agentes químicos	AQ1	Emisiones gaseosas	G1
		Pérdidas de energía	PE3

4. ALTERNATIVA N° 2: NO VALORIZAR EL SÓLIDO

En este caso se pasaría a estudiar la decisión D.13 como se ha descrito antes:

D.13. ¿ES LEGAL O MEDIOAMBIENTALMENTE DESECHABLE?

En este caso habría que acudir a la legislación para saber si el polvo de acería puede ser desechado o no, para ello en la ley 16/2002 de “Prevención y Control Integrados de la Contaminación”, concretamente en el artículo 7 parte dos, Anexo II hay una lista con todas las normativas implicadas en esta decisión [LEY16/02].

Dentro de ellas, interesa la Ley 20/1986, correspondiente a la Ley Básica de Residuos Tóxicos y peligrosos, en su Anexo se describen una serie de componentes tóxicos y peligrosos que no pueden ser desechados sin más al medioambiente cuando están en cantidades o concentraciones tales que presentan un riesgo para la salud humana, recursos naturales y medioambiente.

El polvo de acería está formado por metales como Zn, SiO₂, Al₂O₃ (alúmina), P, MnO, Zn, Pb, S y C en general, cuyo nivel de peligrosidad puede superar los umbrales de tolerancia, si la cantidad de residuo que se trata es elevada. Como la producción de lodos en la acería es de 27 kg por tonelada de material caliente obtenida, los niveles de metales tóxicos en este lodo pueden ser importantes, Manteniendo esta premisa, se decide en este caso que el sólido no es legalmente desechable, pasando a la decisión D.16

D.16. ¿ES NECESARIO UN TRATAMIENTO INTERNO?

En este caso se puede optar por dos subalternativas, una sería la de no tratarlo, lo que llevaría a una tercera alternativa:

5. ALTERNATIVA N°2.1A: NO TRATAR EL SÓLIDO

Al no considerar tratar el sólido, sería gestionado externamente por un Gestor Autorizado de Residuos Peligrosos, mediante la opción O.9 del diagrama.

Si se optara por la otra vía, el tratarlo, se llegaría a una cuarta alternativa, de tal manera que se tendría:

6. ALTERNATIVA N°2.2: TRATAR EL SÓLIDO

Al tomar este camino, se llega al proceso P.10 del diagrama, donde se tendrían una serie de tratamientos de sólidos, mediante los cuales se transformaría al sólido para permitir su eliminación del flujo en base a límites legales y medioambientales. Reduciendo el impacto o la concentración de diversos elementos para que estén dentro de los límites legales para la eliminación por cualquier vía.

Se pueden citar las siguientes técnicas ya enumeradas en el apartado 4.6.3.14:

- Técnicas físicas como la **separación magnética y gravimétrica**, el **cribado**, la **trituration y molienda**
- Técnicas fisicoquímicas como, **vitrificación in situ**, **biorremediación y fitorremediación**.

En este caso no se podría aplicar ninguna de las técnicas físicas, ya por una parte no existen en el polvo componentes magnéticos para realizar una separación de este tipo.

Tampoco se podrían aplicar técnicas de gravimetría ya que el material es demasiado fino, mayoritariamente está formado por partículas de 38 µm, no llegando al mínimo de las 50 µm de tamaño de entrada al proceso, siendo también demasiado fino como para cribarlo, tritarlo o molerlo.

En cuanto a las técnicas fisicoquímicas se podría vitrificar in situ, biorremediar o fitorremediar.

7. ALTERNATIVA 2.2A: FITORREMEDIACIÓN

La fitorremediación consiste en la descontaminación de suelos que contienen metales pesados mediante ciertas especies de plantas que acumulan estos contaminantes, en la Tabla 39 se enfrentan las características que debe tener un residuo para ser tratado por fitorremediación frente a las propiedades que tiene el polvo de acería objeto de gestión:

Tabla 39: Características que debe cumplir el residuo para ser tratado por fitorremediación.

VARIABLES DE DECISIÓN	CARACTERÍSTICAS QUE DEBE CUMPLIR EL RESIDUO	CARACTERÍSTICAS DEL POLVO DE ACERÍA
ESTADO DEL RESIDUO	Polifásicos a poca profundidad (2- 4,5 m)	Sólido
NATURALEZA	Orgánico/ Inorgánico	Inorgánico
CARACTERÍSTICAS	Biodisponibilidad	X
	bajos en PCBs, PAHs e hidrocarburos	X
	No volátil	X

Las entradas y salidas del proceso basadas en la Figura 32 se pueden de forma simplificada en la siguiente tabla:

Tabla 40: Balance de materia y energía del proceso de fitorremediación

ENTRADAS		SALIDAS	
RSI: Polvo	P2	Producto fitorremediado	SA2
Agente químico o fitorremediante (planta)	AQ1	Subproducto (Plantas con metales pesados)	SA3
		Efluente líquido	L1
		Emissiones gaseosas (volátiles)	G1
		Pérdidas de energía	PE3

Este residuo al final termina inertizado en el vertedero, como emisión sólida al medio, siguiendo el mismo camino en el diagrama que en el caso anterior.

8. ALTERNATIVA 2.2B. BIORREMEDIACIÓN

En el proceso de biorremediación se utiliza el potencial metabólico de los organismos para transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples poco o nada contaminantes, en la Tabla 41, se enfrentan las características que debe tener un residuo para ser tratado frente a las propiedades que tiene el polvo de acería objeto de gestión:

Tabla 41: Características que debe cumplir el residuo para ser tratado por biorremediación.

VARIABLES DE DECISIÓN	CARACTERISTICAS QUE DEBE CUMPLIR EL RESIDUO	CARACTERISTICAS DEL POLVO DE ACERÍA
ESTADO DEL RESIDUO	Polifásicos a poca profundidad (1,2 a 9 m)	Sólido
NATURALEZA	Orgánico/ Inorgánico	Inorgánico
CARACTERISTICAS	Biodisponibilidad	X

La Tabla 42 se describen las entradas y salidas del proceso de biorremediación de la Figura 31.

Tabla 42: Balance de materia y energía del proceso de biorremediación

ENTRADAS		SALIDAS	
RSI: Polvo	P2	Producto biorremediado	SA2
Agente químico (microorganismos)	AQ1	Efluente líquido (lixiviado)	L1
		Emissiones gaseosas (volátiles)	G1
		Pérdidas de energía	PE3

Este residuo al final termina inertizado en el vertedero, como emisión sólida al medio, siguiendo el mismo camino en el diagrama que en el caso de la fitorremediación.

9. **ALTERNATIVA 2.2C. VITRIFICACIÓN IN SITU**

El proceso de vitrificación, en la que los óxidos metálicos son confinados dentro de una matriz vítrea, también puede aplicarse en el propio vertedero denominándose vitrificación “in situ”, en la Tabla 44 se presenta un resumen resultado de enfrentar las características del residuo con las características que ha de cumplir las entradas a este proceso:

Tabla 43: Características que debe cumplir el residuo para ser tratado vitrificación in situ.

VARIABLES DE DECISIÓN	CARACTERISTICAS QUE DEBE CUMPLIR EL RESIDUO	CARACTERISTICAS DEL POLVO DE ACERÍA
ESTADO DEL RESIDUO	Polifásicos	Sólido
NATURALEZA	Orgánico/ Inorgánico	Inorgánico

En la Tabla 44 se puede ver el balance de materiales que existe en el proceso de vitrificación en vertedero.

Tabla 44: Balance de materia y energía del proceso de vitrificación in situ

ENTRADAS		SALIDAS	
RSI: Polvo	P2	Producto vitrificado	SA2
Agente químico (microorganismos)	AQ1	Emissiones gaseosas (volátiles)	G1
Energía (corriente eléctrica)	EE1	Pérdidas de energía	PE3

Este residuo al final termina inertizado en el vertedero, como emisión sólida al medio, siguiendo el mismo camino en el diagrama de decisión que en el caso de la fitorremediación y la biorremediación.

5.3 SELECCIÓN DEL PROCESO DE GESTIÓN. APLICACIÓN DEL AHP A LA GESTIÓN DEL LODO DE ACERÍA LD

Finalmente y tras haber sometido al residuo al proceso de decisión del diagrama, se ha obtenido un total de seis posibles alternativas para gestionarlo, a la hora de seleccionar la más sostenible, se ha utilizado el método de análisis jerárquico AHP.

Para aplicar el AHP al lodo de acería LD, se siguen las siguientes etapas ya descritas en el apartado 4.8.2.1.

ETAPA 1: FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE DECISIÓN COMO JERARQUÍA

En esta fase se desglosa el problema de decisión como una jerarquía. El objetivo o meta que se ha de definir para realizar el AHP y que corresponde con el primer nivel de la jerarquía, es escoger que proceso de entre los resultantes es el más sostenible desde el punto de vista medioambiental, económico y social:

Como segundo nivel están los criterios, formados por un subconjunto de indicadores (Tabla 45) considerados como los más representativos para realizar el análisis y pertenecientes al sistema de indicadores de gestión de residuos SIMGRE (apartado 4.7).

Para este caso particular se han escogido 11 indicadores con los que se intenta cubrir de manera global los diferentes impactos medioambientales (indicadores ambientales), impactos socioeconómicos (indicadores de comportamiento financiero), e impacto que el entorno tiene en el proceso de gestión en función del conjunto de tratamientos de gestión (indicadores de entorno), más concretamente:

El primer grupo, indicadores ambientales, corresponde a indicadores de entradas de consumos de energía, agua y agentes químicos a lo largo de las etapas de tratamiento del residuo, así como salidas del mismo (efluentes, emisiones gaseosas y sólidos aprovechables). También se han considerado indicadores de biodiversidad, que valoran el entorno natural afectado.

Para la evaluación de los costes se ha considerado un indicador de tipo financiero, que tiene en cuentas costes de tipo positivo, es decir, aquellos que son consecuencia de la protección medioambiental, el ahorro de costes generados por el empleo de medidas medioambientales, etc. y que suponen inversiones medioambientales

En cuanto a los indicadores referentes a las condiciones del entorno que afectan a los procesos de tratamiento se han utilizado los referentes a:

- Pluviosidad de la zona en la que está situada la instalación
- Velocidad del viento respecto de la media en la zona en la que está situada la instalación
- Proporción de patrimonio natural afectado
- Proximidad a núcleos de población

En el tercer nivel de la jerarquía se encuentran las alternativas, que serán evaluadas con los indicadores o criterios de segundo nivel para concluir cuál de ellas será la más efectiva.

Estas alternativas corresponden a los casos que se han desarrollado en el apartado 5.2 en el que se identifican los procesos necesarios para tratar el lodo de acería, para identificarlos mejor y hacer más comprensivo el documento, se ha optado por denominarlos con el nombre del último tratamiento de valorización que se le ha aplicado al lodo de acería, destacando que cada alternativa está formada por un conjunto de tratamientos que comienzan en el momento en el que el residuo entra a la instalación y terminan cuando se obtiene el producto final.

En la Figura 39 aparece el problema de decisión a analizar donde se representa el nivel de jerarquías que se acaba de describir.

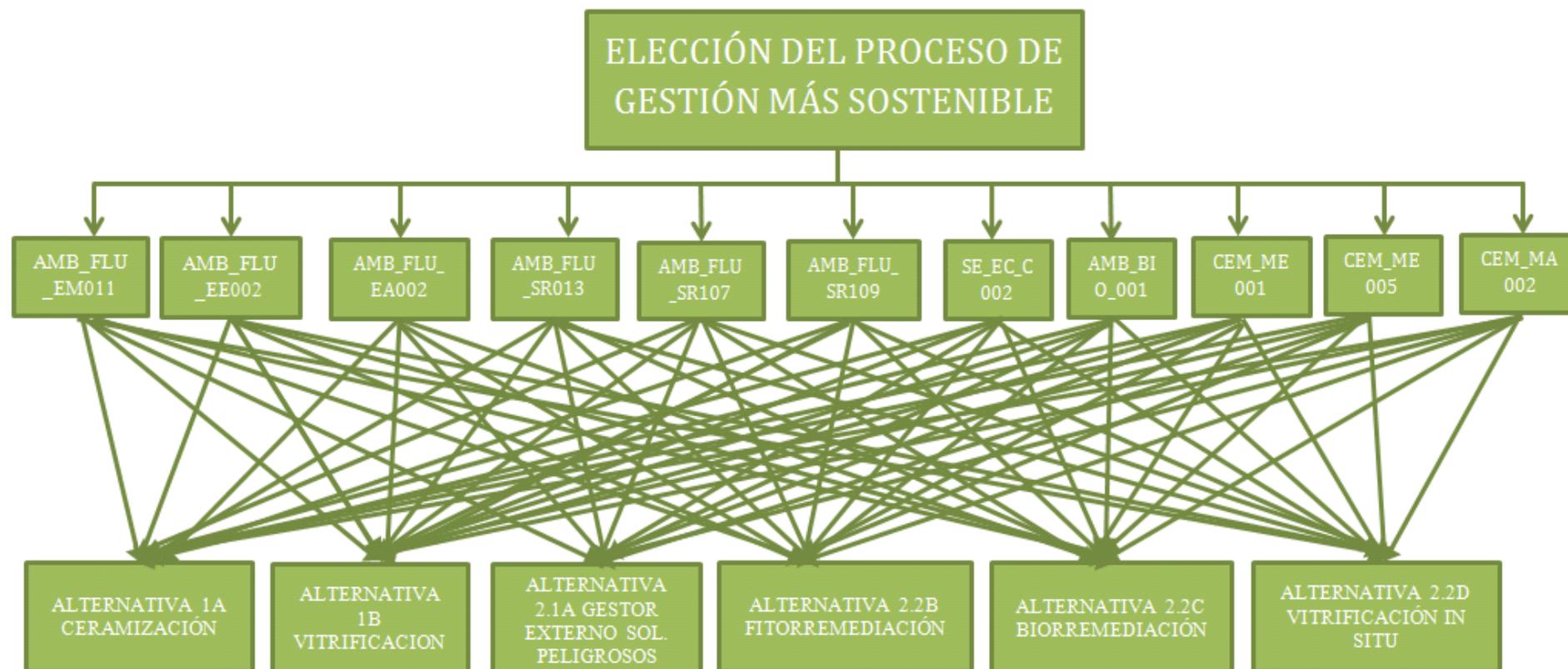


Figura 39: Representación del problema de decisión según AHP

Tabla 45: Indicadores escogidos como criterios más representativos para el estudio del AHP

