



Universidad de León



Escuela Superior y Técnica
de Ingenieros de Minas

GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

TÉCNICA DE MEJORA DE LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE RSU.

TRABAJO FIN DE GRADO

León, Julio de 2015

Autor: Cristian Álvarez López
Tutor: Alberto González Martínez

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento por su apoyo y ayuda, no sólo en la elaboración de este TFG, sino también por hacerme crecer como persona, a las siguientes personas:

A mis padres, por estar siempre ahí cuando los he necesitado, por apoyarme en todo momento y animarme a estudiar. Por estar siempre dispuestos a escucharme y asesorarme.

A mis abuelos y resto de mi familia por estar siempre ahí cuando les he necesitado y preocuparse tanto por mí.

A Nino, por haberme animado a estudiar este grado y por dedicarme tanto tiempo dándome consejos y ayudándome, tanto con el grado como con el TFG.

A Alberto, por aceptar tutelar mi TFG y por haberme sugerido el título del mismo.

A todo el equipo de GERSUL, en especial a Nati y Mari Paz, por haberme facilitado algunos datos imprescindibles para la elaboración de mi TFG y por haberme hecho las prácticas muy amenas.

A la UTE Legio VII, por haberme facilitado la realización de las prácticas en sus instalaciones así como la adquisición de conocimientos acerca de los procesos que allí se realizan. En especial a Óscar, Rubén, Tony, Miguel, Silvia y Sandra, que me dedicaron su tiempo y me ayudaron a comprender el funcionamiento de la planta.

A Ignacio Sanz Madroño, de Urbaser, por haberme atendido en las oficinas de dicha empresa y haberme facilitado información importante para la redacción de mi TFG.

Finalmente, me gustaría agradecer a todos mis compañeros de grado, en especial a Pablín y Rubén, con los que he vivido y compartido momentos muy buenos, y de los que me llevo muchas cosas.

El presente proyecto ha sido realizado por D./Dña. Cristian Álvarez López alumno/a de la Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas de la Universidad de León para la obtención del título de Grado en Ingeniería de la Energía.

La tutoría de este proyecto ha sido llevada a cabo por D./Dña. Alberto González Martínez, profesor/a del Grado en Ingeniería de la Energía.

Visto Bueno

Fdo.: D./Dña. Cristian Álvarez López

El autor del Trabajo Fin de Grado

Fdo.: D./Dña. Alberto González Martínez

El Tutor del Trabajo Fin de Grado

RESUMEN

En este Trabajo de Fin de Grado voy a tratar un tema muy importante a la par que desconocido para la sociedad; la gestión y tratamiento de los residuos urbanos. Muy poca gente es consciente de todo lo que conlleva la gestión responsable de los deshechos y de la problemática.

En este trabajo comenzaremos con una descripción del término “residuo” y de las primeras etapas del proceso, viendo los diferentes tipos de recogida que existen con sus pros y sus contras.

A continuación veremos los diferentes tipos de tratamientos de los residuos que existen (térmicos y biológicos), prestando especial interés por el tratamiento de plasma; una tecnología relativamente nueva, con mucha proyección y que se postula como el futuro a medio plazo dentro de los tratamientos.

Más tarde, hablaré del modelo de gestión de los residuos en nuestra provincia (León), explicando su estructura y analizando a fondo el CTR de San Román de la Vega. Para ello utilizaré tablas y análisis de diferentes parámetros como balances de masas, análisis de lixiviados, análisis de vertidos, etcétera. Toda la información de este apartado me ha sido facilitada por cortesía de GERSUL.

Por último tocaré el marco legal que afecta hoy en día a la gestión de residuos y su tratamiento.

ABSTRACT

In this TFG I will talk about a very important topic that remains unknown for most of the population; the waste management and treatment. Very few people are aware of how complex this subject is.

I will begin with a brief description of the term “waste” and the first steps of the process, paying attention to the different types of waste collection that exist.

Then, I will talk about the different waste treatment techniques that exist, focusing on the plasma based ones, that are relatively new and seems to be the future of this sector.

After that, I will talk about how the municipal waste is managed and treated in León, analysing all the structure and talking about the CTR of San Román de la Vega, where all the waste is treated.

Finally, I will explain and mention the most important laws affecting this sector.

ÍNDICE

Contenido

AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN	4
ÍNDICE	I
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE TABLAS	¡Error! Marcador no definido.
1 Introducción y actualidad de los residuos	1
1.1 Medio Ambiente.	3
1.2 Vectores contaminantes.	4
2 Recogida de RSU	5
3 Valorización energética de los residuos.	10
3.1 Tratamientos térmicos convencionales.	10
3.1.1 Gasificación.	10
3.1.2 Pirolisis	13
3.1.3 Incineración.	15
3.2 Tratamientos térmicos no convencionales.	28
3.2.1 Tecnología de plasma.	28
3.2.2 Descripción del plasma.	30
3.2.3 Diferentes tipos de procesos de plasma.....	32
3.2.4 Residuos que mejor encajan con el proceso de plasma.....	39
3.2.5 Capacidad de los procesos de plasma para tratar grandes volúmenes.	41
3.2.6 Oportunidades de mercado.....	43
3.2.7 Compañías desarrolladoras de la tecnología de plasma	45
3.2.8 Ventajas y desventajas de la tecnología de plasma.	52
3.2.9 ¿Están probadas las tecnologías de plasma?	55
3.2.10 Material de salida del proceso: Comercialización y huella.....	56
3.2.11 Emisiones y contaminación.	59
3.2.12 Viabilidad económica de las tecnologías de plasma.	62
4 Tratamientos biológicos de los residuos.	63
4.1 Compostaje.	63

4.1.1	Criterios de calidad.	63
4.1.2	Estabilización del compost.....	63
4.1.3	Usos del compost.....	64
4.1.4	Procesos de elaboración del compost.....	65
4.1.5	Otros procesos de compostaje	71
4.1.6	Uso agrícola del compost y vermicompost de residuos urbanos.....	75
4.2	Biometanización.....	84
4.2.1	Pretratamiento para residuos urbanos.	93
4.2.2	Técnicas de higienización para materiales que puedan provocar contaminación biológica.....	94
4.2.3	Técnicas de co-digestión aplicada a los residuos urbanos.	95
4.2.4	Técnicas de depuración del biogás generado.....	99
4.2.5	Técnicas de tratamiento del digestato.	101
4.2.6	Técnicas de valorización energética.	102
5	Gestión de residuos en la provincia de León.....	106
5.1	Objetivos del actual modelo.	107
5.1.1	Antecedentes.....	108
5.1.2	Constitución de GERSUL.	109
5.2	División de la provincia en áreas de gestión.....	109
5.3	Estaciones de transferencia.	128
5.4	Plantas de clasificación de envases y residuos de envases.	128
5.5	CTR de San Román de la Vega.....	130
5.5.1	Sistema de tratamiento de los residuos en la planta de reciclaje y compostaje.	132
5.5.2	Vertedero.....	138
5.5.3	Caracterizaciones internas.....	143
5.5.4	Caracterizaciones externas.....	161
5.5.5	Balance de masas.....	168
5.5.6	Control y vigilancia de vertido.	171
5.5.7	Control del agua de biometanización.....	180
5.5.8	Control del agua de compostaje.....	181
6	Legislación y normativa aplicable en materia de gestión de residuos domésticos...	181
6.1	Antecedentes y marco legislativo general	181
6.2	Relación no exhaustiva de Legislación aplicable.....	185

6.3	Marco legal comunitario	186
6.3.1	Lista Europea de Residuos	187
6.4	Legislación española.....	187
6.4.1	Constitución Española de 1978.....	188
6.4.2	Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas.....	188
6.4.3	Legislación de la comunidad autónoma de Castilla y León	191
6.4.4	Normativa de las Entidades Locales	194
	Lista de referencias	195

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- Residuos municipales generados en la UE en 2012 (kg/persona).....	1
Figura 1.2.- Porcentaje de residuos destinados a vertedero en 2012.....	2
Figura 1.3.- Diferentes formas de gestión de los residuos en varios países de la UE en 2012.	3
Figura 1.2.1.- Inversiones de los países de la UE en los diferentes vectores.	5
Figura 2.1.- Contenedores de recogida selectiva.	6
Figura 2.2.- Esquema general del sistema de recogida neumática de residuos.	7
Figura 2.3.- Buzones del sistema neumático en el barrio húmedo (León).....	8
Figura 3.1.1.- Esquema proceso gasificación.....	10
Figura 3.1.1.1.1.- Planta gasificación Movialsa.....	11
Figura 3.1.1.1.2.- Planta de gasificación de Karlovo.	12
Figura 3.1.2.2.1.- Esquema general proceso pirolisis.	15
Figura 3.2.2.1.- Esquema de funcionamiento de una antorcha de plasma.....	30
Figura 3.2.2.2.- Generación de plasma usando electrodos de grafito.	31
Figura 3.2.2.3.-Escoria que se vierte de un reactor de plasma.	32
Figura 3.2.3.1.1.-Esquema simplificado de pirolisis de plasma	33
Figura 3.2.3.2.1.-Esquema de la combustión del plasma.	34
Figura 3.2.3.4.1.-Esquema de la gasificación de plasma.	36
Figura 3.2.3.4.2.-Esquema de la gasificación de plasma asistida.	36
Figura 3.2.3.4.3.-Planta de Iizuka, Japón.	37
Figura 3.2.3.4.4.-Planta de gasificación asistida en Utashinai, Japón.	37
Figura 3.2.3.5.1.-Ejemplo de configuración con segunda etapa de pulido de plasma.....	39
Figura 3.2.4.1.-Ejemplo de configuración con segunda etapa de pulido de plasma.....	41
Figura 3.2.7.2.1.-Tecnologías de plasma ofertadas por cada proveedor.	52
Figura 3.2.10.3.1.- Posible balance de energía para procesos de plasma.....	59
Figura 3.2.11.1.-Datos de emisiones de dioxinas de varios proveedores de tecnologías de plasma.....	60
Figura 3.2.12.1.-Costes de capital indicativos para la gasificación por plasma.....	62
Figura 4.1.2.1.-Pila de compost estabilizado.	64
Figura 4.1.4.1.-Esquema de funcionamiento.....	66

Figura 4.1.4.1.1.-Zona de descarga de los camiones de recogida.	67
Figura 4.1.4.2.1.-Vista de un trómel por dentro.	67
Figura 4.2.1.-Balance comparativo entre los procesos aerobios y anaerobios.	87
Figura 4.2.2.-Esquema proceso biometanización.	88
Figura 4.2.3.-Composición del biogás en función de los residuos empleados.	89
Figura 4.2.4.-Producción de biogás en función de diferentes tipos de residuos.	90
Figura 4.2.5.-Rango de producción potencia biogás en función del residuo utilizado.	92
Figura 4.2.1.1.-Potencial de producción de biogás de diferentes sustratos con y sin pretatamiento.	93
Figura 4.2.2.1.-Carácterísticas propias de los purines de cerdo.	96
Figura 4.2.2.2.-Caracterización relativa para la co-digestión de diferentes residuos orgánicos.	97
Figura 4.2.3.2.1.- Biodegradabilidad anaerobia en función de diferentes concentraciones.	98
Figura 4.2.3.2.2.- Acumulación específica de metano para diferentes concentraciones de residuos y lodos.	98
Figura 4.2.3.2.3.-Reducción de sólidos para diferentes muestras.	99
Figura 4.2.4.1.-Tratamiento del biogás en función del uso.	99
Figura 4.2.4.2.-Sistema de tratamiento mediante absorción en solución acuosa, con sistema de regeneración de la solución.	101
Figura 4.2.6.1.-Usos del biogás.	102
Figura 4.2.6.1.-Necesidad de tratamiento en función del uso final del biogás.	103
Figura 4.2.6.1.1.-Diferentes tecnologías para la valorización del biogás.	103
Figura5.2.1.-División de la provincia en áreas.	110
Figura5.2.2.-Aportación de residuos de los municipios de la provincia de León.	117
Figura5.2.3.-Aportación de residuos de todos los municipios de la provincia de León en función del mes del año (2013).	118
Figura5.2.4.-Aportación de residuos de recogida separada de todos los municipios de la provincia de León (2013).	127
Figura5.4.1.-Esquema de las estaciones instalaciones de la provincia por áreas.	130
Figura5.5.1.-Vista aérea del CTR de San Román de la Vega.	132
Figura5.5.1.1.2.1.-Imagen de un trómel.	134
Figura5.5.1.1.2.2.-Operarios triando en las líneas.	135
Figura5.5.1.2.1.1.-Tanques de hidrólisis y biometanización.	138
Figura5.5.2.1.-Imágen aérea del vertedero con la fase I sellada.	139
Figura5.5.2.1.1.-Imágen aérea con los puntos de control marcados.	141

Figura5.5.2.1.2.-Esquema de los puntos de control.	142
Figura5.5.2.1.3.-Esquema de los puntos de medición de gases en el vertedero.	142
Figura5.5.2.1.4.-Esquema de los puntos de medida de los niveles sonoros.	143
Figura5.5.3.1.1.-Caracterización primer trimestre todo uno.	144
Figura5.5.3.1.2.-Caracterización primer trimestre voluminosos.	144
Figura5.5.3.1.3.-Caracterización primer trimestre cabina de triaje.	145
Figura5.5.3.1.4.-Caracterización primer trimestre compostaje.	145
Figura5.5.3.1.5.-Caracterización primer trimestre biometanización.	146
Figura5.5.3.1.6.-Caracterización primer trimestre prensa de rechazos.	146
Figura5.5.3.1.7.-Caracterización primer trimestre rechazo afino.	147
Figura5.5.3.2.1.-Caracterización segundo trimestre todo uno.	147
Figura5.5.3.2.2.-Caracterización segundo trimestre voluminosos.	148
Figura5.5.3.2.3.-Caracterización segundo trimestre cabina de triaje.	148
Figura5.5.3.2.4.-Caracterización segundo trimestre compostaje.	149
Figura5.5.3.2.5.-Caracterización segundo trimestre biometanización.	149
Figura5.5.3.2.6.-Caracterización segundo trimestre prensa rechazos.	150
Figura5.5.3.2.7.-Caracterización segundo trimestre afino.	150
Figura5.5.3.3.1.-Caracterización tercer trimestre todo uno.	151
Figura5.5.3.3.2.-Caracterización tercer trimestre voluminosos.	151
Figura5.5.3.3.3.-Caracterización tercer trimestre cabina triaje.	152
Figura5.5.3.3.4.-Caracterización tercer trimestre compostaje.	152
Figura5.5.3.3.5.-Caracterización tercer trimestre biometanización.	153
Figura5.5.3.3.6.-Caracterización tercer trimestre prensa rechazos.	153
Figura5.5.3.3.7.-Caracterización tercer trimestre afino.	154
Figura5.5.3.4.1.-Caracterización tercer trimestre afino.	154
Figura5.5.3.4.2.-Caracterización tercer voluminosos.	155
Figura5.5.3.4.3.-Caracterización tercer cabina triaje.	155
Figura5.5.3.4.4.-Caracterización tercer compostaje.	156
Figura5.5.3.4.5.-Caracterización tercer biometanización.	156
Figura5.5.3.4.6.-Caracterización tercer prensa rechazos.	157
Figura5.5.3.4.7.-Caracterización tercer afino.	157
Figura5.5.3.5.1.-Resumen caracterizaciones todo uno.	158
Figura5.5.3.5.2.-Resumen caracterizaciones voluminosos.	158
Figura5.5.3.5.3.-Resumen caracterizaciones cabina triaje.	159

Figura5.5.3.5.4.-Resumen caracterizaciones cabina compostaje.	159
Figura5.5.3.5.5.-Resumen caracterizaciones biometanización.	160
Figura5.5.3.5.6.-Resumen caracterizaciones prensa rechazos.....	160
Figura5.5.3.5.7.-Resumen caracterizaciones afino.....	161
Figura5.5.4.1.1. Caracterizaciones de entrada a la línea de envases.	163
Figura5.5.4.1.2. Caracterizaciones de entrada a la línea de envases.	164
Figura5.5.4.1.3. Caracterizaciones de entrada a la línea de envases.	165
Figura5.5.4.1.4. Caracterizaciones de entrada a la línea de envases.	166
Figura5.5.4.2.1.-Caracterizaciones de rechazo fin de la línea de envases.	167
Figura5.5.4.3.1.-Caracterizaciones de rechazo voluminosos de la línea de envases.	168
Figura5.5.5.1.-Flujo de entradas y salidas a cada línea de la planta.	169
Figura5.5.5.2.-Flujo de entradas, subproductos y rechazos de la planta.....	170
Figura5.5.6.1.1.-Cuadro resumen producción anual de lixiviados.	171
Figura5.5.6.1.2.-Representación gráfica del volumen de lixiviados.	171
Figura5.5.6.2.1.-Cuadro resumen de depurado.	172
Figura5.5.6.2.2.-Representación gráfica del volumen de agua depurada.	172
Figura5.5.6.3.1.-Cuadro resumen anual planta de ósmosis.	173
Figura5.5.6.3.2.-Composición de los lixiviados y agua depurada.....	174
Figura5.5.6.4.1.-Resumen anual de volumen de pluviales.....	174
Figura5.5.6.4.2.-Composición de pluviales.....	175
Figura5.5.6.5.1.-Medidor tipo Parshall.....	176
Figura5.5.6.5.2.-Resumen anual aforador.....	176
.....	177
Figura5.5.6.5.3.-Representación gráfica del volumen de vertido.	177
Figura5.5.6.5.4.-Composición de aguas vertidas.....	178
Figura5.5.6.6.1.-Cruce de analíticas con el nivel de referencia.....	179
Figura5.5.7.1-Resultados analíticos del agua de biometanización.....	180
Figura5.5.8.1-Resultados analíticos del agua de compostaje.	181

1 Introducción y actualidad de los residuos.

En la actualidad la gestión de los residuos generados por la población es un problema al que se tiene que hacer frente a diario. Actualmente hay más de 7000 millones de habitantes en el planeta, y se estima que cada persona genera unos 500 kilogramos de basura al año. A estos residuos hay que sumarle los generados por la industria, hospitales, etc. Debido a esto, hay una necesidad imperiosa de innovar continuamente en tecnologías más eficientes para la gestión y tratamiento de los residuos.

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son los generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como todos aquellos que no tengan la calificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en los anteriores lugares o actividades. Tendrán también la consideración de residuos urbanos los siguientes:

- Residuos procedentes de la limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas.
- Animales domésticos muertos, así como muebles, enseres y vehículos abandonados.
- Residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliaria.

En España, al igual que en el resto de la Unión Europea, se ha incrementado la generación de residuos conforme ha ido creciendo económicamente.

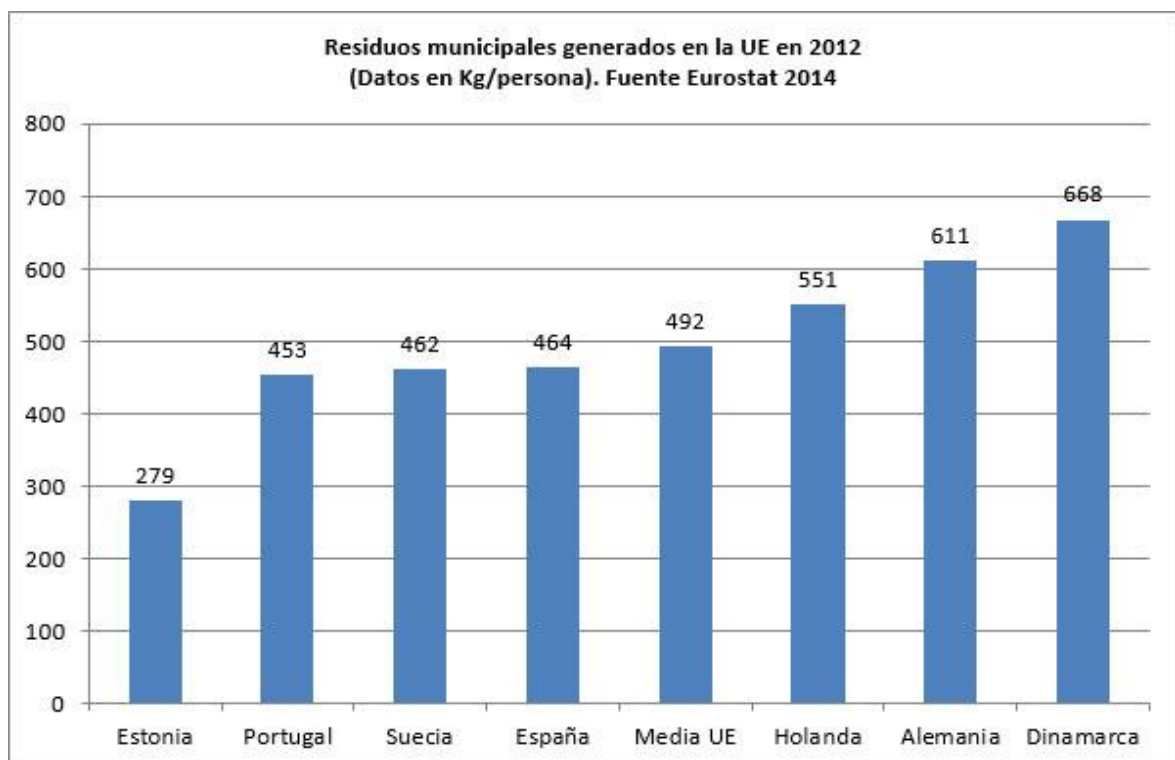


Figura 1.1.- Residuos municipales generados en la UE en 2012 (kg/persona)

Esta situación es insostenible medioambientalmente hablando, y la UE lleva años orientando sus políticas de gestión de residuos a la reducción de la generación de estos residuos.

Los países más desarrollados desde un punto de vista medioambiental han apostado por la eliminación del vertedero, habiéndolo conseguido en Alemania y Suiza, mientras que Suecia, Bélgica y Holanda están cerca de lograrlo.

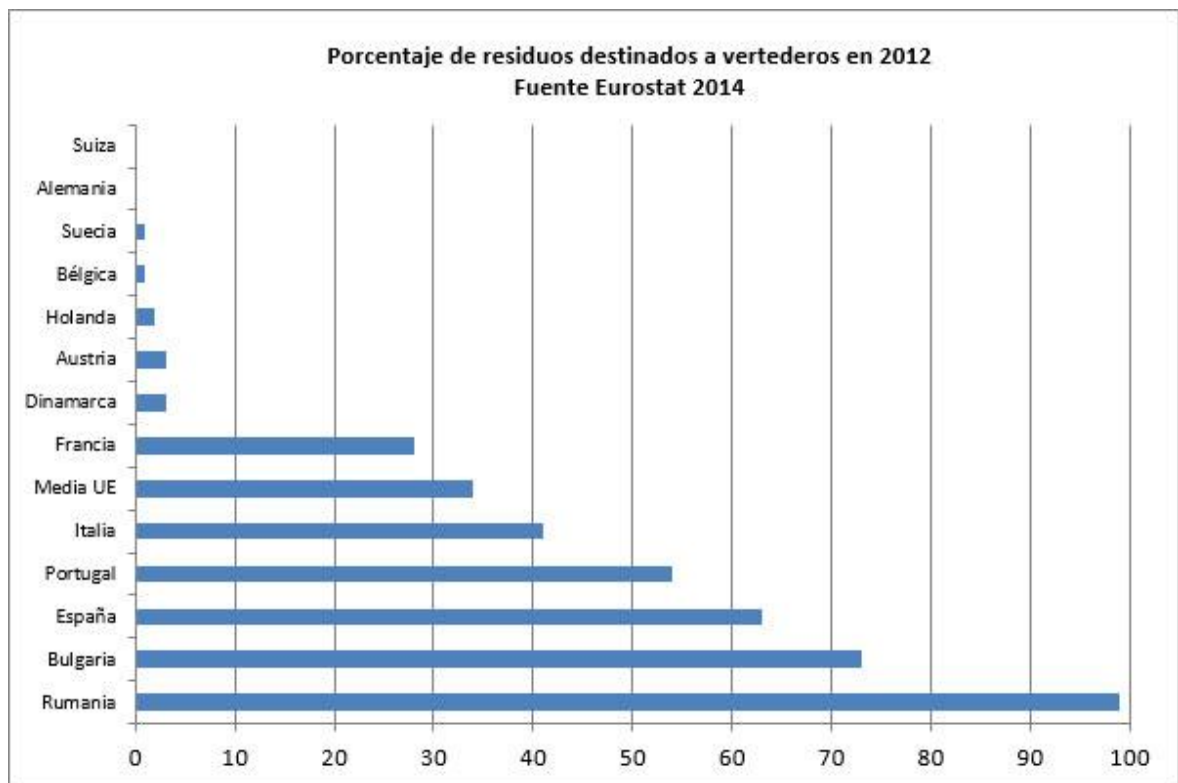


Figura 1.2.- Porcentaje de residuos destinados a vertedero en 2012.

Existe la idea generalizada de que los residuos son inservibles, y que deben ser enviados a un vertedero. Los residuos son en realidad una fuente de recursos recuperables para la sociedad. En primer lugar tienen un valor energético, que bien puede usarse para generar energía eléctrica, o como combustible en hornos de fábricas de cemento. Las cementeras ya llevan años quemando residuos que no se pueden reutilizar ni reciclar.

En el siguiente gráfico se puede observar como gestionan sus residuos distintos países de la Unión Europea:

- Los países del norte de Europa tienen una mayor concienciación medioambiental que el resto. El uso de vertedero es escaso, promueven el reciclaje y aprovechan el valor energético de los residuos.

- Los países del Mediterráneo y este de Europa usan el vertedero como forma predominante de gestión de residuos.

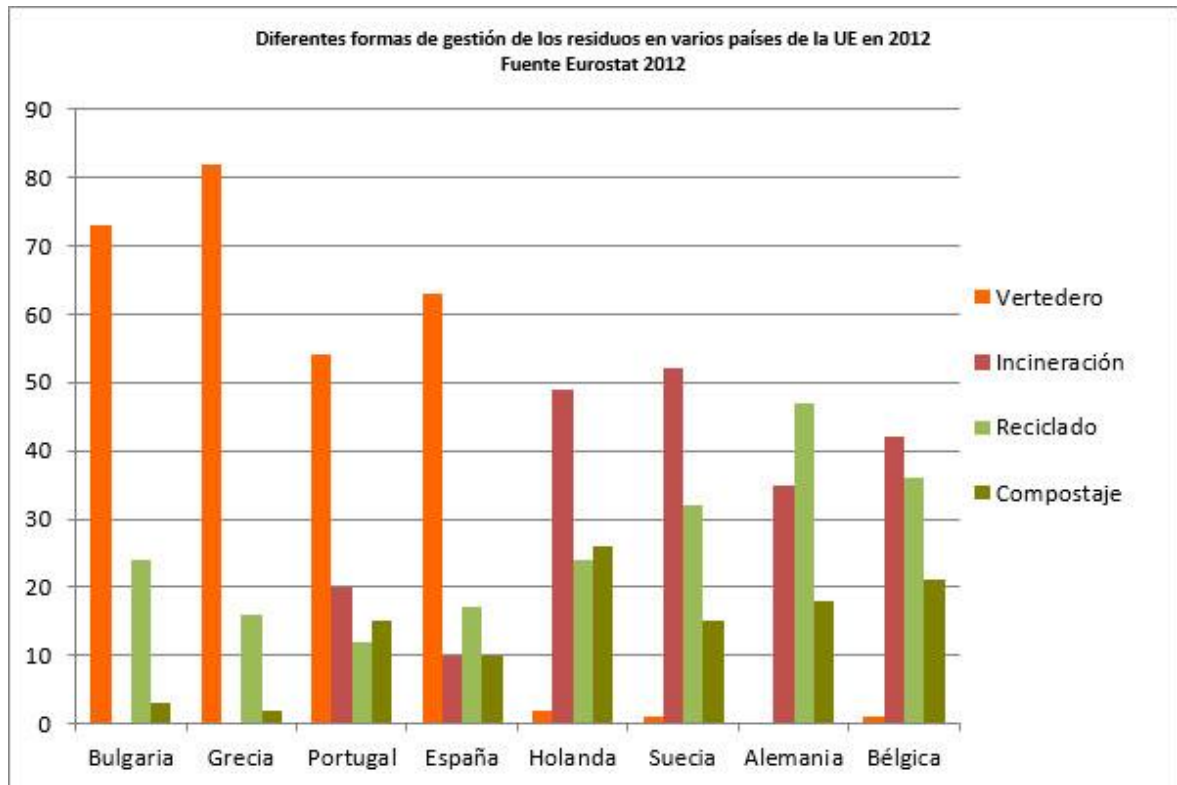


Figura 1.3.- Diferentes formas de gestión de los residuos en varios países de la UE en 2012.

1.1 Medio Ambiente.

Es necesario hablar de este concepto al tratar el tema de los residuos, debido al fuerte impacto que estos tienen sobre el medio ambiente. La complejidad y peligro de esta actividad requiere que se haga un análisis profundo y multidisciplinar del medio ambiente, abordando todas las facetas.

Muchos autores definen el medio ambiente como “el conjunto de sistemas físicos y biológicos que aparecen como resultado de la interacción del hombre moderno con el hábitat que le rodea”.

El desarrollo de la anterior definición será analizado desde diferentes puntos de vista, dependiendo de la formación de la persona que analice un mismo fenómeno:

- El biólogo se centrará en los impactos sobre la flora y la fauna.
- El urbanista se centraría en los problemas derivados de la ocupación del suelo.
- El ingeniero se ocupará de los problemas de infraestructura sanitaria.
- El geólogo mostraría interés por la alteración de las aguas subterráneas y la contaminación del subsuelo.

- El sociólogo analizará el impacto que el funcionamiento de una actividad industrial ejerce sobre una población y su modo de vida.
- El médico se encargaría de tratar de evitar que dicha actividad causase daños en la salud de la población.

Si tomamos como punto de partida la reciente historia contemporánea, la relación persona/medio se encuentra muy condicionada, con independencia que durante el último siglo la humanidad ha conseguido un indudable nivel de bienestar a base de una potente industrialización, que ha desplazado a gran parte de la gente a las ciudades. Existen tres factores importantes: demografía, densidad de población e industrialización que han alterado profundamente la relación sociedad/medio, precisándose de múltiples mecanismos para recuperar el equilibrio de aquello que se ha convenido en denominar medio ambiente.

1.2 Vectores contaminantes.

Una de las primeras facetas a estudiar cuando tratamos el estudio del problema, consiste en estudiar los medios por los que se produce la afectación del medio ambiente. Los posibles efectos negativos producidos sobre el medio son ocasionados por el flujo de materias primas, energía o emisiones que se han estructurado en varios factores, denominados vectores contaminantes:

- Aire: La calidad del aire y el nivel de ruido son dos parámetros imprescindibles para la determinación del estándar de vida. Dentro del término “aire” se engloban todos los contaminantes que emanan del tráfico, actividades industriales, generación de electricidad, calefacciones, etc.
- Agua: La contaminación del agua puede tener un origen difuso, puede provenir de las prácticas agrícolas, o del vertido de aguas residuales provenientes de actividades industriales, urbanas, turísticas, etc. Estas aguas deben ser depuradas antes de ser devueltas al río o al mar. El agua actúa como disolvente y soporte físico que transporta los contaminantes que se vierten en ella.
- Residuos: Actúan como vector de todo tipo, y son el último eslabón de cualquier actividad. Por ejemplo, la depuración de aguas genera un residuo que es el fango.
- Utilización de la energía: La energía, en cualquiera de sus formas, es una parte importantísima de nuestras vidas. El nivel de desarrollo de un país se mide en gran medida con este parámetro. Su generación, transporte, transformación y usos genera problemas al medio ambiente.
- Ruido, olores: Estos vectores, ampliamente distribuidos en las sociedades industriales, afectan directamente a la calidad de vida. Cuando su intensidad y persistencia es pertinaz pueden adquirir carácter patológico.

En la siguiente figura se representa la inversión que los países de la UE han realizado en los últimos años en los distintos vectores.

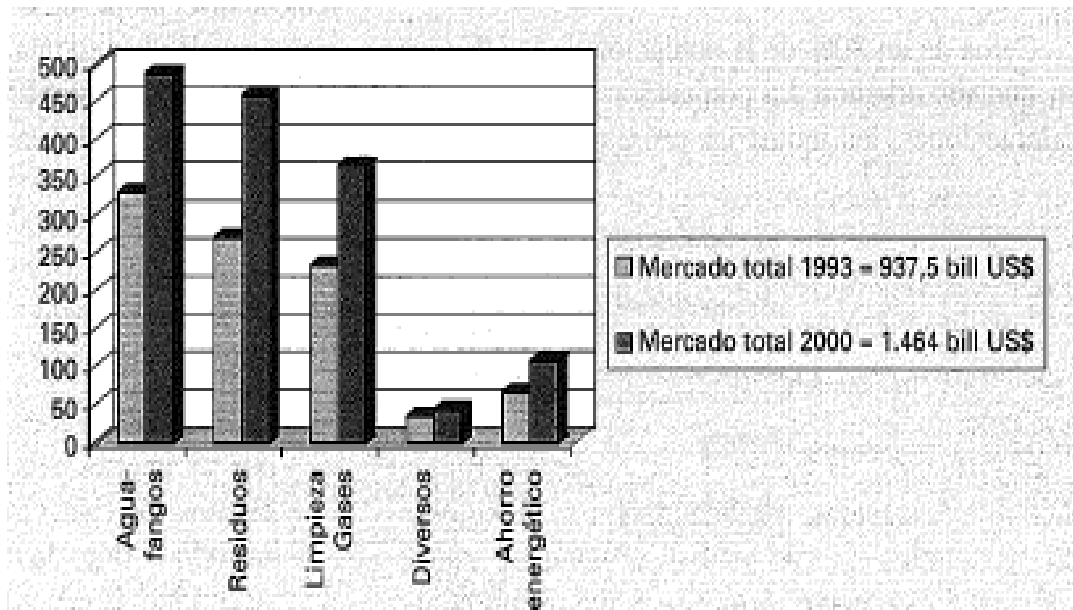


Figura 1.2.1.- Inversiones de los países de la UE en los diferentes vectores.

En 2001, el sector público de la UE invirtió casi 54.000 millones de euros, lo que se traduce en el 0,6% del PIB de la UE, los gastos de los servicios 75.000 millones y la industria 38.000 millones de euros. Según la Oficina Europea de Estadística (Eurostat), entre 1996 y 2002, los gastos en medio ambiente procedentes del sector público aumentaron en un 6%.

En el 2005 estas cifras eran muy superiores. En la UE y también en los EE UU, la legislación obliga a tomar medidas para la protección del medio ambiente.

En contrapartida, un estudio llevado a cabo por el Banco Mundial presenta como resultado que la mala gestión ambiental derivada de prácticas ilegales o corrupción en los aspectos de manejo forestal y biodiversidad provoca un daño económico mundial cercano a los 30.000 millones de dólares americanos al año. De este total, entre 15.000 y 20.000 millones se atribuyen a pérdidas fiscales por explotaciones forestales; 9.000 millones se deben a la pesca salvaje; y entre 6.000 y 10.000 se atribuyen al tráfico de especies.

En los países en vías de desarrollo el daño económico causado por la mala gestión de sus recursos y valores naturales pueden estimarse entre un 4-8% de su PIB.

2 Recogida de RSU

La recogida de RSU consiste en su traslado desde un punto común de aportación donde los ciudadanos depositan sus residuos hasta las plantas de tratamiento. Existen dos tipos de recogida: recogida no selectiva y recogida selectiva.

En la primera, que ha sido la más habitual hasta hace unos años, se depositan todos los residuos en un mismo contenedor, sin atender a sus características.

Por el contrario, en la recogida selectiva se habilitan contenedores específicos para separar la basura: papel y cartón (azul), vidrio (verde), envases (amarillo), orgánica (gris o marrón). Este código de colores ha sido designado por el Plan Nacional de Residuos Urbanos. Este tipo de recogida requiere un alto nivel de concienciación y colaboración por parte de la sociedad.



Figura 2.1.- Contenedores de recogida selectiva.

La ubicación de dichos contenedores se ajusta a cada población y demanda, siendo habitual encontrar al menos uno de papel, vidrio y envases por barrio y uno de orgánica por calle. En algunos lugares depositar materia orgánica solo está permitido en determinadas horas del día para evitar molestias y malos olores.

También es habitual la creación de puntos limpios donde la gente pueda deshacerse de materiales peligrosos generados en sus hogares (tales como radiografías, pinturas, etc) así como voluminosos (colchones, muebles, etc) y residuos inertes como escombros derivados de pequeñas obras domésticas.

Existen dos métodos de recogida: recogida por medio de vehículos y recogida neumática. La más habitual es la primera. Se realiza con vehículos especialmente preparados para

compactar los residuos en una tolva, aunque también los hay sin tolva. Se utiliza uno u otro en función del residuo a transportar. Por ejemplo es muy útil compactar la materia orgánica y envases, pero no el vidrio.

La recogida neumática requiere una gran inversión, pero a cambio los gastos de personal se reducen, y genera menos molestias a la población. Consiste en unos buzones que desembocan en unas conducciones subterráneas, que conducen la basura directamente hasta la estación de transferencia por medio de corrientes de aire, desde donde se procede a su traslado a una central de recogida. En la central de residuos la basura se deposita en contenedores y el aire utilizado se filtra para ser emitido limpio a la atmósfera. Sólo es factible en zonas de nueva construcción. Este sistema se desarrolló y patentó por una empresa sueca y comenzó a usarse en los países nórdicos y EE UU en la década de los 60. Este sistema presenta las ventajas de que tienes un menor impacto visual, no hay olores ni ruidos, es sencillo de usar y se puede utilizar a cualquier hora y día. Por otra parte, es muy difícil controlar lo que la gente echa en los contenedores, y es frecuente que se produzcan atascos en las conducciones.



Figura 2.2.- Esquema general del sistema de recogida neumática de residuos.

En la ciudad de León, este sistema funciona en el casco antiguo (barrio húmedo) y en el barrio La Lastra, al sur de la ciudad.



Figura 2.3.- Buzones del sistema neumático en el barrio húmedo (León).

Existen dos versiones del sistema de recogida neumático: el sistema estático y el móvil.

El sistema estático está formado por los siguientes elementos:

- Buzón de vertido: Suelen estar en la calle o dentro de los edificios para que la gente deposite dentro la basura. Conectan con las conducciones.
- Red general de tuberías subterráneas: Conectan los buzones con la central de recogida. La velocidad de los residuos dentro oscila entre los 60 y 70 km/h. Las tuberías suelen ser de acero de unos 50 cm de diámetro con uniones de soldadura. El grosor de los tubos varía en función de la carga de basuras que soportan (5mm cerca de los puntos de recogida y 25mm cuando llega a la central).
- Red interior de tuberías: Está situada en los espacios privados, como los edificios. Conectan los edificios con la red general. Cada ramal de la red interior termina en una válvula de aire, punto de entrada al sistema del aire que impulsará los productos recogidos hasta la central.
- Central de recogida: Es el lugar donde se separan los residuos del aire y se almacenan hasta que se recogen con camiones. Suele contar con:
 - Una sala con unos turboextractores y un compresor que alimenta el circuito de aire comprimido por las válvulas de basuras.
 - Un centro de control que se encarga de ejecutar todas las órdenes y verificaciones de los ciclos de recogida.
 - Sistemas de tratamiento del aire, el compactador y el muelle de carga y control de los contenedores.
 - El separador (ciclón) donde la basura cae por gravedad y se separan del aire de transporte.

La basura cuando se deposita en los buzones cae por gravedad hasta una válvula que está situada en el subsuelo. Esta válvula normalmente permanece cerrada y almacena la basura temporalmente. A intervalos irregulares controlados por un ordenador que opera desde la central de recogida, se activan unos extractores que provocan una depresión de entre 15-25 KPa en toda la red. Una vez producida esta depresión se permite entrar aire al sistema por medio de unas válvulas de aire situadas en cada ramal. En ese instante, comienza la apertura individual de las diferentes válvulas de basura de cada buzón. Primero se abren los buzones con la misma fracción. La basura es transportada a unos 60-70 kilómetros por hora hasta la central de recogida, donde se separa la basura del aire por medio de un ciclón. Los residuos se compactan y caen dentro de un contenedor. Una vez que se ha completado la recogida de una fracción, se rota la tubería general hacia otro separador rotativo mediante una válvula diversora, comenzando separadamente la recogida de la otra fracción.

El aire separado de la basura se somete a los siguientes procesos:

- Separación primaria (basura y partículas grandes).
- Separación secundaria (partículas pequeñas y polvo grueso).
- Separación terciaria (polvo fino).

Con estos tratamientos se logra reducir el contenido en polvo del aire de transporte por debajo de 0,1 mg por metro cúbico normal, cifra inferior al contenido de polvo que normalmente se registra en el aire de zonas residenciales. El aire de transporte no suele tener olores, no obstante en zonas de clima cálido pueden producirse debido a que la basura puede estar en estado de descomposición. En estos casos se utiliza un cuarto tratamiento a base de carbón activo para eliminar los gases y los olores. Antes de ser expulsado a la atmósfera el aire se somete a un silenciador para reducir el ruido de los turboextractores.

La recogida neumática cuenta con importantes ventajas como se ha podido observar. Desde el punto de vista higiénico no produce malos olores excepto en zonas de mucho calor. No se producen acumulaciones de basura. Desde el punto de vista ambiental carece de impacto visual negativo y no se producen ruidos apreciables. Desde el punto de vista laboral mejora las condiciones de recogida de los trabajadores, debido al mayor grado de mecanización de las instalaciones. No obstante presenta algunos inconvenientes como la acumulación de basura fuera de los buzones y las averías en el sistema. El primero se debe a la falta de concienciación ciudadana, al depósito de los residuos fuera de los horarios establecidos y al llenado de los buzones. El segundo se debe a un mal uso de las instalaciones.

3 Valorización energética de los residuos.

3.1 Tratamientos térmicos convencionales.

3.1.1 Gasificación.

La gasificación es un proceso que se utiliza para transformar la materia orgánica de los residuos urbanos en un gas combustible. El proceso alcanza temperaturas que oscilan entre los 800 y 1100 °C. A diferencia de la incineración, que utiliza el oxígeno necesario para la combustión completa, la gasificación solo emplea entre el 30 y el 50% del oxígeno necesario. En la gasificación la energía química contenida en los residuos se transforma en energía química contenida en un gas de síntesis. Este gas se puede utilizar como combustible para la obtención de energía en motores, turbinas de gas o calderas. Las cenizas pueden considerarse residuo, o bien utilizarse en la construcción, vidrio o fertilizante. Esta técnica es eficaz para reducir el volumen de residuos sólidos y recuperar su energía, siendo una forma sostenible y limpia de generar energía eléctrica. Son susceptibles de ser gasificados todos aquellos materiales con un alto contenido en carbono, como es el caso de los residuos urbanos.

El syngas, o gas de síntesis generado, contiene monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrógeno, metano, pequeñas cantidades de otros hidrocarburos más pesados, agua, nitrógeno cuando se usa aire como agente gasificante y diversos contaminantes como pequeñas partículas carbonosas, cenizas, alquitranes y aceites.

El poder calorífico del gas se lo otorgan el metano, el monóxido de carbono y el hidrógeno, ya que el nitrógeno y el dióxido de carbono son inertes. El gas de síntesis puede alcanzar un potencial energético de hasta 5.000 kcal por metro cúbico.

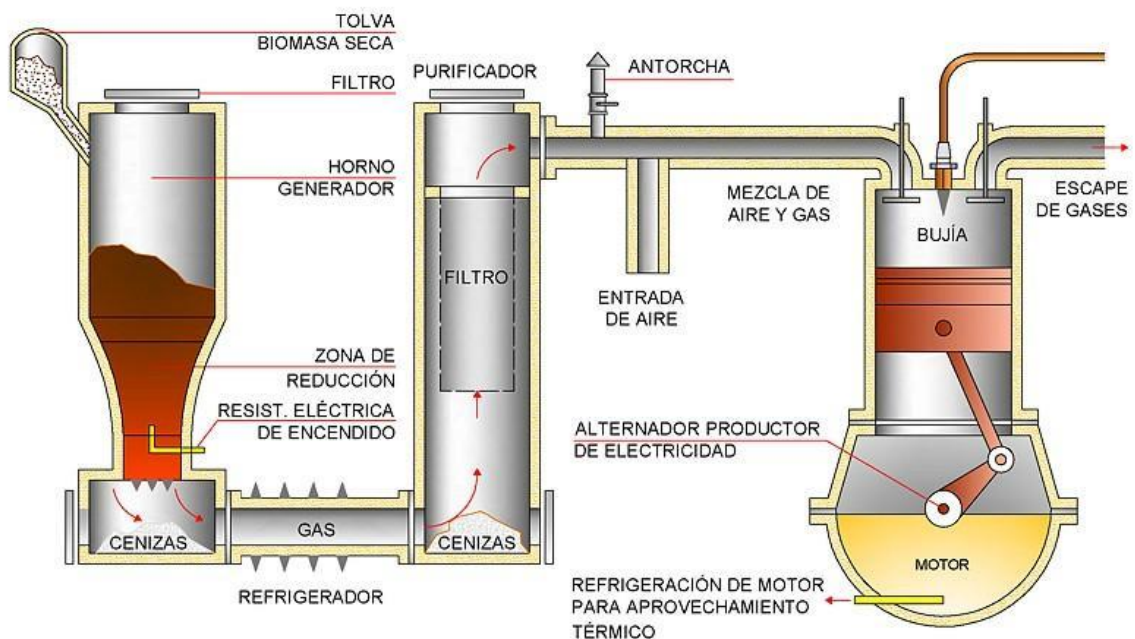


Figura 3.1.1.- Esquema proceso gasificación.

3.1.1.1 Plantas de gasificación

Las plantas más importantes de gasificación son:

- Planta de Movialsa: Está localizada en Campo de Criptana, Ciudad Real. Es una planta de cogeneración eléctrica con tecnología de gasificación de lecho fluido burbujeante. Los residuos utilizados son orujo deshidratado y orujillo. Su puesta en marcha se produjo en mayo de 2011. Consume 4000 kg/h de residuos. Cuenta con 4 gasificadores y una potencia térmica de 6588 kW. Produce 159 metros cúbicos hora de agua caliente. Tiene una potencia eléctrica de 6000 kW. Cuenta con tres motogeneradores de la firma Jenbacher. Su rendimiento eléctrico es del 30.2% y su rendimiento térmico es del 33.6%.



Figura 3.1.1.1.1.- Planta gasificación Movialsa.

- Karlovo Biomass EOOD: Esta planta está localizada en Stroevo, Bulgaria. Es una planta de generación eléctrica con un gasificador de lecho fluido burbujeante. Los residuos que trata son pellets de paja y astilla de madera. La instalación está en fase de construcción desde el mes de Octubre de 2013 y su construcción se está desarrollando en dos fases. La primera consta de 2MW finalizó su montaje para finales del cuarto trimestre de 2014. La puesta en marcha de esta primera fase se inició en el primer trimestre del 2015. La segunda fase del proyecto con los 3 MW restantes está prevista que entre en operación comercial para finales del primer semestre de 2015. La planta cuenta con dos líneas de gasificación que consumen un total de 4.620 Kg/h. Cada línea está compuesta por un gasificador de lecho fluido burbujeante de 2310 Kg/h. Hay dos sistemas de limpieza del gas, uno por gasificador, compuesto principalmente por un precipitador ciclónico, un reactor de craqueo térmico, enfriador del gas, filtros metálicos de partículas, sistema de evacuación de cenizas, venturi scrubbers, precipitadores dinámicos, tanque

homogenizador de gas, recalentador de gas, unidad de flotación por aire disuelto y turbosoplante de aire. La planta de generación de electricidad cuenta con tres motogeneradores con una potencia eléctrica total instalada de 5.000 kW. Los motogeneradores instalados son 2 Jenbacher 620 GS-SL con una potencia eléctrica unitaria máxima de 1974 kW y 1 Jenbacher 612 GS-SL con una potencia eléctrica unitaria máxima de 1178 kW. Esta planta cuenta además con instalaciones eléctricas de interconexión como son una subestación de 5,6 MVA, 20/6,3 y transformador de auxiliares 1 MVA, 20/0,4 KV.



Figura 3.1.1.1.2.- Planta de gasificación de Karlovo.

- Syngas Italy: Esta planta está localizada en Castiglione D'Orca, Italia. Es una planta de generación eléctrica que utiliza un gasificador de lecho fluido burbujeante. Utiliza como residuos pellets de paja. Su puesta en marcha tuvo lugar el primer trimestre de 2015. Tiene un consumo de residuos de 900 Kg/h. Cuenta con 1 gasificador y una potencia eléctrica de 999 kW. Tiene un motogenerador Jenbacher 612 y un rendimiento eléctrico del 27,5%.
- Planta de gasificación Universidad de Lorraine: Esta es una planta de gasificación de I+D. Está situada en Francia. La materia prima que se introduce en el gasificador son CDR, pellets de miscanthus y residuos forestales. Está en fase de construcción.
- Planta de gasificación Universidad de Portalegre: Esta planta de gasificación está ubicada en Portugal. Es de I+D. La materia prima son pellets de madera, Orujillo de aceituna y pellets de Miscanthus. Está en funcionamiento desde 2007.
- Planta de gasificación de la Universidad de Badajoz: Esta planta de España es de I+D, y utiliza como materia prima el orujillo de aceituna. Está en funcionamiento desde 2014.

- Planta de gasificación de Tatta coffee: Es una planta de generación de 0,7 MW con gasificación integrada instalada en Theni, India. Utiliza para la gasificación cascarillas y residuos del café. Está en funcionamiento desde 2011.
- Planta de generación de 0,5 MW con gasificación integrada en Osnabrück, Alemania. Usa como materia prima los pellets de residuos sólidos urbanos. Está en fase de diseño.

3.1.2 Pirolisis

La pirolisis es un tratamiento térmico que se aplica a los residuos urbanos, así como a los hospitalarios e industriales. Su principal objetivo no es la destrucción completa del residuo, sino su transformación en materiales y materias primas que se puedan aprovechar posteriormente. Su funcionamiento es similar al que se emplea en la producción de coque de carbón y carbón vegetal: se calientan los residuos a temperaturas muy altas en ausencia de oxígeno. Esto a veces puede resultar difícil debido a que los residuos pueden contener oxígeno.

Las principales ventajas que presenta frente a la incineración son:

- Las plantas que tratan los residuos urbanos mediante incineración necesitan un vertedero de seguridad, no así las plantas de pirolisis.
- Las plantas tradicionales de tratamiento de basuras mantienen al final de su proceso un 30% de residuos, que van a vertedero. En la pirolisis no hay residuo final.

Todo lo que se genera en la fase final del proceso de pirolisis se puede aprovechar:

- Energía en forma de materia prima, biogás, hidrocarburos líquidos y carbón. Estas fuentes de energía son fácilmente almacenables y transportables.
- Estériles como tierra, no contaminantes y que se pueden reutilizar en construcción por ejemplo.
- Metales ferrosos y no ferrosos que se devuelven a las acerías.
- Vidrio que es enviado a las vidrieras.
- Un 1% de residuo final que está contaminado con metales pesados. En vez de llevarlo a vertedero se puede vitrificarlo mediante arco de plasma y reutilizarlo en construcción.

Así, los objetivos que se persiguen con la pirolisis son:

- Tratamiento de los residuos lo más cerca posible del lugar de producción.
- Una correcta valorización energética de los residuos.
- Reducir el nivel de residuos finales hasta un porcentaje tan bajo que su vitrificación no sea un problema económico y no haga falta el uso de vertederos.

3.1.2.1 Antecedentes.

En 1967, E. R. Kaiser y S. B. Friedman realizaron un estudio en la Universidad de Nueva York denominado “Pruebas exploratorias de laboratorio de la destilación destructiva de residuos orgánicos, y los prospectos para la gasificación completa de la materia orgánica”. Para este experimento se utilizaron muestras de residuos orgánicos homogéneas. Se pretendía averiguar si los gases obtenidos de la pirolisis servían para generar vapor sin añadir ningún otro combustible, y que el sistema fuese de este modo, sostenible y autosuficiente. Los resultados fueron positivos, y Kaiser y Friedman sugirieron que el carbón obtenido de la pirolisis podría ser gasificado mediante la adición de oxígeno, convirtiéndolo en combustible.

Más adelante, diversos estudios probaron que los productos que se generan de la pirolisis son potencialmente energéticos.

En 1970 se llevó a cabo una investigación por W. S. Sanner, C. Ortuglio y J. G. Walters del Departamento de Minas de los Estados Unidos de América. Usaron muestras más grandes de residuos urbanos y de residuos industriales en una planta diseñada para separar subproductos, y llegaron a las siguientes conclusiones:

Una tonelada de residuos municipales se puede convertir a 70-192 kg de residuos sólidos, 2-23 litros de alquitrán, 4-16 litros de aceite ligero, 367-503 litros de licor, 7-15 kg de sulfato de amonio y 344 litros de gas. Se comprobó que la energía que aportaba el gas de la pirolisis era suficiente para sostener el proceso.

3.1.2.2 Descripción del proceso y tecnologías.

La pirolisis se diferencia de la incineración en que ésta última se realiza en presencia de oxígeno. Durante este proceso de pirolisis, la materia orgánica de bajo poder calorífico se transforma en productos altamente energéticos, como son el alquitrán, carbón, metano, gases de hidrógeno, nitrógeno, etano, propano, butano, pentano, amoníaco, oxígeno, monóxido y bióxido de carbono que pueden ser utilizados como combustibles, además de aceites ligeros, sales y metales reducidas que se pueden usar como materia prima en otros procesos. La proporción de la mezcla resultante de la pirolisis depende de la temperatura de operación, la velocidad del calentamiento y la composición de los desechos de alimentación.

Existen diversos diseños de plantas pirolíticas para uso de residuos urbanos. El principal componente de todas es el reactor pirolítico donde se lleva a cabo la reacción. Cuenta con una cámara hermética, calentada con gas y revestida con una chaqueta aislante. Esta cámara gira lentamente y tiene una pequeña inclinación en sentido de descarga. Los residuos son alimentados a través de un sello que se abre intermitentemente y son tratados a 650-982°C.

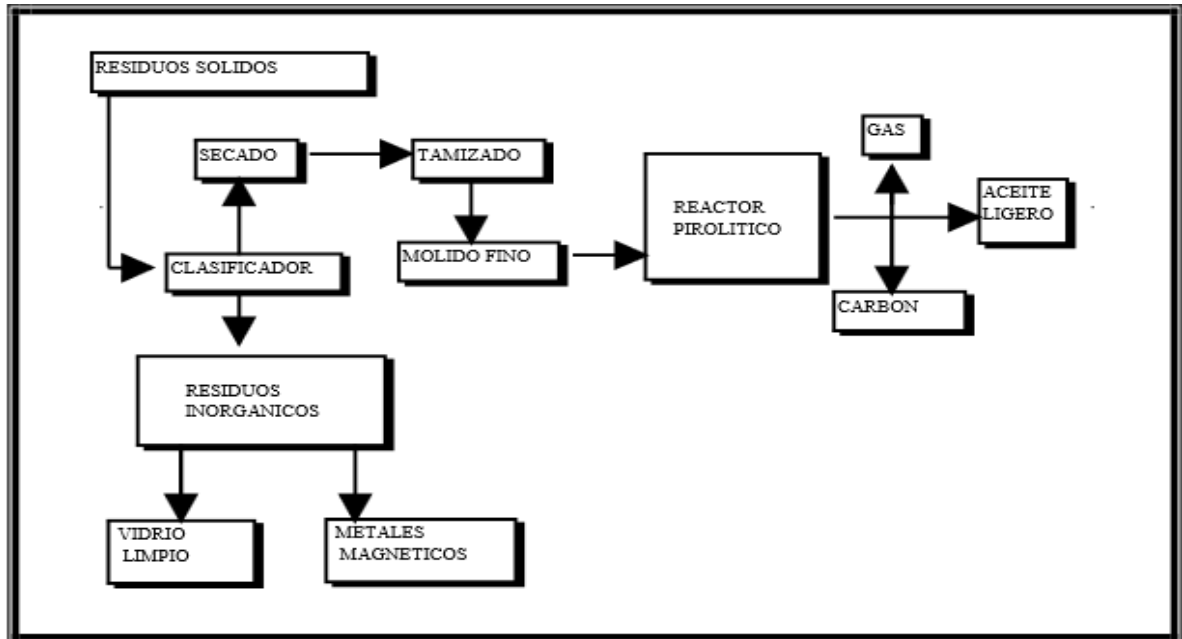


Figura 3.1.2.2.1.- Esquema general proceso pirólisis.

3.1.3 Incineración.

Es un proceso exotérmico en el que es necesario suministrar al combustible, (residuos urbanos en este caso), un comburente (oxígeno). Los principales productos resultantes son dióxido de carbono y agua. Si la combustión es incompleta también se generará monóxido de carbono. Las temperaturas que se alcanzan durante la combustión están entre los 850-1500°C. Con el fin de garantizar la completa oxidación del combustible es habitual en la práctica quemar con un exceso de oxígeno.

3.1.3.1 Antecedentes

Históricamente, la incineración de residuos urbanos comenzó a finales del siglo XIX, cuando los residuos que se quemaban tenían restos significativos de carbón. El primer incinerador fue instalado en Nottingham, Reino Unido. En Estados Unidos la incineración creció rápido desde la primera instalación de una incineradora en Governor Island, Nueva York. La mayoría de estas instalaciones operaban precariamente. Tenían un sistema de alimentación por cargas y en algunos casos de recuperación de vapor.

Tras la Primera Guerra Mundial dejó de emplearse la incineración debido al empobrecimiento en el valor energético de los residuos. Posteriormente, con la aparición de nuevas tecnologías de combustión y de depuración de gases, así como el aumento del poder calorífico de los desechos, esta técnica volvió a cobrar interés.

Hasta el año 1950 no se tenía en cuenta la composición de los gases de emisión, simplemente se consideraban desde el punto de vista del abaratamiento de costes de tratamiento. Sin embargo, cuando en los años 60 y 70 empezaron a aparecer las normativas de la contaminación del aire, el sistema se vio obligado a mejorar. Entre estas mejoras destacan: alimentación en continuo al horno incinerador, mejoras en el control de la combustión, uso de cámaras múltiples de combustión, recuperación de energía y depuración de los gases de emisión.

No fue hasta los años 80, cuando la incineración recibe un nuevo impulso debido al desarrollo de nuevas tecnologías que acercan las emisiones a cero y la mejora de los sistemas de recuperación de calor.

Actualmente esta tecnología se usa en países desarrollados, especialmente en Alemania, Suecia y Japón.

A la hora de calcular una instalación de incineración se tienen que tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Densidad de los residuos
- Heterogeneidad
- Humedad
- Material inerte
- Poder calorífico

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de calor que se genera al quemar una unidad de masa de dicho combustible, tomando el combustible y comburente a una temperatura y presión de referencia.

El poder calorífico superior se calcula teniendo en cuenta que la totalidad del agua producto de la combustión se encuentra en estado líquido, por tanto incluye el calor de vaporización del agua. El poder calorífico inferior se calcula suponiendo que toda el agua ha pasado a estado gaseoso. Desde el punto de vista de la combustión el PCI da una idea más real del proceso.

En los residuos urbanos, debido a su heterogeneidad el PCI se calcula a través del PCI de las diferentes fracciones existentes. En estos momentos en Europa Occidental se tienen valores de PCI de 1500-2200 kcal/kg, mientras que en EE.UU los valores oscilan entre 2500-3500 kcal/kg. Se debe estudiar cada caso en profundidad porque hay muchos factores, sobre todo estacionales, que influyen en el PCI de los residuos como pueden ser el turismo.

3.1.3.2 Residuos a utilizar

Los residuos que se utilizan en una planta de valorización energética son los urbanos. Se pueden considerar tres tipos distintos de residuos de aportación a la planta de incineración:

- A. Residuo en bruto: Los residuos se recogen de un solo contenedor y no se diferencia la materia orgánica del resto. El PCI en estos casos oscila entre 1800-2000 kcal/kg.

- B. Residuo derivado del rechazo: Los residuos son llevados a una planta de tratamiento donde se realiza una separación de la materia orgánica del material reciclable. La fracción de rechazo es lo que se envía a incineración. El PCI se sitúa en estos casos entre los 2500-3000 kcal/kg.
- C. Restos de recogida selectiva: Los residuos urbanos se separan en el origen. Se recogen una fracción orgánica y una inorgánica. La fracción inorgánica es enviada a la planta de incineración. El PCI máximo es de 2500 kcal/kg.

3.1.3.3 Configuración de una planta incineradora

La incineración utiliza el calor de la combustión de los residuos para generar vapor que posteriormente se utiliza para mover una turbina de vapor y producir energía eléctrica. Con esta energía se autoabastece la planta y el sobrante se exporta a la red. Con el objetivo de evitar la corrosión en la caldera, las condiciones de vapor se fijan en 40 bar a 400°C, con lo que se obtiene un rendimiento eléctrico bruto del orden del 24%.

Normalmente las grandes diferencias existentes entre las plantas de incineración se observan en las tecnologías empleadas en la combustión y en las correspondientes al proceso de limpieza y depuración de gases. Otras diferencias vendrán dadas por los procesos previos a la incineración y en los destinos que puedan darse a las escorias, cenizas y lodos.

A continuación se ofrece una visión global de las fases que siguen los residuos desde que entran en la planta incineradora.

- A. Recepción, separación, almacenamiento y procesos previos
 - a. Control de entrada: Los residuos que llegan a la planta son recogidos normalmente con camiones compactadores de caja cerrada con distintas capacidades de carga. Estos camiones no recogen ni residuos limpios (vidrio, papel, envases, etc), que al contar con mercado de reciclaje no pasan por la planta, ni los objetos voluminosos, que normalmente llegan a la planta en camiones de caja abierta. Los camiones que llegan a la planta son identificados y pesados. Esto permite controlar la cantidad de residuos que se recibe, la procedencia y la tipología del residuo. En general permite el control interno de las instalaciones e incluso el de la propia recogida urbana.
 - b. Maniobra, descarga y almacenamiento: La maniobra de los camiones, dentro de los límites de la planta, obliga a un planteamiento arquitectónico que valore la disminución de tiempos de espera, conjuntamente con la seguridad en la maniobra de descarga, todo ello dentro de un conjunto que permita una disminución del impacto visual desde el exterior. La descarga se realiza en un foso, mediante caída libre. Este foso tiene unas dimensiones capaces de recibir y almacenar el equivalente a varios días de recogida y forma parte de un recinto cerrado con objeto de evitar olores hacia el exterior. El foso almacena la totalidad de los residuos. Los voluminosos pasarán por un proceso previo de trituración y reducción de tamaño.

c. Procesos previos: En esta etapa es donde existen las principales diferencias entre todas las plantas de incineración existentes. Existen plantas que incineran residuos frescos alimentando a las líneas de incineración directamente. Por el contrario, hay plantas que reciclan parte del material recepcionado y que pueden contar también con procesos de compostaje, realizando el proceso de incineración con una operación previa de separación de subproductos. Para realizar la operación de separación de subproductos se hacen pasar los residuos frescos por un trómel, que tiene un sistema mediante el que se rompen las bolsas de plástico que contienen los residuos y, posteriormente, cuentan con unas mallas de un determinado diámetro, a través de la cual pasa la mayor parte de la materia orgánica. El destino de esta materia orgánica será la zona de fermentación donde se iniciará el proceso de compostaje, finalizado el cual este producto orgánico se distribuirá para su venta. Para el traslado y disposición de la materia orgánica desde la zona de separación hasta la zona de fermentación, se suele disponer de sistemas de transporte con cinta tripper y repartidor, o bien mediante contenedores, vehículos y pala cargadora.

B. Incineración con recuperación de energía

a. Proceso básico: Los residuos urbanos, bien frescos o bien procedentes de tratamientos previos, actúan como combustible con los que se alimentan una o varias líneas de incineración. El proceso es una combustión normal con la única particularidad del combustible y de que la cámara de combustión es una modificación de las empleadas en la combustión de carbón. Cada línea de incineración dispone de una alimentación individualizada que permite una carga variable del horno, adaptándose a las capacidades, mecánica y térmica del sistema. En el horno se realiza la combustión de los residuos de forma prácticamente completa, resultando como residuo las escorias. Los gases generados en la combustión deben permanecer como mínimo dos segundos a una temperatura superior a 850°C, requiriéndose para ello la presencia de una cámara de postcombustión que incorpora quemadores que actúan sólo si son necesarios para garantizar la temperatura señalada, con el objeto de cumplir la legislación medioambiental en materia de emisión de compuestos organoclorados (R.D. 1088/92, de 11 de septiembre, modificado por R.D. 1217/1997, de 18 de julio, sobre limitación de emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de instalaciones de incineración de residuos municipales. Cabe citar también la Directiva 2000/76/CE de 4 de diciembre de 2000, relativa a la incineración de residuos en la que se especifican estas condiciones). El calor generado en el horno permite, a través de los gases de combustión, la transmisión de esta energía a una caldera que está diseñada para la producción de vapor sobrecalentado. El vapor procedente de la caldera puede emplearse para alimentación a industrias cercanas, para calentar agua o para alimentar una turbina de vapor que acciona un generador eléctrico. La calidad del vapor empleado deber ser sometido a un control previo al uso al que se destine, ya que puede arrastrar

sustancias que le confieran propiedades corrosivas. Si el objeto de la planta es generar energía eléctrica para su venta en la red general de distribución, el vapor una vez tratado se hace pasar a través de una turbina que recibe vapor de alta presión, del que una parte se deriva para otros usos de la planta en forma de vapor de media presión y, finalmente, el resto se entrega en forma de vapor de baja presión. La turbina transmite la energía mecánica a un generador, normalmente un alternador trifásico de media tensión. El grupo turbo generador dispone de controles que regulan la admisión de vapor y la carga. Todo el vapor generado, una vez utilizado en la turbina y en otras aplicaciones de la planta es enfriado y condensado. Para ello se emplean aerocondensadores o torres de refrigeración. Los gases que han permitido la transmisión de energía del horno a la caldera deben pasar, antes de ser expulsados al exterior, a través de una chimenea que disponga de un sistema de lavado que permita su limpieza de cenizas y otras impurezas. Finalmente los gases son expulsados a la atmósfera a través de chimeneas mediante la acción de un ventilador de tiro forzado. Los residuos resultantes del proceso, unos procedentes de la combustión, otros del lavado de gases y otros procedentes de condensados son tratados en sus correspondientes sistemas antes de ser enviados a sus destinos finales.

- b. Alimentación: Se entiende por alimentación el suministro de residuos a las líneas de incineración. La forma de alimentación depende en gran medida de cómo llegue el combustible: residuos urbanos no seleccionados o residuos urbanos procesados.
- C. Hornos: El proceso térmico de los residuos suele definirse como la conversión de éstos en otros productos (gases, líquidos o sólidos) con la simultánea emisión de energía en forma de calor. Este calor puede usarse de forma eficiente para generar energía en condiciones que sean adecuadas para su utilización. Este proceso se realiza en el horno-caldera. Por la propia naturaleza heterogénea de los residuos urbanos es prácticamente imposible realizar una combustión estequiométrica, debiendo recurrirse a la combustión con exceso de aire. Los hornos empleados en la incineración de los residuos urbanos deben recibir aire en exceso que aporte oxígeno adicional para aumentar la mezcla y las turbulencias internas en el horno, independientemente de su tipo. Así, el aire debe llegar durante el tiempo necesario a todos los residuos que están siendo incinerados. El aire empleado, denominado primario, suele proceder de los fosos de alimentación con objeto de que estos se mantengan en depresión y no generen olores en el exterior de la planta. El exceso de aire de combustión, aunque genera la presencia de más volumen de gases, también supone una disminución de la temperatura de combustión, razón por la que suele emplearse para controlar la temperatura de ésta. Se pueden distinguir tres tipos de hornos.
- a. Horno de parrillas: En este tipo de incineración, los residuos se depositan sobre una parrilla que los hace avanzar a lo largo de la misma mediante distintas disposiciones constructivas. Generalmente el horno consiste en una parrilla inferior y una cámara de postcombustión. En la parrilla y/o en la cámara de postcombustión se hallan los quemadores de combustible

auxiliar para el mantenimiento de la temperatura por encima de 850°C. Para residuos con un PCI inferior a 3000 kcal/kg, la refrigeración de las parrillas se suele hacer únicamente mediante aire primario; si el PCI es superior a este valor, existen variantes de parrillas que se encuentran adicionalmente refrigeradas por agua. Las disposiciones de parrillas más extendidas son la parrilla de barras, parrilla de rodillos y la parrilla móviles mediante cintas. La parrilla debe cumplir los siguientes requisitos:

- i. Producir un correcto atizamiento, volteo y mezclado de los residuos a lo largo de la misma, de forma que no queden paquetes compactos de residuos que no se quemen completamente.
 - ii. Conseguir una altura de residuos regular sobre la parrilla para mantener una combustión uniforme.
 - iii. Evitar la formación de huecos en la parrilla por combustión y desaparición de residuos en la misma, ya que ello conduciría a su sobrecalentamiento.
 - iv. Alcanzar una correcta refrigeración de la parrilla para evitar desgastes mecánicos.
 - v. Asegurar una temperatura de combustión mayor a los 850 grados centígrados, un tiempo de residencia de los gases mayor a dos segundos y un aporte de aire de combustión suficiente (más del seis por ciento en oxígeno) para el cumplimiento de la normativa (Artículo 6 de la Directiva 2000/76/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 4 de diciembre de 2000, relativa a la incineración de residuos).
- b. Horno de lecho fluidificado: Este sistema se emplea normalmente para la incineración de residuos procesados previamente. El sistema de lecho fluidificado tiene su fundamento en la transmisión de calor que existe entre un material inerte, normalmente arena de sílice, y el combustible. El sistema consiste en un cilindro vertical de acero forrado de material refractario, un lecho de arena, una rejilla de apoyo, unas toberas para la inyección de aire a presión y unos quemadores. Cuando las toberas inyectan aire el lecho de arena se fluidiza expandiendo su volumen hasta dos veces el que tenían inicialmente en reposo. En estas condiciones, a través de quemadores que actúan con combustible auxiliar, se calienta la arena hasta la temperatura operacional, iniciándose la carga de las basuras. Los residuos son incinerados mediante la transferencia de calor de la arena a los residuos, sin necesitarse, a partir de este momento, el aporte de combustible auxiliar. Este tipo de horno permite paradas de hasta 24 horas debido a que el lecho de arena permanece caliente, pudiéndose realizar arranques rápidos sin combustible auxiliar. El lecho fluido se caracteriza porque las reacciones en su seno se producen con gran rapidez, con una elevada tasa de transferencia de masa y energía. Como consecuencia de ello presenta unas propiedades a considerar en la combustión de residuos y que representan ventajas o inconvenientes respecto a la combustión en parrillas:

- i. Permite quemar un amplio rango de combustibles debido a esa buena tasa de transferencia de materia y energía.
 - ii. Mediante una simple adición de caliza al lecho se produce una reducción muy importante de las emisiones de SO₂, y en menor medida HCl y HF. Ello limita la acción corrosiva sobre los primeros haces tubulares de la caldera de recuperación y facilita las operaciones de depuración de gases.
 - iii. Permite quemar combustibles con mayor poder calorífico que la parrilla, ya que no existen problemas de refrigeración de ésta.
 - iv. La velocidad de combustión de los residuos es mucho mayor en el lecho que en la parrilla, por lo que el mantenimiento de la presión de vapor y de la temperatura del lecho es más difícil.
 - v. Dependiendo de las características del combustible, puede haber arrastres fuera del lecho (elutriados) debido a la mayor velocidad del aire primario.
 - vi. Los problemas de erosión en el refractario en la zona del lecho son considerables.
 - vii. El lecho se mantiene a temperatura alrededor de 850°C. La forma de mantener esta temperatura depende de cada tipo de lecho.
 - viii. La cantidad de materia combustible respecto al peso total del lecho es muy reducida, estando formando en buena parte por un material inerte que se recupera (generalmente arena).
- D. Calderas: El calor producido en el horno se transfiere a la caldera. Los gases calientes resultado de la combustión se usan para transmitir su calor a la caldera reduciendo su temperatura. La caldera forma el forro de la cámara de combustión, de manera que creando un apantallado de agua y circulando ésta por los tubos que configuran sus paredes, recogen el calor cedido por los gases al salir de la cámara de combustión. La parte de la caldera cercana a la parrilla de combustión se forra con material refractario para proteger los tubos de las temperaturas excesivas de la abrasión mecánica. El calor transferido al agua de la caldera permite que ésta se convierta en vapor que puede ser utilizado para accionar la turbina (grupo turbogenerador) o servir para otros usos.
- E. Recuperación de energía
- a. Circuito térmico: Cuando lo que se desea es generar energía eléctrica, el vapor recalentado producido por la caldera se somete a un enfriamiento parcial con agua desmineralizada al objeto de controlar su temperatura. Posteriormente se mezclan las salidas de todas las calderas de la planta y se conducen al colector de alta presión.
 - b. Colector de alta presión: Desde el colector se alimenta normalmente la turbina. Además, ésta dispone de una salida con válvula reductora y desrecalentador cuyo objeto es alimentar al colector de baja presión en los casos de paro de turbina. También se alimenta desde el colector de alta la turbina que mueve la bomba de agua de la caldera de emergencia.

- c. Turbina de vapor: Recibe el vapor de alta, suministra vapor de media presión a través de una extracción intermedia y descarga vapor en baja, tras ser returbinado. El grupo turbogenerador lleva su propio sistema de control respecto a la administración del vapor, arranque y entrada de carga. En el caso de pérdida de carga o paro de turbina, el vapor se deriva para ser condensado y refrigerado.
- d. Condensación y refrigeración: El vapor de baja presión de salida de la turbina, o en su caso el derivado, se condensa en un aerocondensador enfriado con aire o torres de refrigeración. Cuando el aporte externo de agua es limitado, la disposición de un aerocondensador disminuye notablemente el consumo de agua de la planta. Los condensados se recogen en el tanque desde el que se envían al calentador de condensados.
- e. Colector de media presión: Recibe vapor de la extracción intermedia de la turbina o bien se alimenta directamente del colector de alta a través del sistema de pérdida de carga. Este colector alimenta los calentadores de aire de combustión, el calentador de condensados y el desgasificador. Los condensados de estos intercambiadores se recogen en un tanque auxiliar y se mantienen a baja presión. El vapor generado por la despresurización se emplea también en la desgasificación.
- f. Desgasificador y tanque de alimentación de calderas: Recibe el agua de aporte para compensar las purgas de la caldera y pérdidas varias del circuito de vapor, los condensados procedentes del aerocondensador, y el vapor de desgasificación. El agua tratada se almacena a la temperatura requerida en un tanque de alimentación de calderas, servido por dos bombas centrífugas de motor eléctrico, más otra de emergencia, movida por una turbina de vapor.
- g. Grupo turboalternador: Este equipo se utiliza normalmente para dos funciones: generación de energía eléctrica para su venta a la red y obtención de vapor a media presión para su uso en el circuito de vapor y condensados y precalentados de aire. Un equipo turbogenerador suele trabajar en las plantas en unas condiciones similares a las que se recogen a continuación.
 - i. Admisión de vapor en torno a 40 bar absolutos, con presión máxima admisible de trabajo de 60 bar absolutos.
 - ii. La temperatura de vapor será de unos 400°C, aproximadamente, con un cinco por ciento de variación constante.
 - iii. El grupo turbogenerador admite, sin paro de emergencia, el desacople de la red en caso de fallo de esta última.
- h. Sistema eléctrico y de control: El sistema se integra por varios elementos descritos a continuación.
 - i. Sala de control conteniendo el pupitre de mando y el cuadro sinóptico y los armarios de electrónica.

- ii. Centro de mando de motores, con todos los armarios y barras de distribución a todos los equipos consumidores de la planta.
 - iii. Sala de celdas de alta tensión, en donde se recibe la tensión de la red pública y contiene el aparellaje correspondiente a las protecciones y contadores.
 - iv. Sala de transformadores.
 - v. Instalación de cableado de potencia.
 - vi. Instalación de cableado de señales de mando e instrumentación .
 - vii. Grupo electrógeno de emergencia sincronizable.
 - viii. Equipos de generación de tensiones continuas.
 - ix. Equipos de batería de apoyo.
 - x. Equipos de compensación de energía reactiva.
 - xi. Equipo de control eléctrico de la planta (instrumentos de medida, transmisiones, controladores, autómatas programables, etc).
 - xii. Telefonía y circuito cerrado de televisión.
- F. Depuración y evacuación de gases: Los gases generados en la combustión han de ser depurados antes de su expulsión a la atmósfera. De todos estos gases los que generan mayor nivel de preocupación son las dioxinas y furanos, así como otros compuestos organoclorados, ya que son sustancias tóxicas y bioacumulables. Otros contaminantes relevantes son los siguientes: monóxido de carbono, partículas en suspensión (incluidos los metales pesados como el plomo y cadmio, ácidos como el clorhídrico, fluorhídrico, NO_x, etc.), metales pesados en forma gaseosa, hidrocarburos policíclicos clorados (en partículas y gases). Las normativas ambientales son cada día más rigurosas, lo que ha conducido a instalaciones muy complejas y costosas de depuración de gases de salida de las incineradoras. El 28 de diciembre de 2000 se publicó en el *Diario Oficial de las Comunidades Europeas* la Directiva 2000/76/CE, de 4 de diciembre, relativa a la incineración de residuos que fija los límites de emisión en las actividades de incineración. Esta directiva sustituye a la anterior, la directiva 89/369/CEE. Los contenidos de la nueva Directiva comunitaria se deberán aplicar a todas las nuevas instalaciones a partir del 28 de diciembre del 2002, y las instalaciones existentes deberán adaptarse para su cumplimiento antes del 28 de diciembre de 2005. Especial mención en el apartado de emisiones de las incineradoras se debe realizar con respecto a las dioxinas y furanos.
- a. Dioxinas y furanos: Constituyen dos familias de compuestos aromáticos clorados tricíclicos, con propiedades químicas similares y que se generan en los procesos de combustión en presencia de compuestos con cloro. Las dioxinas se diferencian de los furanos en la cantidad de átomos de oxígeno en la molécula. Los furanos tienen un átomo de oxígeno y las dioxinas dos. La característica principal de estos productos es que tienen naturaleza lipofílica, lo que facilita su acumulación en los tejidos adiposos de los seres vivos, es decir, son bioacumulativos. Además son agentes carcinogénicos, de ahí que su regulación en emisiones sea tan estricta.

- b. Control de emisiones de dioxinas y furanos: El método principal de control de emisiones de dioxinas y furanos es su destrucción térmica en el horno, siendo la adsorción un sistema complementario de éste. La destrucción de las dioxinas y furanos queda garantizada si se cumplen las condiciones exigidas por la normativa de permanencia durante 2 segundos a temperaturas superiores a 850°C y con un contenido de oxígeno en gases superior al 6%. Todos los hornos actuales cumplen esta condición. Los hornos disponen de quemadores auxiliares con combustible para garantizar que en cualquier situación la temperatura se mantenga por encima de los 850°C. Asimismo, durante los arranques y paradas de la instalación no se procede a quemar residuos si no se da la condición en el horno de 850°C, por lo que el precalentamiento del mismo durante el arranque, hasta alcanzar esta temperatura, se realizará exclusivamente con combustible fósil, iniciando la combustión del residuo cuando se alcancen los 850°C. Estas condiciones de combustión son suficientes para garantizar que se produce una destrucción de las dioxinas y furanos dentro del horno. Algunos autores citan que puede producirse una reacción secundaria de reconstrucción de dioxinas en la caldera, en el rango de temperaturas de 500 a 700°C, apareciendo nuevas dioxinas (en proporción muy reducida) en los gases de escape. Para prevenir este efecto, o para capturar las posibles dioxinas que no se hubiesen destruido en el horno, se realiza una inyección de carbón activo tras la etapa de reducción de HCl y HF. Las dioxinas son absorbidas por el carbón, que es separado de la corriente de gases en el sistema de reducción de partículas sólidas. Es conveniente la utilización de un filtro de mangas para producir la post-reacción con el carbón no utilizado.
- c. Sistema de depuración de gases: Hasta la fecha se han utilizado, básicamente, tres opciones para la depuración de los gases en instalaciones de incineración de residuos urbanos: inyección de reactivos seco (sistema seco), pulverización y secado del reactivo (sistema semiseco) y lavado mediante scrubber, en sus tres variantes de líquido lavador ácido, débilmente ácido o alcalino (sistema húmedo).
- i. Proceso seco: El reactivo habitualmente empleado en este proceso es, por razones económicas, el hidróxido de calcio, con la granulometría adecuada. En este proceso se utiliza una torre vacía, situada a la salida de la caldera, en la cual se inyecta hidróxido de calcio (cal apagada) en polvo, en contracorriente con los gases a depurar. La granulometría del hidróxido es determinante en su capacidad de retención de contaminantes junto con las condiciones geométricas de la torre, que debe favorecer un buen contacto gas-sólido. Un sistema como el descrito es muy económico en cuanto a inversión, pero tiene algunos inconvenientes como son la alta ineficacia de la reacción, (el contacto gas-sólido es muy difícil de establecer) de modo que es necesario inyectar grandes excesos de reactivo para garantizar resultados aceptables con respecto a los ácidos y al SO₂. Se utilizan excesos de 3 a 6 veces la cantidad estequiométrica, lo que lleva a unos costes de operación elevados.

Por las razones descritas, este proceso está desaconsejado y prácticamente no se utiliza en las plantas de incineración modernas. En el proceso se incorpora un filtro de mangas o electrostático en la corriente de gases para aumentar el nivel de retención de partículas.

- ii. Proceso semiseco: En este proceso se utiliza un reactor de contacto gas-líquido, siendo el líquido una disolución o una suspensión de reactivo básico utilizado. Por razones económicas es preferible el uso de hidróxido de calcio, producto cuya preparación se realiza en la propia planta de incineración a base de apagado y dilución de cal viva, o bien directamente por dilución de hidróxido cálcico. El proceso semiseco consta de varias partes.
 1. Silo de recepción y almacenamiento de cal viva o apagada, silos con filtro de mangas en el techo y sus mecanismos de descarga, transportadores de polvo, reactor de hidratación, tanque de almacenamiento de cal apagada, estación de bombeo y turbinas de recirculación del producto.
 2. Reactor de contacto al que se inyecta agua para controlar la temperatura y cal para neutralizar los ácidos. En este equipo es fundamental el elemento utilizado para dispersar el reactivo, ya que el tamaño de gota es determinante de la eficiencia de la reacción y del tamaño del reactor. Se utilizan o bien boquillas, o bien atomizadores rotativos. El tamaño del reactor se diseña de modo que, al final del recorrido, se haya evaporado completamente el agua de las gotas a fin de reconocer solamente líquido seco, ya sea en el fondo del propio reactor o bien en el filtro existente a continuación.
 3. Filtro de partículas. Puede ser electrostático o de mangas. Generalmente se prefiere el de mangas porque permite un tiempo de contacto mayor entre el gas y el reactivo no consumido y, además, es más eficiente en la eliminación de las partículas. En su contra, tiene mayor coste de operación por su pérdida de carga y mayor coste de mantenimiento, debido a la sustitución de las mangas.
 4. Silo de almacenamiento y descarga de los residuos de la reacción. Estos productos llevan un exceso considerable de reactivo (entre 1,5 a 3 veces la cantidad estequiométrica) y se deben considerar como residuos peligrosos por su capacidad de lixiviar metales pesados. El silo de almacenamiento debe estar acondicionado para evitar apelmazamiento del material y lograr una buena descarga.
 5. Sistema de envasado de residuos antes de ser enviados a vertedero. El proceso presenta ciertos inconvenientes.
 - a. El consumo de reactivo es elevado debido al todavía necesario exceso que precisa el reactor para cumplir

- su cometido. Este consumo complica la evacuación de los residuos generados.
- b. El control de la reacción se realiza en base a la concentración de salida de HCl, no se realiza control sobre el SO₂ y los metales, los cuales se eliminan sólo en parte.
 - c. Con la nueva Reglamentación Comunitaria más estricta es difícil cumplir los parámetros nuevos de emisión. Directiva 2000/76/CE de 4 de diciembre, relativa a la incineración de residuos. Esto hace que se plantee la duda de abandonar el proceso semiseco en favor de los procesos húmedos, mucho más eficientes y por encima de las nuevas exigencias legislativas que he mencionado.
- iii. Proceso húmedo: En estos procesos el gas se pone en contacto con soluciones acuosas de reactivos básicos (sosa cáustica o sal apagada u otros) en torres de reacción. Otra posibilidad es trabajar con disoluciones ácidas o débilmente ácidas con neutralización externa. El contacto gas-líquido es relativamente sencillo de establecer y de controlar. El agua disuelve los contaminantes o los capta con facilidad y las reacciones tienen lugar con rapidez y con rendimientos muy altos. Cuando se instalan lavadores húmedos se hace irrelevante la discusión relativa al uso de filtros de mangas o electrostáticos, debido a la elevada eficiencia que en captación de partículas tienen estos sistemas. Existe un gran número de variantes en estos procesos, por lo cual, para efectuar la selección es preciso establecer unas premisas que tengan en cuenta la futura normativa.
1. Proceso húmedo con secador de sales: Los residuos líquidos que se obtienen en la torre de lavado se envían a un secador situado a la salida de la caldera. Los humos calientes evaporan el agua y, en el fondo del secador, se obtienen las sales y buena parte de los sólidos que arrastra el gas de combustión. Estas sales y cenizas volantes constituyen el único residuo producido por una instalación de lavado de gases equipada con secador. Puesto que un sistema húmedo utiliza los reactivos con alta eficiencia (no son necesarios excesos), la cantidad de sólido recogida es muy reducida. Este aspecto es importante de cara al vertido posterior. Las sales y las cenizas volantes constituyen un residuo de tipo industrial, son peligrosas por su contenido en metales lixiviables, por lo que deben gestionarse adecuadamente.
 2. Proceso húmedo con depuración de aguas: En estos sistemas se instala una cadena electrofiltro-lavado húmedo-ventilador-chimenea. Los residuos líquidos producidos en el

lavado húmedo están cargados de sales producto de las reacciones. Las sales cálcicas en sí no son contaminantes, lo que hace estos líquidos peligrosos es su contenido en metales pesados que estarán disueltos en líquidos ácidos y en suspensión en los líquidos básicos. Estas aguas no están en condiciones de ser enviadas a la planta de tratamiento municipal siendo necesario el siguiente proceso: neutralización, precipitación de metales pesados, floculación, sedimentación, espesador, filtrado de lodos. En los lodos están los metales pesados en forma de hidróxido que son relativamente más insolubles que en el proceso húmedo con secado de sales. En cualquier caso es necesario realizar antes un test de lixiviación para comprobar si resultaría factible enviarlos a un vertedero de inertes. El proceso tiene algunas desventajas.

- a. La instalación de depuración de agua es más compleja que el secador descrito en el proceso iniciado con secador de sales.
 - b. La depuradora consume floculantes y productos químicos, el secador no.
 - c. El consumo de agua es más elevado en la depuradora.
3. Procesos húmedos con eliminación de penacho: En todos los procesos húmedos el gas de la combustión queda saturado de agua a una temperatura bastante baja, entre 60 y 80°C. En estas condiciones el gas al abandonar la chimenea y enfriarse, condensa el agua formando una pluma o penacho de vapor. Así, en un lavado seco, el gas sale con un 18% de agua (tal y como resulta de la combustión), en un proceso semiseco alcanza el 22% por la evaporación del agua en la cal y la adición para enfriamiento y en un proceso de lavado húmedo el gas llega a la chimenea con 65°C con un contenido en agua de un 26%. El gas del sistema húmedo está saturado. Para evitar la formación de nieblas existen una serie de procedimientos que requieren intercambiadores de calor y /o trenes de calentamiento. La instalación de estos procedimientos supone un mayor coste de inversión, así como un mayor consumo energético, de agua, y/o vapor. Los procedimientos son los siguientes.
- a. Calentamiento de gases: Se puede hacer intercambio con los humos de salida del electrofiltro pero en este caso las temperaturas no son altas, aproximadamente 140°C, y con caldera limpia sólo 130°C. Con estas condiciones no se puede garantizar completamente la desaparición del penacho. Si se desea calentar a 180°C es preciso utilizar vapor de

agua. El consumo se reduce si se instala un tren de calentamiento humo-humo, o humo-vapor. A esta temperatura la formación del penacho es remota.

- b. Deshumidificación de gases: Esta técnica es excelente si se dispone de agua en circuito abierto porque entonces se puede llevar el gas desde 65°C hasta 35-40°C, con lo cual se recupera una gran parte del agua de saturación. El gas frío se intercambia con los humos de salida de la celda, pudiéndose alcanzar temperaturas de 100°C, con lo que las posibilidades de formación de penacho son bajas. Otra solución es el enfriamiento de los humos en un intercambiador con aire o agua con el que se podrían alcanzar temperaturas de 40-45°C y, a continuación, calentar con humos de combustión.

3.2 Tratamientos térmicos no convencionales.

3.2.1 Tecnología de plasma.

Los procesos de plasma están atrayendo mucho más interés que nunca. Municipios de Europa, Norte América y Asia están considerando el plasma para escalas de hasta un millón de toneladas por año. Se han anunciado proyectos y encargos para procesar y tratar residuos médicos y clínicos, neumáticos, cenizas y residuos peligrosos (municiones gastadas, residuos de barcos, etc). Los políticos están atraídos por el plasma porque lo ven como una solución moderna y con una alta tecnología. Las compañías, grandes y pequeñas lo ven como una significativa oportunidad de negocio.

La gente más conservadora dentro del sector del tratamiento y gestión de residuos argumenta que la eficacia de dicho tratamiento para escalas grandes está aún sin probar, es económicamente dudoso y con poco historial debido al corto desarrollo que ha tenido.

Las ventajas de la tecnología de plasma derivan en parte de la tecnología subyacente y en parte de la percepción del mercado de estos conceptos. Algunos puntos clave son:

- La habilidad de procesar un rango más amplio de entradas de residuos que la mayoría del resto de tecnologías.
- Puede ser práctico a escalas menores que muchos otros enfoques competitivos.
- Hay disponible un gran número de variantes, donde puedes elegir la configuración que mejor cumpla los requerimientos para algún proyecto.
- Los residuos sólidos que se obtienen están vitrificados, no son cenizas, haciendo que sea relativamente fácil reutilizarlos.
- Está considerado por los políticos como más sofisticado, y por tanto mejor, que los procesos de incineración convencionales.
- Se tiene una perspectiva del plasma de ser menos perjudicial para la salud humana, debido a que al operar a temperaturas tan altas, la destrucción de los

residuos es prácticamente completa, lo cual puede hacer que la opinión pública lo acepte mejor.

Como muchas otras tecnologías que están siendo promovidas para la gestión de residuos, la tecnología de plasma no es nueva, habiendo sido aplicada con éxito en la industria metalúrgica, industria química e industria aeroespacial durante años. El uso del plasma como fuente de calor en hornos metalúrgicos ha sido bien documentado y las tecnologías de deposición basadas en plasma son un método estándar de la aplicación de recubrimientos de capa fina a una gama de sustratos incluyendo el vidrio y la cerámica para uso militar y comercial. Lo que es relativamente nuevo es que algunos desarrolladores de procesos de plasma se están poniendo como objetivo la aplicación a escala comercial del plasma para el tratamiento de una amplia gama de residuos, todo ello enfocado a hacer negocio con las potenciales oportunidades que han aflorado en muchos países.

Hay unos 50 proveedores activos de tecnología en el sector, así que los clientes tienen una amplia gama de opciones donde elegir; pero la mayoría de estas compañías no han completado con éxito un proyecto comercial a escala completa.

Casi todas las plantas hasta ahora son a pequeña escala. Recientemente algunas compañías han empezado a establecer un historial para el tratamiento de ciertos tipos de residuos peligrosos e industriales, predominantemente en los Estados Unidos de América y Japón. En este último país, algunas tecnologías se están probando comercialmente para vitrificar cenizas de incineradores, pero el plasma está relativamente sin probar en cualquier parte del mundo para tratar residuos urbanos y no peligrosos derivados de comercios e industria a una escala relevante. Solo hay dos plantas de demostración, las dos en Japón, que están tratando estos residuos con una base semi-comercial.

Uno de los atractivos de esta tecnología es que los sistemas son capaces de tratar residuos con un amplio rango de poderes caloríficos, en especial residuos inorgánicos de poco poder calorífico o residuos líquidos con un alto contenido en agua que normalmente no serían posible tratar con tratamientos térmicos convencionales.

La principal salida sólida del quemador de plasma es escoria vitrificada, que puede ser reciclada. También se puede recuperar metal fundido de algunos procesos donde hay suficiente metales volátiles en la basura entrante. Algunos procesos pueden ser diseñados para producir un gas prácticamente oxidado con niveles bajos de polutos, mientras que otros procesos permiten la producción de un syngas, que puede ser combustionado para producir energía o como materia prima química. Por lo tanto, las tecnologías de plasma ofrecen una significativa flexibilidad y es posible configurar los sistemas para maximizar la recuperación de recursos.

Siempre se ha considerado a los procesos de plasma como complejos, costosos y difíciles de implementar. Cuestiones como la vida de los electrodos y la alta energía requerida han sido los mayores obstáculos para la comercialización de la tecnología a gran escala.

El plasma es una tecnología sofisticada que ofrece la ventaja de la completa destrucción de los residuos sin las desventajas medioambientales asociadas a la incineración.

3.2.2 Descripción del plasma.

El plasma se genera cuando moléculas gaseosas se ven obligadas a colisiones de alta energía con electrones cargados dando como resultado la generación de partículas cargadas. Esto ocurre cuando un gas (se pueden usar muchos tipos de gas y se les suele llamar gas portador) se expone a campos de alta energía como una descarga eléctrica que ocurre entre dos electrodos. La descarga eléctrica para la generación de plasma puede provenir de corriente continua o corriente alterna. Cuando la cantidad de partículas cargadas (tanto negativas como positivas) es suficientemente alta, el gas se ioniza y se convierte en conductor. También ocurren colisiones entre las partículas cargadas dando lugar a calor y un arco de luz, similar a un rayo, llamado plasma. El gas portador ionizado se proyecta a gran velocidad más allá del final de los electrodos como resultado de la alta densidad de los campos eléctricos, dando lugar al chorro de plasma. Dependiendo de la fuente de energía y de las condiciones bajo las cuales se produce el plasma, el arco puede alcanzar los 10.000°C –plasma Térmico- o estar a temperatura ambiente –plasma no térmico. Solo los plasmas térmicos tienen una importancia significativa en la degradación de residuos.

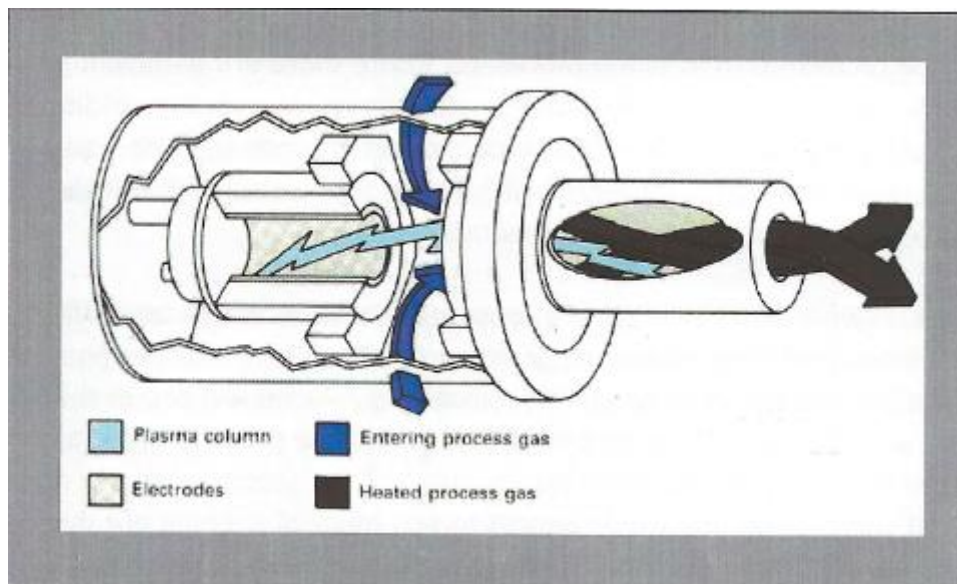


Figura 3.2.2.1.- Esquema de funcionamiento de una antorcha de plasma.

El plasma térmico se divide a su vez en dos categorías –transferido y no transferido. Estos dos tipos hacen referencia al modo en que se produce la descarga eléctrica. En los sistemas de plasma no transferidos, los dos electrodos (cátodo y ánodo) usados para producir la descarga eléctrica altamente energética son parte de la antorcha de plasma. La antorcha tiene por tanto la única función de producir gases de plasma. En los sistemas de plasma transferido, la descarga eléctrica se produce entre la antorcha de plasma (el cátodo) y el revestimiento conductor de la pared del reactor (ánodo) o en algunos casos en un baño de metal. Así, en este caso el recipiente de reacción es parte de la generación de plasma. Algunos desarrolladores usan electrodos de grafito que insertan en el reactor de residuos en lugar de un montaje de antorcha de plasma para producir un arco transferido. En estos sistemas el arco ocurre entre el electrodo insertado y las paredes del

contenedor o la piscina de metal fundido en el fondo del reactor. Este tipo de sistema de plasma no está tan ampliamente utilizado como la disposición de antorcha de plasma para aplicaciones de residuos.

La importancia de los arcos de plasma transferidos y no transferidos se ha minimizado debido a que los fabricantes aseguran que su tecnología puede operar en los dos modos. Pero la forma en la que el sistema de plasma se diseña para degradar residuos tiene una gran importancia en muchos aspectos del proceso, entre los que se incluyen:

- La eficiencia de la destrucción de los residuos
- Formación de alquitrán
- Arrastre de polvo
- Eficiencia de la destrucción en la fase gaseosa

Así, por ejemplo, la configuración de un proceso en la que las antorchas de plasma son usadas para suministrar calor a solo una parte del reactor experimentará problemas similares a muchos otros procesos de combustión. La transferencia de calor será mejor en aquellas configuraciones donde los residuos estén en contacto directo con el arco de plasma, y la preparación de la alimentación podría ser menos crítica, pero la construcción del reactor y la duración de la vida del electrodo es probable que sean críticos por las temperaturas altas de la pared del reactor y el hecho de que los electrodos de grafito están directamente expuestos a las condiciones del reactor y se consumen en el proceso.

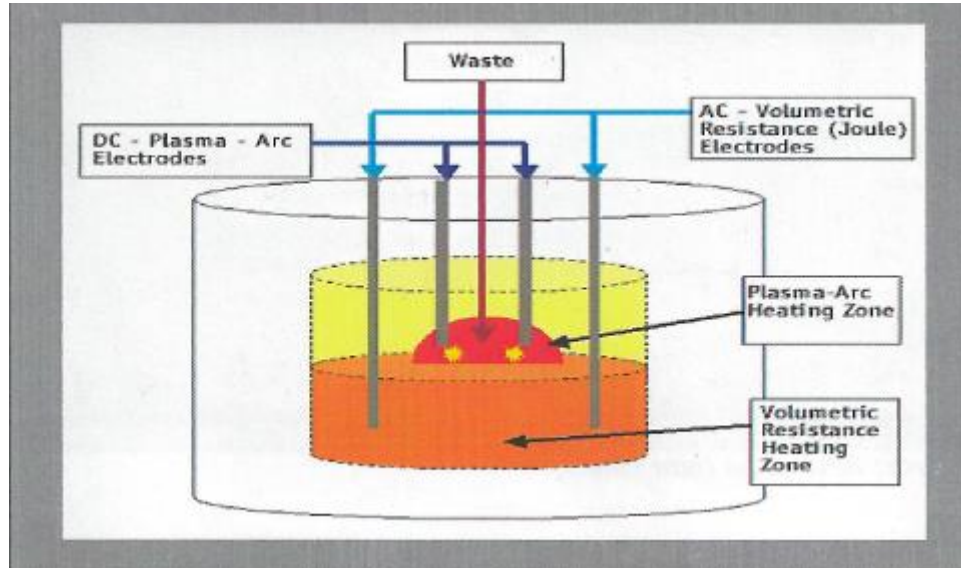


Figura 3.2.2.2.- Generación de plasma usando electrodos de grafito.

Por lo tanto, aunque cambiar los modos de operación de transferido y no transferido puede ser sencillo en algunas aplicaciones del plasma (como la soldadura), no es tan sencillo para el tratamiento de los residuos.

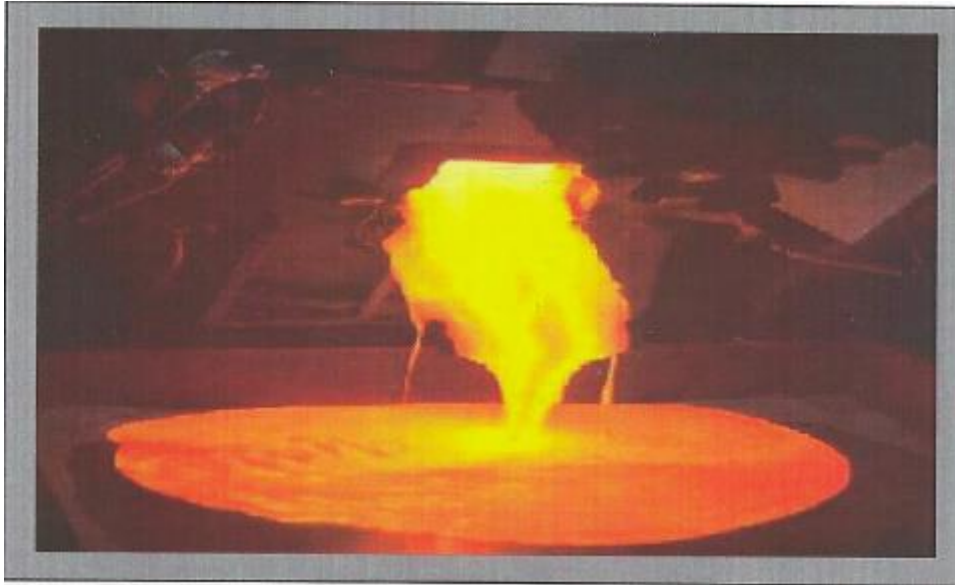


Figura 3.2.2.3.-Escoria que se vierte de un reactor de plasma.

3.2.3 Diferentes tipos de procesos de plasma.

3.2.3.1 Pirolisis de plasma.

La pirolisis de plasma es una parte de los muchos sistemas comerciales de conversión de residuos por plasma. Tiene lugar en condiciones de ausencia de oxígeno o en las que está presente en concentraciones muy bajas en el reactor de plasma. El calor de los gases de plasma se usa para degradar la basura y producir escoria, metales fundidos y gases de pirolisis. La pirolisis no se suele usar de forma aislada sino que se complementa con una etapa de combustión o gasificación que convierte los gases de pirolisis en productos finales que son más útiles, como el syngas.

La composición del gas de pirolisis está directamente influida por la proporción en que son calentadas las partículas de basura, que a su vez depende de un gran número de factores como son el tamaño de la partícula y el tiempo de residencia. El gas normalmente contiene un rango de materia orgánica ligera y pesada y metales volátiles.