Clasificación			Indicador	Código	Formula/explicación	Unidad			
Ambientales	Flujo de materiales y residuos	Entradas	Agentes químicos	Consumo específico de agentes químicos	AMB_FLU_EM011	$\frac{\text{Consumo de agentes químicos}}{\text{Cantidad de residuos de entrada}}$	—	D	
			Energía	Consumo específico de energía	AMB_FLU_EE002	$\frac{\text{Consumo de energía}}{\text{Cantidad de residuos de entrada}}$	—	D	
			Agua	Consumo específico de agua	AMB_FLU_EA002	$\frac{\text{Consumo de agua}}{\text{Cantidad de residuos de entrada}}$	—	D	
	Salida	Residuos sólidos	Productos del tratamiento	Aprovechables	Proporción total de sólidos aprovechables	AMB_FLU_SR013	$\frac{\text{Cantidad de sólidos aprovechables}}{\text{Cantidad total de residuos de entrada}}$	%	A
					No aprovechables	Volumen de efluentes líquidos, respecto a la cantidad total de residuos de entrada a tratamiento	AMB_FLU_SR107	$\frac{\text{Volumen de efluentes líquidos}}{\text{Cantidad total de residuos de entrada}}$	—
				No aprovechables	Volumen de emisiones gaseosas respecto a la cantidad total de residuos de entrada a tratamiento	AMB_FLU_SR109	$\frac{\text{Volumen de emisiones gaseosas}}{\text{Cantidad total de residuos de entrada}}$	—	D
	Biodiversidad	Conservación natural	Proporción de patrimonio natural afectado	AMB_BIO_P001	$\frac{\text{Patrimonio natural afectado}}{\text{Patrimonio natural total}}$	%	D		
	Económicos	Comportamiento financiero	Costes operativos de la protección medioambiental	SE_EC_C002	$\frac{\text{Costes operativos}}{\text{Ingresos}}$	—	D		
	Condiciones de entorno	Condiciones meteorológicas	Pluviosidad de la zona en la que está situada una instalación	CEN_ME001	$\frac{\text{Pluviosidad}}{\text{Cantidad de residuos de entrada}}$	—	D		
		Condiciones de habitabilidad	Velocidad del viento respecto de la media en la zona en la que está situada la instalación	CEN_ME005	$\frac{\text{Velocidad del viento}}{\text{Velocidad media}}$	%	D		
Proximidad a núcleos de población			CEN_MA002	$\frac{\text{Proximidad a núcleos de población}}{\text{Cantidad de residuos de entrada}}$	km	A			

Para contrastar de qué manera pueden variar los resultados en función de estas condiciones, (algunas veces en mayor medida, otras en menos), se aplica el método AHP a dos escenarios diferentes, en los que las condiciones ambientales del lugar donde transcurre el proceso de gestión varían sensiblemente:

- Por un lado se supone un entorno industrial, situado en el norte de España, concretamente en Avilés, de clima húmedo y lluvioso y velocidades del viento moderadas.
- Por otro se estudia una zona más cálida y seca correspondiente al sur de España, donde la velocidad media del viento es inferior, por ejemplo Sevilla.

Una vez identificados todos los factores del estudio y establecidos los dos ejemplos a aplicar, se pasa a desarrollar el análisis de toma de decisiones para cada uno de los escenarios y para el resto de las etapas:

1. INSTALACIÓN SITUADA EN UN ENTORNO INDUSTRIAL DEL NORTE DE ESPAÑA. AVILÉS

Una vez que establecidos los criterios de entorno que describen las dos zonas escogidas para la instalación se procede a realizar el análisis del primer escenario, para ello se prosigue con la segunda etapa del análisis.

ETAPA 2: VALORACIÓN DE LOS ELEMENTOS

Para evaluar la importancia relativa que la unidad decisora asigna a cada uno de los criterios seleccionados, se calcula el vector de pesos o prioridades. Comparando por pares cada uno de los criterios para obtener la matriz de comparaciones pareadas, que en este caso será una matriz 10x10, (Tabla 46) ya que se manejan 10 indicadores, que se enfrentan en la matriz para obtener el resultado.

La diagonal de la matriz la unidad, resultante de comparar cada criterio o indicador medioambiental consigo mismo.

Una vez que se le han asignado a los 11 criterios ó indicadores escogidos, el valor numérico de la escala de medidas proporcionada por Thomas Saaty [SAA90] (Tabla 31) donde se establece por el decisor la preferencia de un indicador con respecto al otro, se obtiene la siguiente matriz.

Tabla 46: Matriz de comparación por pares (A)

	Consumo específico de agentes químicos	Consumo específico energía	Consumo específico de agua	Proporción total de sólidos aprovechables	Volumen de efluentes líquidos	Volumen de emisiones gaseosas	Costes operativos de producción medioambiental	Pluviosidad de la zona de la instalación	Velocidad del viento en la zona	Proximidad a núcleos de población	Proporción de patrimonio natural afectado
Consumo específico de agentes químicos	1	4	1/2	1/6	5	6	1/6	1/5	1/5	1/4	1/3
Consumo específico energía	1/4	1	1/4	1/7	2	3	1/7	1/6	1/6	1/5	1/4
Consumo específico de agua	2	4	1	1/5	5	6	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2
Proporción total de sólidos aprovechables	6	7	5	1	8	9	2	3	3	4	4
Volumen de efluentes líquidos	1/5	1/2	1/5	1/8	1	2	1/8	1/7	1/7	1/6	1/5
Volumen de emisiones gaseosas	1/6	1/3	1/6	1/9	1/2	1	1/9	1/8	1/8	1/6	1/6
Costes operativos de producción medioambiental	6	7	5	1/2	8	9	1	2	2	4	4
Pluviosidad de la zona de la instalación	5	6	4	1/3	7	8	1/2	1	1/2	2	3
Velocidad del viento en la zona	5	6	4	1/3	7	8	1/2	2	1	3	3
Proximidad a núcleos de población	4	5	3	1/4	6	6	1/4	1/2	1/3	1	3
Proporción de patrimonio natural afectado	3	3	2	1/4	0	1/4	1/4	1/3	1/3	2/3	1

Para saber si la matriz es suficientemente representativa del proceso de decisión y por lo tanto coherente y válida para el análisis, se realiza el análisis de consistencia, en el que se calcula el ratio de consistencia, RC, normalizando primer la matriz para calcular el vector de prioridades (W) del que se obtiene el autovalor de la matriz (λ_{max}):

Tabla 47: Vector de prioridades o pesos de la matriz A

VECTOR DE PRIORIDADES (w)
0,0459
0,0241
0,0542
0,2431
0,0176
0,0134
0,1918
0,1243
0,1450
0,0920
0,0486

Con este vector, se calcula $\lambda_{max} = 11,89$, siendo:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = 0,0890$$

Y finalmente se calcula:

—

Donde **CR= 5,88 % (~0,06)**, como la matriz A es de $n > 5$, para ser consistente el ratio debe ser $CR \leq 10\%$, cumpliéndose este factor.

3ª ETAPA: DETERMINACIÓN DE LAS PRIORIDADES LOCALES DE LAS ALTERNATIVAS

En esta etapa se calcula la matriz de juicios por comparación pareada entre alternativas (R), esta matriz se calcula para cada uno de los criterios o indicadores con los que se ha calculado la matriz A:

Se normaliza la matriz R para cada criterio y se calcula el vector propio asociado, y el ratio de consistencia CR, si CR es menor del 10%, el análisis es consistente, obteniéndose para cada criterio el correspondiente vector de pesos locales de las alternativas. Para los 11 criterios se tiene:

CRITERIO 1: CONSUMO ESPECÍFICO DE AGENTES QUÍMICOS:

	ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	ALT. 1B VITRIFICACIÓN	ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	ALT. 2.2A FITORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2 C VITRIFICACION IN SITU
ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	1	2	1/6	1/3	1/2	1/2
ALT. 1B VITRIFICACIÓN	1/2	1	1/8	1/6	1/6	1/2
ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	6	8	1	2	3	6
ALT.2.2A. FITORREMEDIACIÓN	3	6	1/2	1	2	6
ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	2	6	1/3	1/2	1	3
ALT 2.2 C VITRIFICACION IN SITU	2	2	1/6	1/6	1/3	1

VECTOR DE PRIORIDADES
0,0671
0,0370
0,4053
0,2573
0,1605
0,0729

Donde CR = 3,33 % => matriz consistente.

CRITERIO 2: CONSUMO ESPECÍFICO DE ENERGÍA:

	ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	ALT. 1B VITRIFICACIÓN	ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	ALT. 2.2A FITORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2 C VITRIFICACION IN SITU
ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	1	2	1/4	1/5	1/5	2
ALT. 1B VITRIFICACIÓN	1/2	1	1/8	1/9	1/7	1/2
ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	4	8	1	2	2	7
ALT.2.2A. FITORREMEDIACIÓN	5	9	1/2	1	2	7
ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	5	7	1/2	1/2	1	7
ALT 2.2 C VITRIFICACION IN SITU	1/2	2	1/7	1/7	1/7	1

VECTOR DE PRIORIDADES
0,0666
0,0317
0,3465
0,2874
0,2245
0,0433

Donde CR = 3,25 % => matriz consistente.

CRITERIO 3: CONSUMO ESPECÍFICO DE AGUA:

	ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	ALT. 1B VITRIFICACIÓN	ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	ALT. 2.2A FITORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2 C VITRIFICACION IN SITU
ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	1	3	1/3	1/2	1/2	2
ALT. 1B VITRIFICACIÓN	1/3	1	1/4	1/4	1/4	1/2
ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	3	4	1	2	2	4
ALT.2.2A. FITORREMEDIACIÓN	2	4	1/2	1	2	3
ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	2	4	1/2	1/2	1	3
ALT 2.2 C VITRIFICACION IN SITU	1/2	2	1/4	1/3	1/3	1

VECTOR DE PRIORIDADES
0,1228
0,0524
0,3294
0,2324
0,1868
0,0763

Donde $CR = 2,54\% \Rightarrow$ matriz consistente.

CRITERIO 4: PROPORCIÓN TOTAL DE SÓLIDOS APROVECHABLES:

	ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	ALT. 1B VITRIFICACIÓN	ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	ALT. 2.2A FITORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2 C VITRIFICACION IN SITU
ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	1	1/2	9	4	6	6
ALT. 1B VITRIFICACIÓN	2	1	8	8	8	8
ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	1/9	1/8	1	1/4	1/3	1/3
ALT.2.2A. FITORREMEDIACIÓN	1/4	1/8	4	1	1/3	1/2
ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	1/6	1/8	3	3	1	1/2
ALT 2.2 C VITRIFICACION IN SITU	1/6	1/8	3	2	2	1

VECTOR DE PRIORIDADES
0,2947
0,4513
0,0302
0,0629
0,0777
0,0831

Donde CR = 8,50 % => matriz consistente.

CRITERIO 5: VOLUMEN DE EFLUENTES LÍQUIDOS:

	ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	ALT. 1B VITRIFICACIÓN	ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	ALT. 2.2A FITORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2 C VITRIFICACION IN SITU
ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	1	5	1/2	8	8	2
ALT. 1B VITRIFICACIÓN	1/5	1	1/7	3	4	1/3
ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	2	7	1	8	9	4
ALT.2.2A. FITORREMEDIACIÓN	1/8	1/3	1/8	1	2	1/6
ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	1/8	1/4	1/9	1/2	1	1/7
ALT 2.2 C VITRIFICACION IN SITU	1/2	3	1/4	6	7	1

VECTOR DE PRIORIDADES
0,2685
0,0773
0,4190
0,0391
0,0281
0,1680

Donde **CR = 4,39 %** => matriz consistente.

CRITERIO 6: VOLUMEN DE EMISIONES GASEOSAS

	ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	ALT. 1B VITRIFICACIÓN	ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	ALT. 2.2A FITORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2 C VITRIFICACION IN SITU
ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	1	2	1/2	5	7	3
ALT. 1B VITRIFICACIÓN	1/2	1	1/3	3	5	2
ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	2	3	1	7	9	5
ALT.2.2A. FITORREMEDIACIÓN	1/5	1/3	1/7	1	2	1/2
ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	1/7	1/5	1/9	1/2	1	1/3
ALT 2.2 C VITRIFICACION IN SITU	1/3	1/2	1/5	2	3	1

VECTOR DE PRIORIDADES
0,2542
0,1540
0,4128
0,0547
0,0339
0,0903

Donde CR = 0,94 % => matriz consistente.

CRITERIO 7: COSTES OPERATIVOS DE PRODUCCIÓN MEDIOAMBIENTAL:

	ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	ALT. 1B VITRIFICACIÓN	ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	ALT. 2.2A FITORREMIEDIACIÓN	ALT. 2.2B BIORREMIEDIACIÓN	ALT. 2.2 C VITRIFICACION IN SITU
ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	1	2	9	8	7	4
ALT. 1B VITRIFICACIÓN	1/2	1	9	8	7	4
ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	1/9	1/9	1	1/2	1/2	1/7
ALT.2.2A. FITORREMIEDIACIÓN	1/8	1/8	2	1	1/2	1/6
ALT. 2.2B BIORREMIEDIACIÓN	1/7	1/7	2	2	1	1/5
ALT 2.2 C VITRIFICACION IN SITU	1/4	1/4	7	6	5	1

VECTOR DE PRIORIDADES
0,3981
0,3130
0,0291
0,0401
0,0534
0,1664

Donde $CR = 5,62\% \Rightarrow$ matriz consistente.

CRITERIO 8: PLUVIOSIDAD DE LA ZONA DE LA INSTALACIÓN:

	ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	ALT. 1B VITRIFICACIÓN	ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	ALT. 2.2A FITORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2 C VITRIFICACION IN SITU
ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	1	2	1/2	5	5	3
ALT. 1B VITRIFICACIÓN	1/2	1	1/7	5	5	3
ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	2	7	1	8	9	7
ALT.2.2A. FITORREMEDIACIÓN	1/5	1/5	1/8	1	2	1/3
ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	1/5	1/5	1/9	1/2	1	1/5
ALT 2.2 C VITRIFICACION IN SITU	1/3	1/3	1/7	3	5	1

VECTOR DE PRIORIDADES
0,2139
0,1493
0,4650
0,0449
0,0323
0,0946

Donde CR = 6,85 % => matriz consistente.