El término pirolisis de plasma se confunde a veces con la gasificación por plasma. Esto es incorrecto. La confusión surge porque un gas rico en energía química se produce en ambos casos. Sin embargo, la tecnología de estas dos tecnologías es diferente y los gases producidos en cada uno de estos procesos tienen composiciones muy diferentes.

Algunos desarrolladores de tecnologías de plasma tratan los gases de pirolisis en un reactor de craqueo secundario para convertir la materia orgánica ligera y pesada en gases más rico en CO y H₂; mientras que en otros procesos los gases de pirolisis se queman en una cámara de combustión secundaria. En algunas configuraciones del proceso, la gasificación o combustión de los gases de pirolisis tienen lugar dentro del mismo reactor sin ninguna barrera rígida entre los procesos.

Una de las principales razones para la pirolisis en dos fases (pirolisis seguida de gasificación o combustión) es para conseguir un mejor control sobre las fases de combustión y las reacciones de craqueo que producen syngas.

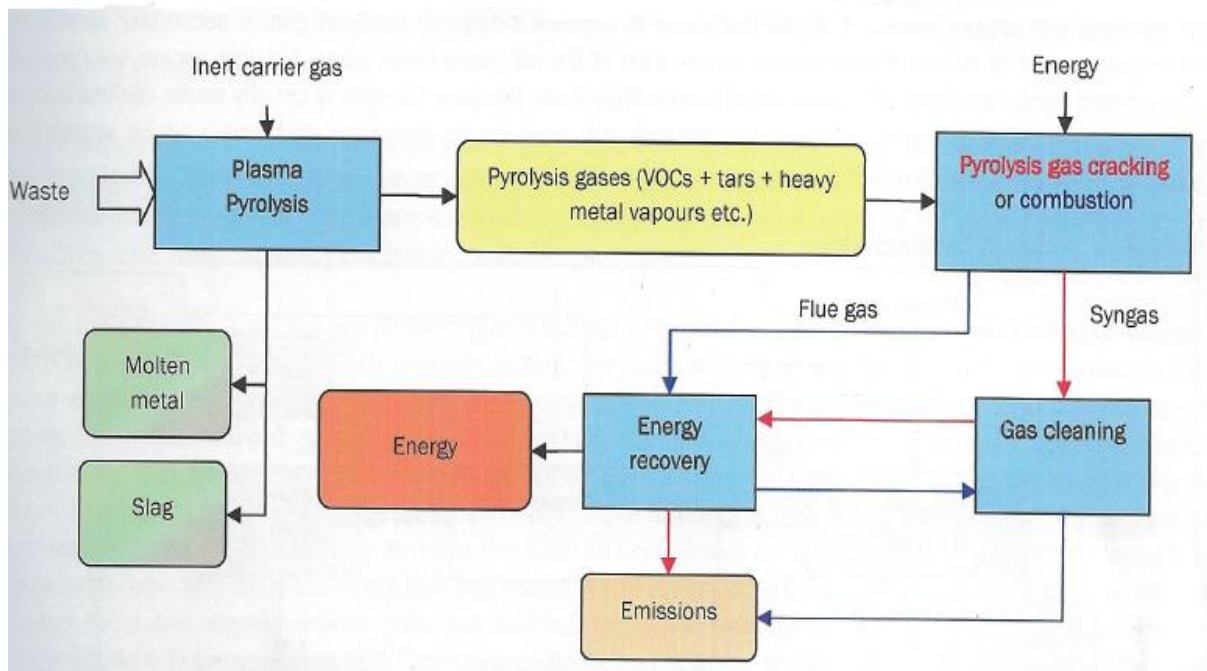


Figura 3.2.3.1.1.-Esquema simplificado de pirolisis de plasma

3.2.3.2 Combustión de plasma.

En la combustión de plasma (también conocida como oxidación de plasma o incineración de plasma), se requiere exceso de aire para que el proceso opere eficientemente y las salidas que se obtienen son ganga vitrificada y metales fundidos. Esta tecnología es la más utilizada a la hora de gestionar residuos y además es la más probada.

La combustión de plasma está empezando a operar en un pequeño número de sitios alrededor del mundo para gestionar residuos tóxicos, agentes químicos y material radioactivo, pero hasta ahora se ha operado muy poco con residuos urbanos. Las capacidades de las plantas van desde unos pocos kilogramos por hora hasta una tonelada por hora.

Actualmente, los sistemas comerciales de combustión de plasma están configurados para degradar la basura y combustionar los gases que se obtienen en dos etapas diferentes. En unos pocos casos se han hecho diseños que combinan la pirolisis y las reacciones de oxidación en un mismo reactor. El principal objetivo de la oxidación por plasma es convertir en inertes los residuos peligrosos y destruir la materia orgánica que estos contienen. El reciclaje de materiales y la recuperación de energía no son importantes y

muchas veces no son económicamente viables a escalas pequeñas. Sin embargo, esta funcionalidad sería importante si la tecnología se aplicase a los residuos urbanos.

En muchos sistemas el gas portador para el arco es aire, el cual sostiene las condiciones de combustión dentro del reactor. Cuando el gas portador no introduce suficiente oxígeno para mantener las condiciones de la combustión, prevalecerá la gasificación o pirolisis. Donde no es beneficioso recuperar el syngas o gas de pirolisis, se usa una cámara de combustión secundaria para garantizar la completa combustión de los gases de salida. Aunque es posible recuperar energía de los procesos de plasma, no es lo común. Estos procesos suelen estar centrados en la destrucción de los residuos.

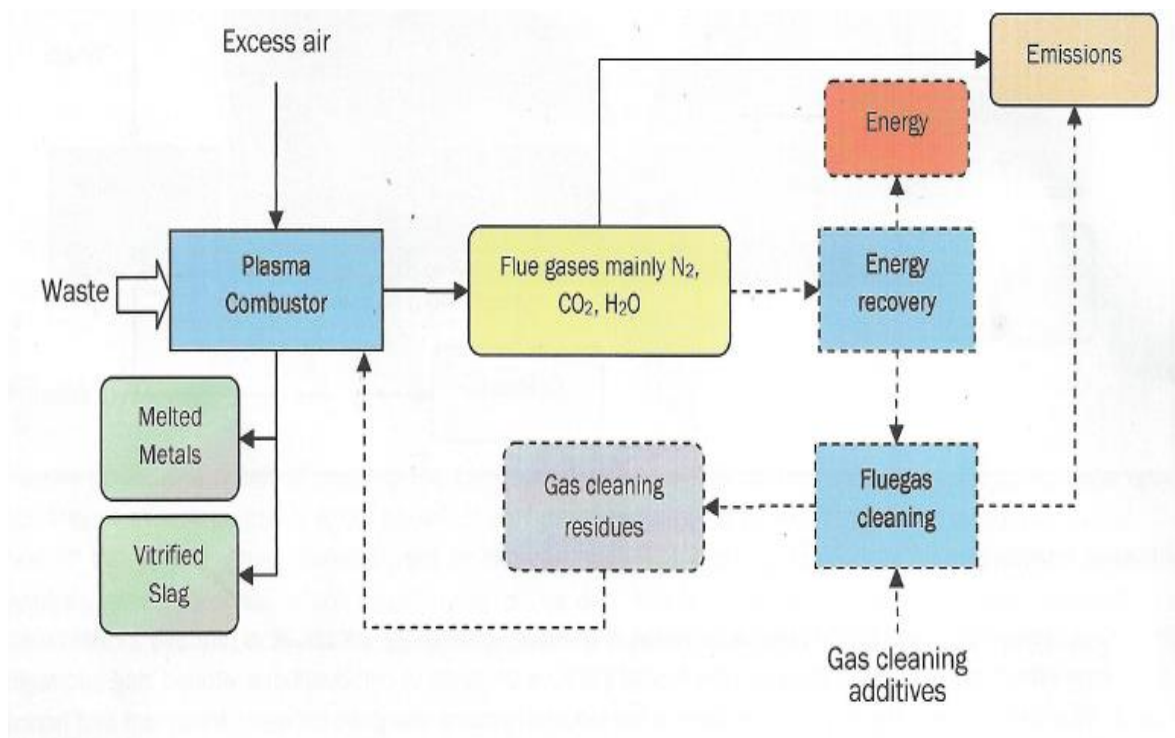


Figura 3.2.3.2.1.-Esquema de la combustión del plasma.

3.2.3.3 Vitrificación de plasma

Hay dos tipos de vitrificación de plasma: la fundición que surge como parte del tratamiento térmico de plasma; y procesos independientes que funden materiales inorgánicos usando el calor de la antorcha de plasma.

La vitrificación de la ceniza de los residuos urbanos se practica ampliamente en Japón con una base comercial, y con una base mucho más limitada en otras partes del mundo con un rango de inorgánicos como el amianto. Debido a esto mucha gente cree que la tecnología de plasma ha sido ampliamente aplicada a procesar los residuos urbanos, pero no es el caso. Hay una diferencia fundamental entre usar los procesos de plasma para tratar residuos directamente y para vitrificar la ceniza que queda después de tratar dichos residuos con otros procesos distintos al plasma. En aplicaciones para la ceniza, el

sistema de plasma es auxiliar, un proceso secundario después de la incineración convencional. El objetivo de este tipo de sistemas es usar las altas temperaturas generadas por la descarga de plasma para fundir los residuos inorgánicos y convertirlos en escoria vítrea que es inerte, y por tanto fácil de gestionar. No se involucra ningún tipo de combustión o gasificación en este proceso. Cuando se incluye la fundición auxiliar de ceniza en el proceso, la energía requerida es alta, y reduce la exportación de electricidad a la red de un proceso típico de electricidad (de 600kWh/T a 300kWh/T).

Una de las razones de la confusión es que la materia inorgánica es normalmente fundida dentro de los reactores de combustión, gasificación y pirolisis de plasma debido a las altas temperaturas.

3.2.3.4 Gasificación de plasma

Hay dos configuraciones genéricas de la gasificación de plasma: las configuraciones en las que el generador de plasma está contenido dentro del reactor de conversión de residuos principal; y las configuraciones en las que el generador de plasma es externo al reactor de conversión de residuos principal y es usado como una fuente de gases calientes. Esta última también se conoce como gasificación por plasma asistida.

La gasificación por plasma se lleva a cabo bajo unas condiciones de oxígeno empobrecido, lo que resulta en la producción de syngas, escoria vitrificada y metal fundido. Las proporciones y composiciones dependerán de la composición de la basura entrante. El principal motor en el desarrollo de este tipo de procesos es la oportunidad de recuperar gases ricos en energía química que pueden ser utilizados en recuperadores de energía de alta eficiencia o como materia prima química. Debido a que el proceso involucra menos aire y produce menos volumen de gases de emisión, algunos desarrolladores lo ven como idóneo para aplicaciones en la que prima el espacio físico como por ejemplo en barcos. Se evitan emisiones de contaminantes como óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre y otros contaminantes reducidos como el sulfuro de hidrógeno, el amonio y el sulfuro de carbonilo disminuyen. Algunas trazas de contaminantes pueden requerir medidas más sofisticadas y caras que serían igualmente necesarias con los tratamientos de incineración convencionales.

La gasificación por plasma está relativamente sin probar debido a que hay muy pocas plantas operando a nivel comercial. Hay unas pocas plantas operando con hasta 10 toneladas por día. Estas plantas tratan material médico y material industrial peligroso, además de PEAT.

Hay dos plantas en Japón que utilizan de gasificación asistida de plasma. Estas plantas se construyeron por "Hitachi Metals" usando la tecnología de la compañía "Westinghouse". La primera planta fue construida en 1999 en Yoshii, para probar la tecnología. Está diseñada para tratar 24 toneladas de residuos urbanos por día. En 2003 se abrió la primera planta comercial, con una capacidad de 166 toneladas por día, en Utashinai, Japón.

El proceso que utilizan las plantas de Hitachi consta de un generador de plasma externo que produce gases calientes para la degradación de los residuos en un reactor separado. La principal razón para este enfoque es que el ensamblaje de la antorcha de plasma no se exponga a los gases corrosivos que emanan de la basura y dure más tiempo. Esta

configuración presenta la desventaja de una menor transferencia de calor a los residuos y una menor temperatura.

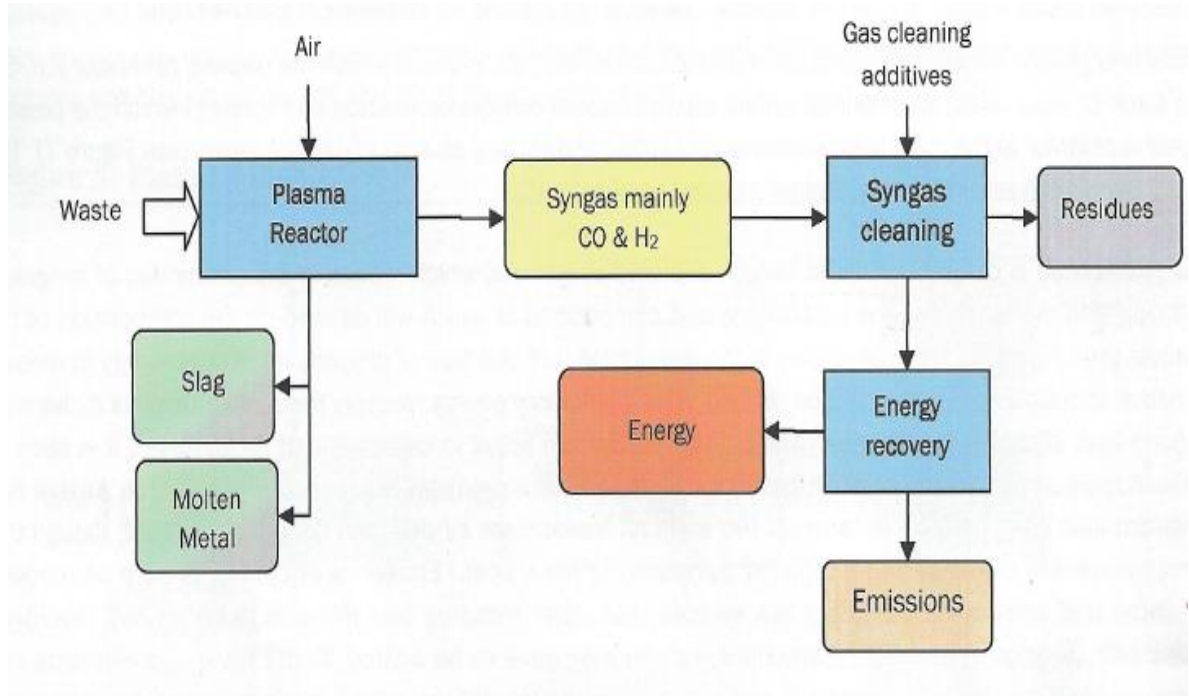


Figura 3.2.3.4.1.-Esquema de la gasificación de plasma.

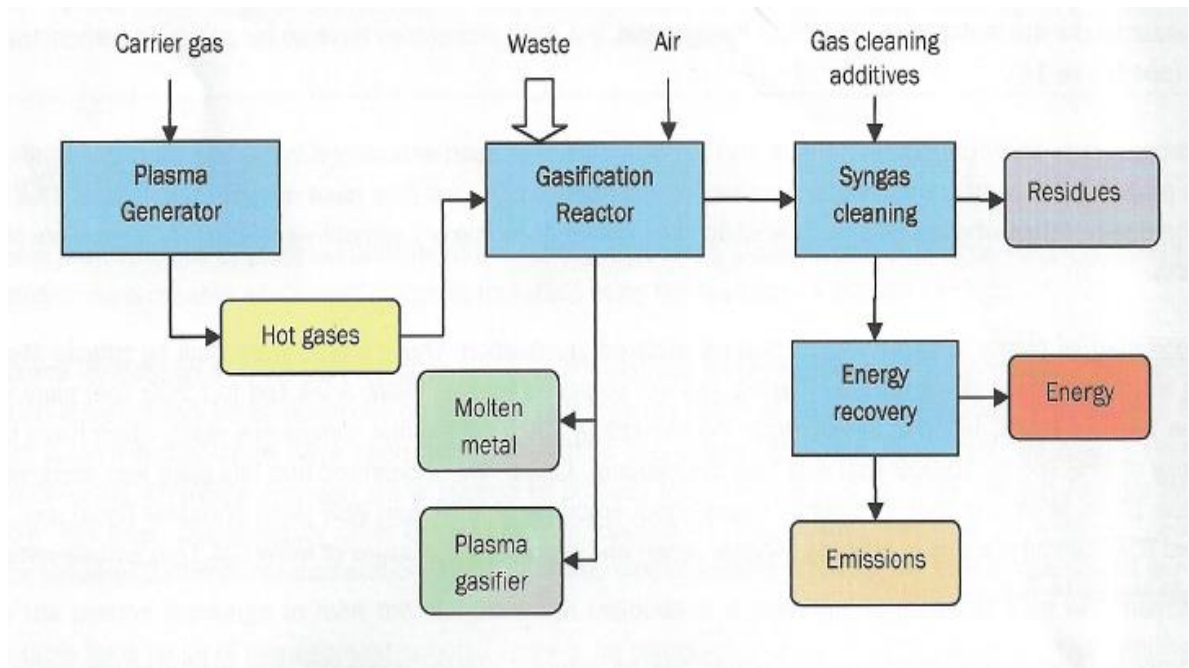


Figura 3.2.3.4.2.-Esquema de la gasificación de plasma asistida.



Figura 3.2.3.4.3.-Planta de Iizuka, Japón.



Figura 3.2.3.4.4.-Planta de gasificación asistida en Utashinai, Japón.

3.2.3.5 Pulido de plasma

Muchas veces el plasma no es utilizado para las operaciones de degradación de residuos urbanos, sino para tratar el gas de síntesis obtenido. Esto es una tendencia en desarrollo. Un gran número de suministradores promocionan configuraciones que incorporan un paso para tratar el syngas usando plasma. Esta configuración presenta algunas ventajas. El gas de síntesis sin tratar se inyecta directamente en la antorcha de plasma y se expone a temperaturas superiores a los 1500°C. Estas condiciones facilitan que se descompongan los alquitranes (moléculas de compuestos orgánicos con un alto peso molecular) que pueden haber sido arrastradas del reactor de tratamiento de residuos.

Cuando el syngas sin tratar se enfría para reducir su contenido en agua y prevenir la formación de dioxinas, los alquitranes precipitan y producen partículas finas que causan problemas en los motores de gas y las turbinas de gas. Los enfoques que se han tomado para minimizar los alquitranes de los procesos de gasificación de residuos incluyen:

- Elección del reactor de gasificación
- Mayor temperatura de las reacciones de gasificación
- Combustión del syngas
- Separar el reactor de craqueo de alquitranes con dolomita

Se conoce que algunas configuraciones de gasificación producen syngas con altos contenidos en alquitran. Entre las peores configuraciones están los gasificadores de corriente ascendente. Los gasificadores de corriente ascendente son más fáciles de diseñar, requieren menos preparación del combustible y secado comparado con muchas otras (corriente descendente, lecho fluidizado, flujo arrastrado) configuraciones. Para minimizar la formación de alquitranes en el syngas los costes son considerablemente altos.

A menudo, se combustiona el syngas primario para eludir posibles problemas de alquitrán, pero esto es a expensas de combinar el proceso de gasificación de residuos con unos sistemas de conversión de energía con una eficiencia relativamente alta como motores de gas o turbinas de gas. Por tanto, si el syngas primario se combustiona, la electricidad solo puede ser amortizada económicamente usando ciclos de vapor de de relativa baja eficiencia.

Esta establecido que cuanto más alta sea la temperatura de gasificación menor será la probabilidad de que haya restos de alquitrán. Aunque las tecnologías de gasificación a altas temperaturas pueden minimizar los restos de alquitrán requieren una cantidad significante de energía adicional, tanto en forma de combustibles fósiles como el uso de oxígeno en vez de aire para la gasificación. De cualquier forma, como el total de la basura entrante tienen que ser tratada a elevadas temperaturas, los costes de capital y operaciones se ven aumentados significativamente. Este concepto de proceso se ha implementado en algunas plantas de tratamiento de residuos en Japón con éxito. Para minimizar el impacto de mayores costes, muchos de los sistemas de gasificación de alta temperatura son solo rentables económicamente a ciertas escalas. El plasma ofrece una

forma de tratar el syngas primario, haciendo posible muchas configuraciones distintas del sistema para tratar los residuos entrantes.

La co-inyección de líquidos en el pulido de plasma es también posible, ya que el calor para la disociación, al contrario que en procesos de gasificación convencionales, viene dado por el arco de plasma y no por la combustión completa o parcial de la basura entrante. El arco de plasma también provoca un ambiente altamente turbulento, que facilita relativamente la rápida disociación del líquido.

Aunque el pulido con plasma puede traer beneficios, como los descritos anteriormente, esta técnica requiere también técnicas de lavado convencional para eliminar los gases contaminantes (H_2S , HCl y NH_3).

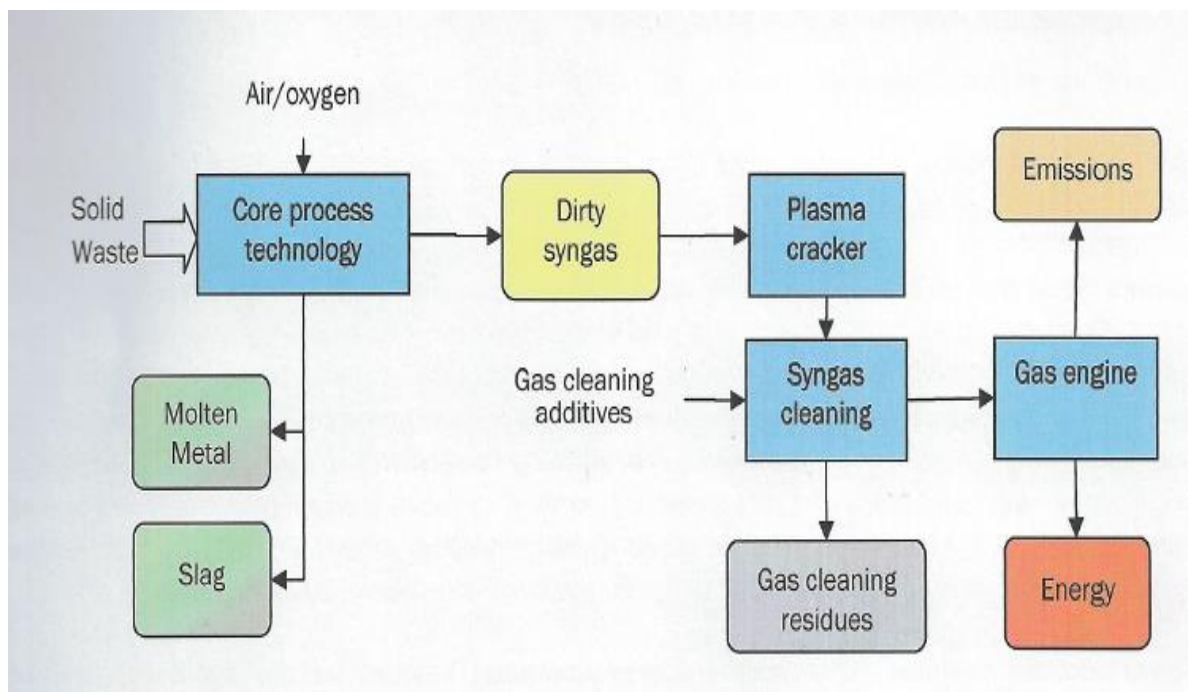


Figura 3.2.3.5.1.-Ejemplo de configuración con segunda etapa de pulido de plasma.

3.2.4 Residuos que mejor encajan con el proceso de plasma

La diferencia más significativa entre los sistemas de plasma y otros sistemas térmicos convencionales es que el calor requerido para la degradación de la basura es generado por el plasma y no por vía de la combustión de todos o parte de los residuos. Esto permite a los sistemas de plasma ser relativamente fáciles de optimizar, para trabajar bajo condiciones que son beneficiosas para maximizar la recuperación de recursos así como facilitar la degradación de residuos. Pero también significa que ingentes cantidades de energía deben ser suministradas al proceso. El hecho de que la fuente de calor sea independiente del tipo de residuos que está siendo tratado significa que estos sistemas pueden procesar residuos con muy poco poder calorífico, como aquellos que tienen un

alto grado de compuestos inorgánicos o humedad. Por esta razón, las tecnologías de plasma pueden usarse para aplicaciones donde el material entrante al reactor tiene poco contenido energético como:

- Cenizas
- Deshechos de curtiembres
- Desechos agropecuarios
- Lodos
- Desechos peligrosos

La vitrificación por plasma de las cenizas de incineración está bien establecida en Japón, con más de 20 plantas usando esta tecnología. Una planta incineradora en Francia también utiliza vitrificación por plasma para gestionar las cenizas del incinerador. La tecnología ha estado operando comercialmente durante los últimos 20 años, pero hay solo un número relativamente pequeño de empresas con experiencia relevante con la tecnología. Entre éstas, se encuentra la empresa francesa “Europlasma”, la firma británica “Tetronics” y las compañías estadounidense es “Phoenix Solutions”, “Plasma Energy Corporation” y “Westinghouse”.

Todos estos procesos se han implementado en escalas relativamente pequeñas. La más grande fue diseñada para procesar 15.000 toneladas por año de cenizas de incineración.

El procesamiento mediante plasma de residuos médicos aún no ha sido adoptado ampliamente, aunque ha sido demostrado.

La tecnología de plasma también puede ser efectiva en el tratamiento de residuos líquidos, lodos y lechadas, ya que pueden ser bombeadas directamente en las zonas más calientes del arco de plasma. Como estos residuos tienen bajos poderes caloríficos, no pueden ser procesados directamente con tecnologías de tratamiento térmico convencional sin etapas adicionales de preparación que resultan muy caras. La compañía noruega “Enviroarc” ha construido una planta para tratar los desechos de curtiembres que incorpora tecnología de plasma. En este proceso, situado en Borge Garveri, Noruega, el plasma es usado para pulir y limpiar el syngas producido más que para degradar los residuos sólidos. La planta opera desde 2001. Otras compañías han operado plantas piloto para el tratamiento de líquidos, lodos y lechadas, pero hasta ahora ninguna ha operado a nivel comercial.

Sólidos muy finos como el polvo también pueden ser inyectados directamente en el quemador de plasma.

Las altas temperaturas a las que los reactores de plasma trabajan ofrecen beneficios al tratar residuos que contienen contaminantes que deben ser destruidos o inmovilizados. Se han diseñado procesos para tratar residuos peligrosos y levemente radioactivos y se ha demostrado que las tecnologías de plasma pueden ser configuradas para tratar corrientes de residuos de bajo volumen.

Se han ejecutado con éxito proyectos de residuos peligrosos en al menos cinco países diferentes, en colaboración con sus respectivos cuerpos militares por lo general.

La escala de funcionamiento es generalmente muy pequeña (menos de una tonelada por día) y refleja que estas plantas son normalmente instaladas para procesar residuos de un tipo específico, situadas cerca de donde se producen. Se evita de esta forma, por ejemplo, los costos relacionados con el transporte y almacenamiento de los residuos peligrosos.

Ha habido algún desarrollo de sistemas de plasma para procesar residuos no peligrosos de alto contenido energético, como es el caso de los neumáticos. Este tipo de entradas son compatibles con las configuraciones de los reactores de plasma, sin embargo, son más atractivos desde un punto de vista comercial métodos más tradicionales.

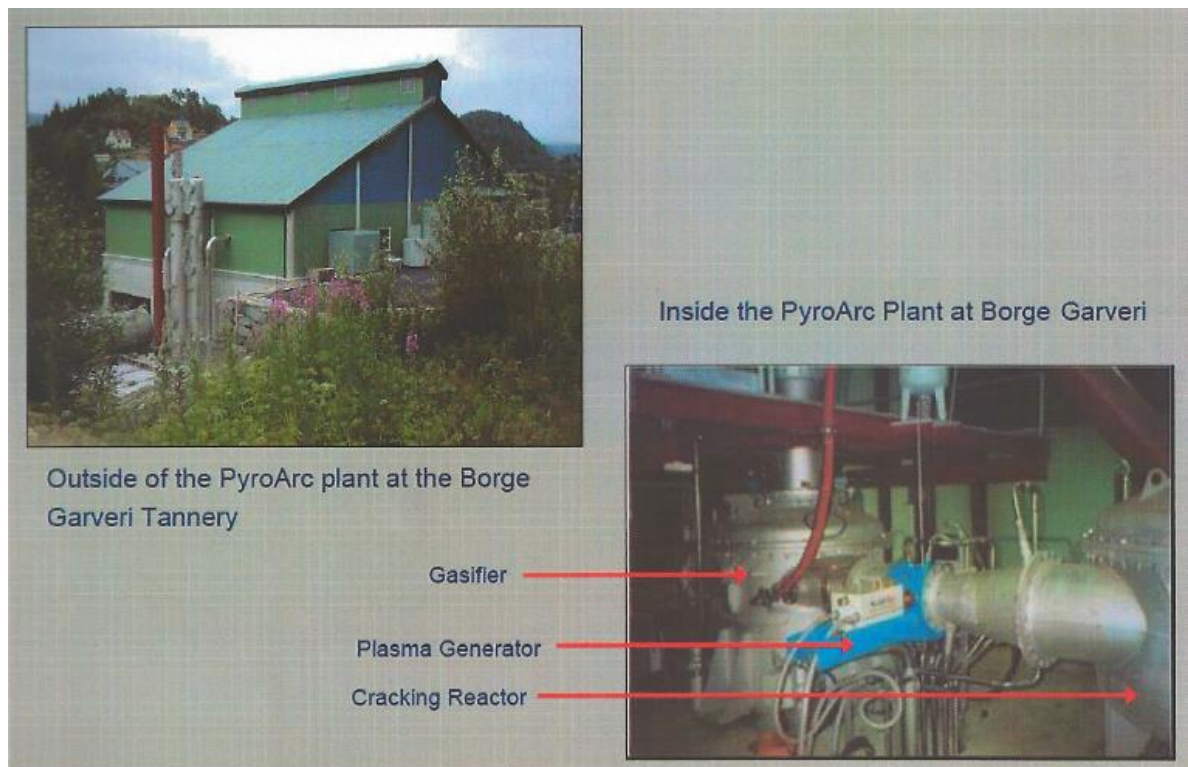


Figura 3.2.4.1.-Ejemplo de configuración con segunda etapa de pulido de plasma.

3.2.5 Capacidad de los procesos de plasma para tratar grandes volúmenes.

Debido a la enorme oportunidad comercial que supone el plasma, muchos desarrolladores de estos procesos están ansiosos por competir directamente con la incineración tradicional para procesar los residuos urbanos. Son puntos clave de esta pugna:

- Transferencia de calor
- Escala
- Heterogeneidad
- Poder calorífico relativamente bajo

- Alta humedad relativa
- Alto contenido en ceniza

Transferencia de calor: Como el arco de plasma es una fuente de generación de calor relativamente localizada, la distribución de las altas temperaturas para grandes volúmenes puede ser un reto para reactores a gran escala. Los sistemas que se usan actualmente son de pequeña escala. Tratar grandes volúmenes de residuos, y la necesidad de incrementar la transferencia de calor asociada, requiere un riesgo técnico potencial. Algunos desarrolladores han diseñado sistemas que utilizan más de una antorcha de plasma, y más de dos electrodos, para que el calor se distribuya mejor a lo largo del reactor, pero hasta la fecha no se ha puesto en marcha ningún sistema lo suficientemente grande como para competir a nivel comercial con las incineradoras tradicionales.

Escala: Los procesos pueden ser configurados para ser modulados. Pero la necesidad de tener múltiples antorchas y reactores en línea puede ser una gran barrera económica para este fin. Además la tecnología tiene que ser probada a una escala razonable para convertir la implementación modular en una alternativa estratégica. Mientras que los procesos de plasma han sido propuestos para tratar grandes volúmenes de residuos, la planta comercial más grande en operación tiene un diseño de unas 50.000 toneladas al año. En este contexto se entiende el nerviosismo de algunos inversores al considerar el plasma para grandes escalas.

Heterogeneidad de los residuos: La naturaleza heterogénea de los residuos es un problema potencial para los procesos de plasma. Las variaciones en el tipo y la composición de los residuos, así como en el tamaño y las características de la alimentación del material entrante al reactor, pueden afectar al proceso de operación, y por tanto, influyen en el diseño del sistema. La experiencia comercial con los procesos de plasma nos ha enseñado que son capaces de procesar materiales de varios tamaños, incluso grandes tambores sellados. Pero hasta ahora casi toda la operación ha sido por lotes, no en continuo, donde las exigencias de transferencia de calor y los tiempos de residencia no son tan críticos como en la operación continua que sería necesaria para procesar grandes volúmenes de residuos.

El tamaño de las partículas de los residuos de entrada es importante: cuanto más pequeñas sean estas partículas, más grande será la tasa de transferencia de calor. La tasa de transferencia de calor determina el grado de volatilización de los residuos sólidos y por tanto, la composición de los gases que emanan de la degradación de los residuos. Cuanto menor sea la tasa de transferencia de calor mayor será el riesgo de formación de alquitranes y partículas tóxicas. El proceso debe contener medidas para eliminar y minimizar las emisiones en los gases, aunque esto tenga serias implicaciones económicas.

La experiencia con proyectos de pirolisis y gasificación convencional de no plasma nos han enseñado que los alquitranes y partículas pueden ser un problema costoso y significativo, sobre todo cuando el proceso se diseña para recuperar el syngas para uso energético. Se debe asumir que el tratar grandes volúmenes de residuos implica un riesgo técnico significativamente alto hasta que se obtengan datos suficientes de proyectos a gran escala.

Poder calorífico: Como he indicado anteriormente, los residuos con un bajo poder calorífico no son un problema para los procesos de plasma. Sin embargo, esto no significa

que no haya un límite en el rango de de valores caloríficos que se pueden tratar. Las limitaciones de la temperatura del reactor de plasma y la capacidades del equipamiento aguas abajo son dos de los factores que hay que considerar para determinar las entradas que se pueden procesar en las instalaciones. Cuanto menos sea el poder calorífico menos energía se producirá por tonelada de entrada, lo que influirá en la economía de la planta.

Contenido en humedad: Los procesos de plasma pueden tratar generalmente residuos con un contenido significativamente mayor de humedad que otros tratamientos térmicos. No obstante, normalmente hay un límite superior en el contenido de humedad para asegurar que la energía requerida para la degradación de los residuos está dentro de las capacidades del diseño del sistema.

Contenido de cenizas: Un alto contenido en cenizas significa un bajo poder calorífico. Esto no es un problema para el plasma. De hecho, el contenido en ceniza inorgánica de los residuos es importante para mantener estable y efectiva la formación de escoria en los procesos de plasma. Algunos proveedores especifican un mínimo nivel de cenizas en los residuos entrantes.

Dejando a un lado los aspectos técnicos se plantean preguntas acerca de si es económicamente rentable operar los residuos con plasma y si se podrá convencer a los clientes potenciales de ello. Por el momento no hay suficiente evidencia para juzgarlo definitivamente.

3.2.6 Oportunidades de mercado

Hay dos tipos principales de oportunidad para el tratamiento de residuos mediante tecnologías de plasma:

- Situaciones donde las características técnicas ofrecen ventajas reales
- Circunstancias donde el plasma es percibido como una alternativa mejor, aunque sus beneficios actuales pueden ser marginales

En esencia la primera de estas oportunidades están enfocada a crear oportunidades para que el plasma juegue un papel significativo en nichos específicos de mercado, mientras que la segunda crea una opinión mucho más difusa, predominantemente en mercados donde las decisiones tienen una dimensión política.

Una razón clave para el interés en nuevas técnicas de procesamiento de residuos es, por supuesto, la pobre imagen que se tiene de la incineración. Los grupos ecologistas se oponen activamente a la construcción de nuevas incineradoras, y hay una preocupación muy extendida por toda la población acerca de los problemas para la salud y el medio ambiente que dichas plantas ocasionan. No obstante, entre los técnicos competentes, incluyendo los cuerpos que regulan el medio ambiente, está ampliamente aceptado que las nuevas grandes incineradoras tienen un buen desempeño medioambiental y plantean riesgos para la salud insignificantes (este no es el caso de viejas incineradoras y no tiene por qué ser necesariamente el caso de incineradoras pequeñas). La oportunidad de mercado del plasma y de las tecnologías relacionadas está impulsada por el pobre concepto que se tiene de las incineradoras más que por su actual eficiencia. Muchas autoridades municipales, aunque no todas, y algunas ramas de la industria, como por ejemplo la industria de procesos de comida, están atraídos al plasma por estas razones.

Les parece más sofisticado y garantiza una completa destrucción de los residuos con un impacto ambiental mínimo. Hay también quienes prefieren tratamientos no térmicos que mezclan procesos biológicos y mecánicos (biometanización y compostaje). Debido a que los sistemas de plasma operan a altas temperaturas y normalmente incorporan una fase de combustión, hay poca diferencia entre estos procesos y la incineración convencional, pero hay mucha diferencia con respecto a los procesos biológicos. Por tanto, la percepción negativa de la incineración es un impulso positivo para la adopción de tecnologías de plasma, pero es un impulso limitado.

La corriente más extendida dentro de la industria del tratamiento de residuos es muy conservadora y son reacios a abrazar las tecnologías de plasma hasta que estén mucho más probadas. Prefieren usar la incineración porque pueden estar seguros de su rendimiento operativo, y tienen cierta antipatía contra las nuevas tecnologías porque están, por definición, menos probadas. Esto tiene un impacto negativo en el desarrollo del mercado.

Los políticos favorecen soluciones sofisticadas y avanzadas, por ese motivo incentivan la adopción de nuevas tecnologías mediante un mix de medidas económicas e incentivos legales, que incluyen precios preferenciales para las salidas, como la electricidad. También se usan medidas fiscales, como impuestos al terreno y al carbón para desincentivar métodos menos deseables pero más baratos. Estos distorsionadores económicos del mercado permiten a tecnologías más complejas competir aquellas más simples.

El limitado historial del que se dispone en muchas empresas de procesos combinado con la corta historia que tienen en el mercado preocupa a clientes potenciales. Temen que los proveedores no dispongan de tecnología suficiente ni experiencia para solucionar posibles problemas que se planteen.

Por una parte, hay un amplio abanico de oportunidades de mercado para los procesos de tratamiento de residuos con plasma, pero, por otra, muchas de estas oportunidades son pequeños niños de mercado u oportunidades donde no hay certeza de obtener una buena cuota de mercado.

El mercado potencialmente más grande es el de los residuos urbanos, para cuya aplicación el plasma aún está bastante poco probado.

Se han anunciado proyectos en Italia, Grecia, España, Japón, Israel, Puerto Rico, Corea del Sur, Taiwan, Malasia, Estados Unidos, y Canada y también hay interés en Australia, Sudáfrica, Polonia, Rusia y Sudamérica. Los mercados más prometedores de esta tecnología están en Norteamérica, el sur de Europa y el este y sudeste de Asia.

Las aplicaciones del plasma que más intensamente se han estudiado son para el tratamiento de residuos peligrosos, de los cuales destacan el tratamiento de cenizas, residuos radiactivos de bajo nivel y la destrucción de munición.

Debido a que el plasma puede tratar un rango mucho más amplio de residuos, puede ser interesante y atractiva su aplicación en lugares donde se necesita una sola solución para todo tipo de residuos, como por ejemplo un crucero o una isla.

Con el aumento de las limitaciones de los barcos para descargar la basura, los diseñadores y constructores de barcos tienen que adoptar medidas para acomodar y almacenar toda la basura a bordo hasta que lleguen a un puerto. El almacenamiento en algunos barcos es indeseable y poco práctico por lo que la destrucción por plasma se presenta como una opción atractiva porque además requiere menos espacio que una incineradora tradicional. Esta aplicación es la más atractiva para el plasma a corto plazo.

Debido a que los procesos de plasma pueden usarse en diferentes tipos de tratamiento de residuos, está claro que el potencial de oportunidad de mercado es muy grande; y significativamente más grande que la actual actividad comercial de los actuales operadores.

Llegados a este punto la cuestión clave es: ¿Puede el plasma tener una participación importante en el mercado en un futuro próximo? La opinión a este respecto está dividida actualmente. El escepticismo entre los profesionales de la basura sobre la fiabilidad y la efectividad de los costes está actuando como un lastre en la aceptación del plasma por parte del mercado. Hasta que estos profesionales de la materia no resuelvan todas sus dudas acerca de la tecnología es difícil anticipar un crecimiento rápido y sostenido en la demanda.

Sin embargo, el nivel de interés en este sector se está incrementando y un número de operadores han anunciado recientemente proyectos que pueden formar la base de una plataforma de mercado. Hay motivos para un optimismo considerable acerca del crecimiento potencial en la demanda de los sistemas de plasma, una vez hayan sido probados y su eficacia haya sido demostrada. Hasta entonces, hay un riesgo de que sean vistos como grandes promesas pero el despegue de los pedidos comerciales está a unos años de distancia. En mi opinión esto es un factor de riesgo para cualquiera que se plantee invertir en este sector en estos momentos.

Si dos o tres proyectos comerciales de referencia tienen éxito (técnicamente y comercialmente) y los dudosos son capaces de ver esas ventajas y eficacia de operatividad, el mercado crecería rápidamente, y el plasma obtendría una buena cuota de mercado debido a la confianza que daría esa tecnología ya probada. Podría pasar que debido a la antipatía que tiene la sociedad hacia las incineradoras y el malestar que provocan, la demanda por soluciones basadas en el plasma creciera tan rápido que, en unos pocos años, excediera a las tecnologías convencionales. Un escenario como este ya se ha dado con una tecnología un poco diferente en un segmento del mercado japonés.

3.2.7 Compañías desarrolladoras de la tecnología de plasma

Los procesos de plasma están siendo promocionados por un número relativamente grande de compañías. Los grupos más grandes están en los Estados Unidos y Canadá, donde se llevaron a cabo varios estudios por instituciones académicas líderes y por organizaciones como la NASA, entre los años ochenta y los noventa. También se desarrollaron sistemas en la antigua Unión Soviética, que ahora ofrece Rusia para investigaciones y estudios. En Europa apenas ha habido involucración en el desarrollo de este tipo de tecnología, mientras que en Japón la experiencia es más extensa.

La mayoría de las compañías involucradas en las tecnologías de tratamiento de plasma son relativamente pequeñas. Unas pocas han probado sus sistemas pero la mayoría son

son empresas que están empezando con ninguna o poca experiencia comercial con sistemas de plasma.

Hasta ahora ninguna de las compañías de gestión de residuos más grandes o las compañías de ingeniería internacionales fuera de Japón han decidido apostar por los procesos de plasma. Dentro del mercado Japonés, el interés en la vitrificación de plasma a dado lugar a un gran número de colaboraciones. Destacan la de Europlasma de Francia con Hitachi Zosen y la británica Tetronics con Mitsubishi Heavy Industries.

Recientemente, sin embargo, se han visto algunos signos de cambio. Algunas grandes multinacionales, que por el momento no juegan un papel importante en el sector de los residuos, están considerando el campo de las tecnologías de plasma como una oportunidad de inversión.

Hay un total de 52 empresas que promueven, o han promovido, procesos de plasma para el tratamiento de residuos y cada año son más:

- **Arc Technologies:** Es una compañía estadounidense desarrolladora del sistema de dispositivo incandescente, un proceso de gasificación por arco de plasma a pequeña escala.
- **Daystar:** Es una compañía estadounidense que desarrollo un proceso de combustión de plasma para tratar residuos hospitalarios. Este sistema funcionó con una base experimental durante algunos años en Tokyo.
- **Encore Environmental Solutions:** Es una compañía estadounidense que comercia un sistema de pirolisis y vitrificación para residuos peligrosos. La compañía tiene una planta de demostración en Ohio.
- **Enersol Technologies:** Es una compañía estadounidense que comercia con la tecnología de PEPS.
- **Enviroarc:** Es una compañía Noruega que ha tenido derechos exclusivos y a lo largo del mundo para comerciar, vender y construir la tecnología Pyroarc (que utiliza el plasma para el craqueo del syngas) desde 1999. También tienen derechos exclusivos para la tecnología Vitroarc que se usa para la vitrificación de cenizas. La tecnología Pyroarc fue desarrollada conjuntamente por la compañía sueca Scanarc y la noruega Kvaerner. Algunos trabajadores de esta última involucrados en el desarrollo de Pyroarc, fundaron Enviroarc para comercializar el proceso. El proceso opera en una planta comercial en Noruega, para residuos de curtidos. La compañía también tienen una planta comercial que usa la tecnología de plasma para derretir y reciclar polvo de acero.
- **Environmental Energy Resources, EER:** Es una compañía Israelí que promueve la tecnología de gasificación por plasma que fue desarrollada por los rusos en la década de los noventa. Hay una planta que ha operado en Rusia. El proceso está diseñado para tratar entre 40-250 kilogramos por hora de residuos sólidos. EER está construyendo una planta demostración para tratar residuos urbanos.
- **Europlasma:** Es una compañía francesa que construye y comercia antorchas de plasma de no-transferencia y sistemas para la vitrificación de cenizas y el tratamiento de residuos peligrosos con un acuerdo de licencia con la compañía europea aeronáutica de defensa y espacio. La tecnología se está usando en cuatro

plantas en Japón para la vitrificación de ceniza. También se ha construido una pequeña planta en Bordeaux para procesar una mezcla de residuos inorgánicos peligrosos. En el 2000, Europlasma firmó un acuerdo no exclusivo con Kobe Steel en Japón, y en 2002 un acuerdo similar con Hitachi Zosen.

- **Forevergreen Enterprises:** Es una compañía estadounidense que promueve un sistema basado en plasma que denominan DMP (disociador molecular progresivo), para producir hidrógeno de los residuos. Hasta ahora no han construido ninguna planta.
- **General Electric:** Es una multinacional estadounidense que ha mantenido discusiones con muchos partidos en relación al desarrollo de los sistemas de plasma para aplicaciones de residuos a gran escala, para complementar su negocio existente en motores de gas (Jenbacher), turbinas de gas y refinería de gasificación.
- **Geoplasma:** Es una compañía estadounidense. Subsidiaria del Grupo de Desarrollo Jacoby, que tiene sus raíces en el desarrollo de la propiedad. Su desarrollo está atado a Georgia Tech. Promueven un sistema de gasificación de plasma y citan las plantas que el grupo Westinghouse tiene en Japón como referencia de su tecnología. En Junio de 2006 se anunció que St. Lucie County en Florida, había autorizado un contrato con Geoplasma para construir una planta de gasificación por plasma para tratar 900.000 toneladas de residuos al año.
- **Global Plasma Systems (GPS):** Es una compañía estadounidense que fue absorbida por Solena.
- **Green Triangle International, GTI:** Es una compañía estadounidense fundada a través de un acuerdo entre Resorption, Tobago Technologies y US Plasma en 1999. Esta compañía ha sido disuelta ya.
- **Hawkings Industries Disposal Systems (HI Disposal):** Es una compañía estadounidense que comercia con una tecnología de vitrificación/pirolisis basada en plasma conocida como PBPV, que fue desarrollada por PEAT. Una planta de 34-36 toneladas por día fue implementada en Indianapolis para procesar residuos médicos, farmacéuticos y levemente peligrosos.
- **Hitachi Metals:** Es una compañía Japonesa co-desarrolladora con Westinghouse de las plantas de tratamiento de residuos de Japón.
- **Hitachi Zosen:** Es una gran compañía Japonesa de ingeniería con tecnología de combustión fluidizada. Promueve los procesos de plasma de Europlasma en Japón.
- **Hungaroplasma Services (HPL):** Es una compañía húngara que desarrolló y patentó una tecnología de plasma a pequeña escala en los años ochenta.
- **Integrated Environmental Technologies, IET:** Es una compañía estadounidense que tiene un sistema de gasificación por plasma llamado PEM (Plasma Enhanced Melter), que es uno de los pocos que usan un arco de plasma de transferencia con electrodos de grafito en lugar de antorchas de plasma. Hay tres plantas PEM operando comercialmente en los Estados Unidos de América y Japón procesando residuos médicos e industriales.

- **Kinectrics:** Es una compañía canadiense co-desarrolladora del sistema PAG con Plasma Environmental Technologies. Era en un principio la rama investigadora de la compañía Ontario Hydro.
- **Kobe Steel:** Compañía Japonesa con licencia de Europlasma para usar su tecnología de vitrificación. La compañía ha creado al menos una planta en Akita, que está equipada con un sistema de plasma para derretir la ceniza.
- **Kvaerner:** Es una compañía Noruega muy diversificada en el ámbito de la ingeniería. Muy activos en el desarrollo de la tecnología de plasma y la ingeniería. Tienen una licencia de Enviroarc.
- **Meltran:** Es una compañía estadounidense que ha desarrollado un sistema de incineración de plasma para residuos peligrosos o radioactivos.
- **MHI, Mitsubishi Heavy Industries:** Es una compañía Japonesa que ha implementado algunos sistemas de plasma en Japón.
- **MSE:** Es una compañía estadounidense que se estableció en 1974 y que ha desarrollado sistemas de combustión de plasma, que han sido implementados con base comercial para tratar diferentes residuos peligrosos. La compañía está construyendo una planta piloto para la gasificación por plasma.
- **Nuvotec:** Es una compañía estadounidense desarrolladora de un sistema llamado ICP (Induction Coupled Plasma). Operan con una planta piloto.
- **PEAT (Plasma Energy Applied Technology) International:** Es una compañía estadounidense que desarrolla un sistema de gasificación por plasma conocido como TDR (Thermal Destruction and Recovery). La compañía creó una planta de demostración a pequeña escala en USA para residuos peligrosos y proveyó de esta tecnología a dos plantas en Taiwan. Una de ellas está diseñada para tratar de tres a cinco toneladas por día de residuos sólidos y la segunda, diseñada originalmente para tratar lixiviados, está siendo rediseñada para tratar varios tipos de residuos sólidos con una capacidad de diez toneladas por día.
- **Plasma Energy Corporation, PEC:** Es una compañía estadounidense que desarrollaron el Plasma Arc Recycling System (PARS) que está siendo usado en un gran número de plantas comerciales en el sureste de Asia. La compañía fue adquirida por Phoenix Solutions en 1998.
- **Plasma Environmental Technologies, PET:** Es una compañía canadiense que comercia con dos sistemas: PARCON (Plasma Arc Conversion) y PAG, un gasificador de plasma asistido. PARCON se diseña para ser móvil y se emplea en la gasificación de residuos líquidos y gaseosos peligrosos. El sistema PAG se desarrolló en colaboración con Kinectrics y es una tecnología piloto para recuperar energía de los residuos procesados. PET tiene una licencia exclusiva para desarrollar y comercializar el sistema PARCON.
- **Plasma Pyrolysis Systems:** Es una compañía estadounidense que promueve una tecnología de plasma para los residuos con una colaboración con Interscience. Se centran en barcos y material hospitalario.

- **Phoenix Solutions:** Es una compañía estadounidense. Son uno de los mayores productores de antorchas de plasma. Su tecnología está siendo usada en algunas plantas de vitrificación de cenizas en Japón. Adquirieron Plasma Energy.
- **Plasco Energy:** Es una compañía canadiense centrada en la promoción del plasma para tratar residuos industriales, residuos urbanos y residuos biomédicos. Esta empresa se formó en la primavera de 2005 de la unión de dos compañías: RCL Plasma y Plasco Energy Corporation. En Junio de 2006 la empresa recibió aprobación para construir una planta piloto de 25.500 toneladas por año, en colaboración con el gobierno de Ottawa, Canada. El plan es utilizar la tecnología de gasificación de Plasco para generar syngas de los residuos urbanos, que será usado en motores de gas para generar energía eléctrica que se exportará.
- **Plasma Renewable Energy:** Es una compañía malasia que desarrolla proyectos promocionando gasificación de plasma pero no ha desarrollado su propia tecnología.
- **Pyrogenesis:** Una compañía canadiense, fundada en 1992 que comercia con el Plasma Resource Recovery System, PRRS, que es una mejora de la primera generación de tecnología de la empresa, conocida como PGVF- Plasma Gasification and Vitrification Furnance. Esta empresa también comercia con un proceso de combustión de plasma pequeño, denominado PAWDS (Plasma Arc Waste Destruction System), que fue diseñado en un principio para ser usado a bordo de grandes buques. Un sistema PRRS ha estado operando en Montreal. Un sistema a escala piloto de PAWDS, desarrollado en colaboración con la armada de los Estados Unidos de América, también ha estado operando en Montreal. Un sistema comercial PAWDS ha estado operando a bordo de un crucero Carnival desde 2003. En 2003 la compañía anunció la construcción de una planta de 150 toneladas por día en Taiwán pero a día de hoy no se ha construido nada.
- **Radon:** Es una compañía Rusa que desarrolla un proceso de gasificación por plasma, denominado Plasma Chemical Treatment (PCT), para tratar residuos radioactivos, que ha estado operando en una planta llamada " Pluton" en Rusia.
- **Recovered Energy:** Es una compañía estadounidense que promueve una tecnología de gasificación por plasma usando unos diseños de Westinghouse. La compañía no ha creado ninguna planta.
- **Resorption Canada Limited (RCL):** Es una compañía canadiense que forma parte de Plasco.
- **Retech:** Es una compañía estadounidense. Su desarrollo en la tecnología de plasma está basado en sus actividades en el negocio del metal. La compañía desarrolló el Plasma Arc Centrifugal Treatment system (PACT) para aplicaciones a residuos. Cada módulo tiene una capacidad de una tonelada por hora. El sistema PACT ha operado en Japón, Europa y USA para tratar residuos peligrosos y radioactivos.
- **SibAcademConsulting:** Es una compañía rusa. Se creó a partir de la Academia de Siberia para las Ciencias. Dicen haber desarrollado un nuevo sistema de plasma para el tratamiento de residuos sólidos. Aseguran que este nuevo sistema se diferencia del resto en que la vida útil de los electrodos no tiene límite.

- **Scanarc:** Es una compañía sueca. Desarrolladores de la tecnología de antorcha de plasma en colaboración con SFK.
- **Solena:** El Grupo Solena evolucionó de Global Plasma Systems Corporation (GPS), que desarrollaron el sistema de vitrificación y pirolisis de plasma (PPV). La compañía ha anunciado en los últimos años un número de proyectos con rangos que van desde las 8 toneladas por año hasta las 240.000 toneladas por año, y se sabe que están considerando proyectos aún más grandes.
- **Solition:** Es una compañía rusa con sede en Moscú. Esta compañía comercia con varios sistemas de plasma para el tratamiento de residuos. Soliton es un centro de investigación y producción que trabaja en colaboración con el Instituto Ruso de Problemas de Electrofísica. Uno de los sistemas de plasma que está siendo comercializado está operando en una planta piloto y está diseñado para tratar de 50 a 100 kilogramos por hora de residuos. También han desarrollado una planta piloto para tratar residuos médicos peligrosos en conjunto con el Lawrence Livermore National Laboratory en USA.
- **SRL Plasma:** Es una compañía australiana. SRL Plasma, (en un principio era parte de Siddons Ramset Limited, una compañía pública australiana), filial de BCD Holdings. Comercia la tecnología Plascon, que se ha usado comercialmente para tratar solventes y residuos químicos. Los residuos a tratar son directamente inyectados en la antorcha de plasma.
- **S.T.E:** Es una compañía italiana. Promueve una gasificación de plasma para tratar los residuos.
- **Startech:** Es una compañía estadounidense. Esta compañía está comerciando con un sistema de gasificación por plasma para procesar diferentes residuos, incluyendo los urbanos. Se refieren a su sistema como Plasma Waste Converter (PWC). Startech tiene su propia planta en Bristol, Connecticut donde operan con una unidad de plasma de demostración de 5 toneladas al día. Esta planta demostración también incluye el sistema "Starcell", desarrollado y patentado por la empresa, que recupera hidrógeno de los gases de proceso. En Junio de 2006, la compañía anunció que habían formado una alianza estratégica con Future Fuels Inc. (FFI), una compañía estadounidense, para desarrollar un proceso por el cual se transformaría el residuo en etanol.
- **Tetronics:** Es una compañía inglesa que comercia sistemas de plasma, mayoritariamente para industrias de fundición de acero. También han suministrado antorchas que han sido comercializadas para procesar varios residuos incluyendo las cenizas de incineración, polvo de acero y suelos contaminados. Han desarrollado también un sistema de gasificación de plasma, que opera en una planta piloto en Faringdon, Oxfordshire y han anunciado planes comerciales para plantas que usan esta tecnología.
- **Tobago Technologies:** Es una compañía Israelí, que tiene un trasfondo en la industria química. Comerciaron el sistema Resorption en Israel a través de GTI.
- **TSL Engenharia Ambiental:** Es una compañía brasileña de ingeniería, que han anunciado recientemente la construcción de una planta de procesamiento con pirolisis de plasma con recuperación y reciclaje, localizada en Piracicaba, Brasil. El

proceso aparentemente usa el plasma para separar los componentes de aluminio de los plásticos en los TetraPak.

- **US Plasma:** Es una compañía estadounidense, con sede en Carolina del Sur. Fue una subsidiaria de Resorption, creada para comercializar el proceso Resorpcion PGP en las américas. Es ahora parte de Plasco.
- **Vance IDS:** Es una compañía estadounidense que actualmente se conoce por Arc Technologies Group.
- **Verno:** Es una compañía inglesa de servicios medioambientales que se asocia a la tecnología de Pyrogenesis.
- **VRI (Vanguard Research Incorporated):** Es una compañía activa en el sector de defensa desde 1984. Comercializa un sistema de pirolisis de plasma denominado PEPS (Plasma Energy Pyrolysis Process) que fue desarrollado inicialmente para destruir residuos militares e industriales peligrosos. El sistema está disponible en configuraciones fijas y móviles. Un sistema PEPS fue construido en 1998 en una base militar de USA en Lorton, Virginia, con fines demostrativos. El proceso PEPS actualmente está siendo comercializado por Enersol.
- **Westinghouse Plasma Corporation (WPC):** Es una compañía estadounidense, originalmente subsidiaria de Westinghouse Corporation. Esta pequeña e independiente compañía es ahora una de las líderes en suministro y distribución de antorchas de plasma que han sido usadas en una gran variedad de aplicaciones para residuos. La compañía tiene su propio reactor de plasma y ha hecho varias pruebas con residuos urbanos. Su sistema se llama Plasma Direct Melting Reactor (PDMR). Co-desarrollaron, junto con Hitachi Metals, dos plantas comerciales moderadamente grandes en Japón, para tratar residuos urbanos.
- **ZE-Gen:** Es una compañía estadounidense fundada en 2004. Su objetivo es crear plantas para generar energía de los residuos urbanos y otros residuos. Crearon una planta en Diciembre de 2006 para tratar 125 toneladas por día en Bedford, Massachusetts. La planta genera syngas, que prueban para determinar en que tipo de equipos se podrá utilizar con el máximo rendimiento posible.

Debido a que las tecnologías de plasma pueden ser configuradas de muchas formas distintas para procesar residuos, los materiales que obtenemos a salida de un proceso pueden ser significativamente diferentes de otro. Por ejemplo, un proceso que está diseñado para vitrificar residuos peligrosos (hay un gran número de sistemas comerciales de este tipo) normalmente opera con exceso de aire y no producirá syngas de la misma forma que lo hará un proceso de gasificación por plasma. Esto quiere decir que una compañía que tenga experiencia con un tipo de tecnología de plasma no implica que sean capaces de diseñar sistemas usando otros tipos de tecnología de plasma.

Company	Plasma Technologies				
	Pyrolysis	Combustion	Gasification	Vitrification	Polishing
Arc Technologies			☐		
Encore Environmental Solutions			☐		
Enersol Technologies			☐	☐	
Enviroarc				☐	☐
EER			☐		
Europlasma		☐		☐	
IET			☐		
Geoplasma			☐		
Hawkings Industries			☐		
Hitachi Metals			☐		
Hitachi Zosen				☐	
Meltran		☐			
MHI				☐	
MSE		☐			
PEAT			☐		
PET		☐	☐		
Phoenix Solutions		☐		☐	
Plasco			☐		
Pyrogenesis			☐		☐
ReTech		☐		☐	
Solena			☐		
Soliton		☐	☐	☐	
SimAcademConsulting		☐		☐	
SRL Plasma		☐			
Startech			☐		
Tetronics		☐	☐	☐	
TSL Engenharia Ambiental	☐				
Westinghouse		☐	☐	☐	

Figura 3.2.7.2.1.-Tecnologías de plasma ofrecidas por cada proveedor.

3.2.8 Ventajas y desventajas de la tecnología de plasma.

Se pueden encontrar muchas tablas en internet resumiendo las ventajas asociadas con los procesos de plasma a la hora de procesar residuos. Algunas de estas ventajas solo se aplican a diseños de procesos particulares de empresas, pero se ponen en entredicho cuando se habla de los procesos de plasma en general. También se da el caso contrario: comentarios centrándose en las desventajas asociadas al uso del plasma en general, limitaciones que no todos los sistemas tienen. Esto desemboca en una gran confusión en el mercado. En algunos casos, hay compañías que toman como ventaja lo que sus rivales objetan como desventaja. Por ejemplo, algunos diseños de procesos pueden requerir la reducción del tamaño de los residuos que entran, mientras que otros diseños promueven esto como una característica del proceso en sí.

El análisis muestra que muchas de las ventajas son válidas en principio, pero aún están por demostrar a través de datos operacionales de una planta comercial a escala completa de referencia. Es esta ausencia de datos corroborativos lo que da lugar a diferentes perspectivas en el atractivo de las tecnologías de plasma para procesos de residuos a gran escala.

Son ventajas:

- **Gran reducción en el volumen de residuos:** Es verdad que la tecnología de plasma puede conseguir una mayor reducción en el volumen que los procesos a menores temperaturas, debido a los mayores niveles de quemado de carbono que se pueden esperar de la mayoría de los procesos de plasma. No obstante, el incremento actual es marginal: no se espera que haya más de un 5% de reducción adicional del volumen, cuando comparamos con una incineración común de residuos urbanos.
- **Mayor destrucción térmica:** Esta afirmación es correcta en principio pero no es válida en la práctica para muchos diseños. Las grandes temperaturas a las que operan los procesos de plasma son claramente beneficiosos para volatilizar orgánicos en los residuos y romperlos en moléculas más simples. No obstante, alcanzar esto depende en gran medida de las características de transferencia de calor del reactor. Algunas configuraciones comerciales necesitan de una segunda cámara de combustión o etapa de craqueo, lo que demuestra que la completa rotura de las moléculas orgánicas más pesadas no se llevó a cabo del todo en el reactor de plasma; mostrando que no es una ventaja tan clara como quieren hacer ver.
- **Contaminación limitada:** Los datos de plantas piloto de demostración indican que estos procesos pueden cumplir con límites de emisiones permitidos cuando se procesan determinados residuos. Pero el nivel de emisiones no es algo remarcable y es similar al de otros procesos más convencionales, de los cuales se tienen más datos y de plantas comerciales que llevan mucho tiempo funcionando.
- **Pueden ser configurados para tener una menor huella:** Los reactores de plasma no requieren de un gran número de parrillas en movimiento como las incineradoras convencionales. El tiempo de residencia es menor, por lo que el volumen por unidad procesada es menor. Además, algunos procesos pueden ser configurados para degradar residuos sin una entrada de aire (bajo condiciones de pirolisis) y como consecuencia la tecnología puede ser configurada para tener una huella menor. Esto podría ser una ventaja significativa en algunos proyectos.
- **Se puede usar para una gran variedad de residuos:** Esto puede ser una ventaja significativa para muchos proyectos. Significa que el plasma puede ser una solución práctica para muchos tipos de residuos difíciles de tratar. Puede facilitar también la co-procesación de residuos, lo que puede ser atractivo en ciertos contextos, como en una isla.
- **No se requiere reducción del tamaño:** En teoría esto es una ventaja significativa si lo comparamos con otros procesos nuevos como la pirolisis o la gasificación, pero no es una ventaja si lo comparamos con la incineración, que tiene una capacidad probada de tratamiento de los residuos según llegan, sin reducción de tamaño.
- **No es necesaria una preclasificación:** Muchas tecnologías de tratamiento de residuos pueden ser configuradas para aceptar todos los residuos de un determinado tipo. En temas de flexibilidad, el no requerimiento de una preselección es una ventaja.
- **Menos emisiones de dioxinas:** Cuanto más alta sea la temperatura más probabilidades hay de que se destruyan completamente las dioxinas y los furanos presentes en los residuos. No obstante, las dioxinas emitidas por cualquier

proceso a alta temperatura son nuevas moléculas, formadas aguas debajo de la cámara de combustión primaria, por lo que la destrucción completa dentro del proceso no es equivalente a una menor emisión de dioxinas y furanos a la salida del proceso. El diseño de los elementos aguas abajo es un parámetro muy importante que afecta directamente en la cantidad de emisiones, y esto es independiente del tipo de fuente de energía que usemos en el proceso, sea plasma o no. Por tanto un proceso de plasma puede tener menos emisiones o puede no tenerlas, pero es un error afirmar que solo por las altas temperaturas alcanzadas tendrá menos emisiones de dioxinas que otros procesos.

- **Recuperación de energía de alta eficiencia:** Muchos de los desarrolladores de gasificación de plasma indican que sus diseños utilizarán motores de gas o turbinas de gas para recuperar la energía. Lo que importa es la energía neta convertida, cuando se tiene en cuenta los altos requerimientos de energía interna del proceso de plasma y de la compresión del syngas para las turbinas.
- **Lo que se obtiene a la salida es material inerte:** Esto podría ser una ventaja significativa en algunos contextos, pero en otros es solo un beneficio marginal. Vitrificar el material de salida, haciéndolo inerte, es siempre deseable, pero reduce la cantidad de energía neta que se obtiene del proceso. Los factores que se tienen que tener en cuenta son: la cantidad de espacio disponible, la utilidad del vitrificado, la naturaleza del residuo de entrada y los detalles económicos del proyecto. La mayoría de las plantas que operan en Japón utilizan la vitrificación, y utilizan el material vitrificado comercialmente.

Son desventajas:

- **Actualmente solo se utiliza para aplicaciones a escala pequeña:** Aunque muchos desarrolladores de procesos han remitido propuestas a diferentes ayuntamientos para implanta sistemas a gran escala (hasta un millón de toneladas por año) para procesar residuos urbanos, la tecnología no ha sido aún probada para sistemas tan grandes, y la mayoría de las plantas comerciales existentes operan con menos de tres mil toneladas al año.
- **Requiere gran cantidad de energía eléctrica para operar:** Se necesita una significativa cantidad de energía para generar el plasma. Esto significa que entre un 20% y hasta más del 100% de la energía contenida dentro de los residuos se consume internamente para alimentar el proceso, y por consiguiente no se puede exportar. No obstante, lo que importa es la energía neta que se obtiene, no el nivel de energía consumido. Con respecto a esto último, los datos muestran que algunos procesos de plasma pueden generar una gran cantidad de energía neta cuando procesan residuos urbanos no peligrosos y comerciales, siempre y cuando utilicen técnicas de recuperación de alta eficiencia. En aplicaciones donde se destruyen residuos peligrosos lo que prima es la total destrucción e inertización de dichos residuos, y por tanto el tema energético pasa a un segundo plano. Para saber si un proceso de plasma va a ser una solución eficiente energéticamente hablando hay que estudiarlo aisladamente, no se puede generalizar para todos.
- **Mayor coste capital que la incineración tradicional:** Es difícil obtener buenas estimaciones de los costes de capital debido a la limitada actividad comercial

existente. Pero los datos sugieren que el coste varía entre los 0,2 y 0,34 millones de dólares por toneladas por día. Los costes se irían reduciendo conforme los suministradores fuesen sacando nuevas generaciones de antorchas y la tecnología se mejorase.

- **Altos costes de mantenimiento:** Algunos datos parecen indicar que las plantas de tratamiento de residuos mediante plasma tienen mayores costes de mantenimiento que plantas que usan tecnologías convencionales. La desventaja deriva de los problemas generados por la corta vida útil de los electrodos y las antorchas. Si se incrementara la comercialización, habría un mayor desarrollo de estos sistemas, y es posible que los costes de mantenimiento se fuesen reduciendo progresivamente y se situasen en un rango parecido al de tecnologías de procesos mucho más maduras, como la incineración.
- **Altos costes de operación:** Los datos indican que los costes de operación pueden ser significativamente más altos que aquellos asociados con otros tipos de tecnologías.
- **La limpieza del syngas no está bien desarrollada y los sistemas de alta eficiencia de recuperación energética están sin probar:** Si queremos usar el syngas en equipos de recuperación de energía de alta eficiencia hay que someterlo a un proceso de lavado con unos estándares relativamente altos, para minimizar de este modo la formación de alquitranes, partículas, gases ácidos y compuestos metálicos pesados. Mientras que las técnicas de depuración de los gases de combustión están ya muy estudiadas, la depuración del syngas está menos probada en aplicaciones de residuos. Solo hay unas pocas plantas alrededor del mundo que utilizan motores de gas para recuperar energía del syngas. No hay procesos actualmente que utilicen turbinas de gas para recuperar energía del syngas.
- **Relativamente sin probar para aplicaciones de residuos sólidos:** Quitando la vitrificación de cenizas, solo unos pocos sistemas oxidativos a escala pequeña de menos de 10 toneladas por día están operando.
- **Pocos suministradores con experiencia comercial:** Hay relativamente pocos desarrolladores de tecnología de plasma que tengan plantas comerciales de referencia operando.

3.2.9 ¿Están probadas las tecnologías de plasma?

Los análisis de los datos que se tienen muestran que los procesos de plasma para tratar residuos están relativamente sin probar comparados con otras tecnologías. Hay algunas plantas de vitrificación de cenizas, pero muy pocos procesos configurados para aceptar otro tipo de residuos. La planta más grande de la que se tienen datos está en Japón y procesa 166 toneladas por día.

A continuación resumiré la experiencia que se tiene con cada una de las tecnologías de plasma y las tecnologías térmicas convencionales:

- ❖ **Combustión de plasma:** Con este tipo de tecnología no se tiene experiencia en plantas para el tratamiento de residuos urbanos. Hay diez plantas en todo el mundo para tratar otro tipo de residuos repartidas entre Alemania, USA, Suiza, Japón, Francia y Canadá. La escala de estas plantas varía entre menos de 0,3 y 1,5 kilo toneladas por año. Hay unos cinco proveedores de esta tecnología con experiencia comercial.
- ❖ **Vitrificación de plasma:** Hay más de veinte plantas tratando cenizas de incineración repartidas entre Francia y Japón. Tienen una capacidad de hasta 15 kilo toneladas por año. Hay unos diez proveedores de esta tecnología con experiencia comercial.
- ❖ **Gasificación por plasma:** Hay entre siete y diez plantas configuradas para tratar varios residuos peligrosos (material médico y residuos radioactivos de baja emisión), repartidas entre Japón y USA. No hay ninguna planta para tratar residuos urbanos. Estas plantas tienen una capacidad que varía entre 0,3 y 50 kilo toneladas por año. Hay unos seis proveedores de esta tecnología con experiencia comercial.
- ❖ **Gasificación por plasma asistida:** Hay dos plantas con esta tecnología para tratar residuos urbanos y una planta para tratar residuos de curtiduría, en Japón y Noruega. Tienen una capacidad que varía entre 5 y 50 kilo toneladas por año. Hay unos tres proveedores de esta tecnología con experiencia comercial.
- ❖ **Incineración convencional:** Esta tecnología está más que probada y hay más de 1000 plantas de referencia a lo largo del mundo. Tienen una capacidad que varía entre 0,1 y 1.100 kilo toneladas por año. Hay unos seis proveedores de esta tecnología a nivel mundial para residuos urbanos.
- ❖ **Gasificación y pirolisis convencional:** Existe unas diez plantas a lo largo del mundo que usen esta tecnología para tratar residuos urbanos y un número pequeño de plantas que gasifican biomasa, repartidas entre Europa, Asia y USA. Tienen una capacidad que varía entre 8 y 100 kilo toneladas por año. Hay un gran número de proveedores pero solo hay cinco con experiencia comercial con su propia tecnología.

3.2.10 Material de salida del proceso: Comercialización y huella.

Las principales salidas de los procesos de plasma son:

- Metal derretido;
- Escoria vitrificada;
- Energía, normalmente en forma eléctrica.

3.2.10.1 Metales

Algunos sistemas de plasma pueden recuperar metales en forma de aleación derretida. No obstante, para residuos urbanos sigue siendo preferible la separación magnética y los métodos clásicos. La recuperación secundaria de una aleación puede ser interesante

comercialmente hablando para los residuos eléctricos y equipos electrónicos, y para residuos de auto destructora, debido a las significativas cantidades de cobre que hay presentes y las pequeñas concentraciones de oro, rodio y otros metales valiosos. En estos casos, la aleación recuperada tendrá un valor. Para otros residuos más generales y comunes se debe asumir un valor cero para la aleación que se recupere. Debido a que la densidad de la aleación metálica normalmente bastante alta, se han desarrollado nuevos mercados en Japón para su uso como contrapeso para los camiones-tenedor elevadores y equipo relacionado. Esto es una aplicación muy práctica porque no requiere la purificación de cada uno de los metales de la aleación.

3.2.10.2 Escoria vitrificada

Las compañías de procesos de plasma aseguran que se puede reutilizar la escoria vitrificada resultante de dichos procesos. Este material puede usarse como agregado para la construcción de carreteras y usos similares en construcción. La planta de tratamiento de residuos urbanos de Utashinai, Japón, que opera con plasma, manda la escoria vitrificada a un vertedero. Esto indica que en ciertos casos la gestión de este material llevará unos costes implícitos.

La venta de agregados derivados de los residuos como pueden ser el compost o la escoria vitrificada rara vez dan beneficios. En el mejor de los casos, el precio que se consigue cubre el coste de producción y gestión. Sin embargo, esta opción sigue siendo atractiva porque te ahorras el coste del vertedero.

En un futuro, puede que con el aumento de las limitaciones en la explotación de las canteras de agregados, la demanda por la escoria vitrificada aumente. Esta medida ya se toma en algunos países, donde los gobiernos usan los impuestos sobre el sector de la minería para favorecer la reutilización de materiales inertes.

Desde un punto de vista medioambiental, al tratar los residuos a temperaturas superiores a los 1.500°C, se piensa que la escoria vitrificada es inerte y no lixiviará. Esto no es necesariamente cierto, aunque muchas compañías aportan datos que muestran que el nivel de lixiviación de ciertos contaminantes está órdenes de magnitud por debajo del límite.

3.2.10.3 Energía recuperada

La energía recuperada de los residuos en forma de electricidad es un bien con el que se puede comerciar y obtener unos beneficios, y es independiente de la tecnología a través de la cual recuperamos la energía. En algunos países la electricidad generada de fuentes renovables tiene primas. En Inglaterra por ejemplo, la gasificación está considerada como una tecnología de conversión avanzada, y la electricidad que se exporta a la red la pagan 2,5 veces más sobre el precio base.

La cantidad de energía neta que se puede recuperar de los procesos de plasma ha dado pie a muchas especulaciones, debido en parte a que no se ha operado con cantidades suficientemente grandes de residuos, y a menudo intermitentemente, por lo que la recuperación de energía no es comercialmente atractiva. A todo esto se añade que los

sistemas de plasma usados para tratar residuos peligrosos a pequeña escala no tienen la opción de recuperar energía.

La gasificación de plasma se sitúa entre las opciones que más se promueven para tratar residuos a gran escala, debido mayormente a la posibilidad de generar syngas, y recuperar de este modo energía para afrontar los altos consumos de la generación del plasma.

Los datos indicativos para los procesos diseñados para tratar residuos urbanos muestran grandes variaciones en la recuperación neta de energía, con rangos que van desde cero hasta cuatro veces la energía necesaria. Uno de los motivos de esta variación tan grande está en la pobre calidad de los datos, que están sin normalizar y son indicativos. Se necesita una normalización para tener en cuenta el poder calorífico de los residuos de entrada, y la energía específica que se necesita para que el plasma convierta tipos particulares de residuo.

En casi todos los diseños de los procesos de plasma, se asume que el syngas que se obtiene del procesamiento de residuos urbanos, se podrá utilizar en motores de gas o turbinas de gas de alto rendimiento. No obstante, ninguna de estas configuraciones se ha probado a escala comercial. Se podría dar el caso de que estas opciones de alta eficiencia no fuesen viables, y se tuviesen que utilizar turbinas de vapor convencionales. En estos casos, las pérdidas de conversión del syngas en electricidad serían mayores (75-80%) de lo que habíamos supuesto. Por tanto, si el syngas se transformase por vía de un ciclo de vapor convencional, las pérdidas de energía se incrementarían en 0,2-0,3 MWh/T. La máxima energía neta de salida de este proceso sería un 40% menor que la de una incineradora convencional, y en algunos casos no se llegaría a generar suficiente electricidad para operar y se tendría que importar de la red.

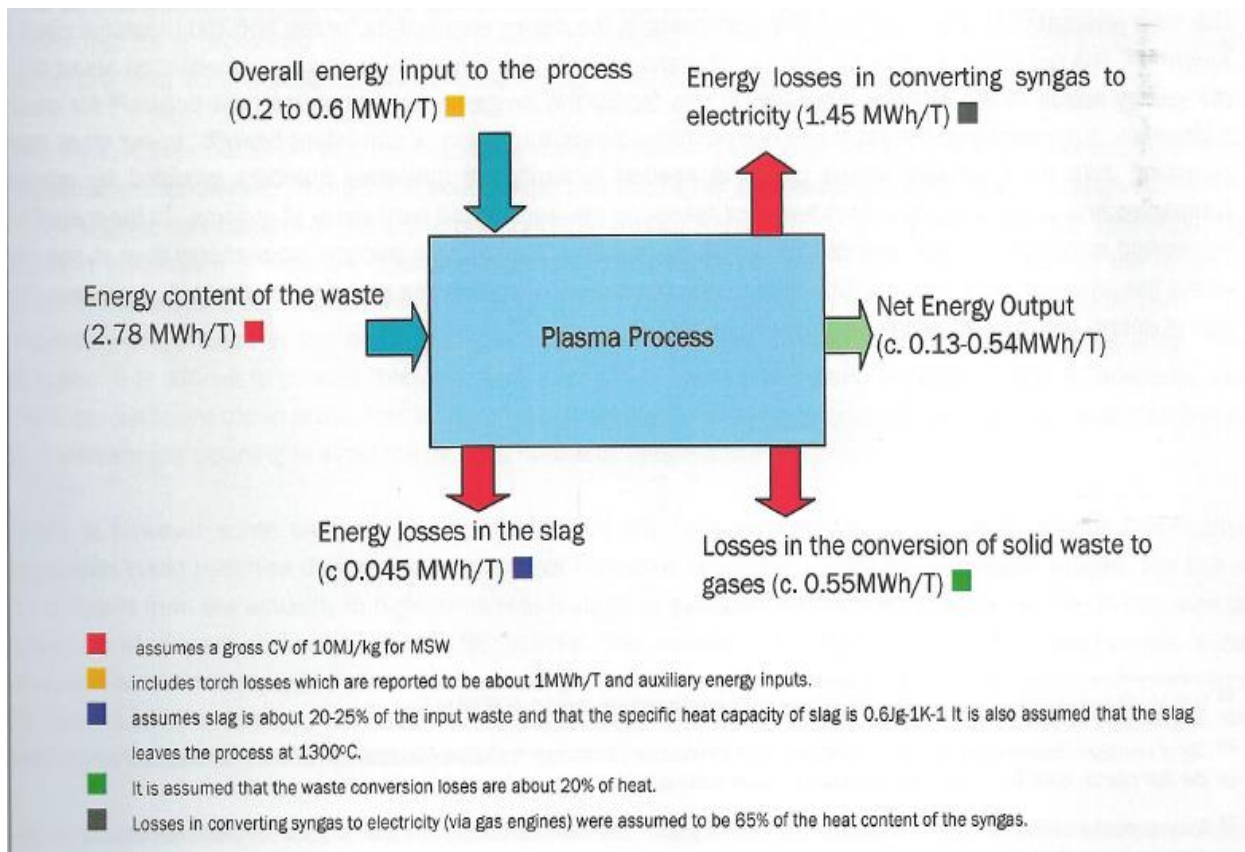


Figura 3.2.10.3.1.- Posible balance de energía para procesos de plasma.

3.2.11 Emisiones y contaminación.

Existe la visión generalizada de que los procesos de plasma producen menos emisiones que los tratamientos de residuos con tecnologías convencionales, como la incineración; y por razones obvias, los interesados en la tecnología de plasma usan esto como un reclamo para promover su tecnología por encima de la incineración.

Los gobiernos ponen límites estrictos que deben ser cumplidos por todas las plantas, sin importar que sean de incineración, plasma o cualquier otra tecnología térmica. Por esta razón, se ha discutido que conseguir un menor nivel de emisiones no tiene relevancia.

También se atribuye al plasma aparte de las cero emisiones, la no producción de dioxinas. Vamos a empezar con el tema de las dioxinas, que algunos proveedores de plasma consideran un área en el que son superiores a otras tecnologías térmicas. Dioxina es el nombre genérico que se usa para describir 210 estructuras de isómeros: 75 de las cuales son moléculas policloro-dibenzo-p-dioxinas (PCDDs) y 135 son policloro-dibenzo-furanos (PCDFs). Los estudios han revelado que la mayoría de las dioxinas se forman dentro de las regiones de enfriamiento de los procesos, e involucran cloro y compuestos orgánicos

(normalmente llamados productos de combustión incompleta) en las conocidas como reacciones de síntesis “de-novo”.

Por tanto, no se establece una relación que indique que cuanto mayor sea la temperatura de procesamiento de la basura menor serán las emisiones de dioxinas. Aunque si se podría considerar que a mayor temperatura, mayor conversión de los constituyentes orgánicos de los residuos, y por tanto se reduciría la probabilidad de la formación de dioxinas aguas abajo, la descomposición de los elementos orgánicos no solo depende de la temperatura. De hecho se está discutiendo mucho que las concentraciones de los compuestos orgánicos (productos de una combustión incompleta), que se necesitan para formar dioxinas en cantidades suficientes, son tan pequeñas, que están presentes en todos los procesos térmicos, sin importar la temperatura de operación.

Hay cierto crédito, no obstante, en las afirmaciones de que las condiciones presentes en los procesos de gasificación de plasma podrían minimizar las dioxinas, ya que las reacciones de formación de éstas requieren normalmente exceso de oxígeno. Pero esto ocurre exactamente igual con las plantas de gasificación de alta temperatura que no operan con plasma. En Japón hay unas 85 plantas de gasificación convencional comercialmente operativas a una escala considerable.

Contaminantes	Datos normalizados (ng/Nm ³)
Datos de Plasco. Tests de residuos biomédicos.	0,005
Datos de IET. Tests de residuos médicos, peligrosos y electrónicos.	0,056
Datos de VRI. Tests de residuos de agricultura.	0,026
Datos de la planta de Utashinai, Japón.	<0,01
USEPA HWC MACT	0,19-0,44
European Union Waste Incineration Directive (EU WID)	0,1

Figura 3.2.11.1.-Datos de emisiones de dioxinas de varios proveedores de tecnologías de plasma.

Aunque los datos muestran que los procesos de plasma pueden cumplir con los límites de emisiones de dioxinas más estrictos, muchas de las incineradoras y plantas de gasificación modernas, tienen niveles similares o incluso mejores. A continuación pongo el ejemplo de datos de dos empresas importantes:

- Energos: Esta compañía Noruega, que desarrolla tecnología de gasificación, tiene 7 plantas repartidas entre Noruega y Alemania, que procesan residuos urbanos e industriales. Sus emisiones de dioxinas son **0,004-0,037 ng/Nm³**.
- Nippon Steel: Esta compañía Japonesa, que desarrolla tecnología de gasificación, tiene 24 plantas procesando varios tipos de residuos en Japón (lodos, residuos urbanos, industriales, etc). Sus emisiones de dioxinas son **0,019-0,039 ng/Nm³**.

No hay pruebas reales que indiquen que el plasma puede reducir las emisiones de otros contaminantes químicos, como el SO₂, HCl, H₂S sin implantar medidas de depuración de

los gases aguas abajo. Esto no es ninguna sorpresa, ya que el mayor factor para determinar el nivel de contaminantes que se habrán de tratar en los procesos térmicos, es la composición de los residuos de entrada. En este aspecto el plasma no difiere de los procesos térmicos convencionales, ya que ambos tratan el mismo tipo de residuos. Cuando las compañías resaltan el hecho de que los contaminantes presentes en los gases de salida son menores, esto se debe a una limpieza del gas aguas abajo y no al plasma en sí.

Es importante destacar que los procesos de plasma pueden reducir significativamente el tamaño de las etapas de limpieza y depuración de gases, y por tanto, reducir el capital y los costes de operación. El hecho de que los residuos puedan ser degradados sin la adición de exceso de aire, significa que los equipos de limpieza de gases aguas abajo pueden ser diseñados para gestionar volúmenes de gas más pequeños.

El tratamiento de plasma o la incineración de residuos sólidos no producen efluentes líquidos directamente. Sin embargo, se generan líquidos en el enfriamiento del syngas aguas abajo y en los procesos de limpieza y depuración. La gasificación de plasma se configura normalmente de una de estas dos formas:

- Para producir un syngas sucio, que se combustiona dentro del proceso
- Para producir un syngas limpio que se puede usar en sistemas de recuperación de energía de alta eficiencia (motores de gas y turbinas de gas) o como alimento químico para otros procesos.

En el primer caso, el syngas se combustiona, lo que no produce efluentes líquidos (las dos plantas en Japón que tratan residuos urbanos con plasma tienen esta configuración).

En el segundo caso, el syngas primario tiene que ser limpiado para reducir los niveles de compuestos como sulfuro de hidrógeno y amonio; y también debe ser enfriado para reducir el contenido en humedad del syngas limpio. Para reducir los contaminantes químicos el syngas primario se pasa por unos depuradores húmedos que producen un efluente líquido. El enfriamiento del syngas también produce unos efluentes líquidos que deberán ser gestionados. Debido a que el plasma puede procesar alimento con bajo poder calorífico como lodos, la mayor humedad de esta alimentación resultará en más líquidos generados en las etapas de limpieza y enfriamiento del syngas aguas abajo.

Los procesos de plasma tienen en común con otras tecnologías térmicas que requieren sistemas de control de polución del aire para limitar la emisión a la atmósfera. Estos sistemas generan cenizas y residuos de depuración (que pueden ser sólidos, lodos o líquidos, dependiendo de la tecnología de depuración utilizada). Debido a la presencia de metales pesados y otros contaminantes estos materiales normalmente se consideran peligrosos. Los procesos de plasma tienen la ventaja sobre algunos procesos térmicos, que no todos, que es factible utilizar esas cenizas en la cámara de plasma junto con la alimentación de residuos y derretirlas.

Como cualquier otro tipo de tecnología de tratamiento de residuos, los sistemas de plasma generan residuos secundarios. De por sí, estos residuos secundarios no son un problema porque existen muchos métodos para mitigar la amenaza medioambiental que suponen.

3.2.12 Viabilidad económica de las tecnologías de plasma.

Una parte esencial de la valoración de un proceso es considerarlo desde el punto de vista económico. Las tecnologías de plasma han sido usadas en aplicaciones muy concretas durante muchos años, y esto sugiere que es una opción viable para algunas aplicaciones. Es difícil encontrar datos económicos de estas operaciones debido a la necesidad de las empresas de proteger sus intereses comerciales y a la especificidad de las aplicaciones. En la figura que se incluye a continuación se puede observar los datos económicos de seis empresas diferentes.

Capacidad de la planta (toneladas por día)	Costes de capital en millones de dólares	Costes de capital en millones de dólares por tonelada por día	Costes de capital en millones de dólares por tonelada por año
24	5,5	0,23	764
200	38-45	0,19-0,23	633-766
50-125	24	0,19-0,48	633-1600
230	50	0,22	733
50	17	0,34	567

Figura 3.2.12.1.-Costes de capital indicativos para la gasificación por plasma.

Los datos resumidos en la figura anterior, muestran que los costes son generalmente más altos que aquellos asociados a otras tecnologías térmicas alternativas, diseñadas para procesar residuos urbanos.

A escalas inferiores a las 70.000 toneladas por año, a las cuales las incineradoras convencionales están consideradas relativamente poco económicas para procesar residuos urbanos, los costes de capital son comparables con aquellos de los procesos de plasma. Mientras que para incineradoras de gran escala los costes de capital son más de la mitad que los de la mayoría de procesos de plasma.

Los datos sobre los costes de operación de los sistemas de plasma varían mucho. Esto se debe en parte, a que los diferentes tipos de residuos que se pueden tratar requieren diferentes cantidades de energía para ser procesados, y la vida útil de la antorcha de plasma y de los electrodos también varía. Los electrodos de grafito que se usan en algunas configuraciones se desgastan con el tiempo, y las antorchas de plasma expuestas a las condiciones del reactor pueden sufrir corrosión. Es difícil comparar estos requerimientos de mantenimiento con aquellos de otras plantas térmicas, porque no hay datos reales de plantas de plasma comerciales a gran escala. Datos indicativos sugieren que el gasto de mantenimiento requerido por las tecnologías de plasma podría estar alrededor de 13 dólares por tonelada para plantas con una capacidad de unas 200.000 toneladas al año. El coste de mantenimiento para una incineradora de la misma

capacidad es de 8 dólares por tonelada. Los datos económicos para plantas diseñadas para tratar residuos urbanos va desde los 50 dólares para plantas con una capacidad de 200 toneladas por día, hasta los 450 dólares por tonelada para plantas con una capacidad de 10 toneladas por día. Estos costes de operación son mayores que los de las incineradoras, que van desde los 65 dólares por tonelada para una planta de 230 toneladas por día, hasta 28 dólares por tonelada para una planta de 1.333 toneladas por día.

4 Tratamientos biológicos de los residuos.

4.1 Compostaje.

El compostaje consiste en la transformación, mediante fermentación aerobia, de la materia orgánica presente en los residuos urbanos, con la finalidad de conseguir un producto no tóxico, y con buenas propiedades como fertilizante. Dicho producto recibe el nombre de "compost". Según datos del Plan Nacional de Residuos Urbanos, el 44,06% de los residuos de nuestro país son materia orgánica.

4.1.1 Criterios de calidad.

Para obtener un compost de calidad óptima hay que cuidar dos aspectos:

- Separar materiales no deseables, cuya degradación biológica es difícil (plásticos, vidrio, etc), o los que puedan tener elementos tóxicos, como metales pesados, productos químicos, etc. En este último caso la absorción de éstos por parte del cultivo receptor del compost podría suponer un grave riesgo para la población.
- Tener en cuenta la granulometría final del compost. Esta se determina por el proceso de homogeneización y fermentación de los residuos.

La legislación vigente exige unos criterios mínimos de calidad para el compost y que se recogen en el Real Decreto 72/1988 de 5/2788 sobre fertilizantes y afines, modificado por el Real Decreto 877/1991, sobre ordenación y control de fertilizantes y afines; por otro lado la Orden 28/5/98 desarrolla el Real Decreto 71/1988 de ordenación y control de fertilizantes.

4.1.2 Estabilización del compost.

La estabilidad del compost obtenido está definida por las características de olor, mantenido en condiciones húmedas. La no estabilización provoca una tasa elevada de actividad microbiana y, por tanto, del grado de estabilidad.

Por otro lado, un proceso de compostaje bien diseñado, convierte los materiales entrantes en productos seguros para su uso; no los esteriliza, por lo que aporta una comunidad microbiana activa, que proporciona beneficios a los suelos pobres.

Una experiencia realizada en Helsinbé demostró que el impacto negativo de malos olores ocurría en las primeras etapas de las pilas de compost, debido fundamentalmente a ácidos carboxílicos y las mediciones bacteriológicas más elevadas tuvieron lugar durante el proceso de trituración y volteo, sobre todo durante el verano y con las pilas secas. Los

hongos más comunes en el aire pertenecen al género “Aspergillus”, pero en ningún momento consistían un peligro para la salud.



Figura 4.1.2.1.-Pila de compost estabilizado.

4.1.3 Usos del compost.

Una de las vías más importantes de recuperación de los suelos agotados como consecuencia del cultivo intensivo es la utilización de materia orgánica para aplicarla sobre los mismos. Las fuentes naturales de materia orgánica que tradicionalmente más se han utilizado han sido el estiércol y las turbas, pero son cada vez más escasas y caras. Se han tenido que buscar soluciones alternativas, de coste asequible que alcance los fines buscados. La fracción orgánica de los residuos urbanos o los lodos de depuradora constituyen una fuente importante de materia orgánica. Sin embargo, la utilización de estos residuos entraña algunos riesgos como:

- Presencia de metales pesados, contaminantes orgánicos y microorganismos patógenos

- El uso de materia orgánica poco estabilizada puede dar lugar a una disminución del oxígeno a nivel radicular, un bloqueo del nitrógeno y una elevación de la temperatura, algo perjudicial para el crecimiento de las plantas.

Por este motivo se debe llevar a cabo con los residuos frescos un proceso de estabilización y compostaje que permita obtener un producto final denominado compost, que pueda ser utilizado en agricultura sin provocar los efectos negativos ya indicados tanto sobre el suelo como sobre las plantas, así como regenerar los suelos.

4.1.4 Procesos de elaboración del compost.

La finalidad de un proceso de compostaje es obtener un producto final estable a partir de la materia orgánica. Se realiza mediante procesos de conversión biológica.

Para llevar a cabo cualquier clase de tratamiento, los organismos heterotróficos son de una importancia primordial por necesitar compuestos orgánicos como fuente de carbono y energía. La fracción orgánica de los residuos urbanos contiene normalmente cantidades adecuadas de nutrientes, tanto orgánicos como inorgánicos, para soportar este cambio biológico de los residuos. Sin embargo, con algunos residuos comerciales, puede que los nutrientes no estén presentes en cantidades suficientes. En estos casos es necesaria una adición de nutrientes para el correcto crecimiento bacteriano para conseguir la degradación de estos residuos orgánicos. Los organismos quimioheterotróficos pueden agruparse según su tipo metabólico y según sus necesidades de oxígeno molecular. Los organismos que generan energía mediante el transporte de electrones, mediado por enzimas, desde un donante hasta un receptor de electrones externo como es el oxígeno, tienen un metabolismo respiratorio. En contraste, el metabolismo fermentativo no implica la participación de un receptor externo de electrones.

La fermentación es un proceso productor de energía menos eficaz que la respiración; en consecuencia los organismos heterotróficos, que son estrictamente fermentativos, se caracterizan por tasas de crecimiento y de producción celular menores que los heterótrofos respiratorios. Cuando se utiliza el oxígeno molecular como receptor de electrones en el metabolismo respiratorio, el proceso se conoce como la respiración aeróbica. Los organismos que dependen de la respiración aeróbica para conseguir sus necesidades energéticas sólo pueden existir si hay un suministro de oxígeno molecular. Estos organismos se llaman aerobios obligados. Algunos compuestos inorgánicos oxidados con nitrato, sulfato, pueden funcionar como receptores de electrones para algunos organismos respiratorios en ausencia de este oxígeno molecular. En ingeniería ambiental los procesos que hacen uso de estos receptores se denominan procesos anóxicos, mientras que los primeros son óxicos.

Los organismos que generan energía sólo mediante fermentaciones o receptores de electrones diferentes del oxígeno se consideran anaerobios obligados. Hay otros que tienen la capacidad de crecer en ausencia o presencia de oxígeno molecular, empleando diferentes rutas metabólicas; son los que conocemos como facultativos.

Dentro del proceso aeróbico la materia orgánica junto con el oxígeno y los nutrientes (bien nitrógeno o fósforo) a través de bacterias y tras distintos procesos enzimáticos pasan a formar parte de nuevas células y materia orgánica resistente con

desprendimiento de vapor de agua, CO₂ y algunos compuestos amoniacales o de azufre, con desprendimiento de calor.

En muchos casos el amoniaco producido a partir de la oxidación de la materia orgánica

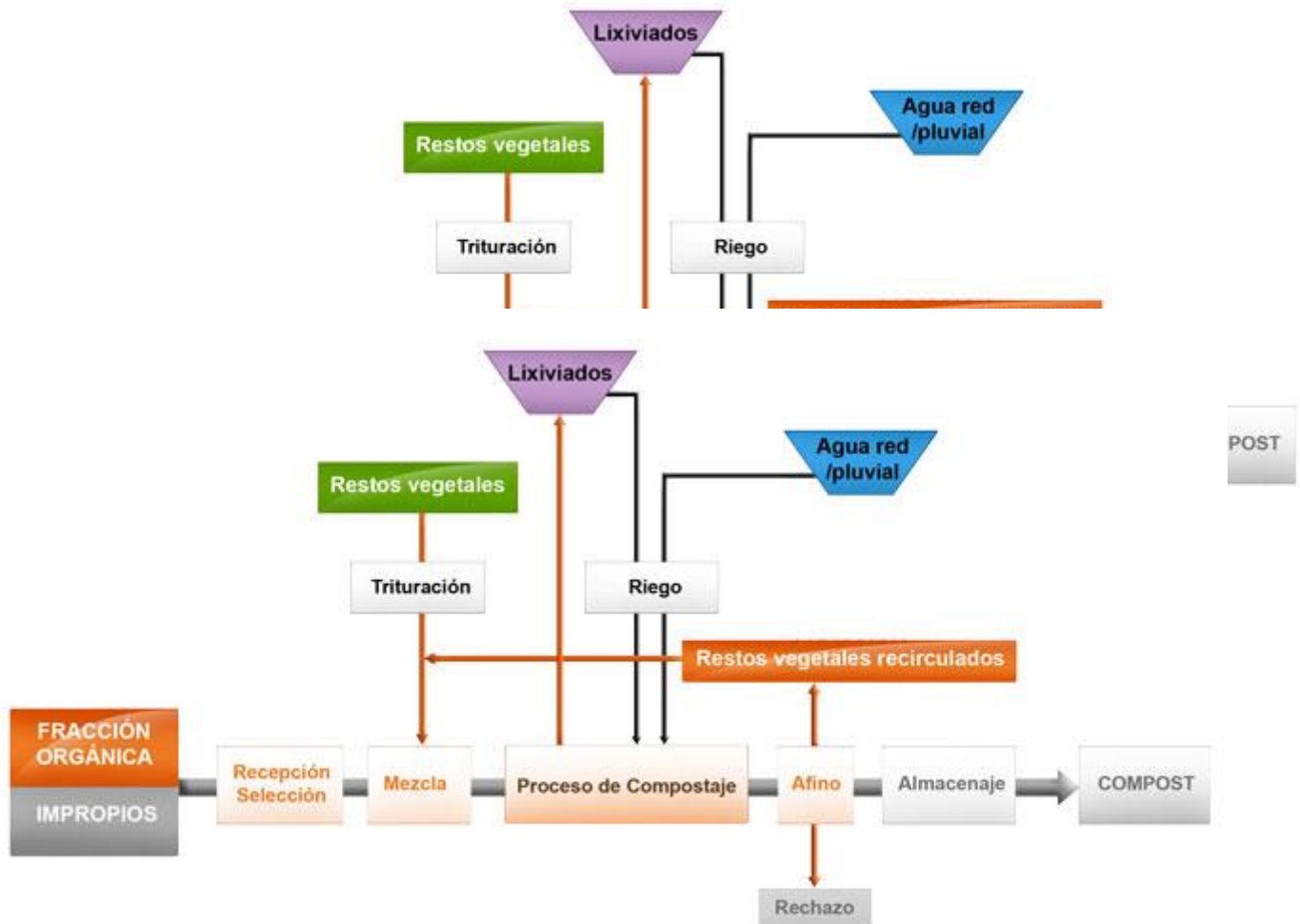


Figura 4.1.4.1.-Esquema de funcionamiento.

4.1.4.1 Recepción.

A la entrada de la planta existe un sistema de control y pesaje de materiales (báscula), tanto para los residuos de entrada como para los productos y subproductos de salida. De esta forma se tienen un control del balance de masas de la instalación.

Se disponen de unas zonas de recepción (pozos) con una capacidad de almacenaje de 48 horas de recogida de producción de residuos. El sistema de alimentación desde el pozo hasta la zona de tratamiento se realiza con puentes-grúa y tolvas de alimentación.



Figura 4.1.4.1.1.-Zona de descarga de los camiones de recogida.

4.1.4.2 Clasificación y homogeneización.

Con esta etapa se consiguen dos cosas: separar los materiales susceptibles de reciclaje y limpiar la materia orgánica fermentable de elementos no deseables para el compost.

Para conseguir estos objetivos se lleva a cabo en primer lugar una separación manual de voluminosos que se realiza por triaje manual. A continuación se utilizan sistemas mecánicos consistentes en cribas (trómeles), cintas transportadoras y separadores mecánicos y electromagnéticos, así como un triaje manual para llevar a cabo una clasificación de los residuos que pueden ser reciclados. La homogeneización consiste en lograr la granulometría adecuada para favorecer el proceso de fermentación. Hasta hace unos años se procedía a una trituración previa a la clasificación, pero se ha comprobado que esto no es adecuado ya que algunos materiales como el vidrio y plásticos al triturarse, son difíciles de separar y se quedan en el compost, contaminándolo y dando mala calidad.

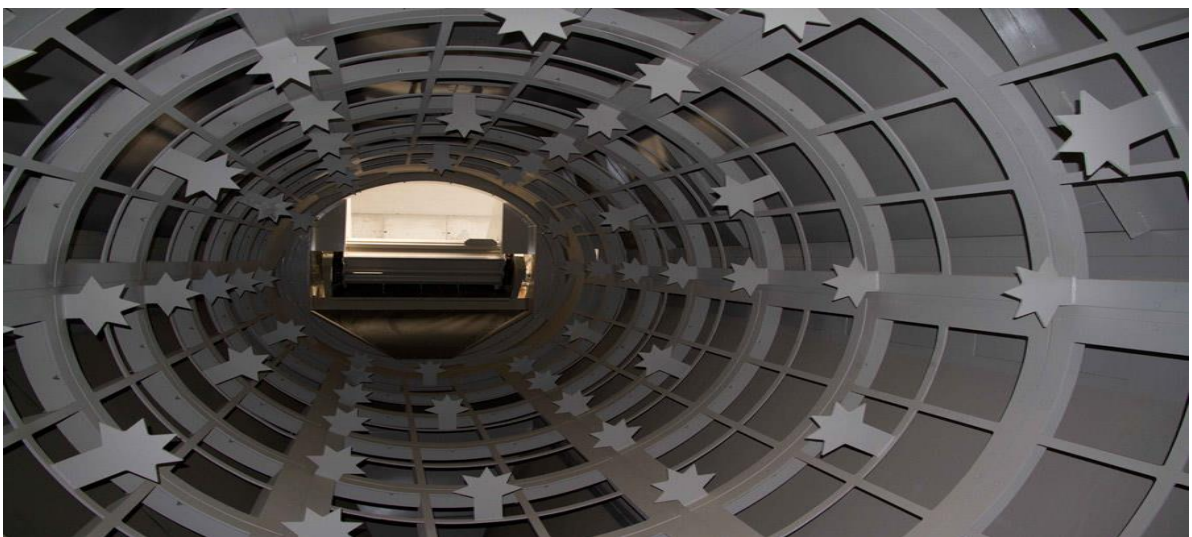


Figura 4.1.4.2.1.-Vista de un trómel por dentro.