CRITERIO 9: VELOCIDAD DE VIENTO EN LA ZONA

	ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	ALT. 1B VITRIFICACIÓN	ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	ALT. 2.2A FITORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2 C VITRIFICACION IN SITU
ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	1	2	1/2	5	7	3
ALT. 1B VITRIFICACIÓN	1/2	1	1/3	3	5	2
ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	2	3	1	7	8	5
ALT.2.2A. FITORREMEDIACIÓN	1/5	1/3	1/7	1	2	1/2
ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	1/7	1/5	1/8	1/2	1	1/3
ALT 2.2 C VITRIFICACION IN SITU	1/3	1/2	1/5	2	3	1

VECTOR DE PRIORIDADES
0,2557
0,1550
0,4081
0,0551
0,0351
0,0910

Donde CR = 1,17 % => matriz consistente.

CRITERIO 10: PROXIMIDAD A NÚCLEOS DE POBLACIÓN.

	ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	ALT. 1B VITRIFICACIÓN	ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	ALT. 2.2A FITORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2 C VITRIFICACION IN SITU
ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	1	2	1/2	3	3	2
ALT. 1B VITRIFICACIÓN	1/2	1	1/3	3	3	2
ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	2	3	1	4	5	3
ALT.2.2A. FITORREMEDIACIÓN	1/3	1/3	1/4	1	2	1/2
ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	1/3	1/3	1/5	1/2	1	1/3
ALT 2.2 C VITRIFICACION IN SITU	1/2	1/2	1/3	2	3	1

VECTOR DE PRIORIDADES
0,2183
0,1665
0,3599
0,0770
0,0547
0,1237

Donde $CR = 2,82\% \Rightarrow$ matriz consistente.

CRITERIO 11: PROPORCIÓN DE PATRIMONIO NATURAL AFECTADO.

	ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	ALT. 1B VITRIFICACIÓN	ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	ALT. 2.2A FITORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2 C VITRIFICACION IN SITU
ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	1	2	1/2	4	5	3
ALT. 1B VITRIFICACIÓN	1/2	1	1/3	3	4	2
ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	2	3	1	5	6	3
ALT.2.2A. FITORREMEDIACIÓN	1/4	1/3	1/5	1	2	1/2
ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	1/5	1/4	1/6	1/2	1	1/3
ALT 2.2 C VITRIFICACION IN SITU	1/3	1/2	1/3	2	3	1

VECTOR DE PRIORIDADES
0,2524
0,1628
0,3664
0,0658
0,0436
0,1089

Donde $CR = 2,04\% \Rightarrow$ matriz consistente.

Una vez calculadas las prioridades locales, se calcula la matriz de prioridades totales y el vector prioridad, que presentan la importancia que tienen las alternativas con respecto a la meta, identificándose por orden las alternativas, siendo la de mayor valor la que más se adecuaba al objetivo final

	Consumo específico de agentes químicos	Consumo específico energía	Consumo específico de agua	Proporción total de sólidos aprovechables	Volumen de efluentes líquidos	Volumen de emisiones gaseosas	Costes operativos de producción medioambiental	Pluviosidad de la zona de la instalación	Velocidad del viento en la zona	Proximidad a núcleos de población	Proporción de patrimonio natural afectado
ALTERNATIVA 1A. CERAMIZACIÓN	0,07	0,07	0,12	0,29	0,27	0,25	0,40	0,21	0,26	0,22	0,25
ALTERNATIVA 1B VITRIFICACIÓN	0,04	0,03	0,05	0,45	0,08	0,15	0,31	0,15	0,16	0,17	0,16
ALTERNATIVA 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	0,41	0,35	0,33	0,03	0,42	0,41	0,03	0,46	0,41	0,36	0,37
ALTERNATIVA 2.2AFITORREMIACIÓN	0,26	0,29	0,23	0,06	0,04	0,05	0,04	0,04	0,06	0,08	0,07
ALTERNATIVA 2.2B BIORREMIACIÓN	0,16	0,22	0,19	0,08	0,03	0,03	0,05	0,03	0,04	0,05	0,04
ALTERNATIVA 2.2 C VITRIFICACION IN SITU	0,07	0,04	0,08	0,08	0,17	0,09	0,17	0,09	0,09	0,12	0,11

Siendo el vector prioridad:

VECTOR PRIORIDAD	0,05	0,02	0,05	0,24	0,02	0,01	0,19	0,12	0,15	0,09	0,05
-------------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

La mejor alternativa para este caso resulta ser:

Tabla 48: Solución del Proceso de Análisis Jerárquico AHP en el Principado de Asturias

	VECTOR PRIORIDAD ALTERNATIVA	
ALTERNATIVA 1A CERAMIZACIÓN	0,2635	MEJOR ALTERNATIVA
ALTERNATIVA 1B VITRIFICACIÓN	0,2427	
ALTERNATIVA 2.1 A GESTOR EXTERNO SOL. PELIG	0,2386	
ALTERNATIVA 2.2 A FITORREMIEDIACIÓN	0,0796	
ALTERNATIVA 2.2 B BIORREMIEDIACIÓN	0,0692	
ALTERNATIVA 2.2 C VITRIFICACION IN SITU	0,1064	

Antes de entrar a analizar el porqué de la solución obtenida, se ha de destacar que todas las alternativas de gestión parten del mismo residuo (lodo), y dan como resultado un sólido aprovechable y un residuo que vuelve a entrar a ser analizado por la herramienta de decisión (diagrama de selección de alternativas), dando dos opciones de gestión:

1. Una primera opción de valorización (1), donde el residuo se puede someter a dos procesos, ceramización o vitrificación
2. Una segunda opción (2), que corresponde a los procesos de tratamiento, en los que el residuo se puede someter a tres procesos, vitrificación in situ, fitorremediación y biorremediación o a bien llevar a un gestor externo.

Para trabajar de manera simplificada se ha llamado a cada opción de gestión o alternativa con el nombre de la última técnica de valorización o tratamiento al que ha sido sometido. Así la primera alternativa se denomina alternativa *1A ceramización*, la segunda la *1B vitrificación* y así sucesivamente.

Por lo tanto a partir de ahora cuando se hable de la *alternativa 1A ceramización*, no se hablará solamente del proceso de ceramización en sí, si no del conjunto de tratamientos de forman la gestión del residuo en los cuales el último de ellos es la ceramización.

Para este primer caso evaluado, en el que la instalación está situada en Avilés, se ha obtenido como mejor alternativa de gestión la *Alternativa 1A Ceramización*, con una puntuación de (0,2635) según la Tabla 48, en la que el residuo pasa por dos etapas:

1. Una primera etapa de secado y otra de separación magnética, en la que se obtiene un sólido aprovechable (hierro), cuya salida es común para todas las opciones de gestión
2. Una segunda etapa en donde el polvo, con elevado contenido en el resto de metales que no han sido separados por la corriente magnética, pasa a la etapa de tratamiento de valorización final que puede ser de vitrificación o de ceramización

El resultado obtenido ha sido consistente no solo porque el valor de CR se encuentre dentro los límites requeridos, si no porque además se cumplen las siguientes características:

- Según lo visto en el apartado 5.3, en esta solución se consume menos energía que para el caso *1B Vitrificación* o para el *2.2 C, Vitrificación in situ*, y más energía que para el resto de

las opciones (1A, 1B, 2.1A, 2.2A, 2.2B, y 2.2C) al sumar todas energías consumidas en cada uno de los casos desarrollados en el apartado 5.3.

- Se consume agua, aunque la cantidad no es elevada, el volumen es ligeramente superior al del caso *1B Vitrificación*.
- El agente químico empleado suele ser la arcilla que no es un material ni tóxico ni peligroso por lo que esta característica le daría un nivel de preferencia alto, más que en otras alternativas que consideran agentes químicos menos agresivos.
- No se generan efluentes líquidos, ya que en el proceso de secado se evaporan, en la separación magnética no hay agua y en la etapa final de ceramización tampoco hay salidas de este tipo. Sin embargo sí que se producen efluentes líquidos en las opciones correspondientes a las alternativas *2.2 A Fitorremediación* y *2.2 B Biorremediación* que al estar situadas en un territorio húmedo y lluvioso hace que se produzcan más lixiviados en los tratamientos en vertedero haciendo que la suma de los mismos para el total de la alternativa sea mayor que en el caso *1A Ceramización*.
- Se generan dos sólidos aprovechables, uno el hierro resultante de la separación magnética y otro el sólido ceramizado, que da un valor de preferencia mayor al ponderar la matriz de comparación Z de este criterio (sólidos aprovechables), siendo poco menor en la *Alternativa 1B vitrificación* y mucho menor en los procesos de tratamiento.
- Los costes operativos de producción medioambiental son altos, ya que tanto en el proceso de secado, como en el proceso de valorización, se utilizan técnicas para recuperar los efluentes o tratar los gases que salen del proceso antes de que se eliminen a la atmósfera, con lo cual es un coste positivo, mayor del que se puede producir cuando se envían los residuos a un vertedero o a un gestor por ejemplo.
- La elevada velocidad del viento en esta zona, es un factor negativo a la hora de ponderar, ya que si es fuerte desplaza la contaminación gaseosa a otras áreas cercanas de la zona, como núcleos de población cercanos a la zona industrial como es Avilés
- El clima lluvioso no influye mucho en este caso, ya que todos los procesos transcurren en una instalación cerrada, sin embargo no ocurre lo mismo en los casos en los que se tienen tratamiento en vertedero (fitorremediación o biorremediación) como en las alternativas 2.2 A y B donde la puntuación es mucho más baja, ya que se genera lixiviados al ser la zona muy lluviosa.

2. INSTALACIÓN SITUADA EN UN ENTORNO RURAL DEL SUR DE ESPAÑA. SEVILLA

En este segundo caso, se desarrolla el análisis de manera análoga al apartado anterior, siendo la matriz de comparación por pares (A) la misma, la única diferencia son las matrices resultantes de comparar las alternativas entre sí con respecto a cada criterio, denominadas Z, y no todas, solo las referentes a las condiciones de entorno, ya que es la ubicación de la instalación lo único que cambia.

Se presentan pues las matrices correspondientes a la comparación pareada de alternativas con respecto a los siguientes indicadores de entorno:

- Pluviosidad de la zona donde se sitúa la instalación
- Velocidad del viento
- Proximidad a núcleo de población
- Proporción de patrimonio industrial afectado

Desarrollando el resto del problema de decisión se tiene:

CRITERIO 8: PLUVIOSIDAD DE LA ZONA DE LA INSTALACIÓN:

	ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	ALT. 1B VITRIFICACIÓN	ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	ALT. 2.2A FITORREMEIACIÓ N	ALT. 2.2B BIORREMEIACIÓ N	ALT. 2.2 C VITRIFICACION IN SITU
ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	1	2	1/2	4	5	3
ALT. 1B VITRIFICACIÓN	1/2	1	1/2	2	3	2
ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	2	2	1	4	5	3
ALT.2.2A. FITORREMEIACIÓ N	1/4	1/2	1/4	1	2	1/2
ALT. 2.2B BIORREMEIACIÓ N	1/5	1/3	1/5	1/2	1	1/2
ALT 2.2 C VITRIFICACION IN SITU	1/3	1/2	1/3	2	2	1

VECTOR DE PRIORIDADES
0,2672
0,1615
0,3360
0,0771
0,0523
0,1060

Donde CR = 1,87 % => matriz consistente.

CRITERIO 9: VELOCIDAD DE VIENTO EN LA ZONA

	ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	ALT. 1B VITRIFICACIÓN	ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	ALT. 2.2A FITORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2 C VITRIFICACION IN SITU
ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	1	2	1/2	4	5	3
ALT. 1B VITRIFICACIÓN	1/2	1	1/2	2	4	2
ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	2	2	1	4	5	3
ALT.2.2A. FITORREMEDIACI ÓN	1/4	1/2	1/4	1	2	1/2
ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓ N	1/5	1/4	1/5	1/2	1	1/3
ALT 2.2 C VITRIFICACION IN SITU	1/3	1/2	1/3	2	3	1

VECTOR DE PRIORIDADES
0,2641
0,1680
0,3329
0,0755
0,0466
0,1129

Donde CR = 2,14% => matriz consistente.

CRITERIO 10: PROXIMIDAD A NÚCLEOS DE POBLACIÓN.

	ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	ALT. 1B VITRIFICACIÓN	ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	ALT. 2.2A FITORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2 C VITRIFICACION IN SITU
ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	1	2	1/2	6	8	4
ALT. 1B VITRIFICACIÓN	1/2	1	1/4	5	6	3
ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	2	4	1	8	9	6
ALT.2.2A. FITORREMEDIA CIÓN	1/6	1/5	1/8	1	2	1/3
ALT. 2.2B BIORREMEDIA CIÓN	1/8	1/6	1/9	1/2	1	1/4
ALT 2.2 C VITRIFICACION IN SITU	1/4	1/3	1/6	3	4	1

VECTOR DE PRIORIDADES
0,2559
0,1647
0,4218
0,0429
0,0293
0,0854

Donde CR = 3,61% => matriz consistente.

CRITERIO 11: PROPORCIÓN DE PATRIMONIO NATURAL AFECTADO.

	ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	ALT. 1B VITRIFICACIÓN	ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	ALT. 2.2A FITORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2B BIORREMEDIACIÓN	ALT. 2.2 C VITRIFICACION IN SITU
ALT. 1A. CERAMIZACIÓN	1	2	1/2	7	9	2
ALT. 1B VITRIFICACIÓN	1/2	1	1/3	7	9	5
ALT. 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	2	3	1	8	9	7
ALT.2.2A. FITORREMEDIA CIÓN	1/7	1/7	1/8	1	2	1/2
ALT. 2.2B BIORREMEDIA CIÓN	1/9	1/9	1/9	1/2	1	1/5
ALT 2.2 C VITRIFICACION IN SITU	1/2	1/5	1/7	2	5	1

VECTOR DE PRIORIDADES
0,2383
0,2122
0,4006
0,0401
0,0257
0,0830

Donde CR = 5,54 % => matriz consistente.

Una vez calculadas las prioridades locales, se calcula la matriz de prioridades totales y el vector prioridad, que presentan la importancia que tienen las alternativas con respecto a la meta, identificándose por orden las alternativas, siendo la de mayor valor la que más se adecúa al objetivo final, al igual que en caso anterior.