En la actualidad esta fase se lleva a cabo según los siguientes pasos:

- Selección previa de objetos voluminosos
- Cribado (aproximadamente entre 60 y 100 mm de diámetro) a partir de la cual se obtiene lo que se denomina el “hundido de trómel” que es fundamentalmente materia orgánica y va a fermentación.
- La fracción con tamaño superior al paso del trómel irá a una línea de recuperación de materiales con destino a reciclaje. Algunos sistemas de clasificación son:
 - Dosificadores
 - Cintas transportadoras
 - Cribas vibrantes
 - Cribas rotativas (trómeles)
 - Separadores balísticos
 - Mesas densimétricas
 - Separadores electromagnéticos (corrientes de Foucault)
 - Triage manual

Los subproductos procedentes de la selección serán llevados hasta el área de reciclaje que estará dotada con contenedores y elementos móviles y mecánicos, capaz de canalizar y acondicionar los subproductos recuperados en origen o en el proceso en las mejores condiciones para su reintroducción en el ciclo productivo.

El rechazo será trasladado hasta un vertedero controlado de apoyo, imprescindible para cualquier centro de tratamiento de residuos, cuya misión será absorber la fracción no aprovechable de los mismos.

4.1.4.3 Fermentación.

En esta etapa se produce una degradación biológica de la materia orgánica por oxidación, gracias a la acción de bacterias termófilas. La masa de materia orgánica alcanza altas temperaturas, llegando hasta los 60°C. Temperaturas superiores a 50°C aseguran la destrucción de organismos patógenos y parásitos, aunque ciertas esporas y quistes resisten, por lo que finalmente el compost tendrá carácter inocuo, lo que permitirá su utilización minimizando los riesgos sanitarios. Según como se lleve a cabo el proceso de fermentación se puede distinguir:

- **Proceso de fermentación natural:** La oxidación se lleva a cabo al aire libre, en pilas que se voltean periódicamente para favorecer la fermentación aerobia y evitar olores y zonas de baja aireación en las que no se lleve a cabo el proceso de manera adecuada. Este sistema precisa de grandes superficies de terreno y la duración es de al menos 6 semanas.
- **Proceso de fermentación acelerado:** Se realiza en naves cerradas, asegurando la aireación suficiente para que el proceso de fermentación aerobio se lleve a cabo.

Así se consigue controlar mejor el proceso ya que se lleva a cabo la fermentación controlada con medios mecánicos que provocan un continuo trasiego de la masa. En estas condiciones el control sobre la humedad, temperatura y aireación de la masa es mayor, llegando a utilizar una aireación forzada que consigue mayor poder oxidante en el proceso. En este caso la fermentación transcurre en un plazo máximo de 3 semanas.

Como se ha expuesto, el compostaje es una fermentación aeróbica de un substrato por la acción combinada de varios microorganismos. Es de gran interés analizar las principales circunstancias o parámetros que intervienen en la fermentación, con el fin de mantener estos parámetros en circunstancias óptimas, en el menor tiempo posible y con el menor coste:

- **Parámetros físicos**

- **Aireación:** Es el parámetro básico de una fermentación aerobia. La aireación de la materia orgánica supone la incorporación del oxígeno del aire y la eliminación del anhídrido carbónico producido durante el compostaje. La falta de ventilación del anhídrido carbónico origina el desarrollo de microorganismos anaeróbicos que cortarían el proceso de compostaje. La ventilación de las pilas asegura por volteos periódicos de la masa compostable o por medio del aire que se inyecta o se extrae por las tuberías perforadas situadas a lo largo de la pila de fermentación. La ventilación controlada puede servirnos además para regularla temperatura de fermentación.
- **Humedad:** Junto con la aireación, son los dos parámetros de gran importancia. Los microorganismos necesitan el agua como vehículo líquido para transportar los alimentos y elementos energéticos, a través de la membrana celular. La descomposición de la materia orgánica depende del contenido en humedad. Los valores mínimos en los que tienen lugar la actividad biológica se sitúa entre el 14 y el 12%. No obstante, valores inferiores al 49% de humedad pueden limitar sensiblemente el compostaje. El contenido óptimo de humedad se encuentra en el 50 y 60%. Por encima de este valor se puede presentar anaerobiosis.
- **Temperatura:** Durante el compostaje y siempre que la humedad y la aireación sean adecuadas, la temperatura sufre la siguiente evolución. Inicialmente, los residuos fermentables se encuentran a temperatura ambiente. Enseguida, los microorganismos, que disponen de abundantes nutrientes, proliferan y la temperatura va incrementándose considerablemente. A los pocos días, se alcanzan los 40°C, finalizando la llamada fase mesofílica y se alcanza la fase termofílica. La temperatura sigue subiendo y, la mayor parte de los microorganismos iniciales mueren, y son reemplazados por otros resistentes a estas temperaturas. Más tarde, decrece gradualmente y se vuelve otra vez a temperaturas mesofílicas en un período denominado de “maduración”, caracterizado por una reducción paulatina de la actividad biológica y por una estabilización de los productos orgánicos obtenidos.

- **Parámetros bioquímicos**

- **pH:** Inicialmente, los residuos urbanos, presentan una reacción ácida correspondiente a los extractos de las sustancias orgánicas presentes, con valores próximos a 6. Con el inicio de la fermentación, los residuos adquieren mayor acidez debido a la actividad de las bacterias y a la formación de ácidos débiles. Posteriormente, el material fermentable adquiere una reacción alcalina como consecuencia de la formación de amonio al degradarse las proteínas y los aminoácidos. En la cumbre de la fase termófila, se puede alcanzar valores de pH próximos a 8,5. Finalmente, en la fase final de la fermentación o “maduración”, el pH desciende a valores próximos a la neutralidad o ligeramente alcalinos, debido a las propiedades naturales de amortiguados a efecto tampón de la materia orgánica.
- **Materia orgánica:** Durante el proceso de compostaje, las pérdidas de materia orgánica pueden alcanzar el 30%, medido como materia total. La mayoría de estas pérdidas es materia orgánica “volátil”, que corresponde a sustancias ricas en carbono. Estas pérdidas se producen en la primera fase de fermentación, que como se ha expuesto, es la fase más activa, y no durante el periodo de altas temperaturas.
- **Nitrógeno:** Si se tienen en cuenta que el destino del compost es su aplicación agrícola y que el nitrógeno es uno de los tres grandes nutrientes para los cultivos, se comprende el gran interés por evitar las pérdidas. Estas se producen cuando las cantidades de carbono asimilable son pequeñas respecto a las de nitrógeno. Este es el caso de sustancias que contienen carbono y que son resistentes al ataque microbiano, o por el contrario de sustancias que contienen nitrógeno y son descompuestas con rapidez. En el transcurso del compostaje, el contenido de nitrógeno disminuye, debido a la volatilización del amoniaco. Las pérdidas mayores se producen en los primeros días cuando la amonificación es mayor y cuando las circunstancias de alto valor de pH y elevada temperatura favorecen las pérdidas amoniacales. Las pérdidas máximas se presentan a temperaturas próximas a 35°C y no con las temperaturas máximas. Durante el proceso, las pérdidas suelen situarse en torno al 10%
- **Relación C/N:** Los microorganismos necesitan el carbono como fuente esencial de energía, y el nitrógeno para la síntesis de proteínas junto con otros elementos como el fósforo o el azufre. Durante la fermentación aerobia, los organismos vivos consumen de 25 a 35 unidades de carbono por cada unidad de nitrógeno. Este es el rango de valores de la relación C/N que se suele adoptar como óptimo en las plantas de compostaje a la hora de preparar las mezclas. Básicamente, una relación C/N elevada conducirá a tiempos de fermentación muy prolongados. Por el contrario, el compostaje de productos orgánicos con una relación C/N baja origina un rápido proceso de compostaje.

4.1.4.4 Afino.

Una vez llevado a cabo el proceso de fermentación, se procede a la fase de afino para alcanzar la granulometría adecuada, así como la eliminación de restos de materiales no deseables. Esto se consigue mediante:

- Una clasificación en trómel de diámetro 25 mm
- Separación de inertes, para lo que se utilizan mesas densimétricas, overband, etc.

Los inertes obtenidos son destinados a vertedero controlado o bien a reciclaje. La materia orgánica obtenida ya se puede considerar como compost.

4.1.4.5 Maduración

Es una etapa complementaria a la fermentación. Suele realizarse al aire libre y se prolonga durante varios meses antes de la venta del producto. Consiste en el depósito del compost en pilas que no deben superar los dos o tres metros de altura y que periódicamente deben ser volteadas para favorecer la estabilización del producto y evitar los malos olores. El parque de almacenamiento de compost estará equipado con palas cargadoras y deberá ser situado sobre terrenos hidrogeológicamente impermeables así como dotarlo de canalizaciones perimetrales para pluviales e interiores para captación de lixiviados con destino a recirculación o tratamiento específico.

4.1.5 Otros procesos de compostaje

4.1.5.1 Vermicompostaje

El vermicompostaje es también un proceso de bioxidación y estabilización de la materia orgánica, mediado por la acción combinada de lombrices y microorganismos, a través del cual se obtiene un producto denominado vermicompost. Esta práctica de biotransformación, aprovecha varias ventajas derivadas del comportamiento de las lombrices, las cuales aceleran la descomposición y humificación de la materia orgánica ya sea de un modo directo (alimentación detritívora y desplazamiento a través de las galerías) o indirecto (estímulo de la actividad microbiana). Por otro lado mejoran la estructura del producto final al provocar la ruptura de los materiales orgánicos y favorecer la formación de los agregados estables. Además, la actividad de estos detritívoros aumenta el contenido de nutrientes de fácil asimilación por las plantas y es responsable directo o indirecto de la producción de sustancias que actúan como fitohormonas.

No todas las lombrices sirven para este proceso. Las lombrices son saprófagas, esto quiere decir que se alimentan de materias en descomposición. Se pueden distinguir dos tipos:

- Detritívoras, que son las formadoras de humus.
- Geófagas, que son las consumidoras de humus.

Sólo las primeras valen para este tipo de compostaje y dentro de estas serán mejores aquellas que reúnan los siguientes requisitos:

- Ciclo biológico corto
- Capacidad reproductiva elevada
- Intervalo de tolerancia alto (factores ambientales)
- Baja sensibilidad a la manipulación

Los factores que afectan al proceso de vermicompostaje y la calidad del compost obtenido, básicamente son los mismos que los señalados anteriormente, aunque en este proceso habrá también que tener en cuenta las características biológicas de la especie de lombriz empleada (categorías ecológicas, pautas alimenticias, crecimiento y reproducción), así como su tolerancia a los factores ambientales (pH, salinidad, temperatura, presencia de amonio, etc).

El aparato digestivo de las lombrices es un reactor que provee un ambiente propio para que los microorganismos jueguen un papel importante en la descomposición de los residuos. Las lombrices derivan su nutrición de la materia orgánica en la forma de materia vegetal, protozoaria, rotíferos, nematodos, bacterias, hongos y otros microorganismos y remanentes de descomposición de otros organismos vivos.

Las evacuaciones de las lombrices son ricas en nutrientes vegetales y también contienen ciertas enzimas llamadas amilasas, proteasas, lipasas, celulasa, fructasa e invertasa, así como hormonas de crecimiento de las plantas conocidas como promotoras del crecimiento de ciertos microorganismos benéficos además de estimular el crecimiento de las plantas.

De los estudios que se han realizado en centros de vermicompostaje, cabe destacar el existente en la isla de Cuba con más de 170 centros produciendo un humus de lombriz para fertilizante agrícola. El centro más grande se encuentra en esta isla y está localizado en la provincia de Pinar del Río. En este centro el estiércol de ganadería y los residuos de precompostaje (procesados durante unos quince días a un mes en pilas volteadas dos veces por semana) sirven de alimento a las lombrices. Se colocan unas cincuenta lombrices en una caja de prueba que contiene el material para el alimento y después de un día se cuenta; el material se utiliza como alimento si al menos sobreviven cuarenta y ocho ejemplares.

Con la práctica del vermicompostaje se espera alcanzar una reducción de residuos, la mejora del medio, la estimulación para creación de empleo así como la creación de una guía práctica del proceso a escala media que permita su utilización en hostelería, escuelas, prisiones, etc.

En estos momentos se está empleando la lombriz roja. Se están probando distintos tipos de camas de lombriz, con y sin cobertura, permeables, con una base impermeable en el fondo que permitirá la recogida del lixiviado.

Los sistemas de vermicompostaje de las basuras urbanas utilizan como materias iniciales el componente orgánico de las mismas previamente superado la fase termófila de su fermentación. Por lo tanto el vermicompostaje de las basuras urbanas debe considerarse como una tecnología complementaria del proceso de compostaje. Al final del proceso, además del compost urbano tradicional se obtendría un producto más estable y de mejor textura, al tiempo que se posibilita la explotación de las lombrices como fuente proteínica para consumo animal.

En la formación de humus, se tiene que destacar la reducción de volumen, del sustrato inicial a la producción de humus que varía según el tipo de sustrato de un 33% a un 64% siendo este último estiércol.

4.1.5.2 Compostaje conjunto de la fracción orgánica de residuos municipales y residuos vegetales triturados.

A raíz de los controles realizados sobre las características de los compost de residuos obtenidos en distintas plantas de compostaje, se detectó la influencia del tipo de selección realizado en la propia planta sobre la calidad del producto final obtenido. El hecho de que se realice una selección muy enérgica de los materiales más gruesos y se elimine prácticamente todo el papel y cartón antes de la entrada al digestor, provoca que el material a tratar sea más denso, más húmedo y con una relación C/N inferior al de otra planta en la que el material de entrada se introduce directamente al digestor sin seleccionar. Estas diferencias provocan unas características muy distintas sobre el producto final y, sobre todo, serios problemas de malos olores, junto con unas elevadas pérdidas de nitrógeno.

Se intuye que los problemas que aparecen con los residuos sometidos a una selección energética en planta, pueden ser similares a los que surgen cuando se trata un residuo procedente de una recogida selectiva en origen. Comparando la composición de nuestros residuos con otros europeos, se juzgó procedente mezclar la fracción orgánica con una cierta proporción de residuos vegetales triturados. Se han realizado pruebas compostando en pilas y en túneles con un 25% (v/v) de restos de poda; en ambos casos se ha detectado una mejora en el desarrollo del proceso y en las características del producto final, así como una drástica disminución de los malos olores, por lo que se establece la conveniencia de proceder a mezclas adecuadas siempre que se elija el compostaje como sistema de tratamiento de residuos orgánicos.

4.1.5.3 Planta de tratamiento y co-compostaje.

Como alternativa a las técnicas convencionales de compostaje, se proponen nuevas soluciones, como la de una planta en la que se tratan los residuos urbanos junto con lodos procedentes de depuradora. Estudios piloto indican que el rechazo final se reduce al 18% del total de residuos entrantes, con lo que se prolonga enormemente la vida útil de los vertederos. El sistema es compatible con campañas de separación en origen pero, si no existen, la propia planta separa los valorizables tras su paso por el digestor. Además al estar toda la instalación cerrada y filtrar el aire interior, no hay problemas de malos olores en los alrededores.

La mezcla de biosólidos de depuradoras de aguas con residuos orgánicos urbanos seleccionados mejoran los compost de estos residuos por separado, consiguiendo mayor cantidad de nutrientes aportados por los lodos y mayor esponjosidad.

Se obtiene un compost de alta calidad, por medio de la conversión biológica de la fracción orgánica de los residuos urbanos, solos o mezclados con otros desechos, además de la selección de los voluminosos y los materiales revalorizables (plásticos, chatarras férricas y no férricas, etc.).

4.1.5.4 Planta para el reciclaje de residuos orgánicos en biocompost.

En el proceso de fabricación del biocompost, se pretende realizar las mismas transformaciones naturales pero de una forma más rápida. En Madrid, ha entrado en funcionamiento una planta que permitirá tratar el total los residuos producidos por las cuatro mil hectáreas de espacios verdes de la ciudad de Madrid. Esta planta tiene una capacidad de proceso de 20.000 toneladas por año, alcanzando una producción de 12.000 metros cúbicos de biocompost.

Una vez seleccionado el material que se va a tratar, se somete a una fase de trituración y desfibrado, con una máquina desfibradora, de manera que se consigue una considerable reducción de volumen, así como un aumento sustancial de la superficie de acción de los microorganismos, verdaderos artífices de la transformación. Tras la trituración, el material resultante se dispone en forma de alminar. Las medidas de estos alminares, aseguran las condiciones óptimas de higienización, así como de accesibilidad de la maquinaria. El tipo de alminar utilizado es el denominado trapezoidal.

De cualquier forma deberían considerarse los siguientes aspectos:

1. La ubicación de los alminares debe de estar a más de 100 metros de una lámina de agua.
2. El área debe tener drenaje adecuado, para su incorporación en zanjas filtrantes perpendiculares.
3. Evitar residuos inertes, sobre todo vidrios y metales que pudieran ocasionar lesiones a los operarios
4. Durante el proceso debe cuidarse el mantenimiento termófilo durante al menos tres días, evitando así los patógenos; debe voltearse para mantener una humedad adecuada.
5. Terminado el compostaje debe de cribarse el mantenimiento termófilo durante al menos tres días, evitando así los patógenos; debe voltearse para mantener una humedad adecuada.
6. Antes de su venta o incorporación al terreno debe analizarse.

Esta técnica es fácilmente aplicable a Parques Naturales, con la recuperación de podas. De igual forma puede mezclarse con otros residuos biodegradables y de fácil compostaje.

4.1.5.5 Aplicación para el cultivo de setas.

El cultivo de champiñones y setas sobre diversos sustratos está muy estudiado. Últimamente surge la tendencia de emplear como sustrato diferentes residuos, lo cual está ligado al clima del lugar de cultivo. En el proceso se debe controlar la temperatura, la ventilación y la humedad para de este modo conseguir el mejor proceso posible en la incubación, fructificación y obtener mejor cosecha.

El sustrato que se suele emplear procede de residuos vegetales de cultivo y restos de podas forestales. De este modo y debido a que la nutrición de estos heterótrofos (hongos y setas), precisa gran cantidad de celulosas, se asegura un crecimiento y desarrollo rápido. El sustrato no debe compactarse, para evitar entrar en anoxia, que inhibe el micelio y fomenta las enfermedades. Este debe ser a su vez uniforme en cuanto a tamaño (entre 3 y 5 cm).

Para llevar a cabo el cultivo, el material fresco triturado se compostea durante 10 días aeróbicamente y luego se introduce en agua a 90°C durante 30 minutos para eliminar los microorganismos existentes, dejando que se enfríe antes de la siembra. El inóculo se esparce en el sustrato, con una dosificación del 6% en peso, mezclándose en una mesa desinfectada. Tras la mezcla se introduce en bolsas que se cierran, perforándolas al tercer día. El lugar de ubicación de la bolsa debe ser oscuro durante 20 días y a partir de este momento se deja penetrar de luz solar o bien artificial, recogiendo la primera cosecha en cuatro días. La seta se debe cortar con utensilios afilados y desinfectados y así poder realizar la segunda cosecha a los diez días.

4.1.6 Uso agrícola del compost y vermicompost de residuos urbanos.

Los compost y vermicompost obtenidos a partir de residuos urbanos contienen una importante fracción orgánica, por lo que su empleo en la agricultura tradicional, tanto de secano como de regadío, resulta idóneo para contrarrestar las pérdidas de materia orgánica de los suelos, especialmente aquellos situados en zonas áridas y semiáridas, regenerando los suelos degradados y aumentando su fertilidad. Estos materiales pueden ser además utilizados como sustratos orgánicos de cultivo bajo cubierta, aunque para ello deben presentar una gran calidad. Su utilización supondría además una reducción del empleo de abonos químicos.

El compost y el vermicompost de residuos urbanos pueden ser considerados como sustancias fertilizantes, entendiéndose fertilizantes a aquellas sustancias que añadidas al suelo son capaces de actuar en sentido positivo sobre la fertilidad del medio. Estos materiales son considerados:

- Una enmienda orgánica ya que pueden modificar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Correctores orgánicos, ya que pueden mejorar el pH del suelo.
- Abonos orgánicos, ya que contienen elementos esenciales para la planta, con potencialidad de cederlos al cultivo.

Su empleo puede encontrarse limitado como consecuencia de la presencia en estos de materiales inertes, sales y otros elementos y sustancias potencialmente contaminantes, como los metales pesados y los microcontaminantes orgánicos.

4.1.6.1 Madurez y calidad de los compost y vermicompost de basuras urbanas.

Como se ha indicado con anterioridad, la legislación vigente especifica cuáles son las características del compost, tanto en contenido en materia orgánica, nitrógeno, fósforo,

humedad, etc., como en limitaciones sobre las concentraciones de metales pesados en estos materiales.

La madurez de los compost y vermicompost obtenidos a partir de residuos orgánicos se define como el grado de estabilidad de estos materiales, en función de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Constituye un importante factor que debe tenerse en cuenta antes de la aplicación agrícola de estos materiales, con la finalidad de evitar efectos adversos sobre el suelo y la planta, así como un impacto negativo sobre el medio ambiente agrícola. Entre los efectos negativos se encuentran:

- Inmovilización del nitrógeno asimilable del suelo, que provocará deficiencias de este nutriente en la planta, dependiendo de la relación C/N.
- Disminución del oxígeno del suelo, creándose condiciones reductoras del medio edáfico, que podrían aumentar la asimilabilidad para la planta de algunos metales pesados.
- Liberación de sustancias fitotóxicas desde los compost y vermicompost inmaduros que podrían afectar negativamente al desarrollo de los cultivos.

La calidad de los compost y vermicompost de residuos urbanos constituye el principal factor que afecta a la aceptación de estos materiales por la sociedad, a su valor económico y competitividad frente a otros fertilizantes orgánicos. Los criterios de calidad de estos materiales se centran en:

- Su apariencia física, que incluye la presencia de materiales inertes y emisión de olores desagradables.
- Su pobre contenido en nutrientes.
- Contenido en metales pesados, contaminantes orgánicos y microorganismos patógenos.

Con la finalidad de catalogar los compost y vermicompost para su aplicación agronómica, se tiene en cuenta una serie de características:

- Materia orgánica total, superior al 35%.
- $N > 1\%$; $P > 0,43\%$; $K > 0,41\%$.
- $Ca > 1,4\%$; $Mg > 0,2\%$; $CaCO_3 > 3\%$.
- Relación C/N inferior a 18.
- Granulometría inferior a 15 mm.
- Menor salinidad posible.
- Ausencia de patógenos y compuestos fitotóxicos.
- Ausencia de elementos extraños (vidrio, plástico, etc.), considerando adecuado un porcentaje inferior al 3%.
- La relación entre materia húmica y materia orgánica total debe ser superior al 10%, lo cual asegura la madurez del compost.
- El contenido en N-NH₄ no debe superar el 0,04% (un material con valores mayores presentaría signos de desarrollo de procesos anaeróbicos).

- Cumplimiento de la normativa Europea (D 278/86) sobre el contenido en metales pesados, siendo adecuado aplicar unos coeficientes de corrección del 0,2 a 0,3 que desciendan la concentración límite.

4.1.6.2 Efectos sobre las propiedades del suelo.

El compost y vermicompost de residuos urbanos están considerados como enmiendas orgánicas, los cuales incrementarán sobre el suelo donde se apliquen el contenido total de materia orgánica.

Dentro de lo que se consideran materia orgánica, se distinguen dos grupos, las sustancias no húmicas y las húmicas. Dentro del primer grupo aparecen compuestos de diferente naturaleza como son los hidratos de carbono, proteínas, grasas, alcoholes, celulosas, ligninas, resinas, etc. En definitiva, una serie de compuestos químicamente bien definidos. Dentro de este grupo de incluirían también los organismos vivos.

El segundo grupo está formado por las sustancias húmicas, como son los ácidos fúlvicos, húmicos y huminas, las cuales proceden de la oxidación lenta de la materia orgánica. Estas sustancias son las principales responsables de los efectos beneficiosos de la materia orgánica en el suelo.

Mediante el compostaje se transforma la materia orgánica inicial mediante un proceso de humificación. Una vez alcanzado el grado de madurez, el producto final contiene materia orgánica con una relación entre sustancias húmicas y materia orgánica total adecuada para su disposición en el suelo. Esta materia orgánica aportada al suelo está en un continuo estado de evolución, semejante al sufrido en el proceso de compostaje, aunque más lento. En este sentido parte de la materia orgánica se mineraliza por la actividad microbiana, dando lugar a diferentes compuestos inorgánicos (sulfatos, fosfatos, amonio, nitratos, dióxido de carbono, etc.), los cuales pueden ser utilizados por la planta. La fracción no mineralizada puede transformarse dando sustancias húmicas.

En definitiva los aportes de materia orgánica al suelo mediante aplicación de compost o vermicompost dan lugar a un incremento en la actividad biológica del mismo proporcionando una serie de elementos minerales asimilables por la planta, así como compuestos húmicos que mejoran las características del medio.

El continuo estado de evolución de los compuestos carbonosos presentes en el suelo exige de unos aportes sucesivos para obtener un equilibrio entre las entradas y salidas de materia orgánica. Las entradas dependerán principalmente de los aportes, del tipo de material orgánico aplicado y de la fracción que va a humificarse, mientras que las salidas dependerán del tipo de suelo, la erosión, la climatología y de las técnicas de cultivo empleadas. En función de esto se puede considerar que el incremento de la concentración de materia orgánica en un suelo por la aplicación de compost o vermicompost dependerá de los siguientes factores:

- La cantidad o dosis aplicada.
- Forma y frecuencia de aplicación.
- Técnicas de laboreo realizadas.
- Zona de aplicación.

En definitiva los aportes al suelo de estas enmiendas orgánicas suponen un incremento del carbono orgánico, principalmente en los horizontes superficiales, lo cual da lugar a un aumento de la fertilidad que permitirá el desarrollo de la biomasa vegetal.

4.1.6.2.1 Efectos sobre las propiedades físicas.

- **Estabilidad estructural:** La conservación de la estructura del suelo se debe entre otros a la naturaleza coloidal de las arcillas y humus, así como a las uniones dadas por cationes polivalentes como como Ca, Mg, Fe y Al. Los grupos hidrófobos e hidrófilos de las sustancias húmicas reaccionan rápidamente con los cationes polivalentes, dando lugar a puentes catiónicos con superficies polianiónicas como las que presentan las arcillas. Todo esto da lugar a complejos muy estables

Estas nuevas estructuras dispondrán hacia el exterior los grupos hidrófobos de las sustancias húmicas, incrementando la tensión superficial de la interfase sólido-líquido, manifestándose a la vez una oclusión de los microporos sensibles a la entrada de agua. Todo esto reduce la mojabilidad del material y por lo tanto su disgregación al humedecerse.

Atendiendo a esto, la materia orgánica se comportará como un activante de la formación de agregados, actuando a corto plazo las sustancias no húmicas (son rápidamente descompuestas por los microorganismos) y a largo plazo las de naturaleza húmica, principalmente los ácidos húmicos y en menor medida los fúlvicos.

Por otro lado y aunque en menor medida, el incremento de la actividad microbiana en el suelo, favorece su agregación gracias a la formación de sustancias mucilaginosas (polisacáridos) y micelios. Sin embargo, este incremento de actividad reduce el contenido en materia orgánica, por lo que se debe establecer un equilibrio entre las entradas y salidas de estas sustancias para limitar la erosión, favoreciendo incluso la agregación por el desarrollo radicular de la planta.

En definitiva, los aportes de compost y vermicompost mejoran la estabilidad del suelo, contrarrestando los efectos de la erosión, acelerados por el laboreo. Su aplicación continuada incrementará el estado de agregación, sobre todo en capas superficiales, las más susceptibles a la erosión.

- **Densidad aparente:** La densidad aparente del suelo se correlaciona negativamente con el contenido en materia orgánica de este, por lo tanto lo primero que se aprecia al aplicar enmiendas orgánicas como el compost y vermicompost es un descenso en este parámetro. Esto dará lugar a un incremento de la porosidad y por lo tanto se afectará positivamente a la permeabilidad del suelo tanto a gases (oxígeno) como al agua.

A corto plazo, la influencia sobre la densidad aparente se debe a un efecto de dilución, ya que la materia orgánica presenta menor densidad aparente que la materia mineral. A largo plazo, el incremento en la porosidad se debe a la mejora que la aportación de materia orgánica tiene sobre la estabilidad de los agregados y

mantenimiento de la estructura del suelo, así como por el desarrollo radicular y de micro y meso fauna.

Los incrementos en la porosidad del terreno, darán lugar a un incremento de la capacidad de infiltración, efecto que se verá favorecido por la disminución de la costra superficial, dado al aplicar el compost, efecto similar al causado al aplicar estiércol.

La aplicación de compost procedentes de fangos de estaciones depuradoras o de mezclas entre compost y fertilizantes nitrogenados, no manifiesta estos incrementos de porosidad.

- **Capacidad de retención de agua:** La materia orgánica y en especial las sustancias húmicas, presentan una alta capacidad de retención de agua, debido al carácter coloidal y a la posibilidad de formar enlaces mediante puentes de hidrógeno. Atendiendo a esto la aplicación al suelo de compost o vermicompost incrementará la capacidad de retención de agua.

Todo esto da lugar a un incremento de la cantidad de agua disponible para la planta y a su vez favorece el desarrollo de la actividad biológica, haciendo al suelo más resistente a periodos de sequía.

La capacidad de retención de agua está relacionada con la porosidad del medio, así como con el tamaño del poro. Interesa en el medio un sistema bimodal de poros, encontrando poros transmisores de agua y poros de almacenaje en proporción semejante, lo cual equivale a una buena estructura del suelo. La aplicación de enmiendas orgánicas incrementa la cantidad de agua disponible en el suelo ya que favorece una buena estructura de este, así como una distribución adecuada de poros.

- **Temperatura:** La presencia de materia orgánica en el suelo está en correlación con el incremento de la temperatura de este. Por un lado hay que considerar el aumento de la actividad metabólica cuyos efectos sobre la temperatura precisarán de grandes aportes o bien de la aplicación de compost no estabilizado.

Independientemente de los procesos biológicos, la presencia de sustancias húmicas en el suelo incrementará la capacidad calorífica, descendiendo la conductividad térmica. Todo esto da lugar a un calentamiento del suelo motivado en parte por la capacidad de adsorción de calor de los dobles enlaces presentes en las moléculas de los compuestos húmicos. Esto permite que a diferencia de los suelos claros donde se llega a adsorber un 30% de la radiación solar, los suelos ricos en sustancias húmicas pueden alcanzar el 80%.

4.1.6.2.2 Influencia sobre las propiedades químicas.

- **Capacidad de intercambio catiónico:** Este parámetro es uno de los indicadores de la fertilidad del suelo agrícola. La mayor capacidad de intercambio catiónico facilita la asimilación de cationes por la planta y por lo tanto incrementa su

desarrollo. El proceso es realizado por las arcillas y en mayor medida por las sustancias húmicas del suelo, con una capacidad de cambio de hasta diez veces superior.

Los aportes de compost y vermicompost al suelo incrementan la capacidad de intercambio catiónico en mayor o menor grado, dependiendo de la dosis. Son los grupos carboxílicos e hidroxílicos de los ácidos húmicos y fúlvicos los que incrementarán esta propiedad del suelo. Esto permite la formación de compuestos complejos y quelatos con cationes polivalentes como cobre, manganeso o hierro, lo cual protege al catión de la formación de compuestos insolubles en el suelo, siendo así más asimilable para la planta.

Los procesos de compostaje de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos incrementa la capacidad de intercambio catiónico al aumentar la formación de grupos carboxílicos e hidroxifenólicos. Este incremento está considerado por algunos autores como un parámetro para determinar el grado de madurez del compost.

- **pH:** El compost y vermicompost con un adecuado grado de madurez, presenta un pH neutro o ligeramente alcalino, siendo este parámetro un indicativo del grado de madurez. Valores algo ácidos indican que el proceso no fue bien realizado.

La influencia que la aplicación de estos productos al suelo tendrá sobre el pH, dependerá del valor propio del suelo, así para suelos ácidos tiende a aumentarlo, mientras que en los alcalinos tiende a disminuirlo. Este efecto puede ser debido al efecto tamponante que los grupos carboxílicos e hidroxifenólicos de los ácidos húmicos, el cual permite incluso amortiguar las variaciones de pH causadas por la aplicación de fertilizantes orgánicos.

Otros efectos como el incremento de la actividad biológica en el suelo pueden afectar al pH. Entre ellos se puede considerar la liberación de CO₂ procedente de la descomposición de la materia orgánica, la liberación de ácidos orgánicos o los procesos de nitrificación que al oxidar amonio a nitrato liberan hidrógeno.

- **Conductividad eléctrica:** Uno de los problemas que nos puede plantear la aplicación de compost y vermicompost al suelo, es el incremento de la salinidad de este, debido a la alta concentración de sales que presentan. Esto obliga a controlar las dosis de aplicación sobre todo en zonas áridas o semiáridas donde la falta de lluvia puede provocar un desequilibrio entre las sales aportadas y las lavadas por el agua de lluvia. De los diferentes aportes de sales, hay que prestar mayor atención al sodio, siendo este uno de los cationes que más favorece la degradación del suelo.

La salinización del suelo puede producir daños de costosa solución, aunque esto dependerá también de los cultivos a los que se aplique, siendo unos más tolerantes que otros.

Un aspecto favorable del uso de las enmiendas orgánicas frente a la salinidad, es la mejora de las características físicas del suelo, favoreciendo la capacidad de infiltración del agua y con ello el lavado de las sales. Esto representa una ventaja

frente al uso de fertilizantes químicos, los cuales para un aporte equivalente de sales incrementan más la conductividad eléctrica.

- **Capacidad de cesión de nutrientes al suelo y la planta:** La aplicación de compost y vermicompost al suelo, supone un aporte junto con la materia orgánica de una serie de nutrientes como nitrógeno, fósforo o potasio que pueden ser asimilados por la planta.

- **Nitrógeno:** La aplicación de compost y vermicompost supone un aporte de nitrógeno orgánico al suelo, lo cual representa una fuente de nitrógeno mineral disponible para la planta tras un proceso de mineralización. Esto puede catalogar al compost como un fertilizante de liberación lenta.

Los aportes de nitrógeno, tenderán a acumularse junto con la materia orgánica en los horizontes superficiales, dependiendo el grado de disponibilidad de la planta de la relación C/N que presente el compost aplicado:

- Si la relación C/N es inferior a 20, el nitrógeno tenderá a mineralizarse dando formas disponibles para la planta.
- Si la relación C/N es superior a 35, descenderá la disponibilidad, descendiendo incluso la asimilación del nitrógeno presente en el suelo. Con esta relación se produce un incremento de la actividad biológica, asimilando la microflora el nitrógeno. Este proceso sin embargo inmoviliza el nitrógeno del suelo reduciendo las pérdidas por lixiviación.

El aporte de compost maduros dará lugar a un incremento de la concentración de nitrógeno asimilable en el suelo, la cual dependerá a su vez de la relación C/N, del tipo de suelo, su manejo y contenido en nitrógeno, de factores abióticos como temperatura y humedad, así como las características de los microorganismos implicados en la mineralización.

Las dosis aplicadas de compost influirán en la mayor o menor concentración de nitrógeno en el suelo, aumentando así el riesgo de lixiviación de nitrato. Este riesgo es mucho menor que el causado por la aplicación de fertilizantes químicos tipo urea, que si bien son más eficaces para aplicar nitrógeno asimilable a corto plazo, son más contaminantes.

- **Fósforo:** Al igual que para el nitrógeno, la aplicación de compost y vermicompost al suelo, supone un incremento de la concentración de fósforo, ahora bien, para ser asimilable por la planta debe mineralizarse, para lo cual precisa encontrarse en valores superiores al 0,3% y una relación C/P inferior a 200.

El fósforo es poco móvil en el suelo, por lo que las pérdidas por lixiviación serán escasas, sin embargo su biodisponibilidad puede estar condicionada por la adsorción de este sobre coloides o su precipitación a pH alcalinos.

Estos factores influirán principalmente en la aplicación de fertilizantes químicos, mientras que la aplicación mediante compost urbanos facilita su asimilación, por los efectos que realiza sobre el pH alcalino y la formación de fosfohumatos que impiden la transformación a formas poco asimilables.

La disponibilidad a corto plazo para la planta del fósforo contenido en el compost procedente de residuos urbanos, en relación con el aplicado mediante fertilizantes químicos, es alto oscilando entre el 57 y 70%.

- **Potasio:** Los compost y vermicompost procedentes de residuos urbanos, presentan una elevada capacidad para ceder potasio asimilable al suelo, con una biodisponibilidad de prácticamente el 100% en relación con fertilizantes potásicos inorgánicos. En este sentido, el compost es una fuente de potasio suficiente para satisfacer las necesidades de este nutriente para la mayoría de los cultivos.

La aplicación de compost al suelo mantiene niveles asimilables de potasio superiores a los obtenidos por aplicación de fertilizantes inorgánicos, debido tanto a su contenido como a la mejora sobre la capacidad de cambio catiónico.

- **Calcio y magnesio:** Los aportes de compost y vermicompost no incrementan significativamente las concentraciones de calcio y magnesio en el suelo, apreciándose solo ligeros incrementos en suelos ácidos y con dosis por lo general muy altas.
- **Micronutrientes:** Elementos esenciales para el desarrollo de la planta como son el zinc, cobre, hierro, molibdeno, manganeso y boro están presentes en los compost y vermicompost de residuos urbanos, por lo que su aplicación al suelo puede suponer una corrección de micronutrientes, especialmente importante para suelos deficientes como algunos suelos calizos de zonas áridas y semiáridas.

4.1.6.2.3 Efectos sobre las propiedades biológicas.

La mejora que supone sobre las propiedades físicas del suelo la aplicación de compost y vermicompost, así como el incremento en la cantidad de materia orgánica, favorece la proliferación microbiana y la actividad enzimática de la misma. Este incremento se aprecia en toda la comunidad microbiana (bacterias, hongos, actinomicetes, micorrizas...). Por otro lado, los aportes de compost suponen un incremento en la población microbiana al contener estos gran variedad de microorganismos.

Una mayor actividad microbiana dará lugar a una mayor mineralización de la materia orgánica, favoreciéndose los aportes de nutrientes a la planta. Esto precisará de nuevos aportes de materia orgánica hasta establecer un equilibrio entre entradas y salidas.

A pesar de esos efectos beneficiosos, algunas actividades enzimáticas como la fosfatasa ácida o los procesos de mineralización de nitrógeno, se pueden ver alterados por la presencia de metales pesados, los cuales pueden incorporarse al suelo a través de las aplicaciones de compost. Esto reduciría la fertilidad del suelo.

4.1.6.3 Efectos sobre la planta.

La aplicación de compost y vermicompost procedente de residuos urbanos, además de ejercer ciertos efectos sobre las propiedades del suelo, también afecta a la planta. En este sentido son las sustancias húmicas las responsables de estos efectos al promover la actividad rizogénica y la capacidad de absorción de nutrientes, debido a que aumentan la permeabilidad de la membrana celular.

4.1.6.4 Riesgos sobre el suelo y la planta.

Junto con el efecto negativo anteriormente descrito, sobre el incremento en la conductividad eléctrica y en la concentración de sodio, que la aplicación de compost y vermicompost supone, cabe destacar dos problemas no menos importantes como son el incremento en la concentración de metales pesados y de microcontaminantes orgánicos que pueden afectar negativamente tanto al suelo como a la planta.

4.1.6.4.1 Contaminación por metales pesados.

Son muchos los metales pesados que pueden estar presentes en el compost y vermicompost procedente de residuos urbanos. Dentro de ellos se pueden considerar algunos como zinc, cobre, molibdeno, hierro o manganeso, los cuales como ya se indicó con anterioridad son beneficiosos al ser micronutrientes esenciales para la planta. Junto con estos pueden aparecer otros como níquel, plomo, mercurio, cadmio, cromo o cobalto, los cuales son altamente tóxicos tanto para la planta como para la microbiota presente en el suelo. Atendiendo a esto, altas dosis de estas enmiendas orgánicas podrían tener consecuencias indeseables sobre la fertilidad del suelo y la planta (fitotoxicidad).

Algunos metales como el cadmio, cobre, níquel, plomo y zinc pueden ser acumulados por la planta, por lo que pasarían a la cadena trófica, afectando a eslabones superiores. De todos ellos, el cadmio puede presentar mayores problemas, ya que puede acumularse en concentraciones tóxicas para animales superiores, sin mostrar síntomas de fitotoxicidad.

Los aportes de estos elementos a las capas superficiales del suelo producen una contaminación del mismo con graves consecuencias a largo plazo. Los metales son poco móviles en el suelo, los cuales al ser aportados junto con la materia orgánica quedan inmovilizados en la misma, reduciendo su biodisponibilidad para la planta. Tras el cese de los aportes de enmiendas orgánicas y la mineralización de la materia orgánica presente en el suelo, estos elementos quedan liberados y disponibles en el suelo representando un

problema medio ambiental importante. Es de considerar también la posible migración de estos elementos en el suelo, la cual aunque lenta puede alcanzar las aguas subterráneas.

Todo esto nos lleva a prestar alta atención a la dosis de compost que se aplica sobre el suelo, para evitar estos problemas. La separación en origen de los residuos urbanos reduce considerablemente la presencia de metales pesados en los compost y vermicompost obtenidos, logrando de este modo enmiendas orgánicas exentas de estos tóxicos y por lo tanto de mayor calidad.

4.1.6.4.2 Contaminación por microcontaminantes orgánicos.

Los contaminantes orgánicos son descritos en los residuos urbanos en mayor número debido al avance de las técnicas analíticas y a la utilización tanto a nivel doméstico como industrial de nuevos productos que los aportan. Sus efectos sobre el suelo y la planta son muy variables, la mayoría de ellos desconocidos, aunque si hay importantes estudios frente a la flora microbiana del suelo la cual se afecta tanto positiva como negativamente.

La concentración de estos compuestos en los residuos sólidos urbanos varía con el origen de los mismos o su posible mezcla con residuos de origen industrial. Estos compuestos pueden ser más o menos recalcitrantes por lo que su concentración en el compost o vermicompost puede aumentar al reducirse estos en tamaño en el proceso de formación. Hay que destacar sin embargo, que muchos de ellos son degradados gracias a los procesos biológicos desencadenados en el compostaje, proceso que puede continuar en el suelo.

4.1.6.5 Efecto sobre los cultivos

La aplicación de compost y vermicompost procedente de residuos urbanos sobre el suelo dan lugar a unos efectos que por lo general se pueden considerar positivos para los cultivos, gracias a los efectos sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas, así como sobre la planta. Estos efectos dependerán de la calidad del compost empleado, del tipo de cultivo y de las condiciones edafoclimáticas del lugar de aplicación y sobre todo de la dosis.

Por lo general ejercen un efecto beneficioso sobre las cosechas, el cual parece ser menos eficaz que los estiércoles naturales, aunque mejor que el de los lodos de depuradora. Su efecto fertilizante a corto plazo es menor que el ofrecido por los abonos minerales, sin embargo los efectos causados sobre la actividad biológica y las propiedades físicas del suelo aconsejan usar conjuntamente el compost con los abonos minerales, sobre todo en los primeros años de aplicación.

4.2 Biometanización.

La energía es un bien escaso, especialmente en los últimos tiempos. La posibilidad de aprovechamiento de cualquier fuente energética, especialmente si se trata de un recurso renovable, es una obligación de la sociedad.

En este contexto la producción de biogás responde a este modelo, siendo además un método de reciclaje de residuos orgánicos biodegradables y, cuando se aprovecha como combustible, un importante consumidor de gases de efecto invernadero al retirar el metano (gas con un efecto invernadero 21 veces superior al CO₂) de la atmósfera.

La biometanización, o digestión anaerobia, es un proceso microbiológico de fermentación de la materia orgánica, en condiciones de ausencia de oxígeno, transformándose por la acción bacteriana los compuestos orgánicos en metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂).

En el proceso de biometanización hay que controlar una serie de parámetros:

- **Temperatura:** Lo más habitual es que las reacciones se desarrollen en una temperatura mesofílica (en torno a 35°C), pues en este rango la actividad de las bacterias hidrolíticas, acetogénicas y metanogénicas es máxima y similar. No obstante, existen técnicas de digestión anaerobia aplicadas en condiciones termófilas (en torno a 50 – 55°C) e incluso psicrófilas (menos de 20°C, aplicable a casos de aguas residuales con baja carga orgánica).
- **pH:** Las bacterias metanogénicas son muy sensibles a las variaciones de pH, por lo que las condiciones óptimas para que se desarrolle el proceso se dan con un pH estable de alrededor de 7.0-7.2.
- **Compuestos presentes en el medio:** Las bacterias metanogénicas son sensibles a la presencia de determinados compuestos en alta concentración: Metales pesados, fenoles, amonio, compuestos aromáticos... Asimismo, la presencia de ácidos volátiles (como el ácido acético) influye en el metabolismo de las metanogénicas, optimizándolo cuando estos ácidos se encuentran a pequeñas concentraciones, e inhibiendo su actividad en concentraciones superiores a 2000 ppm.

Además, existen otros parámetros, propios del digester y de los residuos empleados, que influyen en el desarrollo del proceso:

- **Velocidad de Carga Orgánica (VCO):** Describe la máxima cantidad de materia orgánica por unidad de volumen y tiempo, que puede introducirse en el digester para su transformación en biogás sin que provoque una distorsión en el proceso.
- **Tiempo de retención hidráulico (TRH) o Tiempo de Retención de Sólidos (TRS):** Es el tiempo de permanencia de un determinado residuo (líquido o sólido, respectivamente) en el digester para que toda la sustancia orgánica se transforme en metano. Estos tiempos de retención son cruciales en el desarrollo del proceso, por lo que resulta conveniente determinar los tiempos de retención de la biomasa.

- **Contenido en Materia Orgánica del Vertido:** Si el proceso de biometanización se desarrolla de manera adecuada, el contenido en MO del efluente debería de ser muy bajo, señal de que se ha transformado en biogás la mayoría de los nutrientes disponibles. Si la carga orgánica es alta o, por ejemplo, existe una alta proporción de ácidos volátiles en el efluente, el proceso no se ha desarrollado convenientemente.
- **Caudal de metano:** La relación entre este parámetro y el contenido en materia orgánica del vertido -por ejemplo, como DQO- da una medida bastante exacta del coeficiente de rendimiento del digestor.

Todas estas características del proceso son propias de los residuos introducidos en el digestor, que por su propia naturaleza presenta unas u otras propiedades. En este sentido, existen residuos con características contrapuestas que “compensan” mutuamente sus carencias o excesos, al digerirse anaeróbicamente de manera conjunta, optimizándose así la producción de biogás. Esta técnica es lo que se conoce como co-digestión.

Hay tres vías por las que se puede producir biogás a través de residuos:

- **Biogás de vertedero:** En los vasos de vertido de las instalaciones de eliminación se puede implantar un sistema de desgasificación, aprovechando la fermentación natural de los residuos en condiciones anaerobias (se produce en las capas inferiores). El Plan Nacional de Investigación de Residuos establece que “En condiciones de laboratorio una tonelada de residuos urbanos mezclados (cuyo contenido en materia orgánica rápidamente biodegradable como media en España, es un 45% del peso), puede producir de 150 a 250 metros cúbicos de biogás. En condiciones normales, no es esperable recuperar más de 80 o 100 metros cúbicos por tonelada, a lo largo de la vida útil del vertedero, y ello mediante el empleo de tecnologías de diseño y explotación complejas y solamente viables en grandes vertederos. De forma que indefectiblemente, y en el mejor de los casos, unos 100 metros cúbicos de biogás por cada tonelada vertida escapará a la atmósfera”. El gas de vertedero tiene un poder calorífico inferior de 5.000 kcal/m³.
- **Biogás de depuradora:** Los tratamientos biológicos que se desarrollan durante el tratamiento de las aguas residuales generan una cierta cantidad de biogás, que se suma a la derivada de los lodos de depuradora. En general, en instalaciones pequeñas, el biogás suele quemarse en antorcha, aunque en instalaciones de mayor tamaño existen sistemas para la generación eléctrica a partir de la mezcla gaseosa.
- **Digestores industriales y balsas:** Los residuos obtenidos de la actividad industrial y ganadera o agroalimentaria pueden introducirse en digestores anaerobios, o en balsas de almacenamiento debidamente aisladas de la atmósfera, en los que se facilita la reacción microbológica de metanización. Asimismo, se puede la Fracción Orgánica de los Residuos Urbanos (en adelante, FORU), aunque para que

el proceso se produzca de manera adecuada se exige una separación de impropios óptima previamente a la realización del proceso.

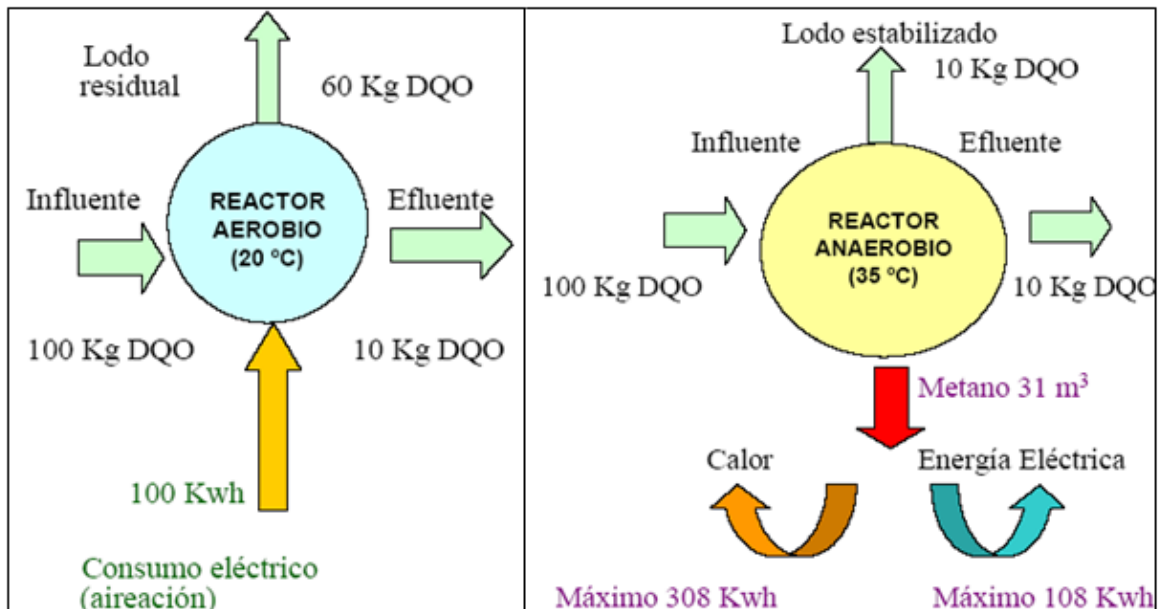


Figura 4.2.1.-Balance comparativo entre los procesos aerobios y anaerobios.

Como se puede apreciar, mientras el proceso aerobio exige el aporte de energía para la aireación, el anaerobio la genera en forma de biogás, además de reducir más eficientemente el volumen total de los efluentes producidos.

Por otro lado, el requerimiento de componentes de la relación Carbono / Nitrógeno / Fósforo en los procesos anaerobios es menos exigente que en los aerobios. Es decir, nitrógeno y fósforo no resultan ser factores tan limitantes en los procesos anaerobios.

En lo que respecta al punto de vista económico, para alcanzar una rentabilidad con el proceso es preciso aumentar al máximo la producción de biogás a partir de determinado sustrato.

Por ello, resulta crucial el control de los parámetros en que se desarrolla el proceso (temperatura, salinidad, pH, etc.), así como una selección adecuada del sustrato a utilizar. Del mismo modo, la codigestión supone una ventaja según qué residuo se emplee, puesto que optimiza las características de los residuos utilizados. Así pues, la selección de una mezcla de codigestión en función de la disponibilidad y variabilidad de residuo con que se cuente, así como los porcentajes de cada tipo de residuo presentes en dicha mezcla, determinarán que la producción de biogás, el contenido en metano del mismo, y, por consiguiente, la rentabilidad económica del proceso, se maximicen.

Asimismo, el digestato resultante del proceso puede rentabilizarse económicamente, suponiendo un ingreso adicional para la explotación de este tipo de plantas.

La metanogénesis a partir de compuestos complejos se produce gracias a la acción coordinada de tres grupos de bacterias, cada uno con su papel establecido.

El primer grupo que participa en el proceso son las bacterias hidrolíticas acidogénicas, que se encargan de destruir los compuestos complejos, de largas cadenas, en compuestos simples, de entre 1 y 4 carbonos. Así, tomando como sustrato un compuesto orgánico de cadena larga (proteínas, polisacáridos, lípidos, etc.) se obtienen multitud de compuestos orgánicos simples (ácidos fórmico, acético, propiónico, butírico, etc.).

El segundo grupo que participa es el de las bacterias acetogénicas. En este proceso se genera acetato a partir de los ácidos orgánicos simples formados en la hidrólisis acidogénica, añadiendo al proceso hidrógeno molecular (H₂) y dióxido de carbono (CO₂).

Por último, la metanogénesis se desarrolla en dos reacciones diferenciadas, por parte de las arqueobacterias metanogénicas:

- Las metanogénicas acetoclásticas (70% del total) transforman el acetato en metano (CH₄).
- Las metanogénicas hidrogenófilas (30% del total) convierten el hidrógeno molecular (H₂) y el dióxido de carbono (CO₂) en metano (CH₄).

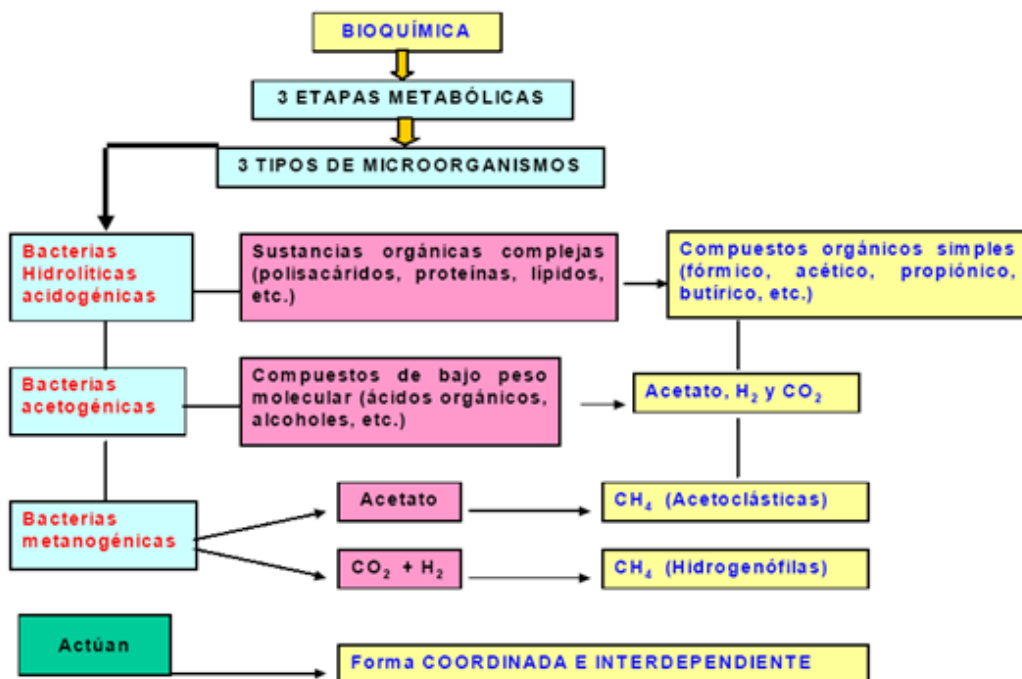


Figura 4.2.2.-Esquema proceso biometanización.

Todo el proceso se da en unas condiciones de anaerobiosis pues los microorganismos que desarrollan la metanogénesis son, en general, anaerobios estrictos, y, en su mayoría, mesófilas (rango de temperatura de actuación de en torno a 35°C). No

obstante, el arco de temperatura en que puede producirse la reacción va desde el rango psicrófilo (en torno a 15°C) hasta el termófilo (en torno a 55°C), aunque el rendimiento difiere en función de esta temperatura.

El producto final del proceso de biometanización es una mezcla de gases generados por las reacciones microbiológicas, compuesto de:

- Metano: Entre un 50% y un 75%.
- Dióxido de Carbono: Entre un 25% y un 50%.
- Otros gases: Nitrógeno, Hidrógeno, Sulfuro de Hidrógeno... Entre un 1% y un 5%.

Esta mezcla de gases de composición variable es lo que se conoce como Biogás. La composición varía por diversos factores, entre los que se incluyen el tipo de sustrato utilizado para la reacción (el residuo), el tiempo durante el que se prolonga la reacción, los pretratamientos que se puedan realizar, los postratamientos de purificación del gas, etc.

Componente	Residuos ganaderos	Residuos agrícolas	Fangos de depuradora	Residuos municipales	Gas de vertedero
Metano	50-80%	50-80%	50-80%	50-70%	45-60%
Dióxido de carbono	30-50%	30-50%	20-50%	30-50%	40-60%
Agua	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado
Hidrógeno	0-2%	0-2%	0-5%	0-2%	0-0,2%
Sulfuro de hidrógeno	0-1%	100-700 ppm	0-1%	0-8%	0-1%
Amoníaco	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	0,1-1%
Monóxido de carbono	0-1%	0-1%	0-1%	0-1%	0-0,2%
Nitrógeno	0-1%	0-1%	0-3%	0-1%	2-5%
Oxígeno	0-1%	0-1%	0-1%	0-1%	0,1-1%
Constituyentes en cantidades trazas, compuestos orgánicos	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	0,01-0,6%(*)

(* Terpenos, ésteres,...

Figura 4.2.3.-Composición del biogás en función de los residuos empleados.

La calidad del biogás generado es tanto mejor cuanto mayor sea el porcentaje de metano en la mezcla, ya que un alto componente de metano permite unos usos similares a los del gas natural (contenido de metano en torno al 92%).

El factor clave para el aprovechamiento de biogás a partir de un residuo es la producción de biogás por tonelada de residuo.

Tipo	Contenido orgánico	SV (%)	Producción biogás (m ³ /t residuo)
Intestinos + contenidos	Hidratos de carbono, proteínas, lípidos	15-20	50-70
Fangos de flotación	65-70% proteínas, 30-35% lípidos	13-18	90-130
BBO (tierras filtrantes de aceites, con bentonita)	80% lípidos, 20% otros orgánicos	40-45	350-450
Aceites de pescado	30-50% lípidos	80-85	350-600
Suero	75-80% lactosa, 20-25% proteínas	7-10	40-55
Suero concentrado	75-80% lactosa, 20-25% proteínas	18-22	100-130
Hidrolizados de carne y huesos	70% proteínas, 30% lípidos	10-15	70-100
Mermeladas	90% azúcares, ácidos orgánicos	50	300
Aceite soja/margarinas	90% aceites vegetales	90	800-1.000
Bebidas alcohólicas	40% alcohol	40	240
Fangos residuales	Hidratos de carbono, lípidos, proteínas	3-4	17-22
Fangos residuales concentrados	Hidratos de carbono, lípidos, proteínas	15-20	85-110
FORSU separada en origen	Hidratos de carbono, lípidos, proteínas	20-30	150-240

Figura 4.2.4.-Producción de biogás en función de diferentes tipos de residuos.

Además tiene vital importancia en el desarrollo del proceso el control de las condiciones en que se desarrolla el mismo. Las bacterias metanogénicas crecen hasta 10 veces más lentas que el resto de bacterias (tiempo de generación de 2 a 12 días), y además son muy sensibles a determinados factores.

Existe una amplísima gama de residuos valorizables mediante la digestión anaerobia, aunque no todos poseen las mismas propiedades de cara al aprovechamiento. Existe una serie de variables características de los diferentes tipos de residuos a tener en cuenta para posibilitar el desarrollo del procedimiento:

- Volumen del residuo disponible
- Potencial contaminante
- Potencial de producción del biogás
- Contenido en metano del biogás generado

- Relación carbono/nitrógeno del residuo
- Alcalinidad del residuo
- Cantidad de sólidos volátiles del residuo
- Necesidad de pretratamiento

En general los residuos más utilizados para la generación de biogás son:

- **Residuos ganaderos y de granjas:** Purines de cerdo y vaca, estiércoles, gallinaza. En general, su potencial para la producción del biogás no es demasiado alta, debido a su alto contenido en nitrógeno y a su excesiva liquidez para el proceso. No obstante, por causa de su poder contaminante de suelos y por la abundancia de recurso, sumado a la ausencia de tratamientos eficientes de valorización, los residuos ganaderos constituyen el combustible por excelencia para la generación de biogás mediante digestión anaerobia.
- **Residuos agrícolas:** Los restos agrícolas procedentes de cultivos de consumo, cultivos energéticos o de generación de materias primas para la industria alimentaria constituyen un sustrato apropiado, en general, para la digestión anaerobia. No obstante, la tipología del material usado, en función de la carga orgánica que posea, genera una gran variabilidad en el potencial de biogás existente en el residuo. Además, presenta la problemática de estar sometido a la estacionalidad del recurso (en general).
- **Residuos de la industria alimentaria:** El procesado de las materias primas animales y vegetales para la elaboración de productos alimenticios genera abundantes residuos susceptibles de ser aprovechados para la producción de biogás. Las industrias lácteas, cerveceras, conserveras, azucareras y similares producen unos residuos con alta carga de materia orgánica, muy adecuados para el aprovechamiento energético.
- **Residuos de matadero:** Constituyen uno de los residuos con mayor potencial para la generación de biogás. Los restos de contenidos estomacales, intestinos, etc., así como los restos de depuración de los efluentes de este tipo de residuos, suponen un sustrato muy adecuado para la biometanización, aunque, generalmente, este aprovechamiento se realiza en codigestión con otros residuos.
- **Residuos pesqueros:** Los restos de pesca y de procesamiento de productos alimentarios de la industria conservera y similares resultan ser un muy buen sustrato para la digestión anaerobia.
- **Lodos de Depuradora:** Los tratamientos de depuración de aguas residuales generan lodos de difícil tratamiento, muy apropiados para la generación de biogás.
- **Residuos de plantas de biocombustibles:** En este tipo de plantas, particularmente en las de biodiésel se generan grandes cantidades de glicerina, que es uno de los residuos con mayor potencial de generación de biogás. No obstante, existen otras formas de aprovechamiento de la glicerina, lo que supone que, a día de hoy, la glicerina procedente de las plantas de biodiésel sea un residuo dependiente, por un lado de la producción real de las plantas, y

por otro lado, de la utilización del subproducto en otros aprovechamientos independientes de la producción de biogás mediante digestión anaerobia.

- Fracción Orgánica de Residuos Urbanos:** Los RSU constituyen una fuente de sustratos para la biometanización, suponiendo esta operación una fuente de valorización y reducción de los mismos. No obstante, hay una gran variabilidad en el potencial de producción de biogás por parte de estos residuos, en función de las operaciones de separación previas que se hayan realizado previamente. La utilización de residuos urbanos previo tratamiento para generar biogás supone una posibilidad de reducir el volumen de residuos existente.
- Biogás de vertedero:** Existen vertederos que cuentan con sistemas de aprovechamiento del biogás, mediante la colocación de una red de tuberías y chimeneas que reconducen el biogás que se genera hasta los motores para generación eléctrica. De este modo se aprovecha de forma pasiva la emisión gaseosa de la fermentación de los vertidos para la generación de un biogás con bajo contenido en metano.

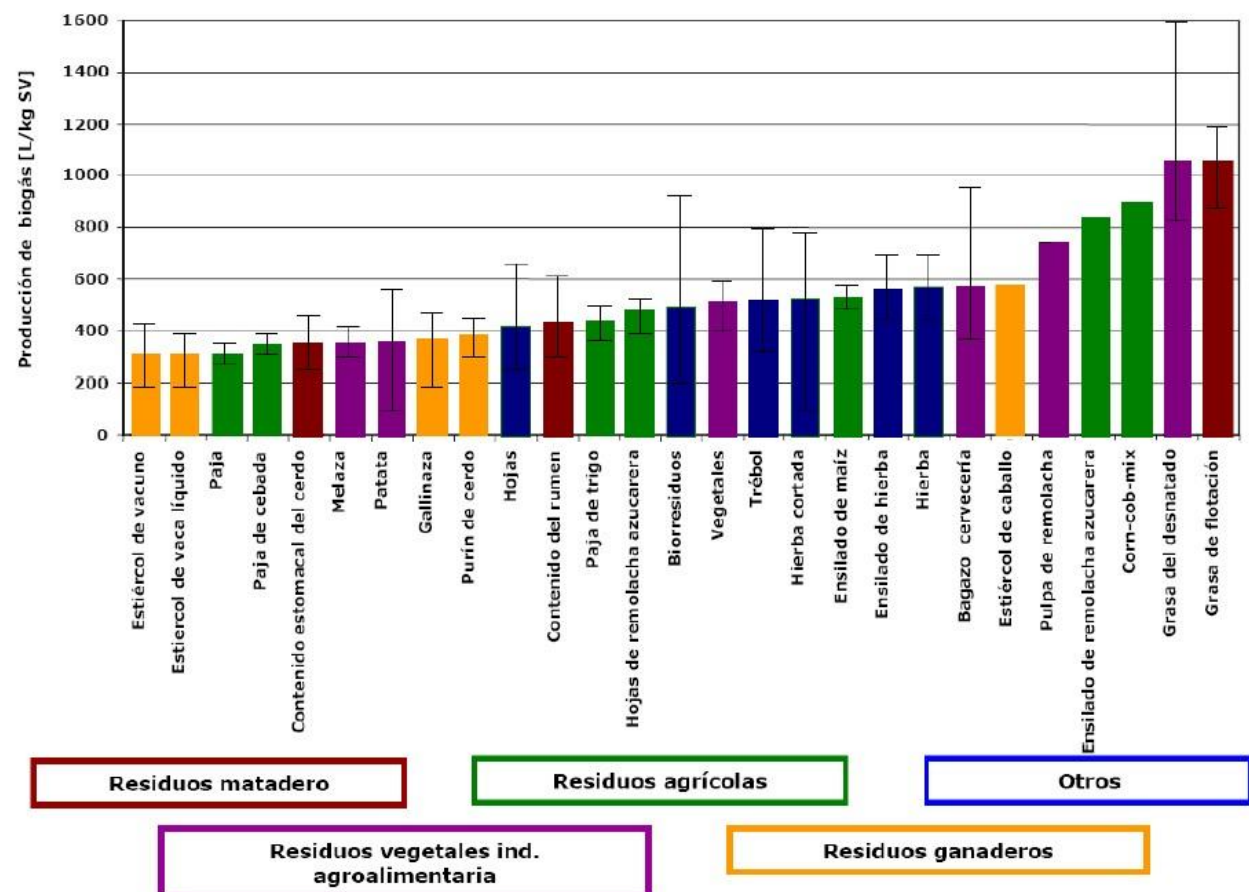


Figura 4.2.5.-Rango de producción potencia biogás en función del residuo utilizado.

Como se puede apreciar en el gráfico anterior, la potencialidad aumenta conforme aumenta el porcentaje de grasas en el residuo.

4.2.1 Pretratamiento para residuos urbanos.

A través de diversos estudios realizados y de resultados obtenidos en plantas industriales actuales, se tiene constancia de que la realización de un pretratamiento previo de los sustratos a utilizar en los procesos de digestión anaerobia proporciona un aumento considerable en la producción de biogás.

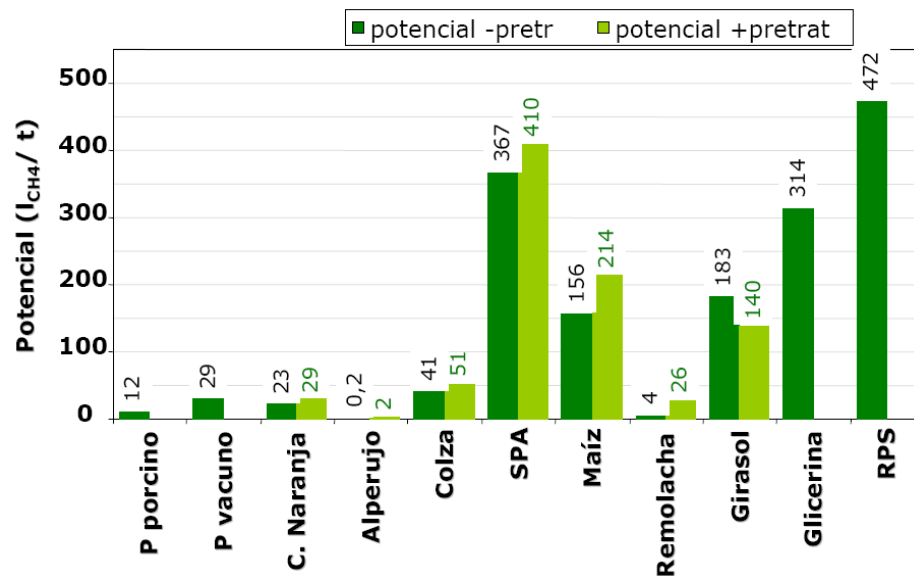


Figura 4.2.1.1.-Potencial de producción de biogás de diferentes sustratos con y sin pretratamiento.

Esta variación en la potencialidad para la producción difiere según el residuo del que estemos tratando, siendo muy relevante la tipología del mismo. Del mismo modo, el potencial de producción de biogás es variable en función del tipo de tratamiento aplicado, que será uno u otro según el residuo con el que contemos.

El proceso de digestión anaerobia cuenta con que la velocidad del proceso es limitada debido a la celeridad con que se produce la etapa más lenta, la cual depende de la composición del residuo. Debido a dicha limitación, los tiempos de tratamiento suelen ser del orden de dos o tres semanas.

El uso de la estrategia basada en el pretratamiento permite que dicha velocidad de proceso aumente. Esto es debido a que tras dicha etapa previa los residuos disminuyen el tamaño de las partículas, mejoran la solubilización, acondicionan la pureza en materia orgánica, disminuyen la masa de residuo digerido y principalmente obtienen un incremento en su biodegradabilidad.

Los tratamientos mecánicos sencillos que seleccionan la fracción orgánica del residuo orgánico (cribado+separación de metales) son solo válidos para compostaje, no

para procesos de biometanización ya que junto a esta aparecen además numerosos materiales no biodegradables como arenas, vidrios, escombros, pequeños plásticos, cáscaras duras, etc.

Así, la teórica fracción orgánica obtenida, como producto pasante por la criba citada, realmente contiene entre un 25 y 40% de elementos no apropiados para la biometanización. Estos elementos “impropios”, no solo son imposible o difícilmente biodegradables, sino que entorpecen el funcionamiento general de la instalación produciendo atascos, decantaciones no controladas de arenas, vidrios y otros áridos, así como segregación de capas de elementos flotantes no deseados reduciendo la capacidad efectiva de la biometanización.

Para lograr un buen proceso de biometanización a partir del uso de la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, estos deben pasar una etapa previa de pretratamiento a fin de extraer materiales no fermentables como plásticos, metales o residuos muy voluminosos. Dicha separación se puede efectuar en ‘seco’ (tal cual el residuo entra) o en mezcla con agua (‘húmedo’) dependiendo de la naturaleza físico-química de los elementos no fermentables. Después de una primera separación de materiales se utiliza un proceso de reducción de tamaño y homogeneización para obtener una suspensión que permita una correcta fermentación, incrementando la degradabilidad y facilitando el proceso. Cuando la suspensión está preparada, se descarga sobre un equipo combinado de cribado y extracción de arenas, para separar las partículas no fermentables como plásticos, gravas, arenas, cristales, etc. Tras dicho proceso la fracción orgánica se traslada a un cilindro de carga y de aquí a un tanque desde donde llega al digestor.

4.2.2 Técnicas de higienización para materiales que puedan provocar contaminación biológica.

La técnica principal que se utiliza como método de higienización es la pasteurización. La base de este tratamiento es someter los residuos a altas temperaturas durante un periodo de tiempo determinado, con el objetivo de reducir los microorganismos patógenos existentes en el residuo utilizado, evitando así las posibilidades de que se produzca una contaminación de tipo biológico a consecuencia de ello.

La temperatura y el tiempo son variables, e interdependientes. A mayor temperatura, menor tiempo para que se produzca la pasteurización, y viceversa. Una de las metodologías más extendida es la de aplicar una temperatura de 70 °C durante una hora.

Las técnicas de higienización se aplican a aquellos residuos con mayor susceptibilidad de producir contaminación, es decir, los residuos animales. Particularmente, la Unión Europea exige que se esterilicen los residuos procedentes de matadero.

Desde el punto de vista de la biometanización se producen dos ventajas claras al realizar la higienización:

- Eliminación de microorganismos competidores de los responsables de la digestión anaerobia.
- Como se ha descrito en el apartado anterior, la producción de biogás aumenta al realizar el pretratamiento. Este pretratamiento de higienización

obligado no tendría repercusión económica adicional, al ser una exigencia legal, para la producción de biogás.

No obstante, se encuentran también los siguientes inconvenientes:

- Las altas temperaturas reducen enormemente la cantidad de microorganismos metanogénicos y fermentadores anaeróbicos, por lo que puede ser necesaria la realización de una inoculación.
- Si la esterilización no va asociada a la realización de la misma en origen, sí que tendría una implicación económica en el proceso, en caso de realizarse.

4.2.3 Técnicas de co-digestión aplicada a los residuos urbanos.

La co-digestión consiste en emplear una mezcla de diferentes tipos de residuos, de forma que se optimice la producción de biogás a obtener por la planta.

La principal ventaja radica en el aprovechamiento de la sinergia de las mezclas, compensando las carencias de cada uno de los sustratos por separado. Además de incrementar el potencial de producción de biogás, la adición de co-sustratos fácilmente biodegradables confiere una estabilidad adicional al sistema.

Otra ventaja de esta técnica es el hecho de optimizar la entrada de sustratos en la planta, reduciendo por tanto el volumen de residuos global no aprovechable. Dicho de otro modo, el aprovechamiento conjunto de dos sustratos diferentes, por ejemplo, purines de cerdo y residuos hortofrutícolas, supone no sólo la reducción de los volúmenes de ambos tipos de residuos, sino también disminuir la dependencia que tendría la planta del aporte de un único residuo del que nutrir a la instalación.

En una práctica muy extendida por Europa. Se mezclan sustratos de menor potencial metanogénico pero de características muy favorables al proceso de digestión anaeróbica, como lo residuos de la ganadería, con otros sustratos de gran poder energético disponibles en menor cantidad, como los residuos de mataderos, de la industria agroalimentaria, o cultivos herbáceos energéticos.

Estos residuos ganaderos, más concretamente los purines de cerdo, pueden ser una buena base para la codigestión ya que, generalmente, presentan un contenido en humedad más elevado que la mayoría de residuos industriales, una mayor capacidad tampón y aportan una amplia variedad de nutrientes necesarios para el crecimiento de microorganismos anaerobios. Sin embargo, los residuos orgánicos de la industria alimentaria presentan deficiencias en nutrientes para el desarrollo de microorganismos anaerobios, baja alcalinidad o excesivo contenido en sólidos que provoquen problemas mecánicos.

	MÍN	MÁX	MEDIA
Sólidos Totales – ST (%)	1,4	16,9	6,4
Sólidos Volátiles – SV – sobre ST (%)	44,5	76,4	65,5
N – Amoniacal (mg/L)	1.673,8	7.558,4	4.383,5
N –Orgánico (mg/L)	396,4	3.672,3	1.529,3
SST (%)	0,4	15,5	4,8
SST/ST (%)	30,5	96,2	67,2
SSV (%)	0,3	11,5	3,8
SSV/SV (%)	50,1	99,3	78,8
SSV SOBRE SST (%)	56,5	97,5	78,6
DQO (mg/L)	8.660,0	186.084,3	71.591,7
DQO/SV (g DQO/g SV)	1,22	2,39	1,69
Fósforo – P (mg/L)	90,9	6.255,4	1.406,9
Potasio – K (mg/L)	1.657,0	7.791,3	4.929,7
Alcalinidad parcial (pH=5,75)	0,9	23,2	11,0
Alcalinidad total (pH=4,3)	1,3	45,2	19,2
Relación alcalinidad (RA)	0,2	0,7	0,4
	MÍN	MÁX	MEDIA
Cobre – Cu (mg/L)	7,6	170,3	41,3
Zinc – Zn (mg/L)	7,6	120,8	63,4
pH	6,6	8,7	7,7

Figura 4.2.2.1.-Carácterísticas propias de los purines de cerdo.

Los residuos tienen potenciales de producción variables, pero generalmente elevados cuando contienen un elevado contenido de lípidos. Son de destacar la elevada potencialidad de producción para los aceites vegetales y la baja producción para los lodos residuales de plantas depuradoras, principalmente por su baja concentración en materia orgánica (alto contenido en humedad).

Un factor muy importante en este sentido es el contenido en nitrógeno de los residuos, ya que la urea y otros compuestos nitrogenados en altas concentraciones inhiben el desarrollo de la reacción por parte de las bacterias metanogénicas, lo que supone un inconveniente de cara al proceso. Por ello, es imprescindible establecer una mezcla de residuos que, en codigestión, puedan complementar las carencias de uno y otro tipo.

Origen residuo orgánico	Residuos ganaderos	Lodos depuración	Fracción Orgánica Res. Mun.	Residuos Industria Alimentaria
Micro y macronutrientes	↑	↑	↓	↓
Relación C/N	↓	↑ ↓	↑	↑
Capacidad tampón (alcalinidad)	↑		↓	↓
Materia orgánica biodegradable	↓	↑ ↓	↑	↑

Figura 4.2.2.2.-Caracterización relativa para la co-digestión de diferentes residuos orgánicos.

4.2.3.1 Co-digestión de residuos urbanos y residuos ganaderos.

Para obtener un buen proceso de biometanización a partir del uso de la fracción orgánica de residuos urbanos, estos deben pasar una etapa previa de pretratamiento donde a través de un equipo mezclador-homogenizador coloca en suspensión acuosa la fracción orgánica donde un sistema mecánico separa las impurezas de dicha suspensión. Después de este proceso la fracción orgánica se lleva a un cilindro de carga y de aquí a un tanque desde donde llega al digester.

Dichos residuos urbanos presentan un alto contenido de nitrógeno, siendo la C/N de 15/1.

La obtención de biogás en las plantas conocidas que realizan este tipo de co-digestión se sitúa en unos valores comprendidos entre 26,7-58,7 m³/t mezcla, presentando una concentración de metano en el biogás superior al 65%.

4.2.3.2 Co-digestión de lodos de depuradora y residuos urbanos.

La digestión anaerobia de los residuos sólidos urbanos es una alternativa beneficiosa frente a las comunes como la incineración de los mismos. Dichos residuos presentan deficiencias en los nutrientes necesarios para llevar a cabo el proceso de digestión por lo que con la adición de lodos pre-digeridos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales se aportará el nitrógeno y los nutrientes necesarios. Estos lodos presentan unos valores de C/N entre 6/1 y 16/1.

Las mezclas deben contener las razones óptimas de carbono/nitrógeno para la digestión anaerobia, estando dichos valores entre 20/1-30/1. Según estudios realizados a escala de laboratorio se concluyó que la relación RSU/lodos para la mayor producción de biogás y una mayor degradación de sólidos está en valores de 60/40. La mezcla entre residuo urbano (residuo sólido) y lodos (residuo diluido) permite obtener un producto que permite un mejor manejo y degradabilidad, además de diluir y contrarrestar el efecto de inhibidores y aportar los nutrientes necesarios. En la siguiente figura se muestra la biodegradabilidad para diferentes concentraciones de ambos sustratos.

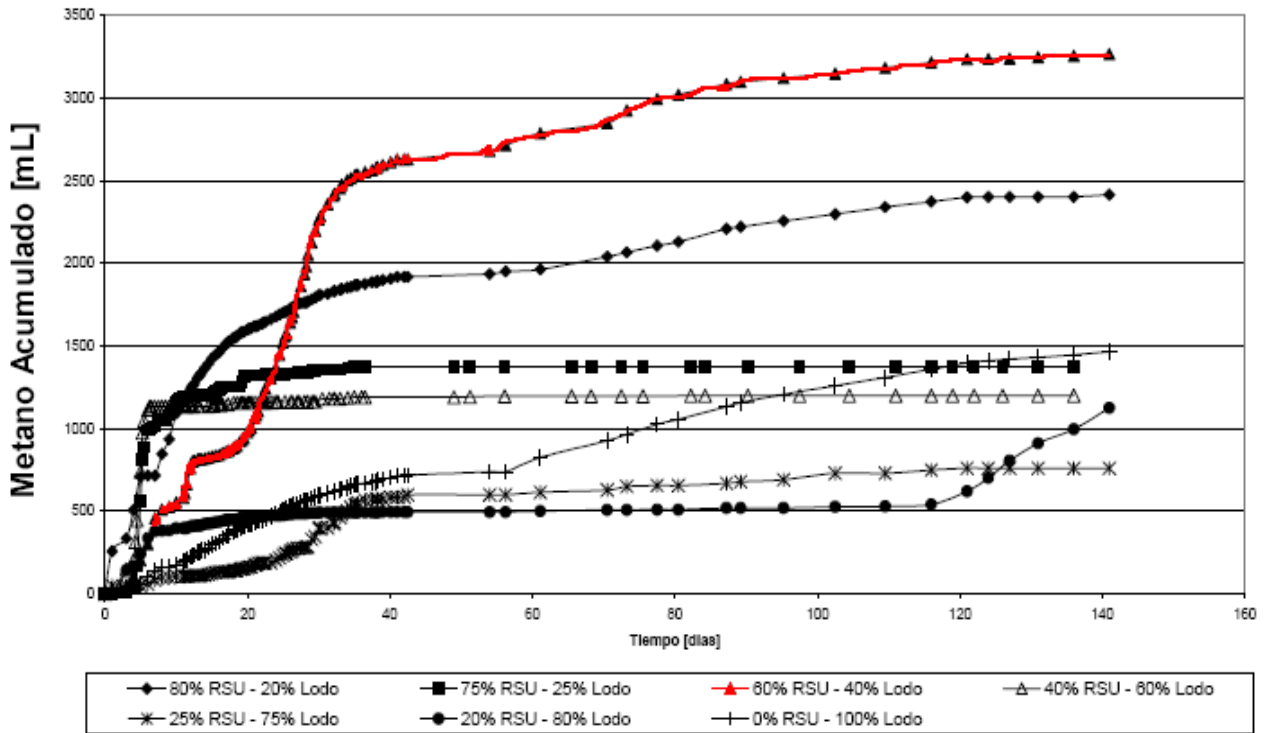


Figura 4.2.3.2.1.- Biodegradabilidad anaerobia en función de diferentes concentraciones.

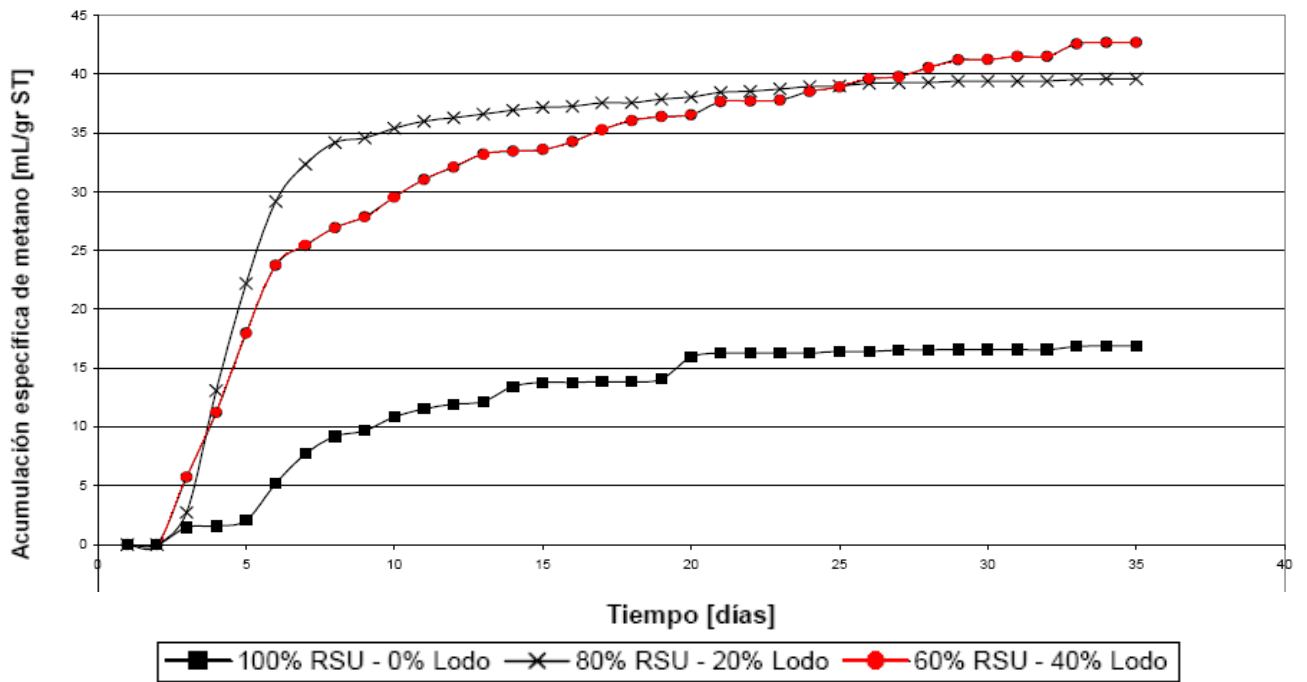


Figura 4.2.3.2.2.- Acumulación específica de metano para diferentes concentraciones de residuos y lodos.

La mayor reducción de sólidos se obtiene de la relación residuos urbanos/lodos de 60/40 como se puede apreciar en la siguiente imagen:

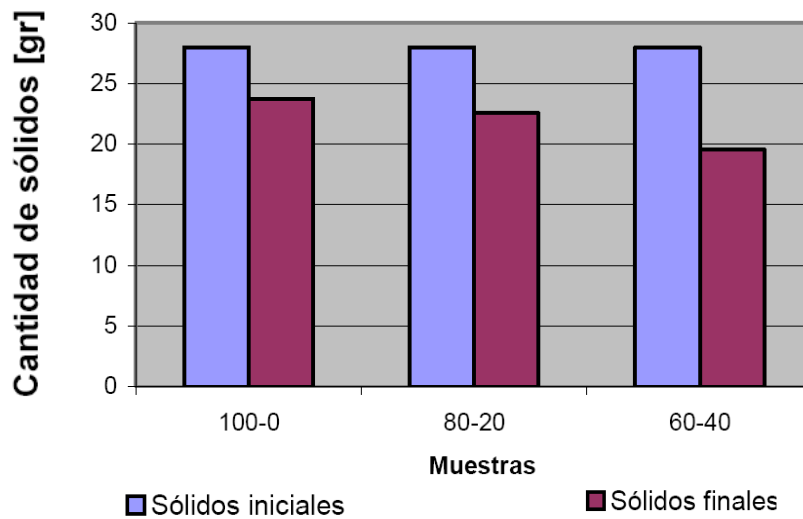


Figura 4.2.3.2.3.-Reducción de sólidos para diferentes muestras.

4.2.4 Técnicas de depuración del biogás generado.

Un factor de vital importancia para determinar la calidad (y por lo tanto, la rentabilidad) del biogás producido, es la concentración de metano de la mezcla de gases. El objetivo claro es acercarse a un contenido en metano de aproximadamente el 92%, que es el contenido existente en el gas natural.

Destaca la importancia de disponer de sistemas de depuración del biogás, para la eliminación del dióxido de carbono y otros gases presentes en la mezcla. Asimismo, el sistema de purificación del biogás más eficiente y barato es la utilización de una mezcla de co-digestión que optimice la producción de metano presente en el biogás.

El post-tratamiento que se aplica al biogás varía en función del uso que se vaya a realizar del mismo.

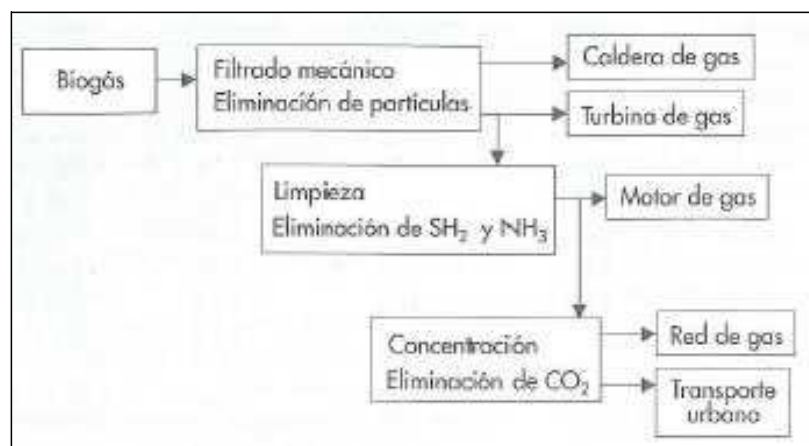


Figura 4.2.4.1.-Tratamiento del biogás en función del uso.

A continuación voy a hacer una breve descripción de los procesos de depuración existentes:

- **Eliminación de partículas:** Consiste en retirar de la mezcla de biogás las partículas suspendidas, mediante trampas de agua, filtros, rejillas metálicas o similares.
- **Deshidratación. Condensadores:** El biogás suele encontrarse saturado de vapor de agua, por lo que la disposición de condensadores supondrá la retirada de esta proporción, que suele ser de aproximadamente 35 gramos de agua por metro cúbico de biogás (si la digestión se realiza a una temperatura de unos 35°C). Este proceso se puede realizar también mediante la adición de productos químicos como soluciones de glicol, etileno o trietileno.
- **Eliminación del SH₂:** Durante el proceso de generación del biogás es frecuente que se produzca sulfhídrico en presencia de compuestos azufrados. El SH₂ es corrosivo, por lo que para el mantenimiento en condiciones adecuadas de los motores e instalaciones que utilizan biogás, es preciso retirar este compuesto del medio de reacción. Para ello, se utilizan métodos oxidantes, que provocan el paso del SH₂ a azufre elemental, en estado sólido.
 - **Desulfuración biológica:** Se utilizan como oxidantes microorganismos del género Thiobacillus. Para que se produzca la oxidación es preciso modificar las condiciones reductoras presentes en el tanque de digestión anaerobia, pasando a ser oxidantes.
 - **Adición cloruro férrico:** Con la adición de este compuesto se genera la precipitación de sulfuro de hierro. Este sistema es muy eficiente, aunque poco rentable desde el punto de vista económico. Este método es útil en sistemas con alto contenido en sulfuros, aunque no se llega al nivel de depuración necesario para la utilización del biogás en vehículos.
 - **Adición de óxido de hierro:** Del mismo modo que en el método anterior, se produce la precipitación del sulfuro de hierro.
 - **Columnas de adsorción:** Otro de los métodos de desulfuración consiste en hacer pasar la mezcla de biogás por columnas de adsorción con carbón activo o materiales similares.
 - **Filtros moleculares:** Los compuestos de azufre pueden eliminarse mediante la utilización de filtros de alúmina o sílice activada, con afinidad por los compuestos polares. Este método es adecuado para eliminar agua y/o sulfuro de hierro a media y pequeña escala.
 - **Métodos en medio líquido:** Consisten en hacer pasar el biogás por una solución acuosa absorbente. La absorción se realiza en un scrubber, en el que se aumenta la superficie de contacto mediante la aplicación de un relleno. El proceso de absorción se realiza a bajas temperaturas y altas presiones, existiendo la posibilidad de recuperación del azufre para usos industriales en instalaciones grandes. Estos procedimientos en medio líquido son caros, tanto en lo que respecta al coste de inversión como a la aplicación de diferentes productos químicos.

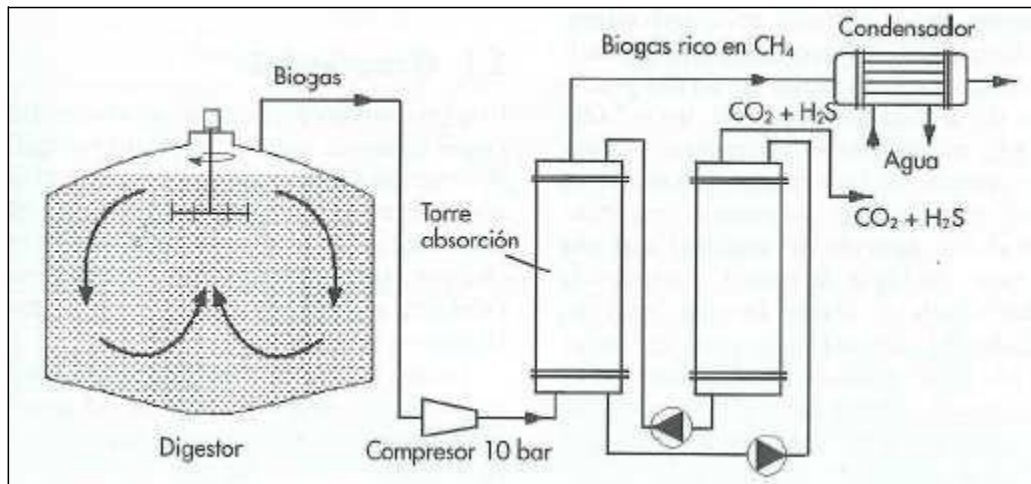


Figura 4.2.4.2.-Sistema de tratamiento mediante absorción en solución acuosa, con sistema de regeneración de la solución.

- **Métodos de concentración del biogás mediante la eliminación del CO₂:** Los métodos de desulfuración mediante soluciones acuosas, en general, son también aplicables para la retirada de CO₂ de la mezcla de biogás.

4.2.5 Técnicas de tratamiento del digestato.

La producción de biogás mediante digestión anaerobia genera unos digestatos cuya riqueza en materia orgánica y elementos nutritivos debe ser aprovechada.

La forma más sencilla e inmediata de valorización de cualquier residuo orgánico es la aplicación directa del mismo al suelo agrícola, pero debe de existir una evaluación previa del valor fertilizante de estos materiales y sus efectos sobre las plantas y el suelo.

El aporte de los digestatos puede reducir costes en los cultivos, debido al ahorro en fertilizantes minerales, cuyo precio se ha elevado muy considerablemente en los últimos tiempos. Además, la menor producción de fertilizantes minerales de síntesis puede ayudar a la disminución de las emisiones de CO₂ a la atmósfera.

El digestato se trata en varias etapas, cuyo objetivo final es obtener un producto sólido aplicable como fertilizante, rico en nitrógeno, que requeriría, según la tipología del mismo, de una adición de otros elementos limitantes, particularmente, fósforo y / o potasio.

Un tratamiento tipo constaría de tres etapas:

1. **Centrifugado:** Se crea una materia sólida con aproximadamente un 25% de sólidos secos, que pueden utilizarse como fertilizante (como estiércol sólido), o secarse todavía más.
2. **Ultrafiltrado:** Crea un concentrado que contiene sólo una pequeña cantidad de materia sólida, y se devuelve al fermentador como solución nutritiva.

3. **Osmosis inversa:** Crea un concentrado que contiene unas elevadas proporciones de nitrógeno, fósforo y potasio, con lo cual se consigue un fertilizante perfecto.

El agua resultante, limpia y libre de agentes contaminantes, puede utilizarse como agua en el proceso de la planta o simplemente desecharse.

Otra opción sería realizar un secado térmico, mediante un método similar al utilizado con los lodos de depuradora para su aplicación directa como fertilizante agrícola.

Una última opción sería el compostaje del digestato.

4.2.6 Técnicas de valorización energética.

Una vez se ha obtenido el biogás, existen varias técnicas de aprovechamiento energético del mismo, basadas, principalmente en 3 tipos de aprovechamiento:

- Obtención de calor y/o electricidad.
- Utilización del biogás en redes de gas.
- Utilización como combustible de vehículos.

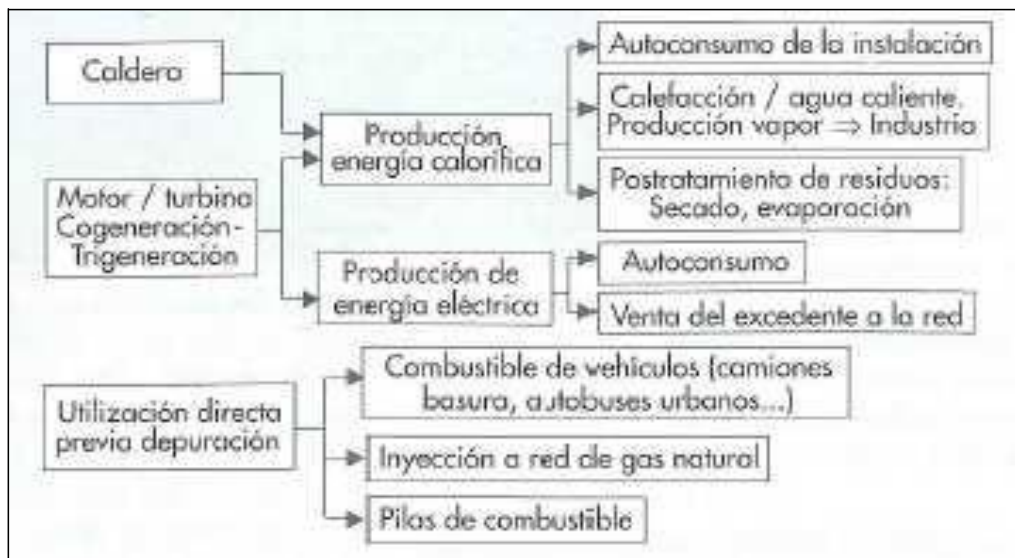


Figura 4.2.6.1.-Usos del biogás.

Uso final	Eliminación del agua	Eliminación del CO ₂	Eliminación del H ₂ S
Producción térmica en caldera	1	0	0-1-2
Producción de electricidad en motores estacionarios	1 ó 2	0-1-2	1 ó 2
Combustible de vehículos o para turbinas	2	2	2
Gas natural para calefacción	2	2	2
Pilas de combustible	2	2	2

Tabla 1. Tratamiento según el uso final del biogás. (0= no tratamiento, 1= tratamiento parcial, 2= tratamiento elevado). Fuente: CIRCE.

Figura 4.2.6.1.-Necesidad de tratamiento en función del uso final del biogás.

4.2.6.1 Producción de electricidad y calor.

El principal interés que existe en el biogás no es otro que aprovechar su potencial energético. El poder calorífico inferior (PCI) del biogás con un porcentaje del 60% de metano es de 5.500 kcal/Nm³. El PCI del metano es de 13.187 kcal/kg, siendo la densidad del metano de 0,67 kg/m³ con lo que el PCI expresado en volumen sería de 8.835,29 kcal/Nm³. La producción media eléctrica bruta por m³ de biogás (con un contenido del 60% de metano) es de 2,07 kWh, mientras que la producción calorífica media es de 2,3 termias por metro cúbico.

El biogás que se genera permite dos aprovechamientos energéticos diferenciados: la generación del calor y la de electricidad. Si se emplea la cogeneración, el rendimiento del proceso aumenta.

Tecnología	MCIA ¹	Micro-turbina	Turbina de gas	Stirling	Pilas de combustible
Tamaño (MW)	0,03 a 6	0,001 a 0,4	0,5 a 30	0,0250 a 0,055	0,1 a 3
Coste de instalación (€/MW)	560.000 a 965.000	950.000 a 1.350.000	325.000 a 725.000	900.000 a 1.600.000	3.200.000 a 4.000.000
Costes de O&M (€/MWh)	6,2 a 16	6,4 a 12	3,2 a 8	4 a 6,4	1,5 a 12,3
Eficiencia sobre PCI (%)	30 a 42	14 a 30	21 a 40	30	26 a 50

Figura 4.2.6.1.1.-Diferentes tecnologías para la valorización del biogás.

Vamos a describir las tecnologías anteriormente nombradas:

- **Microturbinas:** Los motores de cogeneración son la tecnología más desarrollada para el aprovechamiento de biogás de depósito controlado. No obstante, sólo resultan viables en instalaciones a partir de 500 kW, con lo que existen numerosos vertederos en los que a causa de una baja producción de biogás o de una baja calidad de éste, en cuanto a concentración de metano se refiere, no se está aprovechando esta fuente de energía. Ante esta problemática, las microturbinas se presentan como una alternativa tecnológica a los motores de cogeneración gracias a dos de sus principales características.

Se trata de elementos modulares con capacidades unitarias entre 30 y 200 kW que pueden agruparse en serie y por tanto son aptas para cualquier tipo de instalación. Permiten el funcionamiento con gases de bajo poder calorífico, lo que en el caso del biogás se traduce en un contenido en metano mínimo de un 30-35 %, inferior al 40 % requerido en un motor de cogeneración.

Se trata de elementos compactos y con pocas partes móviles por lo que presentan menor coste de mantenimiento. Presentan menores emisiones atmosféricas y sonoras en relación con los motores térmicos.

Las microturbinas son equipos muy similares a las turbinas convencionales, pero con algunas diferencias en el modo de funcionamiento. La principal diferencia es el hecho de tener un ciclo de recuperación de calor para mejorar el rendimiento. El resto de diferencias se encuentran en el sistema de transformación de energía mecánica a eléctrica, ya que no existe una transmisión mecánica que haga funcionar el alternador directamente a 50 Hz, sino que el alternador funciona a alta frecuencia y la conversión se realice con electrónica de potencia.

El funcionamiento de una microturbina es muy sencillo. El aire es aspirado y tras pasar por un filtro de partículas es comprimido. A continuación, se hace circular por un intercambiador de calor donde absorbe parte de la energía de los gases de escape. El motivo es incrementar la temperatura previamente a la entrada a la cámara de combustión con lo que se consigue aumentar la eficiencia del proceso. Una vez en la cámara de combustión, se realiza la inyección del biogás y se produce la combustión de la mezcla. A diferencia de los motores alternativos, las turbinas precisan de una presión del biogás de entre 3 y 5 bar, suficiente para ser inyectado a la cámara de combustión. Los gases calientes producto de la combustión se expanden en la turbina, que al girar mueve el alternador eléctrico y el compresor. Los gases de escape expandidos se hacen circular por el intercambiador de calor. La salida del alternador es corriente alterna a alta frecuencia, por lo que es necesario la incorporación de un rectificador AC/DC y de un inversor que permita obtener una corriente alterna trifásica de 50 Hz.