	Consumo específico de agentes químicos	Consumo específico energía	Consumo específico de agua	Proporción total de sólidos aprovechables	Volumen de efluentes líquidos	Volumen de emisiones gaseosas	Costes operativos de producción medioambiental	Pluviosidad de la zona de la instalación	Velocidad del viento en la zona	Proximidad a núcleos de población	Proporción de patrimonio natural afectado
ALTERNATIVA 1A. CERAMIZACIÓN	0,07	0,07	0,12	0,29	0,27	0,25	0,40	0,27	0,26	0,26	0,24
ALTERNATIVA 1B VITRIFICACIÓN	0,04	0,03	0,05	0,45	0,08	0,15	0,31	0,16	0,17	0,16	0,21
ALTERNATIVA 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIGROSOS	0,41	0,35	0,33	0,03	0,42	0,41	0,03	0,34	0,33	0,42	0,40
ALTERNATIVA 2.2A FITORREMEDIACIÓN	0,26	0,29	0,23	0,06	0,04	0,05	0,04	0,08	0,08	0,04	0,04
ALTERNATIVA 2.2B BIORREMEDIACIÓN	0,16	0,22	0,19	0,08	0,03	0,03	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03
ALTERNATIVA 2.2 C VITRIFICACION IN SITU	0,07	0,04	0,08	0,08	0,17	0,09	0,17	0,11	0,11	0,09	0,08

Siendo el vector prioridad:

VECTOR PRIORIDAD	0,05	0,02	0,05	0,24	0,02	0,01	0,19	0,12	0,15	0,09	0,05
-------------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

La mejor alternativa para este caso resulta ser la 1 A:

	VECTOR PRIORIDAD ALTERNATIVA	
ALTERNATIVA 1A CERAMIZACIÓN	0,2741	MEJOR ALTERNATIVA
ALTERNATIVA 1B VITRIFICACIÓN	0,2484	
ALTERNATIVA 2.1A GESTOR EXTERNO SOL. PELIG	0,2190	
ALTERNATIVA 2.2 A FITORREMEDIACIÓN	0,0821	
ALTERNATIVA 2.2 B BIORREMEDIACIÓN	0,0702	
ALTERNATIVA 2.2 C VITRIFICACION IN SITU	0,1062	

Al cambiar las condiciones de entorno en las que transcurre el proceso de gestión se ve cómo cambian las puntuaciones de las alternativas que lo gestionan.

En el caso de que la instalación de gestión este ubicada en Andalucía, en un entorno rural, se observa comparándolo con el Principado de Asturias, que la *alternativa 1 A*, sigue siendo la opción preferible de gestión, la diferencia con respecto al caso anterior es que se ven favorecidas las alternativas que finalizan en valorización (ceramización y vitrificación) frente a las de tratamiento (vertedero) y gestor, con lo cual las puntuaciones suben en unas para bajar en otras, esto es debido a lo siguiente:

1. Al pasar de un clima más húmedo y lluvioso, a uno más seco y árido, las alternativas de tratamiento se ven afectadas por la falta de agua, lo que por otra parte favorece la ausencia de lixiviados, pero no la de emisiones gaseosas. Esta falta de lixiviado favorece los procesos de tratamiento frente a los de gestión aumentando su puntuación.
2. Al pasar de una zona industrial a una rural, se generan más impactos sobre el medioambiente, estando actualmente la instalación situada en una zona rural donde el hábitat natural es más diverso que en una zona industrial o urbana donde es más escaso. Esto favorece la puntuación en las alternativas que incluyen depósito en vertedero, como fitorremediación, biorremediación y vitrificación y gestor, disminuyendo.
3. Al ser la zona con velocidad del viento suave, las emisiones en forma de escapes que pueden irrumpir en la atmosfera, tienen pocas probabilidades de ser arrastradas a otra zona contaminando más el medio, esto hace que los procesos de valorización sean menos preferentes que los de vertedero o envío a gestor.
4. Por otra parte la sequía de la zona no favorece la aplicación de técnicas de tratamiento en vertedero, haciendo que la puntuación disminuya con respecto a las demás opciones.

Si se compara un escenario con el otro, se ve que el cambio de las condiciones de entorno varía sensiblemente los resultados pero no hasta el punto de que la alternativa cambie, esto es debido a dos cosas:

1. Si se compara cómo influyen cada uno de los indicadores en las alternativas de gestión del lodo de acería LD en los dos casos escogidos, Principado de Asturias

y Andalucía, se observa que no hay muchas diferencias, es decir, las puntuaciones de cada indicador con respecto al caso que se estudia no cambian mucho aunque cambien las condiciones de entorno, lo que hace que el método al final entre uno y otro entorno, escoja siempre la *alternativa 1 A*.

2. Esto implica que las condiciones de entorno establecidas al principio del análisis no son suficientemente determinantes, esto es debido a dos cosas:
 - La primera es que las condiciones del entorno deberían diferir más una de la otra, y
 - La segunda es que los procesos de tratamiento no se ven influidos por el entorno lo suficiente como para que la solución de gestión del residuo salga diferente a la *alternativa 1 A*.

Una vez desarrollada la metodología de gestión, escogiendo a partir del diagrama de selección las diferentes alternativas de tratamiento y aplicando el AHP, queda demostrada la validez del proceso.

Al ponderar los criterios medioambientales, se obtiene para cada alternativa una puntuación que será mayor para la opción de gestión más válida y menor para la menos válida, también se demuestra como variando las condiciones del entorno, varían también las puntuaciones de las alternativas de gestión consideradas.

En definitiva, a lo largo de la aplicación de esta metodología, se cumplen una serie de características que la han hecho adecuada para el estudio del tratamiento en la gestión de los residuos sólidos industriales.

En primer lugar se ha demostrado su *adaptabilidad*, ya que se adecúa sin ningún problema a cualquier tipo de residuo, sea sólido, ó semisólido, en este caso particular después de pasar el lodo por el diagrama de selección de alternativas, se obtiene un sólido (polvo de acería sin metales) que vuelve a entrar en el diagrama para ser otra vez gestionado.

Debido a su *carácter general*, se puede aplicar a diferentes tipos de residuos industriales y también se puede emplear en cualquier tipo de entorno, sin más que cambiar las condiciones de situación (clima, suelo, cercanía a áreas pobladas o hábitats naturales, etc.) de la instalación donde tiene lugar el proceso de gestión.

En tercer lugar, se ha probado su *flexibilidad*, ya que:

- Se pueden tener en cuenta diferentes tipos de procesos de tratamiento, además de los descritos en el ejemplo, relacionados con el tipo de residuo de entrada al proceso.
- A la hora de aplicar AHP para analizar que alternativa es la más válida, se pueden considerar otros criterios o indicadores medioambientales diferentes de los utilizados en el ejemplo.

A su vez, se ha demostrado su *facilidad de manejo*, ya que el proceso de decisión, principio fundamental de funcionamiento de la metodología, ayuda y guía al usuario a lo largo de las diferentes decisiones de forma rápida, cómoda y sencilla.

Finalmente, ha resultado ser una metodología de *fácil actualización*, ya que su estructura la hace ser una herramienta abierta, capaz de aceptar futuras mejoras y cambios que se puedan producir, como por ejemplo, la inclusión de nuevos métodos de tratamiento de los lodos o polvos de acería, que hace que se tengan en cuenta otras características tanto de los residuos como de los procesos, cuyos datos han de estar actualizados en las fichas correspondientes.

6 CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE FUTURO

Se ha desarrollado una completa metodología que incluye los siguientes elementos:

- Un sistema de indicadores de aplicabilidad general a todo tipo de residuos sólidos industriales y que servirá posteriormente para el análisis y evaluación de las distintas alternativas de tratamiento.
- Un conjunto de fichas para la caracterización de los residuos, los distintos procesos de tratamiento y las posibles condiciones del entorno.
- Un esquema general de selección de alternativas o soluciones de tratamiento en función de las características recogidas en las fichas anteriormente mencionadas.
- Un proceso de análisis jerárquico (AHP) cuya aplicación permite obtener la solución de tratamiento de residuos más adecuada de acuerdo al conjunto de criterios de análisis.

Este procedimiento permite que el análisis se produzca de una forma más objetiva, en base al análisis de diferentes aspectos o criterios. Asimismo facilita la repetitividad del análisis y que se pueda aplicar a cualquier tipo de residuo sólido industrial con independencia del origen que tenga.

Los cambios derivados de la evolución de la tecnología, de las condiciones sociales o económicas se pueden incorporar sin dificultad a metodología propuesta.

La metodología se ha validado mediante la aplicación al caso concreto de los lodos de acería LD caracterizados a través de la ficha de residuo con los datos disponibles. Una vez seleccionado un subconjunto de indicadores adecuado a este caso particular se han obtenido seis posibles soluciones de tratamiento para estos lodos. Mediante la incorporación del método analítico jerárquico se selecciona la mejor alternativa de entre ellas, obteniéndose la más adecuada desde el punto de vista medioambiental y socioeconómico.

La metodología ha permitido seleccionar una solución adecuada y coherente al tipo de residuo a gestionar. Además la aplicación de esta metodología a dos diferentes localizaciones ha permitido comprobar la influencia del entorno físico-biótico y socioeconómico.

Las investigaciones y análisis llevadas a cabo en esta tesis abren camino hacia nuevos desarrollos de los cuales se proponen como más interesantes los siguientes:

- Extender a otro tipo de sectores industriales como el vidrio, textil, papelera, no metálica, minera, etc.
- Generalizar la metodología para el tratamiento de otros tipos de residuos como efluentes líquidos, aguas residuales y emisiones gaseosas.
- Desarrollar un software que soporte esta metodología, permitiendo determinar de forma cuantitativa las salidas de efluentes, los consumos de energía, agentes químicos, etc., para cada una de las distintas alternativas de tratamiento.

7 GLOSARIO

Almacenamiento	Depósito temporal de residuos, con carácter previo a su valorización o eliminación, por tiempo inferior a dos años o a seis meses si se trata de residuos peligrosos, a menos que reglamentariamente se establezcan plazos inferiores.
Análisis de series temporales	Un análisis de series temporales compara unos indicadores determinados con los de períodos de tiempo anteriores.
Aprovechamiento de residuos	Todo proceso industrial cuyo objetivo sea la recuperación o transformación de los recursos contenidos en los residuos.
Autorización Ambiental Integrada	Resolución de la administración pública competente en materia de medio ambiente por la que se permite a los solos efectos de la protección del medioambiente y la salud de las personas, explotar una instalación bajo determinadas condiciones destinadas a garantizar que la misma cumple el objeto y las disposiciones de la normativa sobre prevención y control integrados de la contaminación.
Autorización de Productor de Residuos Peligrosos	Permiso o licencia administrativa a la que será sometida cualquier tipo de actividad en la cual se realicen procesos en los que se generen residuos peligrosos en cantidad superior a 10 t/año.
Benchmarking (Evaluación Comparativa)	Proceso de comparación de indicadores con valores objetivo o de referencia determinados (normalmente dentro de un sector) llevado a cabo en las empresas como una herramienta para derivar medidas y metas de mejora.
Caracterización de materiales	Se refiere al establecimiento de las características de un material determinado a partir del estudio de sus propiedades físicas, químicas, estructurales, etc. Existen para ello distintas técnicas de caracterización, de acuerdo al interés que despierte dicho material. Una vez conocidas las características del material puede establecerse la naturaleza del mismo, así como sus posibles aplicaciones.
Ciclo de vida de un producto	Etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema del producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación hasta la disposición final.
Ciclo de vida de un residuo	Etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema del residuo, desde su generación hasta la disposición final, analizando sus posibilidades de reutilización, reciclado y valorización.
Código LER	Este código corresponde a una lista de codificación de residuos tanto peligrosos como no peligrosos establecida por la Unión Europea. El código, formado por seis dígitos, recibe su nombre por las iniciales de la Lista de la cual procede: Lista Europea de Residuos. Es posible que

este código pueda crear confusión, ya que hasta la entrada en vigor de la Orden MAM/304/2002 de 8 de febrero, el código se denominaba CER por las iniciales de Catálogo Europeo de Residuos.

Comportamiento ambiental	Los resultados de la gestión por parte de una organización en lo que se refiere a los aspectos medioambientales que la conciernen.
Conminución	La conminución es un proceso en el cual un material degrada su tamaño con el fin de separar un mineral de otro, o bien alcanzar un tamaño ideal para un proceso industrial.
Depósito de seguridad	Lugar destinado al confinamiento definitivo de residuos peligrosos.
EBITDA	Indicador financiero representado mediante un acrónimo que significa en inglés "Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization". El EBITDA se obtiene a partir del estado de resultados o estado de pérdidas y ganancias de una empresa. Representa el margen o resultado bruto de explotación de la empresa antes de deducir los intereses (carga financiera), las amortizaciones o depreciaciones y el Impuesto sobre Sociedades
Ecobalance	Es un análisis de entradas y salidas para las empresas que todavía no tienen un sistema de gestión medioambiental y no tienen previsto ninguno. Es una base segura para obtener indicadores. Puesto que en él se resumen los materiales entrantes y salientes y los flujos de energía más significativos, puede servir como base para evaluar el impacto medioambiental de la empresa
Ecobalance de la empresa	Balance resumido que ilustra los flujos de entrada y salida de material y energía en una empresa o centro de trabajo durante un cierto período de tiempo (habitualmente un año). Los flujos entrantes (entradas) de materiales, energía y agua se equilibran con los flujos salientes (salidas), como productos, residuos, emisiones al aire, aguas residuales y energía.
Ecodiseño	Incorporación sistemática de aspectos medioambientales en el diseño de los productos, al objeto de reducir su eventual impacto negativo en el medio ambiente a lo largo de todo su ciclo de vida.
Ecoeficiencia	La ecoeficiencia es el proceso continuo de maximizar la productividad de los recursos, minimizando desechos y emisiones, y generando valor para la empresa, sus clientes, sus accionistas y demás partes interesadas.
Ecoetiquetado	Las ecoetiquetas son distintivos otorgados por la administración o por otra organización que garantizan el cumplimiento de unos criterios ambientales por parte del producto. De esta forma, el consumidor puede reconocer en un producto etiquetado, que éste cumple unas rigurosas especificaciones ambientales exigidas por el organismo otorgador.