- **Pilas de combustible:** Las pilas de combustible están constituidas por un conjunto de celdas apiladas, cada una de las cuales posee un ánodo o electrodo negativo y un cátodo o electrodo positivo, separados por un electrolito que facilita la transferencia iónica entre los electrodos. Cada una de las sustancias que participan en la reacción es alimentada a un electrodo distinto.
- **Motores de combustión interna:** La generación de energía eléctrica a partir del uso del biogás en motores de combustión interna consiste en la adaptación de pequeños grupos electrógenos, tanto de encendido por chispa (gasolina) como Diesel, para trabajar con biogás, para lo cual se han efectuado algunas modificaciones, principalmente, en el sistema de alimentación de combustible. Estas modificaciones se caracterizan por el uso de tecnología sencilla y la economía de su realización.
- **Motores Stirling:** El motor Stirling es un motor de combustión externa que puede funcionar, en principio, con cualquier tipo de combustible, incluso, con energía solar. Este motor, que es relativamente sencillo desde el punto de vista constructivo y operativo, se puede fabricar en cualquier taller medianamente equipado, a diferencia de los motores de combustión interna (motores a gasolina o Diesel) que requieren de un costoso y altamente tecnificado proceso de fabricación. Estos motores constan de dos pistones por cilindro, uno de potencia y el otro desplazador de aire. Una parte fundamental y distintiva de este motor es la presencia de un elemento llamado regenerador, que se encarga de almacenar calor durante cierta parte del ciclo, y devolver a la sustancia de trabajo esta misma cantidad (de calor) durante otra parte del ciclo térmico, con el consiguiente ahorro de combustible y aumento de la eficiencia.
- **Turbinas de gas:** También la generación de electricidad se puede realizar mediante calderas y turbinas de gas.

4.2.6.2 Redes de gas.

Una vez se ha depurado el biogás, eliminando compuestos como el SH₂, y aumentando la concentración de metano en la mezcla, el biogás enriquecido resultante, con un contenido de metano en torno al 91-95% puede inyectarse en las redes de transporte de gas, del mismo modo que el gas natural.

De este modo, el biogás puede emplearse como combustible doméstico para calefacción, o como materia prima en el ámbito industrial.

4.2.6.3 Empleo en vehículos.

Al igual que para su uso en la red de gas, la utilización del biogás como combustible para vehículos de automoción exige un enriquecimiento de la mezcla en metano, y purificación del mismo.

Existen dos variantes:

- El biogás comprimido (BGC).

- El biogás licuado (BGL).

El BGC se utiliza casi exclusivamente en vehículos ligeros, a una temperatura ambiente, y a una presión de unos 200 Kg/cm^2 . El consumo de BGC es de $6-8 \text{ m}^3$ por cada 100 Km recorridos, en vehículos ligeros, y de $25-35 \text{ m}^3$ por 100 Km en vehículos pesados, lo que resulta ser equivalente al consumo de las gasolinas en el caso de los vehículos ligeros y de los gasóleos en el caso de los pesados. Un metro cúbico de BGC equivale a 200 m^3 de biometano sin comprimir.

El BGL es el mismo gas que el BGC, aunque licuado, de manera que ocupa un volumen 3 veces menor (600 veces menor que el biogás sin comprimir). Se encuentra a una temperatura de -160°C , y su uso está indicado tanto para vehículos ligeros como pesados. No obstante, presenta ventajas claras frente al BGC, en lo que respecta a volumen necesario para el almacenamiento y autonomía del vehículo.

5 Gestión de residuos en la provincia de León.

La provincia de León tiene una superficie de 15.541 kilómetros cuadrados. Está situada en el cuadrante noroccidental de la Península Ibérica, es una de las más extensas de España. Limita al Norte con Asturias y Cantabria, al Sur con las provincias de Valladolid y Zamora, al Este con Palencia y al Oeste con Ourense y Lugo.

El relieve proporciona un gran contraste entre las zonas de montaña y los páramos y riberas situados en la meseta. De forma singular se pueden destacar dos zonas biogeográficas muy diferentes como son la Cuenca del Bierzo y la cadena montañosa que conforma los picos de Europa. El relieve permite dividir la provincia en dos grandes bloques, constituidos, el primero, por las Montañas Galaico-leonesa, el Bierzo, y Montaña Cantábrica y, el segundo, por lo que se denomina la Meseta Leonesa.

Considerando las grandes unidades morfoestructurales, en la provincia se puede distinguir la Montaña (Cordillera Cantábrica), Tierras de León, Vegas y Riberas, Montes de León, El Bierzo, Montaña Galaico-leonesa y Tierra de Campos, que configuran singulares regiones naturales que tienen una influencia real en las alianzas administrativas que se establecen para la resolución de problemas comunes a las administraciones que las integran.

León es una provincia compleja, con grandes desequilibrios que no permiten efectuar un análisis homogéneo de sus características demográficas, económicas y sociales. Desde el punto de vista del medio físico, la provincia está constituida por materiales de todas las edades geológicas, con predominio de terrenos paleozóicos, terciarios y cuaternarios. Tiene una orografía muy variada. La altitud media sobre el nivel del mar alcanza los 820 metros. Los picos más altos sobrepasan los 2.500 metros y el punto más bajo apenas llega a los 380 metros. La distribución pluviométrica, como consecuencia de las diferentes condiciones de altitud, presenta grandes irregularidades. Las precipitaciones anuales medias se cifran en 563 mm, sin embargo, en las zonas montañosas alcanza los 1.500 mm y en los páramos y tierras bajas no sobrepasa los 400 mm. En el marco de Comunidad Autónoma de Castilla y León, la provincia de León es la que registra el menor número de días de lluvia y en cambio representa el mayor porcentaje de horas de sol.

La situación hidrológica está condicionada por las características morfológicas y orográficas a las que ya se ha hecho referencia. La red fluvial se divide en tres grandes cuencas de diferentes grados de importancia.

- La Cuenca del Duero es la más extensa. Ocupa 11.266 kilómetros cuadrados de la provincia, con el 73% del territorio. Por ella discurre el río Esla y sus afluentes Cea, Porma, Bernesga y Órbigo.
- La Cuenca del Sil. Ocupa el 25% de la extensión del territorio provincial. Está configurada por el paso del río Sil, que baña las Comarcas del Bierzo y Laciana, en la que nace. Forman parte de esta cuenca los afluentes del Sil, Cua, Burbia, Cabrera y Boeza.
- La cuenca del Norte es la que representa menor extensión, ocupa 239 kilómetros cuadrados y se sitúa en el sector nororiental. Vierte sus aguas en el mar Cantábrico a través de los ríos Cares y Sella.

Hasta hace poco tiempo la provincia de León era la más poblada de todas las integradas en la Comunidad de Castilla y León. La distribución de la población es similar al resto de las provincias de la comunidad: muchos municipios escasamente poblados.

La provincia de León cuenta con una población de 484.694 habitantes. En los últimos años ha experimentado un decrecimiento demográfico, ya que en el año 2001, la población de León ascendía a 488.751 habitantes. A excepción de Valladolid y Segovia, todas las provincias experimentan un descenso en la población.

La provincia actualmente está integrada por 211 municipios, entre los que destacan por tamaño, León y Ponferrada, que representan en valor relativo casi el 40% del total de la población. Otros núcleos importantes son San Andrés del Rabanedo, Villablino, Astorga, Bembibre, La Bañeza y Valencia de Don Juan, todos ellos con una población superior a los 10.000 habitantes.

En la provincia de León se generan anualmente aproximadamente 190.000 toneladas de residuos urbanos (datos del 2013), que representa un cociente medio de generación de 1,07 Kg/habitante/día.

5.1 Objetivos del actual modelo.

Antiguamente (hasta finales de los años noventa), los servicios de gestión de residuos, principalmente recogida y eliminación, se realizaban a través de entidades supramunicipales constituidas bajo la fórmula de Mancomunidades de Municipios. Existen en la provincia 33 Mancomunidades que integran un total de 198 municipios y gestionaban 149.231 toneladas de residuos urbanos al año. Los 13 municipios restantes, que estaban sin mancomunar realizaban de forma individual el servicio. El principal método de tratamiento era el vertido directo y no controlado en la mayoría de los casos.

En aplicación del Plan Integral, la Diputación propone la creación del Consorcio Provincial para la Gestión de los Residuos Urbanos en la Provincia de León, GERSUL, que se constituye en 1997 y cuya finalidad es aportar soluciones viables a la gestión de los residuos que se generan en su ámbito territorial. Esta iniciativa de organización, junto con la legislación que en materia de residuos y envases se promulgó (Ley 11/1997 y Ley 10/1998), originó la necesidad de plantear la modificación del anterior Plan Integral, de

forma que se adaptase la gestión de los residuos a las nuevas exigencias que la ley establecía.

La elaboración de dicho Plan fue encargada por GERSUL a la empresa Informes y Proyectos en el año 1998, con el fin de que su vigencia se extendiese al período 1999-2005. El Plan Provincial de Gestión de Residuos Urbanos de la Provincia de León fue aprobado por la Asamblea General del Consorcio en diciembre de 1998. En él se recoge la situación a aquella fecha de la gestión de los residuos, se propone un nuevo modelo de gestión basado en la separación domiciliaria y se analizan las infraestructuras necesarias para el tratamiento de los residuos urbanos, así como las inversiones precisas para su aplicación.

5.1.1 Antecedentes.

El cierre de forma abrupta a finales de 1996 del vertedero de Santovenia de la Valdoncina, decretado por el propio Ayuntamiento, propició que los municipios integrados en la Mancomunidad de León y su Alfoz iniciasen la búsqueda precipitada de instalaciones de recepción alternativas de carácter provisionales, hasta que se alcanzase un acuerdo para seleccionar el lugar donde construir las definitivas. Inicialmente, durante un período corto que no llegó a las dos semanas, los residuos se llevaron al vertedero que ofreció el Ayuntamiento de Palencia, a pesar de la contestación social. Posteriormente, la empresa concesionaria del servicio de limpieza de León, Onyx (hoy, Urbaser), acondicionó el vertedero de la localidad de Calzada del Coto, ampliando su capacidad de forma que pudiera albergar los residuos que se generaban diariamente en León y su Alfoz. Durante el tiempo que la citada instalación dispuso de capacidad, aproximadamente un año, sirvió de vertedero autorizado en sustitución del de Santovenia. La colmatación del vertedero y la falta de acuerdo con los responsables de la entidad local, produjo una nueva situación de incertidumbre para el destino de los residuos que finalizó con la firma del acuerdo alcanzado por el Ayuntamiento de León y el Principado de Asturias mediante el que se permitía a todos los ayuntamientos del alfoz llevar los residuos a las instalaciones que el consorcio asturiano COGERSA tiene en La Zoreda (Asturias). Durante más de dos años y medio éste fue el destino de más del 30% de todos los residuos que se generan en la provincia.

Durante esa época, a los problemas ya citados de los ayuntamientos integrantes de la Mancomunidad de León y su Alfoz, hay que sumar los que se produjeron en los ayuntamientos que vertían sus residuos en Calzada del Coto. Estos ayuntamientos, integrados en las Mancomunidades de Sahagún y Zona de Sahagún, al cierre del vertedero de Calzada, se quedaron sin una instalación apropiada para la gestión de sus residuos. Además, el Ayuntamiento de Villablino, que venía padeciendo, de atrás, una situación similar, tampoco tiene una planta en la que gestionar los residuos de su municipio y los que se generan en la Mancomunidad a la que pertenece de Montaña Occidental.

Al final estas otras entidades acabaron vertiendo en el Principado de Asturias también, con el correspondiente coste adicional asociado.

Mientras tanto, la Diputación de León, en el marco del Plan Integral, por un lado y el Ayuntamiento de León por otro hacían gestiones para buscar un emplazamiento sobre el

que levantar una Planta de Tratamiento de Residuos, en ambos casos con vocación provincial. Fracasó el intento de la Diputación por obtener la autorización ambiental de la Junta de Castilla y León para ubicar la futura planta, de similares características a la de Cogersa, en el paraje conocido como el Teso del Rebocán, en Rioseco de Tapia, a pesar de existir conformidad del Ayuntamiento de Rioseco, y fracasó, igualmente, la iniciativa del Ayuntamiento de León, auspiciada por su empresa concesionaria, de construir un CTR (centro de tratamiento de residuos) en Villamartín de Don Sancho, debido al fuerte rechazo social.

Las instituciones leonesas deben afrontar de nuevo una situación de incertidumbre que exige la toma de decisiones y actuaciones inmediatas. La Diputación Provincial había seguido con interés la evolución del Consorcio de residuos asturiano, había establecido contactos y, sin duda, le atraía la fórmula para afrontar la gestión de la totalidad de los residuos urbanos producidos en la provincia. En 1995 había encargado a la Sociedad Asturiana para el Medio Ambiente, SAMPA, la elaboración de un Plan Integral de Gestión de los Residuos generados en la provincia y, en 1996, contrata a la consultora holandesa HASKONING el asesoramiento para su desarrollo. Finalmente el CTR se establecería en San Justo de la Vega, a escasos kilómetros de Astorga.

5.1.2 Constitución de GERSUL.

La Diputación Provincial lideró, con el apoyo de los principales partidos políticos con representación en la institución provincial, la formación de un Consorcio público que integrase a todos los ayuntamientos y mancomunidades de la provincia, desde el que se abordase la problemática de los residuos. Al proyecto se sumaron de forma inmediata los ayuntamientos de León, Ponferrada, San Andrés del Rabanedo y el Consejo Comarcal del Bierzo.

Tras la tramitación reglamentaria de los estatutos elaborados por la Diputación, y ratificados por todas las entidades interesadas en su incorporación, se celebró el 27 de noviembre de 1997, la Asamblea General constituyente.

El Consorcio se marcó tres objetivos prioritarios:

- La elaboración de un Plan de Gestión de Residuos Urbanos adaptado a la nueva legislación.
- La selección de terrenos idóneos para la ubicación de la Planta de Reciclaje y Compostaje de carácter provincial.
- La convocatoria de un concurso público para la contratación de la concesión administrativa del sistema de gestión de los residuos de la provincia de León, que incluyera la redacción de los proyectos, la construcción y su explotación.

5.2 División de la provincia en áreas de gestión.

Para facilitar la recogida y el transporte de los residuos urbanos al centro de tratamiento que corresponda, se ha dividido la provincia en áreas de gestión.

Las áreas de gestión son unidades territoriales integradas por varias mancomunidades de municipios y, en ocasiones, municipios sin mancomunar, que disponen de algunas

infraestructuras fijas para la gestión de los residuos urbanos. Estas áreas de gestión exhiben unas características comunes, como son:

- Gestionan unos volúmenes de residuos suficientes, de forma que permiten una economía de escala suficiente para el desarrollo del modelo de gestión.
- Facilitan el principio de proximidad en cuanto la recogida y transporte, de forma que, todos y cada uno de los municipios dispongan de un centro de recogida lo más próximo posible.
- Conservan, en la mayor parte de las ocasiones, la asociación de municipios o mancomunidades preexistentes al objeto de facilitar la incorporación rápida al sistema.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, la provincia de León está dividida en 9 áreas, que cubren todo el territorio.

Nº Área	Estación de Transferencia	Sup. Km2	Distancia a la PC	Distancia al CTR
1	Ponferrada	2.891	-	68
2	Villablino	1.441	62	130
3	La Robla	1.961	25	64
4	Cistierna	1.443	61	105
5	Mansilla de las Mulas	1.699	22	61
6	Val.D.D. Juan	873	49	49
7	La Bañeza	1.798	26	26
8	León	1.389	-	39
9	San Román	1.859	-	-

Figura5.2.1.-División de la provincia en áreas.

Área de gestión nº1. Estación de Transferencia de Ponferrada.

Está situada al Oeste de la provincia y constituida fundamentalmente por las comarcas del Bierzo y la Cabrera Baja. Se integran en ella 36 municipios. Administrativamente, para la gestión de los residuos urbanos se han constituido nueve mancomunidades que agrupan a 33 de los 36 municipios existentes. Las mancomunidades con sus respectivos municipios son:

- **Bierzo alto:** Folgoso de la Ribera, Igüeña, Noceda y Torre del Bierzo.
- **Bierzo central:** Arganza, Cabañas Raras, Cacabelos, Camponaraya, Carracedelo, Cubillos del Sil, Sancedo y Villadecanes.

- **Bierzo oeste:** Balboa, Barjas, Corullón, Trabadelo y Vega de Valcarce.
- **Valle del Burbia:** Vega de Espinareda y Villafranca del Bierzo.
- **Bierzo sur oeste:** Carucedo, Sobrado y Oencia.
- **ZAM:** Puente de Domingo Flórez y Borrenes.
- **Cabrera Baja:** Benuza y Encinedo.
- **Cúa:** Berlanga del Bierzo, Candín, Fabero y Peranzanes.
- **Ribera Boeza:** Bembibre, Castropodame y Congosto.

Molinaseca, Ponferrada y Priaranza del Bierzo están sin mancomunar.

Área de gestión nº2. Estación de transferencia de Villablino.

Se sitúa al Norte de la provincia y está constituida por la Comarcas de la Montaña Occidental y Sena de Luna en la que se integran 8 municipios. Hay tres mancomunidades que agrupan a los ocho municipios existentes.

- **Montaña occidental:** Cabrillanes, Murias de Paredes, Palacios del Sil y Villablino.
- **Sena de Luna- San Emiliano:** San Emiliano y Sena de Luna.
- **Del Sil:** Páramo del Sil Toreno

Área de gestión nº3. Estación de transferencia de La Robla.

Está situada también al Norte de la provincia y está constituida por las Comarcas de Montaña Luna y Montaña de Riaño, en las que se integran 19 municipios. Se han constituido tres mancomunidades que agrupan a 13 de los 19 municipios existentes:

- **Alto Bernesga:** Pola de Gordón (La) y Villamanín.
- **Curueño:** Cármenes, Valdelugeros, Valdepiélago, Vecilla (La), y Vegaquemada.
- **La Magdalena:** Barrios de Luna (Los), Carrocera, Riello, Rioseco de Tapia, Santa María de Ordás y Soto y Amío.

Boñar, Matallana de Torío, Puebla de Lillo, Reyero, La Robla y Vegacervera están sin mancomunar.

Área de gestión nº4. Estación de transferencia de Cistierna.

Se sitúa al Noreste de la provincia y está constituida por la Comarca de La Montaña de Riaño, en la que se integran 15 municipios. Existen dos mancomunidades que agrupan a los 15 municipios existentes:

- **Alto Esla-Cea:** Cebanico, Cistierna, La Ercina, Prado de la Guzpeña, Sabero y Valderrueda.
- **Montaña de Riaño:** Acebedo, Boca de Huérgano, Burón, Crémenes, Maraña, Oseja de Sajambre, Posada de Valdeón, Prioro y Riaño.

Área de gestión nº5. Estación de transferencia de Mansilla de las Mulas.

Está situada al Sureste de la provincia y está constituida por las Comarcas de Esla-Campos y Sahagún, en las que se integran 25 municipios. Existen dos mancomunidades que agrupan a los 25 municipios existentes.

- **Ribera del Esla:** Cubillas de Rueda, Gradefes, Mansilla Mayor, Mansilla de las Mulas, Valdepolo y Villamoratiel de las Matas.
- **Sahagún:** Sahagún, Almanza, Bercianos del Real Camino, Burgo Ranero, Calzada del Coto, Castrotierra de Valmadrigal, Cea, Escobar de Campos, Gordaliza de Campos, Grajal de Campos, Joarilla de las Matas, Santa Cristina de Valmadrigal, Santa María del Monte Cea, Valverde Enrique, Vallecillo, Villamartín de D. Sancho, Villamol, Villaselan y Villazanzo de Valderaduey.

Área de gestión nº6. Estación de transferencia de Valencia de Don Juan.

Se sitúa al Sur de la provincia y está constituida exclusivamente por la Mancomunidad de Municipios del Sur de León, MANSURLE, en la que se integran la totalidad de los 25 municipios existentes:

- **MANSURLE:** Cabreros del Río, Cubillas de los Oteros, Fresno de la Vega, Pajares de los Oteros, San Millán de los aballeros, Toral de los Guzmanes, Valencia de Don Juan, Villaornate y Castro, Gusendos de los Oteros, Izagre, Matadeón de los Oteros, Matanza, Villabraz, Algadefe, Campazas, Castilfalé, Cimanes de la Vega, Fuentes de Carbajal, Gordoncillo, Valdemora, Valderas, Villamandos, Villaquejida, Villademor de la Vega y Villamañán.

Área de gestión nº7. Estación de transferencia de La Bañeza.

Situada al Sur de la provincia. Está constituida por las Comarcas de La Cabrera, La Bañeza, y El Páramo, en las que se integran 35 municipios. Existen cuatro mancomunidades que agrupan a 33 de los 35 municipios existentes:

- **Cabrera-Valdería:** Castrillo de la Cabrera, Castrocalbón, Castrocontrigo, San Esteban de Nogales y Truchas.
- **La Bañeza:** La Bañeza, Cebrones del Río, Destriana, Quintana del Marco, Soto de la Vega, Villazala, Roperuelos del Páramo y Villamontán de la Valduerna.
- **Las Cuatro Riberas:** Castrillo de la Valduerna, Palacios de la Valduerna, Quintana y Congosto, Riego de la Vega, San Cristóbal de la Polantera, Santa Elenea de Jamuz y Santa María de la Isla.
- **Páramo:** La Antigua, Bercianos del Páramo, Bustillo del Páramo, Laguna Dalga, Laguna de Negrillos, Pobladura de Pelayo García, Pozuelo del Páramo, Regueras de Arriba, San Pedro Bercianos, Santa María del Páramo, Urdiales del Páramo, Valdefuentes del Páramo y Zotes del Páramo.

Alija del Infantado y San Adrián del Valle están sin mancomunar.

Área de gestión nº8. Estación de transferencia de León.

Es la de mayor densidad de población de las nueve existentes. Está situada en la zona centro de la provincia e integra la Comarca de Tierras de León, en la que se agrupan 22 municipios. Está formada por cuatro mancomunidades y un solo Ayuntamiento sin mancomunar: Garrafe de Torío.

- **Condado- Curueño:** Santa Colomba de Curueño y Vegas del Condado.
- **Esla-Bernesga:** Ardón, Campo de Villavidel, Corbillos de los Oteros, Onzonilla, Santas Martas, Valdevimbre, Vega de Infanzones y Villanueva de las Manzanas.
- **Lancia-Sobarriba:** Valdefresno, Villasabariego y Villaturiel.
- **León y su alfoz:** Chozas de Abajo, Cuadros, León, San Andrés del Rabanedo, Santovenia de la Valdoncina, Sariegos, Valverde de la Virgen y Villaquilambre.

Garrafe del Torío está sin mancomunar.

Área de gestión nº9. Complejo ambiental de San Román de la Vega.

Está localizada en la zona centro de la provincia y la forma fundamentalmente los municipios de la Comarca de Astorga, en la que se integran 26 de ellos. En esta área se integra el Complejo Ambiental de San Román de la Vega.

Actualmente existen cinco mancomunidades que agrupan 25 de los 26 municipios existentes (todos menos Astorga):

- **Alto Órbigo:** Carrizo, Cimanos del Tejar, Llamas de la Ribera, Las Omañas, Valdesamario y Villadangos del Páramo.
- **Cepeda:** Magaz de Cepeda, Quintana del Castillo, Villagatón, Villamejil y Villaobispo de Otero.
- **Maragatería:** Luyego, Brazuelo, Lucillo, Santa Colomba deSomoza, Santiago Millas y Val de San Lorenzo.
- **Órbigo:** Benavides, Hospital de Órbigo, Santa Marina del Rey, Turcia, Villares de Órbigo y Villarejo de Órbigo.
- **Vega del Tuerto:** San Justo de la Vega y Valderrey.

Astorga se encuentra sin mancomunar.

A continuación se incluye una imagen con las aportaciones de residuos urbanos de cada uno de los municipios de la provincia anteriormente citados en el ejercicio 2013.

Entregas de residuos en masa														
Entidad Local	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL	Población
Alja del Infantado	29.900	18.160	19.120	23.620	23.580	26.100	32.440	45.840	29.920	34.100	24.240	25.860	332.880	760
Alto Órbigo	171.800	155.740	191.380	229.180	208.500	206.740	308.660	346.380	243.380	220.900	219.180	181.200	2.683.040	5.854
Astorga	371.500	328.440	367.880	376.580	368.780	345.760	396.860	422.020	375.660	417.100	403.780	391.120	4.565.480	11.690
Balboa	0	0	0	0	8.540	6.600	11.260	16.520	13.680	8.680	10.460	6.280	82.020	
La Bañeza	0	0	0	0	0	0	0	462.580	397.240	417.620	375.000	376.300	2.028.740	
Bierzo Alto	176.000	150.580	162.960	191.820	164.480	151.920	188.220	216.880	162.320	180.360	180.560	183.360	2.109.460	5.730
Bierzo Central	584.500	508.460	558.560	627.120	594.780	557.620	676.340	660.020	614.920	647.300	605.340	626.780	7.261.740	20.849
Bierzo Oeste	76.160	61.440	70.780	84.060	71.180	62.220	88.040	111.140	80.160	78.680	66.380	74.660	924.900	2.723
Bierzo Suroeste	23.820	17.160	19.900	29.600	27.680	24.900	39.140	64.180	29.200	33.440	27.380	22.320	358.720	1.319
Boñar	54.200	45.200	67.540	90.620	73.180	81.500	142.020	135.600	76.060	103.180	94.420	78.340	1.041.860	2.031
Borrenes	4.920	6.700	11.840	2.600	2.980	4.180	17.160	10.220	6.880	11.100	5.220	11.180	94.980	368
Cármenes	6.900	6.540	8.280	12.500	8.900	11.460	22.400	26.660	18.320	12.560	9.160	9.780	153.460	
Cabrera Baja	53.000	41.520	39.380	48.520	55.100	61.160	83.780	124.580	64.140	57.380	44.040	43.520	716.120	1.990
Castrocontrigo	23.840	12.860	20.280	24.160	30.680	24.780	44.820	71.320	29.440	32.680	27.620	22.640	365.120	
Cebanico	8.960	1.700	4.820	3.260	4.200	8.180	6.400	0	9.260	16.200	5.720	480	69.180	186
Chozas de Abajo	45.320	42.440	55.780	57.040	64.260	65.880	95.700	97.480	78.500	71.320	64.540	60.580	798.840	2.474
Cistierna	116.300	100.600	115.480	127.400	128.160	128.460	160.760	177.400	134.000	128.940	123.320	119.300	1.560.120	3.568
Comarca de la Bañeza	505.440	464.800	481.680	549.340	527.320	519.200	648.820	250.980	184.080	190.140	152.880	148.280	4.622.960	16.159
Cúa	187.140	168.020	175.480	186.180	161.380	143.320	171.960	190.860	149.960	173.000	181.260	190.660	2.079.220	6.039
Cuadros	75.600	68.800	64.180	79.560	70.200	73.440	87.100	85.780	71.340	80.080	75.640	67.460	899.180	2.018

Cuatro Riberas	130.220	101.600	105.200	143.980	140.540	132.700	215.360	255.340	164.660	186.260	141.520	152.060	1.869.440	4.468
Curueño	43.840	37.700	56.420	67.340	65.980	77.420	138.160	133.060	73.340	67.300	54.600	50.240	865.400	2.255
Diputación de León/JCYL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
El Páramo	276.060	230.840	260.340	338.100	323.220	306.580	408.040	478.200	381.200	372.020	331.100	301.220	4.006.920	9.866
Esla Bernesga	143.940	140.500	160.960	204.140	202.200	187.200	265.980	303.020	231.800	222.340	189.340	169.460	2.420.880	5.197
Garrafe de Torío	39.420	30.540	35.700	52.940	42.860	42.840	73.340	77.880	51.660	46.520	35.800	40.960	570.460	1.366
Hospital de Órbigo	27.460	27.340	13.720	36.780	27.480	45.500	62.320	53.580	57.660	59.700	44.860	40.000	496.400	1.003
La Cepeda	68.680	59.600	73.440	94.020	86.760	86.800	134.000	178.340	105.880	108.120	89.240	85.460	1.170.340	3.217
La Ercina	12.800	10.220	11.100	12.020	24.460	19.480	18.020	37.320	13.380	14.040	9.740	16.960	199.540	518
La Maragatería	72.020	61.180	80.600	99.400	98.780	95.120	149.340	198.560	115.580	117.880	93.480	83.900	1.265.840	2.846
La Pola de Gordón	161.360	139.440	152.520	169.700	153.980	135.500	171.840	168.460	141.400	149.860	162.520	166.460	1.873.040	3.823
La Robla	173.380	153.440	160.920	176.180	162.200	135.600	161.620	148.960	137.660	159.440	167.420	173.440	1.910.260	4.482
La Valdería	34.380	26.240	24.540	32.780	30.440	33.120	41.020	52.600	34.060	46.640	30.260	32.440	418.520	1.359
Lancia Sobarriba	202.260	182.080	227.040	284.280	279.620	282.480	346.660	322.480	276.980	309.720	262.980	249.800	3.226.380	5.281
León	3.964.740	3.519.700	3.916.080	3.890.760	3.824.020	3.592.620	3.531.200	3.210.920	3.482.120	4.196.020	3.966.000	3.994.840	45.089.020	130.601
Mansilla de las Mulas	122.400	113.220	123.160	143.960	142.100	135.040	197.600	178.660	163.200	135.780	120.640	108.840	1.684.600	1.908
MANSURLE	384.360	344.240	390.940	470.740	447.500	457.980	681.020	787.100	551.860	525.320	461.320	418.160	5.920.540	15.375
Matalana de Torío	56.260	58.980	65.340	74.200	69.180	58.800	75.380	83.880	64.240	62.160	65.480	69.960	803.860	1.374
Molinaseca	25.380	22.940	26.200	31.720	36.080	35.380	44.220	53.660	41.180	35.300	31.780	28.220	412.060	895
Montaña de Riaño	62.140	46.660	66.580	97.360	83.720	94.320	171.180	233.960	125.680	108.420	79.240	68.280	1.237.540	3.476
Montaña Occidental	586.380	499.120	522.520	571.740	510.140	482.020	499.060	506.480	433.240	507.280	537.740	576.160	6.231.880	12.473
Omaña-Luna	98.540	81.900	95.960	135.960	138.420	131.360	209.580	225.040	146.340	138.100	118.280	109.000	1.628.480	3.187

Órbigo	181.980	152.100	173.920	210.620	193.860	194.220	285.580	308.120	237.720	240.240	210.980	199.240	2.588.580	6.589
Páramo del Sil	70.720	63.920	97.060	94.340	81.760	64.720	85.620	86.120	66.360	75.580	76.740	75.180	938.120	1.414
Ponferrada	1.963.000	1.740.920	1.944.120	1.930.460	1.895.780	1.776.580	1.838.260	1.837.680	1.883.720	2.058.960	1.930.800	2.029.060	22.829.340	68.121
Pozuelo del Páramo	6.520	12.880	17.860	14.520	15.800	19.480	26.180	24.160	16.740	26.540	20.860	14.740	216.280	510
Prado de la Guzpeña	0	0	2.000	11.560	4.880	6.160	10.220	3.900	6.220	4.540	3.540	5.860	58.880	136
Puebla de Lillo	60.100	45.480	48.180	36.080	26.060	29.340	33.560	45.160	25.520	21.940	20.420	32.580	424.420	688
Puente de Domingo Flórez	46.520	30.040	25.960	59.460	49.900	35.220	39.120	63.340	37.620	36.380	55.380	33.160	512.100	1.565
Reyero	0	0	0	2.200	2.760	3.580	3.320	6.620	10.440	0	3.720	0	32.640	121
Ribera del Boeza	424.140	365.560	401.500	436.700	377.040	364.660	431.140	439.180	403.660	409.120	427.680	421.160	4.901.540	13.206
Ribera del Esla	73.560	64.560	72.580	113.040	105.600	102.880	169.300	189.620	118.940	119.020	93.780	84.600	1.307.480	3.309
San Adrián del Valle	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	114
Sabero	34.880	26.580	35.020	48.800	49.500	48.580	63.120	68.180	45.940	37.060	42.760	37.820	538.240	1.313
Sahagún	176.780	153.180	154.660	192.140	193.300	193.660	231.260	259.260	191.480	198.100	174.520	157.000	2.275.340	2.791
San Andrés Rabanedo	797.900	705.600	738.100	848.500	823.900	746.640	824.520	769.260	740.760	862.980	804.200	774.500	9.436.860	31.862
San Emiliano Sena de Luna	26.760	21.980	22.720	35.660	35.200	34.420	56.840	65.560	40.220	37.400	31.740	25.620	434.120	1.101
Santovenia Valdoncina	118.660	114.920	122.360	138.720	164.740	128.920	160.680	152.140	131.040	132.640	142.320	123.120	1.630.260	1.978
Sariegos	133.540	127.300	128.160	176.700	187.100	179.000	181.040	184.820	163.920	170.200	154.860	137.620	1.924.260	4.778
Toreno	99.140	77.760	80.820	101.040	81.380	81.580	88.940	95.160	80.440	96.500	92.460	108.600	1.083.820	3.525
Valderrueda	29.100	19.120	18.660	30.760	23.760	24.720	32.320	57.960	43.900	25.100	16.320	28.940	350.660	944
Valencia de don Juan	2.540	780	1.940	2.340	2.260	1.540	3.680	2.800	2.760	6.500	1.540	1.040	29.720	0
Valle del Burbia	205.340	182.040	203.500	215.960	220.980	221.160	270.460	283.140	268.820	293.140	226.380	228.220	2.819.140	5.696
Valverde	174.980	160.340	171.880	197.460	190.840	182.000	215.960	190.600	193.760	203.620	181.680	180.600	2.243.720	7.165

Vega de Infanzones	31.920	21.820	26.940	30.120	26.620	30.820	37.000	34.200	31.140	33.340	30.040	27.440	361.400	932
Vega del Tuerto	67.980	59.320	59.980	85.580	71.520	57.800	60.260	55.120	64.900	78.780	83.820	79.940	825.000	2.467
Vegacervera	6.180	8.880	2.920	6.420	7.660	8.820	15.380	23.100	15.220	21.300	19.400	15.860	151.140	329
Vegaquemada	9.540	6.240	8.340	14.540	11.920	21.680	22.060	32.520	5.480	11.440	14.660	10.240	168.660	456
Vegas del Condado	54.920	44.600	36.120	54.540	54.780	61.100	102.040	134.440	63.640	57.020	45.240	43.960	752.400	1.157
Villamanin	34.360	31.380	47.620	46.220	44.280	47.440	65.900	71.300	50.400	45.100	39.800	43.400	567.200	1.087
Villarejo de Orbigo	109.160	96.880	110.740	132.240	136.060	125.380	163.000	174.860	131.660	140.280	125.040	109.920	1.555.220	3.199
Villaquilambre	460.460	400.940	426.940	512.020	486.980	453.520	512.680	454.200	470.080	509.660	475.140	452.800	5.615.420	18.343
Zona de Sahagún	116.920	107.940	130.180	182.860	169.540	177.360	273.180	339.300	212.820	179.440	160.140	144.960	2.194.640	5.276
TOTAL	14.718.920	12.929.700	14.315.380	15.832.860	15.219.320	14.494.260	17.119.440	17.655.760	15.316.900	16.614.900	15.395.440	15.203.140	184.816.020	488.900

Figura5.2.2.-Aportación de residuos de los municipios de la provincia de León.

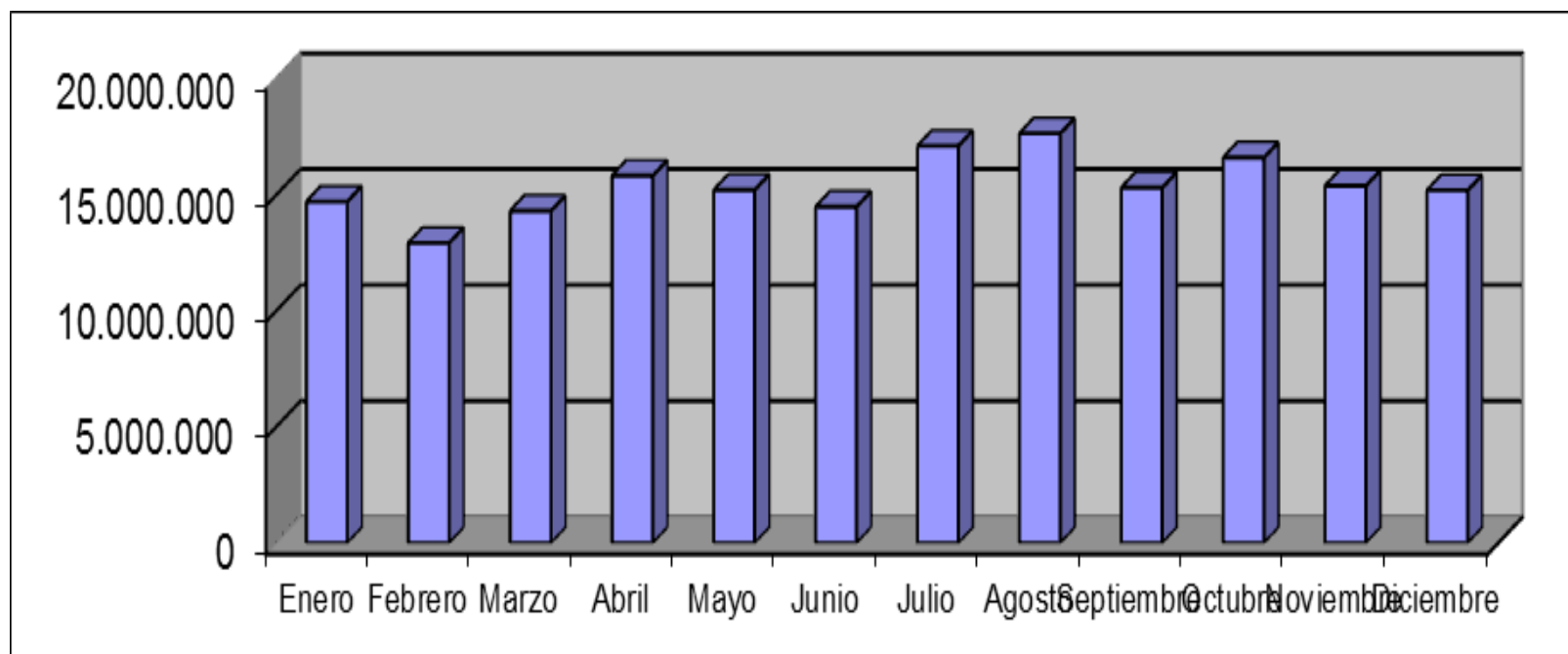


Figura5.2.3.-Aportación de residuos de todos los municipios de la provincia de León en función del mes del año (2013).

MUNICIPIO	Hab. (2013)	ENVASES LIGEROS (2013)						PAPEL CARTÓN (2013)					VIDRIO (2013)		
		CANTIDAD (kg/Hab/año)	CANTIDAD kg/año	¿ IMPROPIOS	Nº CONTENEDORES			CANTIDAD (kg/Hab/año)	CANTIDAD kg/año	Nº CONTENEDORES			Nº CONTENED	CANTIDAD kg/año	CANTIDAD Kg/hab/año
					CARGA LATERAL	SUPERIOR	TRASERA			CARGA LATERAL	SUPERIOR	TRASERA			
Acebedo	230	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	7.896	34,33
Algadefe	307	10,6	3.254	26,1	0	0	5	14,5	4.452	0	2	0	6	7.432	24,21
Alija del Infantado	760	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	7.123	9,37
Almanza	601	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2.494	4,15
Antigua, La	447	9,9	4.425	26,5	0	6	0	18,5	8.270	0	8	0	9	13.833	30,95
Ardón	617	0	0	0	0	0	0	7,6	4.689	0	12	0	9	8.558	13,87
Arganza	860	5,1	4.386	18,5	0	6	0	15,2	13.072	0	4	0	14	28.175	32,76
Astorga	11.690	6,1	71.309	22,9	40	5	0	16,8	196.392	43	21	0	61	184.986	15,82
Balboa	339	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	8.087	23,86
Bañeza, La	10.711	5,3	56.768	25,1	30	0	0	0	0	0	0	0	45	87.970	8,21
Barjas	214	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4.997	23,35
Barrios de Luna, Los	317	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	8.769	27,73
Bembibre	9.774	4,5	43.983	25,8	0	38	0	7	68.418	0	42	0	46	76.840	7,86
Benavides	2.719	3	8.157	23,2	0	22	0	3,6	9.788	0	18	0	20	54.478	20,04
Benuza	530	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	5.116	9,65
Bercianos del Páramo	645	9,9	6.386	26,5	0	8	0	18,5	11.933	0	8	0	10	18.535	28,74
Bercianos del Real Camino	194	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5.613	28,93
Berlanga del Bierzo	389	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	7.484	19,24
Boca de Huérgano	515	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	10.478	20,35
Boñar	2.031	0	0	0	0	0	0	30,4	61.742	0	5	0	30	63.039	31,04
Borrenes	368	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5.605	15,23

Brazuelo	318	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	11.919	37,48
Burgo Ranero, El	776	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	15.656	20,18
Burón	322	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10.691	33,2
Bustillo del Páramo	1.369	9,9	13.553	26,5	0	16	0	18,5	25.327	0	16	0	17	19.220	14,04
Cabañas Raras	1.328	5,1	6.773	18,5	0	8	0	15,2	20.186	0	5	0	12	20.320	15,3
Cabreros del Río	462	10,6	4.897	26,1	0	0	11	14,1	6.514	0	7	0	8	7.994	17,3
Cabrillanes	866	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12.381	14,3
Cacabelos	5.459	5,1	27.841	18,5	0	28	0	15,2	82.977	0	24	0	42	88.572	16,22
Calzada del Coto	260	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3.160	12,15
Campazas	139	10,6	1.473	26,1	0	0	3	14,5	2.016	0	2	0	2	1.461	10,51
Campo de Villavidel	209	0	0	0	0	0	0	7,6	1.588	0	6	0	2	3.582	17,14
Camponaraya	4.194	5,1	21.389	18,5	0	16	0	15,2	63.749	0	18	0	30	52.628	12,55
Candín	320	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	5.027	15,71
Cármenes	407	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	7.600	18,67
Carracedelo	3.636	5,1	18.544	18,5	0	15	0	15,2	55.267	0	15	0	29	45.372	12,48
Carrizo	2.481	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	49.589	19,99
Carrocera	545	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	7.816	14,34
Carucedo	618	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	4.587	7,42
Castilfalé	77	10,6	816	26,1	0	0	2	14,5	1.117	0	1	0	1	2.206	28,65
Castrillo de Cabrera	134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3.039	22,68
Castrillo de la Valduerna	187	5,2	972	25,3	0	0	2	7,7	1.440	0	2	0	3	3.419	18,28
Castroalbón	1.075	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	14.300	13,3
Castrocontrigo	852	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19	18.211	21,37
Castropodame	1.768	4,5	7.956	25,8	0	12	0	7	12.376	0	10	0	11	6.450	3,65
Castrotierra de Valmadrigal	114	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	853	7,48
Cea	496	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	12.177	24,55
Cebanico	186	2,9	539	26,7	0	2	0	0	0	0	0	0	7	6.041	32,48

Cebrones del Río	540	3,2	1.728	26,4	0	5	0	13,4	7.236	0	7	0	5	4.243	7,86
Chozas de Abajo	2.474	12,3	30.430	29,7	0	50	0	18,5	45.769	0	45	0	44	60.769	24,56
Cimanes de la Vega	519	10,6	5.501	26,1	0	0	13	14,5	7.526	0	4	0	9	8.946	17,24
Cimanes del Tejar	783	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	24.676	31,51
Cistierna	3.568	2,9	10.347	26,7	0	22	0	7,4	26.403	0	32	0	25	46.672	13,08
Congosto	1.664	4,5	7.488	25,8	0	25	0	7	11.648	0	20	0	11	8.580	5,16
Corbillos de los Oteros	215	0	0	0	0	0	0	7,6	1.634	0	7	0	4	6.284	29,23
Corullón	1.068	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	9.019	8,44
Crémenes	601	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	22.196	36,93
Cuadros	2.018	28,7	57.917	27,5	0	0	35	27,1	54.688	21	0	0	23	11.988	5,94
Cubillas de los Oteros	154	10,6	1.632	26,1	0	0	4	14,5	2.233	0	2	0	5	3.398	22,06
Cubillas de Rueda	497	4,6	2.286	22,7	0	12	0	3,7	1.839	0	11	0	14	8.232	16,56
Cubillos del Sil	1.865	5,1	9.512	18,5	0	9	0	15,2	28.348	0	8	0	18	18.242	9,78
Destriana	579	3,2	1.853	26,4	0	5	0	13,4	7.759	0	8	0	6	8.589	14,83
Encinedo	834	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2.837	3,4
Ercina, La	518	2,9	1.502	26,7	0	3	0	0	0	0	0	0	1	1.401	2,7
Escobar de Campos	51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	711	13,94
Fabero	5.006	3,2	16.019	19,2	0	10	0	10,4	52.062	0	24	0	30	51.600	10,31
Folgozo de la Ribera	1.207	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	14.538	12,04
Fresno de la Vega	643	10,6	6.816	26,1	0	10	0	14,5	9.324	0	6	0	12	8.172	12,71
Fuentes de Carbajal	106	10,6	1.124	26,1	0	0	5	14,5	1.537	0	2	0	2	4.090	38,58
Garrafe de Torío	1.366	0	0	0	0	0	0	46,6	63.656	0	17	0	29	29.251	21,41
Gordaliza del Pino	269	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3.607	13,41
Gordoncillo	478	10,6	5.067	26,1	0	10	0	14,5	6.931	0	4	0	10	15.490	32,41
Gradefes	1.028	4,6	4.729	22,7	0	25	0	3,7	3.804	0	22	0	30	11.758	11,44
Grajal de Campos	249	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5.931	23,82
Gusendos de los Oteros	137	10,6	1.452	26,1	0	0	5	14,5	1.987	0	3	0	3	2.904	21,2

Hospital de Órbigo	1.003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	32.415	32,32
Igüeña	1.347	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	8.015	5,95
Izagre	201	10,6	2.131	26,1	0	0	8	14,5	2.915	0	3	0	7	7.140	35,52
Joarilla de las Matas	333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4.954	14,88
Laguna Dalga	712	9,9	7.049	26,5	0	7	0	18,5	13.172	0	8	0	17	9.301	13,06
Laguna de Negrillos	1.149	9,9	11.375	26,15	0	12	0	18,5	21.257	0	14	0	16	20.287	17,66
León	130.601	10,6	1.384.371	21,8	395	15	0	27,1	3.539.287	450	20	0	370	2.288.470	17,52
Llamas de la Ribera	938	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	18.146	19,35
Lucillo	408	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4.732	11,6
Luyego	748	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8.116	10,85
Magaz de Cepeda	386	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	11.348	29,4
Mansilla de las Mulas	1.908	4,5	8.586	26,7	0	12	0	14,4	27.475	0	23	0	15	21.870	11,46
Mansilla Mayor	326	4,6	1.500	22,7	0	5	0	3,7	1.206	0	5	0	5	2.548	7,82
Maraña	151	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.666	30,9
Matadeón de los Oteros	274	10,6	2.904	26,1	0	0	7	14,5	3.973	0	4	0	5	3.072	11,21
Matallana de Torío	1.374	2,9	3.985	26,4	0	7	0	7,7	10.580	0	15	0	29	33.273	24,22
Matanza	213	10,6	2.258	26,1	0	0	8	14,5	3.089	0	3	0	5	8.537	40,08
Molinaseca	895	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	21.160	23,64
Murias de Paredes	465	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	11.450	24,62
Noceda del Bierzo	736	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11.253	15,29
Oencia	333	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Omañas, Las	316	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	11.999	37,97
Onzonilla	1.775	0	0	0	0	0	0	7,6	13.490	0	18	0	26	24.278	13,68
Oseja de Sajambre	282	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	10.582	37,52
Pajares de los Oteros	330	10,6	3.498	26,1	0	0	9	14,5	4.785	0	7	0	8	6.221	18,85
Palacios de la Valduerna	435	5,2	2.262	25,3	0	0	2	7,7	3.350	0	2	0	1	1.700	3,91
Palacios del Sil	1.139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	7.617	6,69

Páramo del Sil	1.414	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	11.074	7,83
Peranzanes	324	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	5.238	16,17
Pobladura de Pelayo García	422	9,9	4.178	26,5	0	5	0	18,5	7.807	0	5	0	6	5.114	12,12
Pola de Gordón, La	3.823	4,6	17.586	27,4	0	29	0	14,2	54.287	0	32	0	42	63.398	16,58
Ponferrada	68.121	8,2	558.592	28,1	190	0	55	20	1.362.420	198	0	30	240	741.560	10,89
Posada de Valdeón	481	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	10.488	21,8
Pozuelo del Páramo	510	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	8.503	16,67
Prado de la Guzpeña	136	2,9	394	26,7	0	1	0	0	0	0	0	0	6	7.836	57,62
Priaranza del Bierzo	828	5,1	4.223	18,5	0	3	0	15,2	12.586	0	3	0	6	13.091	15,81
Prioro	396	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	8.519	21,51
Puebla de Lillo	688	0	0	0	0	0	0	25,9	17.819	0	8	0	15	29.821	43,34
Puente de Domingo Flórez	1.565	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	10.338	6,99
Quintana del Castillo	796	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	29.580	37,16
Quintana del Marco	439	3,2	1.405	26,4	0	3	0	13,4	5.883	0	5	0	4	5.179	11,8
Quintana y Congosto	410	5,2	2.132	25,3	0	0	7	7,7	3.157	0	7	0	7	7.783	18,98
Regueras de Arriba	330	9,9	3.267	26,5	0	6	0	18,5	6.105	0	5	0	4	3.651	11,06
Reyero	121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	3.588	29,65
Riaño	498	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	29.647	59,53
Riego de la Vega	879	5,2	4.571	25,3	0	0	9	7,7	6.768	0	9	0	18	19.745	22,46
Riello	693	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	13.009	18,77
Rioseco de Tapia	389	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	11.811	30,36
Robla, La	4.482	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	55.354	12,35
Roperuelos del Páramo	614	3,2	1.965	26,4	0	5	0	13,4	8.228	0	7	0	5	5.498	8,95
Sabero	1.313	2,9	3.808	26,7	0	7	0	12,8	16.806	0	6	0	8	23.124	17,61
Sahagún	2.791	6,9	19.258	26,9	0	18	0	11,9	33.213	0	20	0	28	42.254	15,14
San Adrián del Valle	114	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3.462	30,37
San Andrés del Rabanedo	31.862	7,6	242.151	28,6	86	0	0	13,5	430.137	101	0	0	89	276.730	8,69

San Cristóbal de la Polantera	826	5,2	4.295	25,3	0	0	9	7,7	6.360	0	9	0	14	16.509	19,99
San Emiliano	703	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	6.541	9,3
San Esteban de Nogales	284	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	9.236	32,52
San Justo de la Vega	1.991	4,6	9.159	24,3	0	4	0	13	25.883	0	13	0	15	34.158	17,16
San Millán de los Caballeros	190	10,6	2.014	26,1	0	0	4	14,5	2.755	0	2	0	2	4.889	25,73
San Pedro Bercianos	265	9,9	2.624	26,5	0	6	0	18,5	4.903	0	4	0	4	6.529	24,64
Sancedo	571	5,1	2.912	18,5	0	3	0	15,2	8.679	0	4	0	7	7.757	13,58
Santa Colomba de Curueño	540	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	28.444	52,67
Santa Colomba de Somoza	501	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	15.701	31,34
Santa Cristina de Valmadrigal	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	7.665	25,55
Santa Elena de Jamuz	1.173	5,2	6.100	25,3	0	0	8	7,7	9.032	0	8	0	15	17.944	15,3
Santa María de la Isla	558	5,2	2.902	25,3	0	0	3	7,7	4.297	0	3	0	3	7.839	14,05
Santa María de Ordás	346	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	10.109	29,22
Santa María del Monte de Cea	263	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	8.691	33,05
Santa María del Páramo	3.175	9,9	31.433	26,5	0	36	0	18,5	58.738	0	38	0	34	54.158	17,06
Santa Marina del Rey	2.077	3	6.231	23,2	0	21	0	3,6	7.477	0	13	0	21	26.829	12,92
Santas Martas	852	0	0	0	0	0	0	7,6	6.475	0	15	0	12	17.470	20,5
Santiago Millas	322	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	8.268	25,68
Santovenia de la Valdorcina	1.978	19,5	38.571	27,4	0	0	35	18,4	36.395	0	23	0	21	35.268	17,83
Sariegos	4.778	13	62.114	25,5	0	0	65	1,2	5.734	0	37	0	35	42.800	8,96
Sena de Luna	398	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	10.250	25,75
Sobrado	368	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Soto de la Vega	1.682	3,2	5.382	26,4	0	12	0	13,4	22.539	0	19	0	15	24.441	14,53
Soto y Amío	897	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	14.812	16,51
Total de los Guzmanes	567	10,6	6.010	26,1	0	9	0	14,5	8.222	0	6	0	10	10.877	19,18
Total de los Vados	2.108	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	31.180	14,79

Toreno	3.525	6,9	24.323	18,9	0	15	0	10	35.250	0	19	0	39	24.078	6,83
Torre del Bierzo	2.440	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	18.102	7,42
Trabadelo	426	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	8.475	19,89
Truchas	492	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	8.597	17,47
Turcia	1.092	3	3.276	23,2	0	11	0	3,6	3.931	0	7	0	6	14.603	13,37
Urdiales del Páramo	533	9,9	5.277	26,5	0	6	0	18,5	9.861	0	6	0	6	6.114	11,47
Val de San Lorenzo	549	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	9.723	17,71
Valdefresno	2.088	6,3	13.154	26,8	0	23	0	10,9	22.759	0	3	0	30	49.996	23,94
Valdefuentes del Páramo	337	9,9	3.336	26,5	0	6	0	18,5	6.235	0	5	0	5	6.457	19,16
Valdelugueros	538	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	13.396	24,9
Valdemora	82	10,6	869	26,1	0	0	2	14,5	1.189	0	1	0	2	5.537	67,52
Valdepiélagos	351	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	12.182	34,71
Valdepolo	1.303	4,6	5.994	22,7	0	22	0	3,7	4.821	0	12	0	25	34.796	26,7
Valderas	1.876	10,6	19.886	26,1	0	18	0	14,5	27.202	0	17	0	24	23.029	12,28
Valderrey	476	4,6	2.190	24,3	0	4	0	13	6.188	0	5	0	9	11.079	23,28
Valderrueda	944	2,9	2.738	26,7	0	4	0	0	0	0	0	0	10	14.965	15,85
Valdesamario	219	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	14.366	65,6
Valdevimbre	1.017	0	0	0	0	0	0	7,6	7.729	0	18	0	24	43.205	42,48
Valencia de Don Juan	5.199	10,6	55.109	26,1	0	44	1	14,5	75.386	0	42	0	55	126.184	24,27
Vallecillo	135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	541	4,01
Valverde de la Virgen	7.165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67	111.085	15,5
Valverde-Enrique	182	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2.082	11,44
Vecilla, La	419	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	13.278	31,69
Vega de Espinareda	2.380	0	0	0	0	0	0	3,7	8.806	0	8	0	18	17.088	7,18
Vega de Infanzones	932	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	13.774	14,78
Vega de Valcarlos	676	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	13.662	20,21

Vegacervera	329	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	15.157	46,07
Vegaquemada	456	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	9.794	21,48
Vegas del Condado	1.157	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	35.625	30,79
Villablino	10.003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41	67.392	6,74
Villabraz	114	10,6	1.208	26,1	0	0	4	14,5	1.653	0	3	0	3	1.651	14,48
Villadangos del Páramo	1.117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	15.625	13,99
Villademor de la Vega	390	10,6	4.134	26,1	0	0	7	14,5	5.655	0	3	0	5	6.100	15,64
Villafranca del Bierzo	3.316	0	0	0	0	0	0	3,7	12.269	0	0	23	26	46.634	14,06
Villagatón	635	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	13.992	22,03
Villamandos	318	10,6	3.371	26,1	0	0	9	14,5	4.611	0	5	0	6	3.564	11,21
Villamanín	1.087	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	20.584	18,94
Villamañán	1.226	10,6	12.996	26,1	0	18	0	14,5	17.777	0	22	0	22	37.552	30,63
Villamartín de Don Sancho	148	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4.608	31,14
Villamejil	771	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	23.737	30,79
Villamol	185	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2.073	11,21
Villamontán de la Valduerna	830	3,2	2.656	26,4	0	8	0	13,4	11.122	0	15	0	7	11.068	13,33
Villamoratiel de las Matas	155	4,6	713	22,7	0	3	0	3,7	574	0	2	0	3	3.494	22,54
Villanueva de las Manzanas	512	0	0	0	0	0	0	7,6	3.891	0	13	0	8	10.124	19,77
Villaobispo de Otero	629	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	15.650	24,88
Villaornate y Castro	406	10,6	4.304	26,1	0	8	0	14,5	5.887	0	3	0	3	6.418	15,81
Villaquejida	967	10,6	10.250	26,1	0	14	0	14,5	14.022	0	8	0	14	13.071	13,52
Villaquilambre	18.343	11,8	216.447	24,3	56	0	0	15,8	289.819	55	0	0	90	221.840	12,09
Villarejo de Órbigo	3.199	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	37.430	11,7
Villares de Órbigo	701	3	2.103	23,2	0	9	0	3,6	2.524	0	7	0	6	15.020	21,43
Villasabariego	1.223	6,3	7.705	26,8	0	13	0	10,9	13.331	0	18	0	21	18.251	14,92
Villaselán	212	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3.645	17,19

Villaturiel	1.970	6,3	12.411	26,8	0	13	0	10,9	21.473	0	25	0	31	27.230	13,82
Villazala	764	3,2	2.445	26,4	0	7	0	13,4	10.238	0	14	0	19	9.478	12,41
Villazanzo de Valderaduey	508	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	5.513	10,85
Zotes del Páramo	482	9,9	4.772	26,5	0	6	0	18,5	8.917	0	6	0	10	4.116	8,54
Total...	489.752	6,87	3.363.684	24,39	797	846	337	15,18	7.436.091	868	1.158	53	3.414	7.266.263	14,84
					1.980					2.079					

Figura5.2.4.-Aportación de residuos de recogida separada de todos los municipios de la provincia de León (2013).