Eliminación	Todo procedimiento dirigido, bien al vertido de los residuos o bien a su destrucción, total o parcial, realizado sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar métodos que puedan causar perjuicios al medio ambiente.
Elutriación	Método de separación de partículas basado en la diferencia de velocidad de sedimentación que puede existir entre ellas, cuando se encuentran suspendidas en un fluido en movimiento.
EMAS	El Sistema de Ecogestión y Auditoría (Eco-Management and Audit Scheme) es una iniciativa voluntaria cuyo objetivo es mejorar el comportamiento ambiental de las empresas. Su objetivo es dar a reconocimiento y recompensar aquellas organizaciones que van más allá del mero cumplimiento de la normativa y mejoran de forma continua su comportamiento medioambiental. Uno de los requisitos del Sistema es que las organizaciones publiquen de forma periódica memorias sobre su desempeño ambiental, que son revisadas por auditores independientes.
Envase	Material o recipiente destinado a envolver o contener temporalmente los residuos.
EPER	Corresponde al inventario europeo de emisiones contaminantes con arreglo a la Directiva 96/61/CE del Consejo relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación (IPPC) Diario Oficial de las Comunidades Europeas
Estación de transferencia	Instalación en la que se descargan y almacenan los residuos para posteriormente trasladarlos a otro lugar para su recuperación, tratamiento o eliminación.
Gestión de residuos	Actividades de recogida, envasado, etiquetado, almacenamiento, transporte, valorización, recuperación, tratamiento o eliminación de residuos, encaminadas a garantizar la protección de la salud humana y la conservación del medio ambiente.
Gestión integral de residuos	Es el conjunto de operaciones y disposiciones encaminadas a dar a los residuos producidos el destino más adecuado desde el punto de vista ambiental, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento, posibilidades de recuperación, aprovechamiento, comercialización y disposición final.
Gestor	Es el titular de las instalaciones en que se efectúan las operaciones de valorización de los residuos o en las que se lleva a cabo la deposición de los residuos.
Implantación de una metodología	Establecimiento de doctrinas, instituciones o costumbres para el funcionamiento de una metodología.
Incineración	Es un sistema de tratamiento de la basura que consiste en quemar a altas temperaturas los desechos sólidos, reduciendo su volumen a

cenizas y funciona como una manera inteligente tratar la basura. Una de las grandes ventajas es que reduce el volumen de la basura y a la vez esos residuos quemados se utilizan como energía en forma de calor.

Indicador	Datos o conjunto de datos que ayudan a medir objetivamente la evolución de un proceso o de una actividad.
Informe medioambiental	Recopilación y publicación periódica por parte de una empresa de informes medioambientales o declaraciones medioambientales voluntarias.
Lixiviado	Líquido contaminado producido en los vertederos como consecuencia del contacto del agua con los residuos.
Mejora continua	El proceso de mejora, año tras año, de los resultados cuantificables del Sistema de Gestión Ambiental relacionados con la gestión por parte de una organización de los aspectos ambientales más significativos que los conciernen, tomando como base sus políticas, objetivos y metas medioambientales; no es preciso que la mejora de los resultados se produzca en todos los ámbitos de actuación al mismo tiempo.
Mezcla	Deposición conjunta de residuos (compatibles o incompatibles entre sí) en colectores o contenedores, tanto en el origen como en el momento de la deposición final.
Minimización	Todas aquellas operaciones encaminadas a asumir medidas tanto organizativas como operativas que estén encaminadas a disminuir e incluso anular la formación de residuos.
Organización	La compañía, sociedad, firma, empresa, autoridad o institución, o parte o combinación de ellas, tenga o no personalidad jurídica, sea pública o privada, que tiene sus propias funciones y administración.
Parámetro	Dato o factor que se toma como necesario para analizar o valorar una situación.
Partes interesadas	Persona o grupo que tiene interés o está afectado por el comportamiento ambiental de una organización.
Plan Básico de Gestión de Residuos	Presenta un análisis actualizado de la situación de la gestión de residuos en la entidad geográfica correspondiente, así como una exposición de las medidas que deban tomarse para mejorar la preparación para la reutilización, el reciclado, la valorización y la eliminación de los residuos de forma respetuosa con el medio ambiente, y evaluar en qué medida el plan contribuye a la consecución de los objetivos establecidos por la Directiva vigente.
Prevención	Medidas adoptadas antes de que una sustancia, material o producto se haya convertido en residuo, para reducir la cantidad de residuo, incluso mediante la reutilización de los productos o el alargamiento de su vida útil, los impactos adversos sobre el medio ambiente y la salud humana

de la generación de residuos o el contenido de sustancias nocivas en materiales y productos.

Productor de residuos	Cualquier persona física o jurídica cuya actividad, excluida la derivada del consumo doméstico, produzca residuos o que efectúe operaciones de tratamiento previo, de mezcla, o de otro tipo que ocasionen un cambio de naturaleza o de composición de esos residuos. Tendrá también carácter de productor el importador de residuos o adquirente en cualquier Estado miembro de la Unión Europea.
Reciclado	Reintroducción de elemento o productos de desecho en la actividad industrial, cerrando así el ciclo de generación de materias primas, producción y consumo, contemplado como el proceso global de las actividades productivas humanas.
Recuperación	Proceso industrial cuyo objeto es el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos, ya sea en forma de materias primas o de energía.
Regeneración	Tratamiento a que es sometido un producto usado o desgastado con el fin de devolverle las cualidades originales que permitan su reutilización.
Registro de indicadores	Documento que recoge los datos necesarios y desarrolla los indicadores pertinentes
Residuo	Cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención o la obligación de desprenderse.
Responsabilidad Social Corporativa (RSC)	La responsabilidad social corporativa (RSC), también llamada responsabilidad social empresarial (RSE), puede definirse como la contribución activa y voluntaria al mejoramiento social, económico y ambiental por parte de las empresas, generalmente con el objetivo de mejorar su situación competitiva y valorativa y su valor añadido.
Reutilización	Cualquier operación mediante la cual productos o componentes que no sean residuos se utilizan de nuevo con la misma finalidad para la que fueron concebidos.
Segregación	Acción de separar los residuos, clasificándolos en orden a su posterior destino.
Sistema de gestión ambiental (SGA)	La parte del sistema general de gestión que incluye la estructura organizativa, las actividades de planificación, las responsabilidades, las prácticas, los procedimientos, los procesos y los recursos para desarrollar, aplicar, alcanzar, revisar y mantener la política medioambiental.
Subproducto	Residuo producido por una industria que es utilizado como materia prima por otro tipo de industria o reciclado por la misma.
Sustancias	Sustancias o grupos de sustancias que son tóxicas, persistentes y

peligrosas	pueden causar bioacumulación, así como otras que entrañan un riesgo análogo.
Toma de decisiones	Consiste, básicamente, en elegir una alternativa entre las disponibles, a los efectos de resolver un problema actual o potencial, (aun cuando no se evidencie un conflicto latente).
Tratamiento	Proceso de transformación física, química o biológica de los residuos sólidos para modificar sus características o aprovechar su potencial, a partir del cual se puede generar un nuevo residuo sólido con características diferentes.
Valorización	Todo procedimiento que permita el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar métodos que puedan causar perjuicios al medio ambiente.
Verificación	La evaluación (auditoría) llevada a cabo por el verificador medioambiental para garantizar que la política ambiental, el sistema de gestión y el procedimiento o procedimientos de auditoría de una organización se ajustan a los requisitos del Reglamento (CE) N° 761/2001.
Vertedero	Instalación de eliminación que se destine al depósito de forma definitiva y controlada de determinados residuos en la superficie o bajo tierra.

8 ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AHP	Analytic Hierarchy Process
ARU	Aguas Residuales Urbanas
BOF	Basic Oxigen Furnace
CCAA	Comunidades Autónomas
CFR	Electronic Code of Federal Regulations.
CI	Consistency Index
CIU	Clasificación industrial Internacional Uniforme
CNAE	Clasificación Nacional de Actividades Económicas
COGERSA	Consortio para la Gestión de los Residuos en Asturias
CR	Consistency Ratio
CSN	Consejo de Seguridad Nuclear
EEA	European Environment Agency
EELL	Entidades Locales
EoW	End of Waste
EUCN	International Union for Conservation
EVAD	Design EVAluation
GRI	Global Reporting Iniciative
ICG	Indicadores de Comportamiento de la Gestión
ICO	Indicadores de Comportamiento Operacional
IEM	Indicadores de estado Medioambiental
IUCN	International Unión for Conservation of Nature
LER	Lista Europea de Residuos

MDM	Métodos de decisión Multicriterio
MTD	Mejores Técnicas Disponibles
NFU	Neumáticos Fuera de Uso
OCDE	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos
PNIR	Plan Nacional Integrado de residuos
PNNFU	Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso
PNRU	Plan Nacional de Residuos Urbanos
PNRU	Plan Nacional de Residuos Urbanos
RCD	Residuos de Construcción y Demolición
RCRA	Resource Conservation and Recovery Act.
RD	Real Decreto
RI	Residuo industrial
RI	Random Consistency Index
RINP	Residuos Industrial No Peligroso
RP	Residuo Peligroso
RSI	Residuos Sólido Industrial
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
RU	Residuos Urbanos
SAD	Sistema de ayuda a la decisión
SIM	Sistema de Indicadores Medioambientales
SIMGRE	Sistema de Indicadores Medioambientales de Gestión de Residuos
UE	Unión Europea
VFU	Vehículos de final de Uso
WET	WHole Effluent Toxicity

9 BIBLIOGRAFÍA

- [AAE11] Agencia Andaluza de la Energía. “Estudio básico del biogás. Consejería de Economía, Innovación y Ciencia”. Septiembre 2011
- [ADR11] Acuerdo Europeo sobre transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera ADR 2011 del Ministerio de Fomento, publicado en el BOE el 11 de Julio del 2011, que será sustituido por el ADR 2013 cuya entrada en vigor está prevista para el próximo 1 de Enero del 2013.
- [ALE99] Alexander,M. Biodegradation and Bioremediation 2nded. Academic Press, London.1999.
- [AND05a] Andrés Payán, Ana et al. “Punto focal de residuos del observatorio de sostenibilidad de Cantabria. Informe I. Indicadores Ambientales–Área de Residuos”. Punto focal de residuos de Cantabria (PFR). Grupo DEPRO, Desarrollo de Procesos Químicos y Control de contaminantes. Gobierno de Cantabria. Gobierno de Cantabria. Consejería de Medio Ambiente. Universidad de Cantabria. Departamento de Ingeniería Química y Química Inorgánica.
- [AND05b] Andrés Payán, Ana et al. “Punto focal de residuos del observatorio de sostenibilidad de Cantabria. Informe II. Aplicación de indicadores ambientales del área de residuos” Punto focal de residuos de Cantabria (PFR). Grupo DEPRO, Desarrollo de Procesos Químicos y Control de contaminantes. Gobierno de Cantabria. Consejería de Medio Ambiente. Universidad de Cantabria. Departamento de Ingeniería Química y Química Inorgánica.
- [AND06a] Andrés Payán, Ana et al “Evaluación de los residuos en Cantabria basada en indicadores”. Punto focal de residuos de Cantabria (PFR). Gobierno de Cantabria. Consejería de Medio Ambiente. Universidad de Cantabria. Departamento de Ingeniería Química y Química Inorgánica. Diciembre 2006<http://www.puntofocalderesiduos.unican.es>
- [AND06b] André, F. J., Cerdá, E. “Gestión de residuos sólidos urbanos: análisis económico y políticas públicas”. Cuadernos económicos de ICE N°71. 2006.
- [ANG01] Angosto Fleta, Ángel. “Ecoeficiencia en el sector metal” Instituto Tecnológico de Aragón (ITA). Federación de Empresarios del Metal de Zaragoza (FEMZ). financiado por proyecto RIS+ Aragón
- [BAR97] Barba-Romero, S, Pomerol J “Decisiones multicriterio. Fundamentos teóricos y utilización práctica. España: Colección d economía, Universidad de Alcalá de Henares. 1997
- [BAT09] Batista García Ramón Alberto, et al “Fitorremediación de metales pesados y microorganismos. Heavy metals phytoremediation and microorganisms” Centro de Investigaciones del Petróleo. Washington 169 esq. a Churrucá. Cerro. Ciudad de La Habana. Cuba. Lic. Microbiología. Reserva Científica.

- [BER12] BERNAL, M.P.; CLEMENTE, R.; VAZQUEZ, S. y WALKER, D.J.. Aplicación de la fitorremediación a los suelos contaminados por metales pesados en Aznalcóllar. Ecosistemas [en línea] 2007, vol. 16 [citado 2012-09-28]. Disponible en Internet: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=54016208>. ISSN 1132-6344.
- [BIO11] BIO Intelligence Service (2011), Implementing EU Waste Legislation for Green Growth, Final Report prepared for European Commission DG ENV
- [BREF06] COMISIÓN EUROPEA. Prevención y control integrados de la contaminación Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para el sector del tratamiento de residuos Fecha: agosto de 2006
- [CAS00] Castells, X.E. Reciclaje de Residuos Industriales; Edit. Díaz de Santos.2000
- [CAS00a] Castells, Xavier Elías. Ponencias 2ª sesión: 3 horas. La cerámica como tecnologías para la valorización de residuos. Conferencia Curso Tecnologías Avanzadas para la Valorización de Residuos y Subproductos Industriales; Medellín, 24-26 mayo 2000
- [CAS05] Castells, X.E.Tratamiento y valorización energética de residuos; Edit. Días de Santos.2005
- [CAS99] Castells, Xavier Elías. "Valorización de Residuos Mineros de Arsénico, Pentóxido de Vanadio y Escorias" Guía para el Control y Prevención de la Contaminación Industrial, "Fabricación de Vidrio y Productos de Vidrio", CONAMA, 1999
- [CASRN] C.A.S.R.N.: Chemical Abstract Service Register Number (American Chemical Society). Número atribuido a una sustancia química, universalmente aceptado para la identificación de secuencias biológicas, mezclas y aleaciones
- [CEADS05] CEADS. Consejo Empresario Argentino para el Desarrollo Sostenible (BCSD Argentina). "Informes de sostenibilidad: Sugerencias para su elaboración". Documento nº1. Diciembre 2005.
- [CEEM04] "Guía práctica de indicadores ambientales en el sector de la madera y el mueble". Confederación Española de Empresarios de la Madera (CONFEMADERA). Unión Europea. Fondo Social Europeo. 2004
- [CNAE] C.N.A.E.: Código Nacional de Actividades Empresariales. Actividad del centro productivo
- [COG01] COGERSA. "Plan estratégico de gestión de residuos urbanos del Principado de Asturias 2001-2025. Documento de síntesis del Plan de Futuro de COGERSA". 2001 Página web del Consorcio para la gestión de residuos sólidos en Asturias (COGERSA). <http://www.cogersa.es>
- [COM05] Communication from the Commission to the Council, The European Parliament, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Taking Sustainable use of resources forward: A Thematic Strategy on the prevention

and recycling of waste. COM (2005)666 final.

- [COM07] Comisión de las comunidades europeas. "Comunicación de la comisión al consejo y al parlamento europeo. Comunicación interpretativa sobre residuos y subproductos". Bruselas, 21.2.2007 COM (2007) 59 final. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52007DC0059:ES:NOT> (Consultada 11/06/10).
- [CPA] C.P.A.: Clasificación de Productos por Actividad; Instituto Nacional de Estadística. Identifica las materias primas utilizadas en el proceso.
- [CSIC08] Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) . La experiencia del Biogás en Andalucía. Rafael Borja. 2008
- [DERE94] Directiva 94/62/ CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de diciembre de 1994 relativa a los envases y residuos de envases (DO L 365 de 31.12.1994, p. 10)
- [DIA08] Díaz Villavicencio, G. J., Didonet, S. R. "Eco-eficiencia en la gestión de residuos municipales en Cataluña". Rev. Adm. UFSM, Santa Maria, v.1, nº2, pp. 193-208. Agosto 2008.
- [DIAZ08] Díaz Blanco Manuel Jesús. "Técnicas de Tratamiento de la Contaminación Ambiental. Solidificación / Estabilización". Escuela Politécnica Superior. Universidad de Huelva. Ingeniería Química, química física y química orgánica. 2008
- [DIR00] Directiva 2000/76/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 4/12/2000, relativa a la incineración de residuos.
- [DMR08] DIRECTIVA 2008/98/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. Diario Oficial de la Unión Europea. 22/11/08. L312/3. Página de acceso al derecho de la Unión Europea. <http://eur-lex.europa.eu> (consultada 14/01/2012)
- [DOUE03] Recomendación de la Comisión, de 10 de julio de 2003, sobre las orientaciones para la aplicación del Reglamento (CE) nº 761/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo por el que se permite que las organizaciones se adhieran con carácter voluntario a un sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales (EMAS) en lo que respecta a la selección y el uso de indicadores del comportamiento medioambiental. DO L 184 de 23/07/2003 p. 0019 – 0032
- [DPA08] Directiva 2008/12/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de marzo de 2008, por la que se modifica la Directiva 2006/66/CE relativa a las pilas y acumuladores y a los residuos de pilas y acumuladores, por lo que se refiere a las competencias de ejecución atribuidas a la Comisión. Diario Oficial de la Unión Europea L 76/39.
- [DRAEE02] Directiva 2002/96/ CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 27 de enero de 2003 sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). Diario Oficial de la Unión Europea. L 37/24.

- [DVFU00] Directiva 2000/53/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de septiembre de 2000 relativa a los vehículos al final de su vida útil. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. L 269/34
- [DWAF98] Department of Water Affairs and forestry, 1998. Waste management Minimum requirements for the Handling, Classification and Forestry. Editor: Mrs K. Langmore
- [EAMS12] EUROSLAG. "The European Association representing metallurgical slag producers and processors".www.euroslag.org. Página web de la asociación europea de representantes los productores y procesadores de la escoria metalúrgica. (Consultada 8/09/2012)
- [EC12] European Comision. "Preparing a Waste Management Plan. A Methodological Guidance Note Drafted by members of ETAGIW Consortium(Expert team for assessment and guidance for the implementation of Waste legislation) 2012
- [ECH98] Echarri Prim, Luis. "Ciencias de la tierra y del medio ambiente". Libro electrónico. Ciencias básicas. Escuela de Ingenieros. Universidad de Navarra.
- [ELI05] Elías Castells, Xavier, Tratamiento y valorización energética de residuos. Ediciones Díaz de Santos. España. 2005
- [EMAS01] Reglamento (CE) nº761/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de marzo del 2001, por el que se permite que las organizaciones se adhieran con carácter voluntario a un sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales (EMAS). DO L de 24/4/2001, p.1/29.
- [EMAS03] Consejería de Medioambiente y Ordenación del Territorio. Comunidad de Madrid. "El Reglamento EMAS. Guía práctica. Manual de aplicación". Unión Europea: Fondo Social Europeo. Diciembre 2003.
- [EMAS09] Reglamento (CE) no 1221/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de Noviembre de 2009, relativo a la participación voluntaria de organizaciones en un sistema comunitario de gestión y auditoría medioambientales (EMAS), y por el que se derogan el Reglamento (CE) no 761/2001 y las Decisiones 2001/681/CE y 2006/193/CE de la Comisión
- [ENV06] "Environmental indicators for reporting" paper prepared for the 2006 Australian State of the Environment Committee. Department of the Environment and Heritage 2006, Camberra
[\(http://www.environment.gov.au/soe/2006/publications/emerging/indicators/index\)](http://www.environment.gov.au/soe/2006/publications/emerging/indicators/index).(01/05/2010).
- [EOPA01] Environment Agency. 2001. Guidance on the Application of Waste Management Licensing to Remediation.
- [EPA01a] United States Environmental Protection Agency "A Citizen's Guide to Solidification/Stabilization". Office of Solid Waste and Emergency Response. EPA 542-F-01-024. December 2001.

- [EPA01b] United States Environmental Protection Agency. "A Citizen's Guide to Vitrification". Office of Solid Waste and Emergency Response. EPA 542-F-01-017. December 2001
- [EPA02] Short-term Methods for Estimating the Chronic Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater Organisms. Environmental Protection Agency, USEPA. October 2002.
- [EPA04] The U.S. Environmental Protection Agency. "National Whole Effluent Toxicity (WET) Implementation Guidance Under the NPDES Program". Office of Wastewater Management. EPA 832-B-04-003. Draft. November 2004
- [EPA05] The U.S. Environmental Protection Agency. "Introduction to Hazardous Waste Identification (40 CFR Parts 261). Solid Waste and Emergency Response (5305W). EPA530-K-05-012. 2005
- [EPA11] The U.S. Environmental Protection Agency "RCRA Orientation Manual 2011". Office of resource conservation and recovery program management, communications, and analysis office. Solid Waste and Emergency Response (5305W). EPA530-F11-003. October 2011
- [EPA12] The U.S. Environmental Protection Agency. "*Whole Effluent Toxicity*". <http://water.epa.gov/scitech/methods/cwa/wet/>. (consultada 10/11/2012)
- [EPA99] The U.S. Environmental Protection Agency. Issue Paper Correlation Between Liquid, Sludge, and Solid Waste Forms, and Surface Impoundment, Land Application, and Landfill Disposal Options Contract: 68-W-98-231 February 5, 1999
- [EPER00] Decisión de la Comisión de 17 de julio de 2000 relativa a la realización de un inventario europeo de emisiones contaminantes (EPER) con arreglo al artículo 15 de la Directiva 96/61/CE del Consejo relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación (IPPC) Diario Oficial de las Comunidades Europeas
- [ESA07] EUROFER. "The European Steel Association". Annual Report.2007 <http://www.eurofer.org/> Página web de la Asociación Europea de Aceros (consultada 1/07/2012).
- [ESP00] Esperanza M "Combustión y Pirólisis de Residuos Orgánicos: Análisis de Contaminantes. Tesis Doctoral, Universidad de Alicante, julio 2000
- [EUROPA09] Portal de la Unión europea. Síntesis de legislación de la UE, medioambiente. Gestión de residuos. http://europa.eu/legislation_summaries/environment/waste_management/l28082_es.htm. (Consultada 11/06/10)
- [FIG05] Figueira, J., Greco, S., and Ehrgott, M., editors (2005). Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. Springer's International Series in Operations Research and Management Science. Springer Science. Business Media, New York, NY.

- [FOR09] “Residuos sólidos”. <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html> (Consultado 10/06/2010).
- [G8IC04] University of Toronto Library. “Science and Technology for Sustainable Development: “3r” Action Plan and Progress on Implementation”. Sea Island, June 10, 2004. Summit Document.
- [GAM75] Directiva del Consejo de 16 de junio de 1975 relativa a la gestión de aceites usados (75/439/CEE) Diario Oficial de las Comunidades Europeas N- L 194/3
- [GAR07] Garraín, Daniel et al. “Adaptación de los criterios ecológicos para la obtención de la etiqueta ecológica europea en la fase de producción de baldosas cerámicas”. Grupo de Ingeniería del Diseño, Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción, Universitat Jaume I de Castellón (España). 2007
- [GEN07] Geng, Yong; Zhu, Qinghua, Haight, Murray. “Planning for integrated solid waste management at the industrial Parklevel: A case of Tianjin, China”. Waste Management 27 (2007) 141–150
- [GLA95] Glazer N., Nikaido H., Microbial Biotechnology Fundamentals of applied Microbiology. 1995.
- [GOAR] Gobierno de Aragón. “Sistemas de gestión Ambiental”. http://portal.aragon.es/portal/page/portal/MEDIOAMBIENTE/CALIDAD_AMBIENTAL (Consultada 04/10/2010).
- [GON09] González Cotelo, Luis Ángel. “Claves para implantar con éxito una metodología de desarrollo de software”. <http://www.tecsisa.com/index.igw?item=1619> (05/04/2010).
- [GPO12] U.S Government Printing Office (GPO) “Electronic Code of Federal Regulations, e-CFR”. Página de la Oficina de Impresión del Gobierno de los EEUU. Que proporciona servicios de publicación y difusión de las publicaciones oficiales del Gobierno para el Congreso, Agencias Federales y el público en General. <http://www.gpo.gov> (Consultada 07/09/2012)
- [GRE05] Gregory A. Kiker Todd S. Bridges, Arun Varghese,` Thomas P. Seager,§ and Igor Linkovjj, “Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental Decision Making”. U.S. Army Engineer Research and Development Center, Environmental Laboratory, ICF Consulting, 33, School of Civil Engineering, Cambridge Environmental. 2005
- [GRI05] Global Reporting Iniciative. “Suplemento GRI del Sector de Minería y Metales”. Versión piloto 1.0. Febrero 2005. <http://www.globalreporting.org>.
- [GRI06] Global Reporting Iniciative. “Guía para la elaboración de memorias de sostenibilidad”. Versión 3.0. <http://www.globalreporting.org>.
- [HAM04] Hambraeus, Tsemaye Opubor. “Gestión de residuos en los municipios suecos: Tecnología medioambiental e iniciativas locales”. Editado por el Instituto Sueco.

Febrero 2004.

- [HOK98] Hokkanen J.;Salminen P. (1998). The choice of a solid waste management System by using the electre III decision Aid Method. University of Jyvaskyla. M. Paruccini (ed). *European Journal of Operational Research* 98 19-36.
- [IHOBE99] IHOBE, Sociedad Pública Gestión Ambiental (1999). Guía de Indicadores Ambientales para la Empresa. IHOBE, S.A.
- [INC04] Hazardous waste incineration: Advanced technology to protect the environment. Hazardous Waste Resource Center, USA, 2004.
- [ISO14001] UNE-EN ISO 14001:2004 Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso. Noviembre 2004. (ISO 14001:2004).
- [ISO14031] UNE EN ISO 14031: 2000. Gestión medioambiental. Evaluación del comportamiento medioambiental. Directrices generales. (ISO 14031:1999).
- [ISO14040] UNE-EN ISO 14040:2006. Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y marco de referencia.
- [ISO14044] UNE-EN ISO 14044: 2006. Gestión Ambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Requisitos y directrices.
- [ISO66175] UNE-EN ISO 66175:2003. Sistemas de gestión de calidad. Guía para la implantación de sistemas de indicadores. Octubre 2003 (ISO 66175)
- [ISO9000] UNE-EN-ISO 9001:2008/AC 2009. Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos
- [ISO9001] UNE-EN-ISO 9000:2005. Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario.
- [KAN02] Kane Driscoll SB, Wickwire WT, Cura JJ, Vorhees DJ, Butler CL, Moore DW, Bridges TS. 2002. A comparative screening-level ecological and human health risk assessment for dredged material management alternatives in New York /New Jersey Harbor. *International Journal of Human and Ecological Risk Assessment* 8:603–626.
- [KEN99] Kenneth S., 1999. *Engineering Design Principles*, 49-59
- [KIS07] Kiss, G., Rodríguez, M., Macht, A., Días, M. "Obtención de información para el diagnóstico de la gestión integral de residuos sólidos urbanos". Dirección de Investigación en Residuos y Sitios Contaminados. CENICA–INE–SERMARNAT. México 2007
- [LEY10/98] LEY 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. BOE núm. 96. Miércoles 22 abril 1998.
- [LEY16/02] Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. (BOE nº 157 de 02/07/2002).

- [LEY20/86] Ley 20/1966 del 14 de Mayo. "Ley básica de Residuos tóxicos y peligrosos". Boletín Oficial del Estado, núm. 120 de 20 de mayo de 1986, páginas 17864 a 17867 (4 págs.)
- [LIN04] I. Linkov , A. Varghese , S. Jamil , T. P. Seager , G. Kiker , T. Bridges. "Multi-Criteria Decision Analysis: A Framework for Structuring Remedial Decisions at the Contaminated Sites In: Linkov, I. and Ramadan, A.B. (Eds.) Comparative Risk Assessment and Environmental Decision Making, Springer, New York, pp. 15-54.
- [LLA09] Llamas, S., Mercante, I. "Metodología para la gestión de residuos de laboratorio". II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. Barranquilla, 24 y 25 de septiembre de 2009
- [MAD96] Mazurek, J. (1996). The Role of Health Risk Assessment and Cost-Benefit Analysis in Environmental Decision Making in Selected Countries: An Initial Survey. Discussion Paper 96- 36. Resources for the Future, Washington, DC. (available through <http://www.rff.org>)
- [MAM02] ORDEN MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.
- [MAR07] Martínez Rodríguez, Elena. "Aplicación del proceso jerárquico de análisis en la selección de la localización de una PYME" Real Centro Universitario «Escorial-María Cristina» Anuario Jurídico y Económico Escurialense, XL (2007) 523-542 / ISSN: 1133-3677
- [MAR12] Marshall, Randall. "Integrated Ambient Monitoring Pilot Report" Water Quality Program. Washington State Department of Ecology. Publication No. 12-03-012. January 2012
- [MET04] Metso Minerals. "Conocimientos básicos en el procesamiento de minerales". Libro de consulta sobre especificaciones de procesos y equipos. Edición 2004.
- [MIL08] Millard David, Howard Yvonne, Gilbert Lester and Wills Gary. "Codesign and Codeployment Methodologies for Innovative m Learning Systems" School of Electronics and Computer Science, University of Southampton. 2008
- [MIN09] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. "Metodología para la elaboración del plan de gestión integral de residuos sólidos". República de Colombia. 2009.
- [MMA00] Ministerio de Medio Ambiente. "Indicadores ambientales. Una propuesta para España". Monografías. Madrid. 2000.
- [MMA01] Ministerio de Medio Ambiente. "Indicadores ambientales. Una propuesta para España". Monografías. Madrid. 2000.
- [MMA06] Ministerio de Medio Ambiente. "Indicadores Ambientales. Una propuesta para España". Edita: Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica.1996

- [MMA96] Ministerio de Medio Ambiente. "Indicadores Ambientales. Una propuesta para España". Edita: Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica.1996
- [MUD12] "Ministry of Urban development".Página oficial del Ministerio de Desarrollo Urbano del Gobierno de la India <http://www.urbanindia.nic.in/> (Consultada el 03/07/ 2012)
- [NAM04] Navarra de Medioambiente Industrial (NAMAINSA). "Guía para la gestión de residuos industriales en Navarra". Departamento de Medio Ambiente Ordenación del Territorio y Vivienda del Gobierno de Navarra. (2004).
- [OCDE08] **OCDE**. Organisation for Economic Co-operation and Development. Compendium of Amount of Wastes Generated. <http://www.oecd.org>. (Consultada 15/06/2012)
- [ORDEN00] ORDEN del 5 de octubre de 2000 por la que se modifican los anexos I, III, IV y VI del Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, aprobado por el Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo. (Suplemento del BOE núm. 243. 10/10/2000).
- [ORDEN01] Orden de 5 de abril de 2001 por la que se modifican los anexos I, IV, V, VI y IX del Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, aprobado por el Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo. (BOE núm 94. 19/04/2001).
- [ORDEN02a] Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. (BOE núm. 43. 19/02/ 2002).
- [ORDEN02b] Orden PRE/2317/2002, de 16 de septiembre, por la que se modifican los anexos I, II, III, IV, V, VI, VII y VIII del Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, aprobado por el Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo. (Suplemento BOE núm. 229. 24 /09/2002).
- [ORDEN98] Orden de 30 de junio de 1998 por la que se modifican los anexos I, III, V y VI del Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, aprobado por Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo. (BOE núm. 160.06/07/1998).
- [ORT04] Ortíz Mejía Jesús Rosario"Estudio de la estabilización y solidificación de metales pesados mediante la técnica de cementación. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería química y alimentos. Unversidad de la Américas Puebla. Mexico. 2004
- [PAR95] Pardalos, PM, et al. "Advances in Multicriteria Analysis". Dordrecht. Países Bajos: Kluwer Academic Publishers. 1995
- [PER01] Pérez Báez S.O. Peña Quintana, M.C. Ling J.A y. Suárez Santana M. "Planta de biometanización de residuos biodegradables". Dpto. de Ingeniería de Procesos, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

- [PNIR06] “Plan nacional integrado de residuos (PNIR) 2007-2015.Memoria”. Ministerio de Medioambiente. Madrid, 6/11/2006.
- [RD01] Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.
- [RD363/95] Real Decreto 363/1995, de 10 de marzo por el que se aprueba el Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas. (Suplemento del BOE núm. 133. 05/06/1995).
- [RD653/03] REAL DECRETO 653/2003, de 30 de mayo, sobre incineración de residuos. (BOE núm. 142. 14/06/2003)
- [RD952/97] Real Decreto 952/1997, del 20 de junio, por el que se modifica el reglamento para la ejecución de la ley 20/1986, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, aprobado mediante Real Decreto 833/1988, de 20 de julio. (BOE núm. 160. 05/07/1997).
- [RE1272/08] Reglamento (CE) no 1272/2008 del parlamento europeo y del consejo de 16 de diciembre de 2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, y por el que se modifican y derogan las Directivas 67/548/CEE y 1999/45/CE y se modifica el Reglamento (CE) no 1907/2006. Diario Oficial de la Unión Europea L 353/1. 31.12.2008.
- [RE440/08] Reglamento (CE) NO 440/2008 de la comisión de 30 de mayo de 2008 por el que se establecen métodos de ensayo de acuerdo con el Reglamento (CE) no 1907/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo relativo al registro, la evaluación, la autorización y la restricción de las sustancias y preparados químicos (REACH). Diario Oficial de la Unión Europea L 142/1. 31/05/2008
- [ROM86] Romero, C, Rehman, T. “la programación multiobjetivo y la planificación agraria: algunas consideraciones teóricas. Journal Agricultural Economics. Julio-Septiembre 1986
- [RR06] Directiva 2006/12/CE del Parlamento Europeo y del consejo de 5 de abril de 2006 relativa a los residuos. Diario Oficial de la Unión Europea L 114/9
- [RRP91] Directiva del Consejo 91/689/CEE, de 12 de diciembre de 1991, relativa a residuos peligrosos (DOCE núm. L 377, de 31 de diciembre de 1991)
- [RUD11] Rudyard Torres. “ Electrolixiviación de Oro con Tiourea”. Tesis. <http://dspace.universia.net/bitstream/2024/549/1/Tesis+Electrolixiviacion+de+Oro+con+Tiourea.pdf> (consultada 23/09/2012)
- [SAA00] Fundamentals of Decision Making and priority theory with the Analytic hierarchy process. Pittsburgh: RWS Publications
- [SAA01] Saaty, Thomas L, Vargas Luis G. “*Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process*”, ISBN 0-7923-7267-0, Kluwer Academic

- [SAA80] Saaty, T "The analytic hierarchy process". New York.USA: Macgraw-Hill.1980
- [SAA88] Saaty, t. L.; Rogers, p., y Pell, r., Portfolio selection through hierarchies. Journal of Porfolio Management, 6/3 (1988) 16-21.
- [SAA95] Saaty, T "The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. ".Pittsburgh: RWS publications 1995
- [SAA98] Saaty, T. L., Método Analítico Jerárquico (AHP): Principios Básicos. En Evaluación y Decisión Multicriterio. Reflexiones y Experiencias, Editorial Universidad de Santiago 1998, pp. 17-46.
- [SAN04] Sánchez Doblado, José. "Estudio de las Tecnologías de secado de Biosólidos procedentes de EDAR". Proyecto fin de Carrera. Departamento de Ingeniería Energética y Mecánica de Fluidos Escuela Superior de Ingenieros . Universidad de Sevilla. Diciembre 2007
- [SAN12] Monografía XXXV: "Biocatálisis aplicada a la obtención de fármacos y productos de alto valor añadido". **Libro en edición digital**. Madrid 2012 ISBN: 878-84-938172-7-5
- [SHO03] Shoviak, M. J.; Chambal, S.; Thal, A. (2003). Decision Analysis Methodology to Evaluate Integrated Solid Waste Management Alternatives for a Remote Alaskan Air Station. Air Force Inst. of Tech Wright-Patterson Air Force Base OH. USA. *Environmental Modeling and Assessment* 8: 25–34.
- [SUN94] J. Sundberg, P. Gipperth and C. -O. Wene. "A systems approach to municipal solid waste management: A pilot study of Göteborg". Waste Management & Research Volume 12, Issue 1, February 1994, Pages 73-91
- [TWG03] TWGComments (2003). "TWG Comments on Draft 1 of Waste Incineration BREF".
- [UBA01] UBA (2001). "Draft of a German Report for the creation of a BREF-document "waste incineration", Umweltbundesamt.
- [VAR90] Vargas, G. "An overview of the Analytic Hierarchy Process and its Applications". European Journal of Operational Research, 48, 2-8.
- [WILL05] T. Williams, Paul. 'Waste treatment and disposal'. Ed. John Wiley And Sons, Ltd. Second edition. (2005)
- [WIS78] Wis. L Andersen.. Resource Conservation and Recovery Act of 1976: Closing the Gap Rev. 633, The;, Roger W. 1978
- [ZOU02] ZOPOUNIDIS, C. y DOUMPOS, M. 2002. Multi-criteria Decision Aid in Financial Decision Making: Methodologies and Literature Review. Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 11, 167-186.

ANEXO 1: FICHA DE RESIDUO

El propósito de este anexo es el de crear una ficha para el control de los residuos generados en los procesos productivos. Para ello, será necesario evaluar los componentes y características de estos residuos. Por lo que éste documento, diseña y define la configuración principal de estas fichas.

Estructura de la ficha

Las fichas de residuos que se incluyen en este anexo recopilan de forma clara información esencial sobre composición, propiedades y gestión de los residuos y están destinadas a un uso directo por los trabajadores en planta. Éstas no tienen estatus legal, sino que pretenden ser una herramienta para la caracterización y valoración del residuo.

Las fichas de los residuos son unos documentos muy útiles cuando se trata de caracterizar un residuo, facilitando de manera clara y concisa, a ser posible mediante frases normalizadas.

Este tipo de fichas aportan información referente a la peligrosidad de los distintos componentes del residuo, permitiendo identificar su tipología. Por lo tanto, en un primer momento se deben consultar las Fichas Internacionales de Seguridad Química (FISQ) de los productos que han intervenido en el proceso de generación de dicho residuo. Éstas recopilan información esencial de higiene y seguridad de sustancias químicas.

Los residuos pueden estar formados por una única sustancia o por varias, en función de los productos que hayan intervenido en su formación. Sería interesante realizar un estudio de las materias que se han utilizado en los distintos procesos y que han dado lugar a estos residuos, ya que la tipología de cualquier residuo viene determinada por el tipo, la concentración y si son o no peligrosas las sustancias presentes en su formación.

Además, si se conocen los componentes que tienen los productos que han intervenido en la formación de ese residuo, se puede considerar que éstos estarán presentes en el residuo; claro está, en distinta proporciones y con distintas formas químicas.

La existencia de un inventario de los productos usados en los procesos ofrece la posibilidad de consultar la información necesaria para manipular adecuadamente los residuos.

En algunos casos de residuos puede resultar necesario ofrecer más datos de los que incluye esta ficha, dada la amplia gama de propiedades de las sustancias que los conforman.

A continuación se describen las fichas con el objeto de servir de guía a la hora de cumplimentar la información de la ficha.

Descripción de las fichas

- **Nombre tipo de residuo.**
 - Código LER: Lista Europea de Residuos.

Son los códigos establecidos por la Unión Europea, para codificar los residuos, tanto los peligrosos como los no peligrosos, en función de su origen y naturaleza. Este código está compuesto por seis dígitos. A su vez, la Lista Europea está dividida en 20 capítulos en función de la fuente que genera los residuos.

- CNAE: Código Nacional de Actividades Empresariales [CNAE].

Este código clasifica y agrupa las unidades productoras según la actividad que ejercen de cara a la elaboración de estadísticas. Para esto, utiliza cuatro niveles de clasificación, los cuáles se a continuación: división, agrupación, grupo y subgrupo con rúbricas de 1, 2,3 y 4 cifras.

- CPA: Clasificación de Productos por Actividad [CPA].

Es una macro clasificación de productos que constituye la versión europea de la Clasificación Central de Productos (CPC) elaborada y recomendada por la ONU. Sigue el criterio del origen de producción de los productos, es decir, los productos se agrupan de acuerdo a la actividad económica de la que proceden. Identifica las materias primas utilizadas en los procesos de producción.

▪ **Composición/Información sobre los componentes.**

La información sobre los componentes permite conocer los riesgos derivados de cada residuo. Las sustancias definidas como peligrosas para la salud o aquéllas que tienen establecidos límites de exposición, deben ser incluidas. Estos componentes han de compararse con las sustancias peligrosas que aparecen en los listados o bases de datos, para determinar los posibles peligros del residuo.

Para determinar qué componentes contiene un residuo, además del nombre de la sustancia se facilitará el número CASRN (Chemical Abstract Service Registre Number) [CASRN].

Cada CASRN es un único identificador numérico para compuestos químicos, polímeros, secuencias biológicas, preparados y aleaciones que consta de tres números separados por guiones, el cual, designa a una sola sustancia. Éste no tiene ningún significado químico.

▪ **Identificación de los peligros.**

Identifica los productos químicos peligrosos para minimizar los efectos adversos físico-químicos tanto para la salud humana como para el medio ambiente. Por ello, resulta ser el apartado más relevante de la ficha, pues la información que ha de aportar, debe permitir dar a conocer, sin dificultad, los peligros que puedan presentar los componentes del residuo. Las descripciones han de ser breves y claras. También pueden describirse los principales efectos sobre la salud humana y los síntomas que ocasionan.

▪ **Propiedades físicas y químicas**

En este campo, se detallan las propiedades más relevantes acerca del residuo, entre otros:

- Aspecto y color: Indicándose el estado físico del residuo (sólido, líquido, gas).
- Punto de fusión: Temperatura a la que la materia sólida pasa a líquida.
- Punto de inflamación: Temperatura a la que la material se inflama y arde.
 - Un líquido o un sólido con un punto de inflamación superior a 21°C e inferior a 55°C es inflamable.
 - Una sustancia con un punto de inflamación por encima de los 0°C y por debajo de 21°C es fácilmente inflamable.
 - Los líquidos que tienen punto de inflamación inferior a 0°C y un punto de ebullición inferior a 35°C son extremadamente inflamables.
- Punto de ebullición: Temperatura a la que el material pasa de líquido a gas.
- Densidad relativa: Densidad de una sustancia en comparación con la densidad del agua. La cifra indica si la sustancia flota en el agua o se hunde.
- Solubilidad en agua: Capacidad de una sustancia para disolverse en agua.

▪ **Estabilidad y reactividad**

Proporciona información referente a la estabilidad del residuo y a la posibilidad de que se puedan producir reacciones peligrosas en ciertas condiciones, entre los componentes de éste y otras sustancias o, la posibilidad de descomponerse y combinarse entre ellas, provocando así la aparición de sustancias peligrosas. Por tanto, resulta interesante enumerar esas sustancias que pueden originar reacciones peligrosas en contacto con los componentes del residuo, y así mismo, especificar las condiciones que deben evitarse para que se produzcan estas reacciones, tales como: temperaturas altas o bajas, la presión, la luz, etc.

Si procede, debe indicarse la necesidad de estabilizadores, o la posibilidad de una reacción exotérmica peligrosa, y la repercusión que pueda tener un cambio en el aspecto físico del residuo, al igual que los productos de descomposición que pueden llegar a formarse como resultado del contacto con agua, y la posibilidad de degradación en productos inestables.

▪ **Información toxicológica**

Responde a la necesidad de dar una descripción precisa y concisa de los efectos tóxicos, en las personas, que pueden producirse al entrar en contacto con los residuos. Por ello, se deben considerar las informaciones toxicológicas relativas a los productos tóxicos presentes en el residuo. Estos datos pueden estar basados en conclusiones de experimentos científicos y en las FISQ. Se incluye también información sobre las diferentes vías de exposición: inhalación, ingestión, contacto con la piel y con los ojos.

Se describen los efectos relacionados con la exposición a las sustancias que componen el residuo.

▪ **Información ecológica**

En función de la naturaleza de las sustancias que formen el residuo, es necesaria la descripción de los posibles efectos, comportamientos y destino ambiental tanto en el agua como en el suelo, así como las principales características que puedan afectar al medio ambiente, tales como: movilidad, persistencia y degradabilidad, potencial de bioacumulación y toxicidad acuática y, otros datos relativos a la ecotoxicidad.

▪ **Consideraciones sobre la gestión**

- Almacenamiento: Se deben considerar las precauciones necesarias para garantizar una manipulación sin peligro. A su vez, se dispondrá de zonas con las condiciones necesarias para un almacenamiento seguro. Dichos emplazamientos deberán cumplir con la legislación y normas técnicas que les sean de aplicación. Las zonas de almacenamiento de los residuos pueden estar ubicadas a la intemperie, en naves cerradas o en naves abiertas. Deben indicarse las cantidades límite que pueden almacenarse en esos recintos.
- Eliminación: Es la última opción que se debe barajar en la gestión de residuos, ya que implica el no aprovechamiento de los recursos potenciales contenidos en los residuos. Deben considerarse métodos seguros de eliminación de residuos, los peligros que entraña su eliminación, al igual que los métodos apropiados de eliminación para el residuo. Hay que recordar que se deben cumplir las disposiciones nacionales o regionales en vigor.
- Transporte: Es otra de las consideraciones a tener en cuenta para la gestión de los residuos, ya que dependiendo de su naturaleza, composición, dimensiones, etc. serán necesarios diferentes tipos de vehículo para su transporte. A modo de información complementaria, se podrán facilitar datos relativos al vehículo de transporte.

▪ **Informaciones reglamentarias**

En este apartado se debe incluir información sobre la peligrosidad global del residuo, pictogramas, símbolos de peligro y una descripción de las frases de riesgo R y de las frases de seguridad S de sus componentes tóxicos y/o peligrosos.

CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS: FICHA

CARACTERÍSTICAS DEL RESIDUO		
PROPIEDADES FISICO-QUÍMICAS DEL RESIDUO		
1. Nombre/Tipo del residuo/Códigos		
Nombre		
Tipo de Residuo	Peligroso <input type="checkbox"/>	No peligroso <input type="checkbox"/>
Código LER ¹		
Fuente de Generación		
Volumen generado/Tn acero producido		
C.N.A.E. ²		
C.P.A. ³		
2. Composición/Información sobre los componentes		
Descripción Química		
	Componentes	Porcentaje (peso) CASRN ⁴
3. Propiedades físicas y químicas		
Estado físico		
Granulometría		
Aspecto		
Color		
Pto. fusión °C		
Pto. Inflamación °C		
Pto. de ebullición °C		
Densidad Relativa (Kg/dm ³)		
Densidad de cada componente(kg/dm ³)		
Propiedades magnéticas de cada componente		
Solubilidad en agua		
4. Estabilidad y reactividad		
Estabilidad		
Reacciones peligrosas		
Descomposición térmica		
Condiciones y materiales a evitar		
Productos de descomposición peligrosos		
5. Identificación de los peligros		
Componentes peligrosos		
¹ Lista Europea de Residuos. ² Código Nacional de Actividades Empresariales. ³ Clasificación de Productos por Actividad. ⁴ Chemical Abstract Service Register Number (American Chemical Society)		

6. Información toxicológica	
Datos toxicológicos	
Efectos de exposición	
7. Información ecológica	
Vertido al suelo	
Vertido al agua	
8. Consideraciones sobre la gestión	
Almacenamiento previo a su gestión	
Intemperie <input type="checkbox"/>	Nave cerrada <input type="checkbox"/> Nave abierta <input type="checkbox"/> Otro: <input type="text"/>
Eliminación	
Manipulación de residuos <input type="checkbox"/>	Neutralización o destrucción del residuo <input type="checkbox"/>
Transporte	
Recogida y transporte <input type="checkbox"/>	Tipo de Vehículo <input type="text"/>
Vehículos a utilizar <input type="checkbox"/>	Carga máxima (Tm) <input type="text"/>
Almacenamiento <input type="checkbox"/>	Valoración <input type="checkbox"/> Eliminación <input type="checkbox"/>
9. Informaciones reglamentarias	
Peligrosidad / Toxicidad	
Frases de riesgo	
Frases de seguridad	
10. Observaciones	

Ficha 2: Ficha de características de los residuos

ANEXO 2: FICHA DE PROCESO

En este anexo se incluye la ficha de proceso a cumplimentar para la realización de un estado del arte de las técnicas de tratamiento y valorización de los residuos, y para la realización de un inventario de los consumos, rendimientos y outputs de las mismas.

Objetivo

Normalización de técnicas para el tratamiento de los residuos sólidos, con el fin de desarrollar un sistema de ayuda a la decisión que seleccione el mejor proceso para cada residuo a tratar en función de sus características.

Contenidos

Se adjunta a este documento la plantilla de la ficha de proceso, que recoge los siguientes apartados a cumplimentar

1. Encabezado de la ficha de proceso

La revisión y la fecha corresponderán al momento de entrega de la ficha, y el código será acorde con la codificación establecida por la organización.

2. Información de la empresa/departamento

En este campo se recoge el nombre de la empresa/departamento, el área de trabajo en el que se desarrolla la técnica descrita en la ficha y los datos de la persona de contacto. También se recoge el responsable de la ficha, que por defecto será siempre alguien de la organización.

3. Información de la técnica empleada

Recopila los principales datos de interés de cada técnica y residuo asociado. Cabe citar que la unidad funcional empleada es la tonelada de residuo a tratar. Estos datos son:

- Nombre de la técnica
- Descripción detallada de la técnica en cuanto a objetivos, necesidad de pretratamiento, desarrollo de la técnica, equipo empleado y tiempo estimado del proceso.
- Requisitos del residuo. Reúne la siguiente información:
 - Nombre, tipo y código LER del residuo, además de su procedencia.
 - Descripción de las características físico/químicas del residuo, en cuanto a su idoneidad para ser empleado en la técnica descrita.
 - Límites de utilización de la técnica.
- Consumos asociados. Reflejan los consumos de agua, energía, electricidad, agentes químicos y otros consumos, en el caso de existir, expresados por la unidad funcional.
- Rendimiento del proceso/tratamiento expresado por la unidad funcional.
- Outputs: Productos, subproductos y residuos generados. Descripción y cuantificación de los mismos por la unidad funcional.
- Observaciones en relación con la técnica.

Gestión

El responsable de la gestión será la organización, de modo que se garantice su uniformidad, administración y seguimiento con criterios de calidad. La organización asignará un código para cada ficha de proceso o técnica, acorde con el control de documentos establecido por las normas de calidad.

Empresa/ departamento	Nombre de la empresa/departamento
Área de trabajo	Nombre del área de trabajo/actividad
Persona de contacto	Nombre de la persona de contacto
	Correo electrónico
	Número de teléfono
Responsable	Responsable de la ficha

INFORMACIÓN DE LA TÉCNICA EMPLEADA		
Nombre de la técnica	<i>Nombre de la técnica que se emplea para procesar, tratar o valorizar al residuo</i>	
Descripción de la técnica	<i>Descripción lo más detallada posible del desarrollo de las etapas de la técnica propuesta. Este apartado debe incluir, como mínimo:</i>	
	<i>Objetivos de la técnica</i>	
	<i>Pretratamiento: Descripción de los tratamientos previos al proceso en cuestión, que tienen por objetivo adecuar las características del residuo a la técnica propuesta.</i>	
	<i>Técnica: Descripción lo más detallada posible de la técnica empleada.</i>	
	<i>Equipos: Descripción de las características del equipo utilizado.</i>	
	<i>Tiempo estimado del proceso.</i>	
Requisitos del residuo	Residuo	<i>Nombre del residuo</i>
		<i>Tipo de residuo: inerte, no peligroso, peligroso, etc.</i>
		<i>Código LER</i>
	Procedencia	<i>Instalación o proceso que produce el residuo</i>
		<i>Descripción de las características físico/químicas del residuo idóneas para ser tratado con la técnica desarrollada. Al menos debe mencionar lo referente a:</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Lodo/sólido</i> • <i>Granulometría</i> • <i>Humedad</i> • <i>Comportamiento magnético</i> • <i>Comportamiento electrostático</i> • <i>Otros que se consideren importantes como entrada para la técnica</i> <i>Límites de utilización de la técnica: Rango o valor límite de las propiedades del residuo, a partir de la cual el rendimiento de la técnica se ve afectado. Los Requisitos del residuo deben encontrarse dentro de ese rango. Puede tratarse de un valor límite inferior, un valor límite superior o ambos.</i>
Consumos	Agua	<i>Consumo de agua, si existe, relativo a t de residuo a</i>

INFORMACIÓN DE LA TÉCNICA EMPLEADA		
asociados		<i>tratar</i>
	Energía	<i>Consumo de energía (con excepción de la eléctrica), si existe, relativo a t de residuo a tratar</i>
	Electricidad	<i>Consumo de electricidad, si existe, relativo a t de residuo a tratar</i>
	Agentes químicos	<i>Consumo de agentes químicos, si existe, relativo a t de residuo a tratar</i>
	Otros consumos	<i>Consumo relativo a t de residuo a tratar</i>
Rendimiento del proceso	<i>Rendimiento del proceso/tratamiento por t de residuo tratado, expresado en tanto por ciento</i>	
Outputs	Productos	<i>Enumeración, cantidad y características de los productos generados en el proceso por t de residuo a tratar.</i>
	Subproductos	<i>Enumeración, cantidad y características de los subproductos generados en el proceso por t de residuo a tratar.</i>
	Residuos	<i>Enumeración, cantidad y características de los residuos generados en el proceso por t de residuo a tratar.</i>
Observaciones	<i>Cualquier aclaración o sugerencia que se considere oportuna.</i>	

Ficha 3: Ficha que recopila las características de los procesos de tratamiento

ANEXO 3: FICHA DE ENTORNO

Objetivo

En este apartado se presenta un modelo de ficha que se denomina ficha de entorno, cuyo fin es recopilar la información relativa a la situación y las condiciones de lugar en las que se va a encontrar el sistema de tratamiento y gestión de residuos, y que influirán en cada una de las etapas del mismo.

Las entradas de la Ficha 4 permiten determinar la influencia que va a tener cada una de las etapas necesarias para gestionar el RSI en un entorno cuyas características vendrán perfectamente definidas en las mismas.

Características

Cada ficha deberá recopilar los siguientes datos:

1. Características del lugar donde se producen las actividades:
 - Condiciones meteorológicas o atmosféricas del entorno, temperatura, niveles de precipitación, humedad del lugar, etc.
 - Condiciones edáficas del entorno: composición y naturaleza del suelo en función del entorno que lo rodea, por ejemplo, textura, estructura, porosidad, pH, etc.
 - Condiciones de habitabilidad del entorno, por ejemplo si es un medio urbano, rural, industrial o protegido
2. Características del proceso o procesos de tratamiento que se le van a aplicar al RSI:
 - Condiciones del proceso: una vez conocida la ficha de proceso, (ver Anexo 1: Ficha de Residuo), se ha de ver cómo influyen las características del mismo en el entorno que lo rodea.
3. Características del residuo final a deposición que se obtiene en el proceso de tratamiento del RSI:
 - Condiciones del residuo final: sirven para conocer los daños que producen los residuos como resultado de todos los procesos de tratamiento en el entorno o hábitat que lo rodea, para ello se puede utilizar como dato de partida una ficha de residuo similar a la del Anexo 1: Ficha de Residuo.

FICHA DE ENTORNO		
CONDICIONES METEOROLÓGICAS DEL ENTORNO		
Temperatura		
Presión atmosférica		
Precipitaciones anuales		
Humedad relativa		
Nivel de radiación solar global		
Horas de luz solar		
Velocidad del viento		
Dirección del viento		
CONDICIONES EDAFICAS DEL ENTORNO		
Propiedades físicas	Textura	
	Estructura	
	Consistencia	% porosidad
Propiedades químicas	% materia orgánica	
	Fertilidad	Cantidad de nutrientes del suelo
	Acidez -Alcalinidad	Nivel de pH/salinidad del suelo
Propiedades biológicas	Microorganismos	
	Macroorganismos	
CONDICIONES DE HABITABILIDAD DEL ENTORNO		
Urbano		SI/NO
Rural		SI/NO
Industrial		SI/NO
Natural		SI/NO
CONDICIONES HIDRICAS DEL ENTORNO		
TIPO DE FUENTE HÍDRICA	SI/NO	Distancia (m)
Superficiales	Mares	
	Ríos	
	Lagos	
Subterráneos	Acuíferos	
	Manantiales	

Ficha 4: Modelo que recopila las características del entorno en el que está ubicada una instalación

ANEXO 4: FICHA DE INDICADOR

Tal como se describe en el apartado 4.1.2.2, en lo referente a los procedimientos para el establecimiento de indicadores medioambientales de la empresa (punto 2, denominado diseño de indicadores), se debe hacer una recopilación de datos/determinación de indicadores.

Para describir las características de los indicadores de manera detallada se ha desarrollado una ficha de contenido informativo para cualquier indicador. Para ello, en la Ficha 5 se describe el tipo de información que ha de contener dicha ficha descriptiva. En el encabezado de la ficha figuran el nombre del indicador a describir y el código asignado según la codificación desarrollada en el apartado 4.7, Tabla 10 del presente estudio. Para el resto de los apartados de la ficha se explica cuál es la descripción necesaria a realizar.

FICHA DEL INDICADOR	
Nombre	
Código	
Características del indicador	
Características	Descripción
Relevancia medioambiental	Relación con el aspecto ambiental que valora el indicador
Periodicidad	Periodicidad en la medición del indicador
Series Temporales	Fecha primera y última para la que se muestran datos
Cálculo del indicador	Fórmula matemática
Unidad de medida	Unidades en las que se dan los datos
Tendencia	Tendencia que el indicador debería seguir para la evolución favorable del sistema
Valores de referencia y normativa aplicable	Valores establecidos por la legislación vigente
Forma de representación	Gráfico/tabla/mapa
Observaciones	Claves para la interpretación del indicador, definiciones o aclaraciones necesarias
Características de los datos	
Características	Descripción
Número de variables del indicador	Número de variables por las que está formado el indicador
Denominación	Como se denomina la variable
Unidad de medida	Unidades en las que se suministran los datos
Fuente suministradora de datos	Nombre de la fuente suministradora Formato de los datos (electrónico o en papel) Gestión de la información (vías por las que fluye la información)
Periodicidad	Periodicidad con la que se suministran los datos de las variables. Mensual o anual.
Características de la organización responsable del indicador	
Características	Descripción
Responsable de la ficha	-
Fecha última actualización	-

Ficha 5: Plantilla para la ficha descriptiva de un indicador