Para la correcta gestión de los residuos urbanos es necesaria la implantación de Centros de Tratamiento que permitan separar los elementos potencialmente peligrosos, reciclar los materiales de envases, así como valorizar los materiales orgánicos contenidos en los residuos. El sistema cuenta con tres Centros de Tratamiento: dos plantas de clasificación de envases (Ponferrada y León) y el complejo ambiental de San Román de la Vega. El sistema cuenta además con 17 puntos limpios y 8 estaciones de transferencia.

Los puntos limpios son instalaciones que sirven a los ciudadanos para la aportación voluntaria de residuos especiales que se generan en el hogar. Estas instalaciones facilitan la recogida selectiva de productos tóxicos y peligrosos de uso doméstico, y de aquellos otros que por su volumen y dimensiones deben ser recogidos mediante entregas voluntarias.

5.3 Estaciones de transferencia.

Las estaciones de transferencia son instalaciones que se configuran como puntos intermedios de recogida de residuos. Su uso es necesario cuando las distancias entre las poblaciones donde se generan los residuos y el centro de tratamiento son grandes. Con carácter general se estima que la gestión de los residuos hace necesaria la instalación de una estación de transferencia cuando las distancias de transporte son superiores a 20 km.

En León, hay una estación de transferencia en cada área de gestión, exceptuando el área 9 que es donde está situado el CTR.

Cabe señalar que no todos los residuos urbanos se gestionan a través de una estación de transferencia. Los residuos que se recuperan en los contenedores monomaterial de entrega voluntaria o algunos materiales de los puntos limpios no llegan a las estaciones de transferencia.

A estas instalaciones llegan los camiones de la recogida de los municipios y vierten la carga sobre una tolva con forma cónica. El compactador, que no es más que un cilindro hidráulico que mueve una prensa y que junto con un escudo metálico se encarga de introducir en el interior del contenedor los residuos que caen desde la tolva, compacta los residuos para finalmente introducirlos en unos contenedores que cargan los camiones procedentes del CTR para transportar los residuos hasta allí.

5.4 Plantas de clasificación de envases y residuos de envases.

Todos los vehículos que llegan, tras ser identificados, se pesan, tanto a la entrada como a la salida, con el objeto de obtener el peso neto de los productos que entran a las plantas o que salen con destino a otros centros de tratamiento. El control de pesaje se realiza en la báscula puente situada a la entrada.

En un anejo a las plantas, situado fuera de ellas, se encuentran las naves de almacén de productos recuperados. En cada una de ellas se encuentran los trojes en los que se almacenan temporalmente las balas de productos recuperados en el proceso de clasificación, hasta el momento de su expedición a la industria de reciclado.

Las operaciones básicas que se realizan en las plantas de clasificación para la separación de los envases usados son fundamentalmente la reducción del tamaño, la separación manual o triaje, la separación neumática, la separación magnética y la compactación.

- a) La reducción de tamaño o trituración permite reducir mecánicamente el tamaño de los materiales que se reciben en planta, lo que facilita su manipulación y tratamiento mediante las técnicas más adecuadas.
- b) La separación manual o triaje es la que realizan los operarios en las cabinas de triaje. Tiene la misión de separar los distintos materiales componentes de los residuos de envases y envases usados: papel y cartón, plástico, tejidos, maderas, etc., clasificándolos por familias.
- c) La clasificación neumática también denominada separación por densidad, es el proceso por el que se separan, como el papel y plástico tipo film, de otros residuos más pesados como los materiales férricos.
- d) La separación magnética es una técnica que se utiliza para separar los componentes metálicos (férricos y no férricos) contenidos en la basura. Con este procedimiento se separan latas de aluminio, envases metálicos, hojalatas, etc.
- e) La compactación es un proceso que permite aportar una mayor densidad a los productos recuperados, facilitando su almacenaje y posterior transporte. Existen diversas técnicas para la aplicación de este procedimiento. En las plantas de León, Ponferrada y San Román de la Vega se utilizan diversas prensas de embalado, según el producto de que se trate.

Todas las operaciones anteriormente mencionadas se llevan a cabo de una forma ordenada y secuencial, siguiendo un orden preestablecido que mejora los rendimientos de las operaciones de separación y la eficacia de los equipos. Dentro de la línea de clasificación, el proceso de tratamiento es el siguiente:

1. Separación manual de objetos voluminosos, envases y embalajes de cartón de grandes dimensiones.
2. Reducción de tamaño mediante un triturador tipo Komptech-farmick.
3. Apertura de bolsas, facilitando la evacuación y separación de envases.
4. Separación neumática de plásticos ligeros (PELD) por medio de toberas de aspiración.
5. Separación manual de papel y cartón.
6. Separación manual de briks.
7. Separación manual de envases de plástico.
8. Selección manual de vidrio, material cerámico y restos de menaje.

9. Selección de rechazos valorizables energéticamente (plásticos y papel, básicamente) mediante aspiración neumática.
10. Separación de materiales férricos por medio de sistema electromagnético.
11. Separación de materiales no férricos: aluminio, fundamentalmente, por medio de corrientes de Foucault.

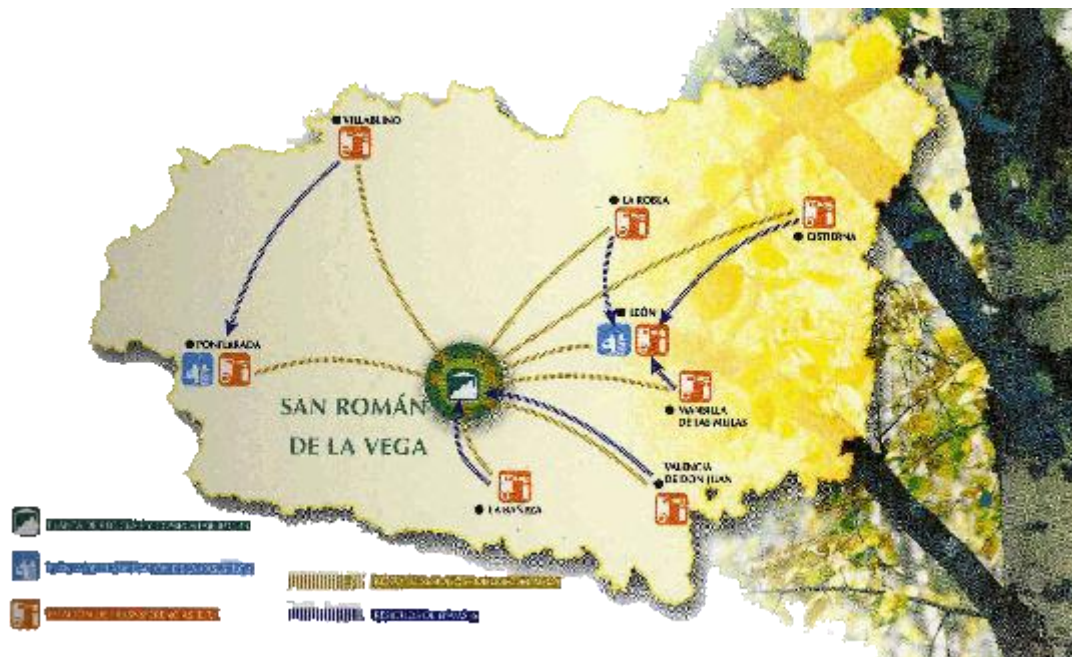


Figura5.4.1.-Esquema de las estaciones instalaciones de la provincia por áreas.

5.5 CTR de San Román de la Vega.

Los residuos urbanos mezclados, no seleccionados en origen, son biológicamente inestables, producen olores desagradables, líquidos potencialmente contaminantes y carecen de utilidad e interés económico.

El centro provincial de tratamiento de residuos urbanos está situado en la Comarca de Astorga, auténtico nudo de comunicaciones y centro de gravedad del territorio de la provincia de León. Concretamente se encuentra en la localidad de San Román de la Vega, en el término municipal de San Justo de la Vega. Comunica con León por autopista y con Ponferrada con autovía.

El CTR de San Román de la Vega es un complejo ambiental concebido para la gestión de la totalidad de los residuos urbanos que se generan en la provincia de León. Está diseñado para el reciclaje y compostaje de los residuos que se presentan de tres posibles formas: residuos mezclados sin selección en origen, residuos orgánicos con un porcentaje variable de elementos impropios (70% orgánicos y 30% resto, aproximadamente) y los materiales

integrantes de la bolsa amarilla, formada principalmente por residuos de envases y embalajes y un porcentaje variable de orgánicos y no reciclables, procedentes de la recogida selectiva. Además, en la planta de San Román se tratan los residuos voluminosos procedentes de los puntos limpios y se gestionan los rechazos de los procesos de selección de las plantas de clasificación de envases de León y Ponferrada.

Todas las operaciones necesarias para la separación de los residuos domésticos: reducción de tamaño, separación y clasificación por densidad, campo eléctrico y magnético, compactación, manipulación de materiales, etc., se realizan en unidades de tratamiento independientes, dotadas con avanzados sistemas apropiados a los materiales que se van a procesar que, en su conjunto, configuran el CTR.

El CTR está diseñado para tratar 200.000 toneladas de residuos urbanos al año. Tiene una extensión de 167.000 metros cuadrados, de los cuales 95.300 los ocupa el vertedero, 25.500 la nave de procesos y el resto de la superficie construida corresponde a otras instalaciones auxiliares y de servicios (parque de biometanización, planta depuradora, oficinas, etc.).

El complejo cuenta además con una oficina de recepción y control de entradas, donde se verifica el contenido de los vehículos, se determina su tipología y características y se pesan.

La planta de reciclaje y compostaje está formada por una nave de grandes dimensiones, con una superficie construida de 25.500 metros cuadrados y una altura de 17,5 metros, en ella se albergan las instalaciones correspondientes a la recepción de los residuos, las líneas de tratamiento primario, línea de voluminosos y línea de envases en las que se procesan los residuos, se separa la materia orgánica del resto y se prepara y acondiciona para su aprovechamiento en los túneles de compostaje o en la biometanización.

En el interior de esta nave también se encuentran las instalaciones de fermentación aerobia (túneles de compostaje), los equipos de acondicionamiento, carga y descarga del compost, así como las áreas de acopio de poda y de afino de compost.

A la planta de reciclaje y compostaje llegan los residuos domésticos con diferentes acondicionamientos: residuos brutos compactados procedentes de estaciones de transferencia, residuos de materia orgánica procedentes de separación domiciliaria, residuos de envases procedentes de separación domiciliaria y residuos voluminosos procedentes de los puntos limpios, estaciones de transferencia y recolección diaria de las zonas más próximas.

Dependiendo del tipo de residuo y de su forma de presentación, se procesa en unas u otras líneas de tratamiento de la planta, por ello es de suma importancia realizar un control exhaustivo, tanto de la cantidad como de la forma y características de los residuos que entran en la planta.

Los residuos llegan en camiones de diferentes características que deben pasar un control de identificación para acceder al recinto. Todos los vehículos, igualmente, deben ser pesados tanto a la entrada como a la salida, con el fin de obtener el peso neto de los productos que lleguen a la planta, o que salgan con destino a otros centros de reutilización o reciclaje.

La descarga se puede realizar en fosos de recepción o en playas de descarga, según las características de presentación de los residuos.

- **Descarga en fosos:** los residuos compactados procedentes de estaciones de transferencia y residuos de materia orgánica procedentes de separación domiciliaria, se descargan directamente en los fosos de recepción, situados en la cabecera de las líneas de tratamiento primario.
- **Descarga en playa:** los vehículos recolectores que transportan la bolsa de residuos de envases, se dirigen directamente hacia la zona de clasificación, en cuyo interior está la playa de descarga. De los residuos aquí depositados, se separarán los voluminosos de forma manual y el resto se alimenta al proceso con una pala empujadora.



Figura5.5.1.-Vista aérea del CTR de San Román de la Vega.

5.5.1 Sistema de tratamiento de los residuos en la planta de reciclaje y compostaje.

En la planta de reciclaje y compostaje se realizan las operaciones de clasificación y acondicionamiento de la materia orgánica contenida en los residuos, con el fin de valorizarla en túneles de compostaje mediante la fermentación aeróbica o en digestores de metanización. Para ello se llevan a cabo una serie de tratamientos previos.

5.5.1.1 Tratamiento primario

Se denomina tratamiento primario o pretratamiento a las operaciones de preparación y selección de los componentes de la basura seleccionada en origen. Básicamente consiste

en la separación de los subproductos reciclables de los no reciclables, denominados rechazos, y acondicionamiento de la materia orgánica para su compostaje posterior en túneles o en tanques de biometanización.

La separación de materiales por familias se realiza, inicialmente, mediante operaciones de segregación por tamaño, en las que se tiene en cuenta la diferente distribución granulométrica de cada una de ellas. Para ello se utiliza una adecuada combinación de equipos de selección mecánica y un triaje manual que garantizan la máxima recuperación de materiales susceptibles de ser reciclados. La selección mecánica se lleva a cabo mediante la colocación estratégica de cribas rotativas o trómeles en cascada, en las que se realiza la clasificación de materiales de formas y dimensiones variadas; y mediante separadores magnéticos para los componentes metálicos. La clasificación manual se realiza en el interior de las cabinas de triaje.

5.5.1.1.1 Residuos y materiales gestionados.

A las líneas de tratamiento primario llegan los residuos de la primera bolsa, que contiene básicamente materia orgánica, de toda la provincia de León. Estos residuos proceden de las distintas áreas de gestión anteriormente descritas, a través de las estaciones de transferencia y directamente de la recogida diaria en el caso de las poblaciones más cercanas al CTR.

Básicamente, las operaciones que se realizan en las instalaciones son las de separación de los residuos por tamaño, mediante trómeles de distinto tamiz, y mediante triaje manual basado en el aspecto y propiedades físicas de los materiales; transporte de residuos y subproductos recuperados con equipos móviles, cintas transportadoras y transporte neumático y, finalmente, el acondicionamiento de los componentes de los residuos seleccionados mediante prensado y enfardado de los materiales reciclables y del rechazo.

Como resultado del proceso de pretratamiento se separan cuatro fracciones de distinto tamaño, cuyo contenido en materia orgánica es variable. Estas fracciones alimentan al resto de las líneas del CTR y están formadas por elementos voluminosos de tamaño comprendido entre 80 y 300 mm y superior a un diámetro de 30 mm; y materia orgánica de tamaños comprendidos entre 40 y 80 mm e inferiores a 40 mm con destino a túneles y biometanización, respectivamente.

5.5.1.1.2 Separación de residuos voluminosos.

Se consideran residuos voluminosos aquellos que por sus grandes dimensiones pueden ser separados fácilmente del resto de los residuos antes de entrar a la línea de tratamiento primario. Debido a sus características geométricas pueden causar interferencias en los procedimientos de triaje, por ello es conveniente su separación en la primera fase de selección. Estos residuos están compuestos en su mayoría por plásticos de gran tamaño, neumáticos, restos de muebles, electrodomésticos, maderas y materiales férricos.

En función de su procedencia y características estos residuos se descargan en zonas diferentes de la planta:

- Los residuos voluminosos de grandes dimensiones sin compactar, se descargarán en la zona anexa a los fosos de recepción para su triturado.
- Los residuos voluminosos de dimensiones medias que no necesiten reducción de tamaño, se descargarán directamente en la tolva de alimentación de la línea de tratamiento de voluminosos.
- Los residuos compactados procedentes de estaciones de transferencia se descargarán en los fosos de recepción para posteriormente proceder a la separación de los voluminosos.
- Los residuos procedentes de las recogidas domiciliarias se descargan directamente en los fosos de recepción donde se procede a la separación de los voluminosos. Los residuos acumulados en los fosos contienen una parte de voluminosos, que deben ser separados para no crear interferencias en etapas posteriores de clasificación.

La separación comienza en la propia palaya de descarga y continúa en los fosos de recepción en los que se realiza una selección con ayuda de pulpo. Los que no han sido separados con los procedimientos anteriores, un operario los retira desde una plataforma situada a la salida del primer trómel de la línea de tratamiento primario.

Todavía existe otra parte de residuos procedente del rechazo de los trómeles, cuya granulometría es superior a 300 mm, y que según las necesidades del proceso puede ser enviada a prensado junto con el resto de voluminosos, o bien a otra etapa de clasificación para recuperación de materiales y posterior comercialización.

En los trómeles iniciales de cada una de las líneas, se separarán los residuos de tamaño superior a 300 mm, formados, principalmente, por cajas de cartón, envases y embalajes de plástico, restos de maderas, etc. Los residuos que entran en los trómeles se presentan fundamentalmente en bolsas de plástico cerradas, por lo que es preciso abrirlas mecánicamente y vaciar su contenido para su posterior selección. Con este fin, los trómeles están armados longitudinalmente con unas cuchillas de corte que desgarrarán las bolsas, permitiendo su vaciado.



Figura5.5.1.1.2.1.-Imagen de un trómel.

A medida que gira el primero de los tres trómeles que se sitúan en serie, los residuos de mayor tamaño avanzan hacia el extremo de salida, quedándose por el camino los de tamaño inferior a 300 mm, que caen por los agujeros del trómel hasta una cinta transportadora, situada en la parte inferior. Desde esta cinta se descarga la fracción separada hasta otra que conduce al segundo trómel de selección.

Los componentes de los residuos de tamaño superior a 300 mm se separan manualmente en la cabina de triaje de voluminosos. En esta operación, integrada dentro de la misma sala que el triaje de las líneas correspondientes a las fracciones de tamaños comprendidos entre 80 y 300 mm, se segregarán los restos de materiales reciclables o valorizables energéticamente. Para ello, se dispone de puestos de selección en Iso que se separan el papel y cartón, los restos plásticos ligeros de embalajes, los bricks y los envases de plástico de distinta naturaleza.

Los restos que no han sido separados manualmente en la cabina de triaje, continúan hasta el separador electromagnético. Con este electroimán se consigue separar la fracción férrica que cae directamente sobre una cinta para su traslado hasta la prensa, donde se obtienen balas de material de 500x300 mm.



Figura5.5.1.1.2.2.-Operarios triando en las líneas.

5.5.1.1.3 Separación de los residuos orgánicos con destino a biometanización.

Los residuos de tamaño inferior a 300 mm, separados en el trómel inicial, llegan hasta el segundo trómel, colocado en serie, a continuación del primero. En esta criba, de tamiz cuadrado de 40 mm, se obtiene la fracción orgánica de menor tamaño, que se envía al proceso de biometanización. El continuo giro del trómel permite que la fracción de diámetro inferior de 40 mm, pase a través de los agujeros y caiga sobre una cinta transportadora, mientras que la fracción de diámetro superior de 40 mm, continua su

camino hasta introducirse directamente sobre el tercer trómel de separación mecánica, en el que se segregarán los restos orgánicos de tamaño comprendido entre los 40 y 80 mm, para su posterior envío a la línea de compostaje.

5.5.1.1.4 Separación de los residuos orgánicos con destino a compostaje en túneles.

La fracción de diámetro superior a 40 mm que no se ha hundido a través de los agujeros del tamiz del segundo trómel, pasa directamente al tercer trómel donde se obtiene una nueva fracción de residuos de componente mayoritariamente orgánica, de tamaño comprendido entre los 40 y 80 mm. Dicha fracción se envía a los túneles de compostaje.

5.5.1.1.5 Triaje de la fracción intermedia.

Los materiales que se han hundido por el tamiz del tercer trómel, conforman la fracción intermedia comprendida entre los 80 y 300 mm. En esta fracción todavía quedan cantidades importantes de materiales potencialmente reciclables o valorizables, por lo que es preciso incluir una última etapa de separación manual para asegurar al máximo el aprovechamiento de los residuos urbanos.

A la salida del último trómel, la fracción intermedia se conduce a la cabina de triaje. Dentro de esta cabina, climatizada, se instala por cada una de las dos líneas cuatro puestos dobles de selección manual, donde se separan los restos de papel y cartón sobre la primera tolva. Los plásticos ligeros, correspondientes fundamentalmente a las bolsas que contienen la basura, son aspirados por una conducción que los lleva hasta el ciclón de la línea de clasificación. En el segundo puesto se separan los restos de bricks, para finalmente seleccionar los envases de plástico y vidrio en los dos últimos puestos.

Después de pasar por la cabina de triaje, los materiales que quedan se someten a separadores electromagnéticos en los que se extraen los últimos componentes susceptibles de reciclaje. La fracción metálica separada, se prensa, al igual que la fracción restante, correspondiente al rechazo.

Los materiales seleccionados en los diferentes puestos, son trasladados desde las tolvas hasta la línea de clasificación, para ser finalmente enfardados en la prensa de subproductos.

5.5.1.1.6 Evacuación de rechazos y almacenamiento de los productos recuperados.

Los rechazos prensados en forma de balas de 1.400 litros de volumen y 1 tonelada de peso aproximadamente, son almacenados temporalmente en la zona de clasificación hasta reunir suficiente número de balas para realizar una carga completa del camión que los transporta al depósito de rechazos, donde quedarán confinados definitivamente.

Respecto a los materiales recuperados procedentes de las diferentes líneas de triaje, una vez prensados formando balas de un metro cúbico de volumen y 500 kg de peso, se llevan a la zona de trojes de almacenamiento de productos recuperados, donde se almacenan

formando pilas. Desde este almacén se expiden con destino a los centros de reciclaje o valorización.

5.5.1.2 Clasificación de envases.

El CTR dispone de una línea específica para la separación de los envases y residuos de envases que complementa las plantas de clasificación existentes en León y Ponferrada. En esta zona tiene lugar la separación de unos materiales cuya no-recuperación tendría impacto económico y medioambiental.

5.5.1.2.1 Separación y clasificación de envases y embalajes.

En el CTR, los residuos de envases procedentes de la separación domiciliar se someten a un minucioso proceso de selección, empleando una combinación de técnicas mecánicas y operaciones manuales. En la línea específica de clasificación de envases se realizan las siguientes operaciones:

1. Triaje manual de objetos voluminosos, envases y embalajes de cartón de grandes dimensiones.
2. Rotura de bolsas, facilitando la evacuación y separación de los envases.
3. Separación de plásticos ligeros pro medio de sistemas de aspiración neumática.
4. Separación manual de cartón y papel.
5. Separación manual de bricks.
6. Separación manual de envases de plástico.
7. Selección manual de vidrio, material cerámico y restos de menaje.
8. Selección de rechazos valorizables energéticamente (plásticos y papel principalmente) mediante aspiración neumática.
9. Separación de materiales férricos por medio de sistemas electromagnéticos.
10. Separación de metales no férricos (aluminio principalmente) mediante corrientes de Foucault.

Finalmente los materiales seleccionados se presan y almacenan para su posterior comercialización. Los residuos que no han sido seleccionados constituyen el rechazo de la línea y son transportados al vertedero.

Los procesos de biometanización y compostaje que se llevan a cabo en el CTR ya han sido descritos en los correspondientes apartados anteriores de tratamiento de residuos. No obstante, adjunto algunas imágenes.



Figura 5.5.1.2.1.1.-Tanques de hidrólisis y biometanización.

5.5.2 Vertedero.

Los rechazos de todas las líneas, son llevados al depósito de rechazos anexo a la planta de tratamiento.

El vaso está impermeabilizado mediante tres barreras impermeables. Una capa mineral de arcillas de 0,5 m de espesor y dos barreras impermeables sintéticas a base de geomembranas (láminas) de Polietileno de Alta Densidad de 1,5 mm y 2,0 mm de espesor cuyo coeficiente de permeabilidad es de 10^{-14} m/s. Entre medias de las dos geomembranas, se dispone de un dren de seguridad. Por encima de las barreras impermeables, hay una red de evacuación de lixiviados.

La fase I del vaso de rechazos ha sido clausurada, finalizando las obras en el mes de junio de 2013. En la siguiente fotografía puede verse el estado del vertedero poco tiempo antes de finalizar las obras de clausura de la fase I.



Figura5.5.2.1.-Imágen aérea del vertedero con la fase I sellada.

En la parte exterior y a cota más baja se encuentran dos balsas de lixiviados, diseñadas para la recepción de caudales de lixiviados en las condiciones más desfavorables.

Una de ellas tiene una capacidad útil de 3.500 m^3 y la otra de 11.100 m^3 . Junto a las balsas, existe una planta de tratamiento de lixiviados mediante ósmosis inversa, diseñada para depurar hasta $180 \text{ m}^3/\text{día}$.

5.5.2.1 Ubicación de los puntos de medición.

Para el control de las características del efluente vertido, según la autorización ambiental de la Planta, se establecen los siguientes puntos de control:

- PC-1: Punto de control de las aguas residuales brutas a la entrada de la planta de ósmosis inversa.
- PC-2: Punto de control de las aguas residuales depuradas a la salida de la planta de ósmosis inversa.
- PC-3: Punto de control de las aguas pluviales a su entrada a la balsa de pluviales.
- PC-4: Punto de control de las aguas residuales depuradas a la salida de la balsa de pluviales antes de su incorporación al medio receptor.
- S1: Punto de control mediante piezómetro en el terreno, situado aguas arriba del vaso de rechazos de residuos.
- PC-5: Punto de control mediante piezómetro en el terreno en sondeo 1 (CHD1), situado aguas abajo del vaso de rechazos de residuos.
- PC-6: Punto de control mediante piezómetro en el terreno en sondeo 2 (CHD2), situado aguas abajo del vaso de rechazos de residuos.
- PC-7: Punto de control mediante piezómetro en el terreno en sondeo 3 (CHD3).



Figura5.5.2.1.1.-Imágen aérea con los puntos de control marcados.



Figura5.5.2.1.2.-Esquema de los puntos de control.

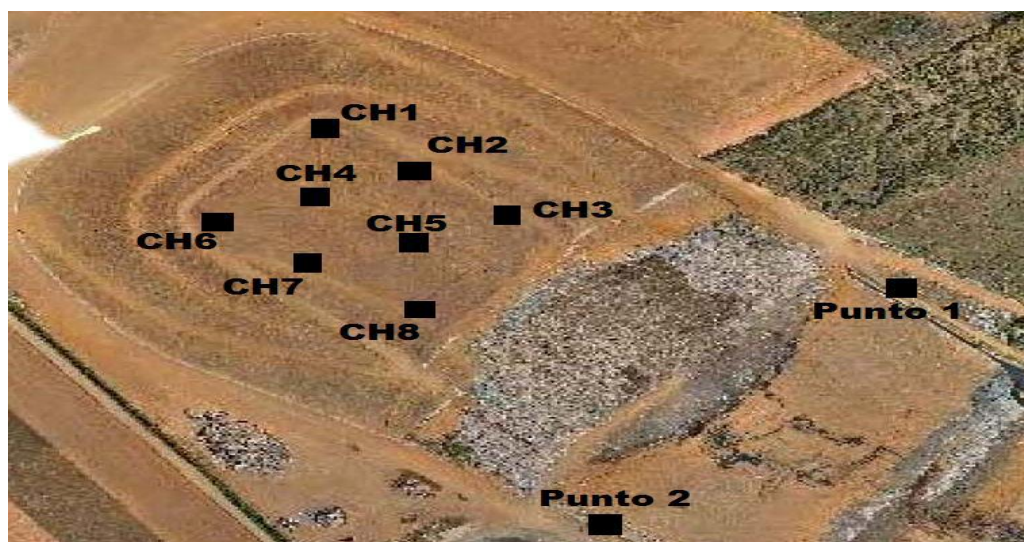


Figura5.5.2.1.3.-Esquema de los puntos de medición de gases en el vertedero.



Figura5.5.2.1.4.-Esquema de los puntos de medida de los niveles sonoros.

5.5.3 Caracterizaciones internas.

En el 2013 se realizaron cuatro caracterizaciones internas, una por cada trimestre del año. En estas caracterizaciones internas se detallan las siguientes fracciones:

- Bolsa todo uno procedente de la recogida domiciliar, que se descargan en los fosos de la entrada.
- Residuos voluminosos (fracción mayor de 300 mm).
- Residuos que entran en la cabina de triaje (fracción comprendida entre 80 a los 300 mm).
- Residuos que van a compostaje (fracción comprendida entre los 40 a los 80 mm).
- Residuos que van a biometanización (fracción menor de 40 mm).
- Rechazo procedente de la prensa de rechazos que incluye: los rechazos de voluminosos (>300mm) y los rechazos de la fracción de triaje (80-300mm).
- Rechazo procedente del afino del compost.

5.5.3.1 Caracterizaciones primer trimestre.

PESO CADA MUESTRA = 100 Kg.	ENTRADA FOSOS		
	FECHA	13/03/2013	14/03/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	12,25	10,8	13,7
Plásticos	11,30	11,9	10,7
Férricos	3,75	4,3	3,2
Vidrio	2,25	2,0	2,5
Madera	1,90	2,0	1,8
Textiles	4,65	3,5	5,8
Cerámicas/Mat. Obra	2,10	1,8	2,4
Mat. Orgánica	35,25	32,7	37,8
Otros	26,55	31,0	22,1
TOTAL (Kg)	100,0	100,0	100,0

Figura5.5.3.1.1.-Caracterización primer trimestre todo uno.

PESO CADA MUESTRA = 100 Kg.	CARACT. > 300 mm (VOLUMINOSOS)		
	FECHA	13/03/2013	14/03/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	25,20	21,5	28,9
Plásticos	21,05	25,4	16,7
Férricos	7,55	8,7	6,4
Vidrio	0,00	0,0	0,0
Madera	6,70	6,5	6,9
Textiles	14,45	16,4	12,5
Cerámicas/Mat. Obra	2,90	1,7	4,1
Mat. Orgánica	0,00	0,0	0,0
Otros	22,15	19,8	24,5
TOTAL (Kg)	100,00	100,0	100,0

Figura5.5.3.1.2.-Caracterización primer trimestre voluminosos.

PESO CADA MUESTRA = 100 Kg.	CARACT. 80 - 300 mm (ENTRADA CABINA)		
	FECHA	13/03/2013	14/03/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	18,10	19,7	16,5
Plásticos	19,20	24,5	13,9
Férricos	4,75	3,6	5,9
Vidrio	0,60	0,4	0,8
Madera	3,35	2,7	4,0
Textiles	7,40	8,6	6,2
Cerámicas/Mat. Obra	6,60	5,5	7,7
Mat. Orgánica	11,35	10,5	12,2
Otros	28,65	24,5	32,8
TOTAL (Kg)	100,00	100,0	100,0

Figura5.5.3.1.3.-Caracterización primer trimestre cabina de triaje.

PESO CADA MUESTRA = 50 Kg.	CARACT. 40 - 80 mm (COMPOSTAJE)		
	FECHA	15/03/2013	21/03/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	18,50	9,7	8,8
Plásticos	12,70	5,4	7,3
Férricos	4,60	3,0	1,6
Vidrio	4,30	1,4	2,9
Madera	1,30	0,4	0,9
Textiles	4,80	1,7	3,1
Cerámicas/Mat. Obra	5,50	2,1	3,4
Mat. Orgánica	37,50	21,3	16,2
Otros	10,80	5,0	5,8
TOTAL (Kg)	100,00	50,0	50,0

Figura5.5.3.1.4.-Caracterización primer trimestre compostaje.

PESO CADA MUESTRA = 50 Kg.	CARACT. 10 - 40 mm (BIOMETANIZACIÓN)		
	FECHA	21/03/2013	22/03/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	5,30	2,4	2,9
Plásticos	2,00	0,7	1,3
Férricos	1,90	0,6	1,3
Vidrio	8,10	3,7	4,4
Madera	0,40	0,1	0,3
Textiles	0,50	0,1	0,4
Cerámicas/Mat. Obra	4,40	1,1	3,3
Mat. Orgánica	70,70	37,6	33,1
Otros	6,70	3,7	3,0
TOTAL (Kg)	100,00	50,0	50,0

Figura5.5.3.1.5.-Caracterización primer trimestre biometanización.

PESO CADA MUESTRA = 100 Kg.	CARACTERIZACION (PRENSA RECHAZOS)		
	FECHA	15/03/2013	15/03/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	15,75	16,6	14,9
Plásticos	23,35	22,3	24,4
Férricos	1,15	1,6	0,7
Vidrio	0,50	0,4	0,6
Madera	3,50	3,3	3,7
Textiles	9,65	8,8	10,5
Cerámicas/Mat. Obra	6,50	7,7	5,3
Mat. Orgánica	4,35	2,9	5,8
Otros	35,25	36,4	34,1
TOTAL (Kg)	100,00	100,0	100,0

Figura5.5.3.1.6.-Caracterización primer trimestre prensa de rechazos.

PESO CADA MUESTRA = 50 Kg.	CARACTERIZACION RECHAZO AFINO		
	FECHA	21/03/2013	22/03/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	4,70	1,6	3,1
Plásticos	8,10	3,2	4,9
Férricos	11,00	4,3	6,7
Vidrio	9,50	5,5	4,0
Madera	1,90	0,9	1,0
Textiles	5,40	3,0	2,4
Cerámicas/Mat. Obra	11,70	5,5	6,2
Mat. Orgánica	38,70	21,8	16,9
Otros	9,00	4,2	4,8
TOTAL (Kg)	100,00	50,0	50,0

Figura5.5.3.1.7.-Caracterización primer trimestre rechazo afino.

5.5.3.2 Caracterizaciones segundo trimestre.

PESO CADA MUESTRA = 250 Kg.	ENTRADA FOSOS		
	FECHA	16/07/2013	31/07/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	16,51	25,1	59,5
Plásticos	15,12	33,0	44,7
Férricos	2,65	3,6	10,0
Vidrio	2,67	4,8	8,9
Madera	2,61	0,2	13,1
Textiles	4,19	16,2	5,5
Cerámicas/Mat. Obra	1,18	6,2	0,0
Mat. Orgánica	29,69	101,8	51,7
Otros	25,38	69,7	61,1
TOTAL (Kg)	100,00	260,4	254,5

Figura5.5.3.2.1.-Caracterización segundo trimestre todo uno.

PESO CADA MUESTRA = 100 Kg.	CARACT. > 300 mm (VOLUMINOSOS)		
	FECHA	12/06/2013	13/06/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	22,50	19,7	25,3
Plásticos	20,05	17,7	22,4
Férricos	7,95	8,6	7,3
Vidrio	0,00	0,0	0,0
Madera	6,30	7,7	4,9
Textiles	18,05	18,8	17,3
Cerámicas/Mat. Obra	4,30	6,5	2,1
Mat. Orgánica	0,00	0,0	0,0
Otros	20,85	21,0	20,7
TOTAL (Kg)	100,00	100,0	100,0

Figura5.5.3.2.2.-Caracterización segundo trimestre voluminosos.

PESO CADA MUESTRA = 100 Kg.	CARACT. 80 - 300 mm (ENTRADA CABINA)		
	FECHA	12/06/2013	13/06/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	20,45	22,0	18,9
Plásticos	23,05	25,5	20,6
Férricos	6,40	6,0	6,8
Vidrio	0,10	0,2	0,0
Madera	3,05	2,5	3,6
Textiles	7,85	4,5	11,2
Cerámicas/Mat. Obra	7,05	6,0	8,1
Mat. Orgánica	10,70	12,1	9,3
Otros	21,35	21,2	21,5
TOTAL (Kg)	100,00	100,0	100,0

Figura5.5.3.2.3.-Caracterización segundo trimestre cabina de triaje.

PESO CADA MUESTRA = 50 Kg.	CARACT. 40 - 80 mm (COMPOSTAJE)		
	FECHA	14/06/2013	19/06/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	16,70	8,1	8,6
Plásticos	10,30	6,5	3,8
Férricos	7,20	3,3	3,9
Vidrio	8,50	5,4	3,1
Madera	0,50	0,2	0,3
Textiles	4,70	2,0	2,7
Cerámicas/Mat. Obra	3,30	1,8	1,5
Mat. Orgánica	36,80	16,2	20,6
Otros	12,00	6,5	5,5
TOTAL (Kg)	100,00	50,0	50,0

Figura5.5.3.2.4.-Caracterización segundo trimestre compostaje.

PESO CADA MUESTRA = 50 Kg.	CARACT. 10 - 40 mm (BIOMETANIZACIÓN)		
	FECHA	14/06/2013	19/06/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	6,10	3,6	2,5
Plásticos	2,30	1,1	1,2
Férricos	1,50	0,6	0,9
Vidrio	7,80	5,3	2,5
Madera	0,20	0,2	0,0
Textiles	0,70	0,4	0,3
Cerámicas/Mat. Obra	1,50	0,7	0,8
Mat. Orgánica	72,80	33,6	39,2
Otros	7,10	4,5	2,6
TOTAL (Kg)	100,00	50,0	50,0

Figura5.5.3.2.5.-Caracterización segundo trimestre biometanización.

PESO CADA MUESTRA = 100 Kg.	CARACTERIZACION (PRENSA RECHAZOS)		
	FECHA	20/06/2013	21/06/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	19,55	21,4	17,7
Plásticos	21,05	22,5	19,6
Férricos	2,50	3,1	1,9
Vidrio	0,05	0,1	0,0
Madera	3,00	2,8	3,2
Textiles	9,45	9,1	9,8
Cerámicas/Mat. Obra	6,60	5,5	7,7
Mat. Orgánica	2,80	3,4	2,2
Otros	35,00	32,1	37,9
TOTAL (Kg)	100,00	100,0	100,0

Figura5.5.3.2.6.-Caracterización segundo trimestre prensa rechazos.

PESO CADA MUESTRA = 50 Kg.	CARACTERIZACION RECHAZO AFINO		
	FECHA	20/06/2013	21/06/2013
	MEDIA %	X1 %	X2 %
Papel/Cartón	5,50	2,8	2,7
Plásticos	6,60	3,1	3,5
Férricos	6,90	3,7	3,2
Vidrio	10,80	5,3	5,5
Madera	1,00	0,4	0,6
Textiles	6,00	3,1	2,9
Cerámicas/Mat. Obra	13,00	7,7	5,3
Mat. Orgánica	41,80	19,1	22,7
Otros	8,40	4,8	3,6
TOTAL (Kg)	100,00	50,0	50,0

Figura5.5.3.2.7.-Caracterización segundo trimestre afino.

5.5.3.3 Caracterización tercer trimestre.

PESO CADA MUESTRA = 250 Kg.	ENTRADA FOSOS		
	FECHA	10/09/2013	23/09/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	21,50	51,0	55,2
Plásticos	11,13	30,0	25,0
Férricos	2,43	6,3	5,7
Vidrio	2,26	5,3	5,8
Madera	0,94	1,5	3,1
Textiles	6,93	18,4	15,9
Cerámicas/Mat. Obra	0,54	0,0	2,7
Mat. Orgánica	19,03	41,7	52,3
Otros	35,25	93,0	81,2
TOTAL (Kg)	100,00	247,1	246,8

Figura5.5.3.3.1.-Caracterización tercer trimestre todo uno.

PESO CADA MUESTRA = 100 Kg.	CARACT. > 300 mm (VOLUMINOSOS)		
	FECHA	11/09/2013	12/09/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	19,85	16,6	23,1
Plásticos	24,30	22,7	25,9
Férricos	6,75	8,6	4,9
Vidrio	0,00	0,0	0,0
Madera	6,35	5,5	7,2
Textiles	15,35	17,4	13,3
Cerámicas/Mat. Obra	2,45	2,2	2,7
Mat. Orgánica	0,00	0,0	0,0
Otros	24,95	27,0	22,9
TOTAL (Kg)	100,00	100,0	100,0

Figura5.5.3.3.2.-Caracterización tercer trimestre voluminosos.

PESO CADA MUESTRA = 100 Kg.	CARACT. 80 - 300 mm (ENTRADA CABINA)		
	FECHA	11/09/2013	12/09/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	17,65	16,6	18,7
Plásticos	18,40	19,5	17,3
Férricos	8,40	7,7	9,1
Vidrio	0,15	0,0	0,3
Madera	1,60	1,1	2,1
Textiles	11,85	9,4	14,3
Cerámicas/Mat. Obra	3,70	4,3	3,1
Mat. Orgánica	10,10	8,8	11,4
Otros	28,15	32,6	23,7
TOTAL (Kg)	100,00	100,0	100,0

Figura5.5.3.3.3.-Caracterización tercer trimestre cabina triaje.

PESO CADA MUESTRA = 50 Kg.	CARACT. 40 - 80 mm (COMPOSTAJE)		
	FECHA	13/09/2013	18/09/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	17,00	7,5	9,5
Plásticos	11,60	6,4	5,2
Férricos	6,60	2,7	3,9
Vidrio	7,30	3,0	4,3
Madera	1,60	0,4	1,2
Textiles	5,00	1,7	3,3
Cerámicas/Mat. Obra	2,70	1,2	1,5
Mat. Orgánica	34,10	19,3	14,8
Otros	14,10	7,8	6,3
TOTAL (Kg)	100,00	50,0	50,0

Figura5.5.3.3.4.-Caracterización tercer trimestre compostaje.

PESO CADA MUESTRA = 50 Kg.	CARACT. 10 - 40 mm (BIOMETANIZACIÓN)		
	FECHA MEDIA %	13/09/2013 X1	18/09/2013 X2
Papel/Cartón	4,90	3,2	1,7
Plásticos	3,90	2,2	1,7
Férricos	1,60	1,1	0,5
Vidrio	8,60	5,2	3,4
Madera	0,10	0,0	0,1
Textiles	0,80	0,6	0,2
Cerámicas/Mat. Obra	1,30	0,7	0,6
Mat. Orgánica	70,70	32,9	37,8
Otros	8,10	4,1	4,0
TOTAL (Kg)	100,00	50,0	50,0

Figura5.5.3.3.5.-Caracterización tercer trimestre biometanización.

PESO CADA MUESTRA = 100 Kg.	CARACTERIZACION (PRENSA RECHAZOS)		
	FECHA MEDIA %	19/09/2013 X1	20/09/2013 X2
Papel/Cartón	19,55	22,3	16,8
Plásticos	15,45	17,5	13,4
Férricos	2,65	2,2	3,1
Vidrio	0,00	0,0	0,0
Madera	2,30	3,4	1,2
Textiles	10,45	9,6	11,3
Cerámicas/Mat. Obra	6,10	4,4	7,8
Mat. Orgánica	5,95	6,6	5,3
Otros	37,55	34,0	41,1
TOTAL (Kg)	100,00	100,0	100,0

Figura5.5.3.3.6.-Caracterización tercer trimestre prensa rechazos.

PESO CADA MUESTRA = 50 Kg.	CARACTERIZACION RECHAZO AFINO		
	FECHA	19/09/2013	20/09/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	6,90	2,8	4,1
Plásticos	8,20	5,9	2,3
Férricos	7,40	2,9	4,5
Vidrio	10,90	4,1	6,8
Madera	1,40	1,2	0,2
Textiles	9,80	5,2	4,6
Cerámicas/Mat. Obra	10,20	5,7	4,5
Mat. Orgánica	33,50	16,1	17,4
Otros	11,70	6,1	5,6
TOTAL (Kg)	100,00	50,0	50,0

Figura5.5.3.3.7.-Caracterización tercer trimestre afino.

5.5.3.4 Caracterizaciones cuarto trimestre.

PESO CADA MUESTRA = 250 Kg.	ENTRADA FOSOS		
	FECHA	21/11/2013	12/12/2013
	MEDIA %	X1 %	X2 %
Papel/Cartón	13,76	28,2	40,0
Plásticos	8,95	20,2	24,2
Férricos	2,47	6,2	6,0
Vidrio	1,15	3,5	2,2
Madera	0,70	2,6	0,9
Textiles	2,49	4,6	7,8
Cerámicas/Mat. Obra	0,22	0,4	0,7
Mat. Orgánica	17,11	37,0	47,8
Otros	53,14	145,5	117,9
TOTAL (Kg)	100,00	248,1	247,5

Figura5.5.3.4.1.-Caracterización tercer trimestre afino.

PESO CADA MUESTRA = 100 Kg.	CARACT. > 300 mm (VOLUMINOSOS)		
	FECHA	20/11/2013	21/11/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	17,65	21,5	13,8
Plásticos	17,70	19,8	15,6
Férricos	11,85	10,1	13,6
Vidrio	0,00	0,0	0,0
Madera	5,95	4,6	7,3
Textiles	14,10	11,5	16,7
Cerámicas/Mat. Obra	4,45	3,3	5,6
Mat. Orgánica	0,00	0,0	0,0
Otros	28,30	29,2	27,4
TOTAL (Kg)	100,00	100,0	100,0

Figura5.5.3.4.2.-Caracterización tercer voluminosos.

PESO CADA MUESTRA = 100 Kg.	CARACT. 80 - 300 mm (ENTRADA CABINA)		
	FECHA	20/11/2013	21/11/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	15,55	18,5	12,6
Plásticos	17,45	19,4	15,5
Férricos	5,55	3,3	7,8
Vidrio	0,30	0,0	0,6
Madera	2,35	2,3	2,4
Textiles	12,50	11,6	13,4
Cerámicas/Mat. Obra	8,05	6,7	9,4
Mat. Orgánica	7,50	6,8	8,2
Otros	30,75	31,4	30,1
TOTAL (Kg)	100,00	100,0	100,0

Figura5.5.3.4.3.-Caracterización tercer cabina triaje.

PESO CADA MUESTRA = 50 Kg.	CARACT. 40 - 80 mm (COMPOSTAJE)		
	FECHA	22/11/2013	28/11/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	16,50	7,3	9,2
Plásticos	14,10	6,6	7,5
Férricos	5,90	3,3	2,6
Vidrio	6,80	2,8	4,0
Madera	1,70	1,3	0,4
Textiles	4,50	1,9	2,6
Cerámicas/Mat. Obra	2,40	1,5	0,9
Mat. Orgánica	32,70	17,5	15,2
Otros	15,40	7,8	7,6
TOTAL (Kg)	100,00	50,0	50,0

Figura5.5.3.4.4.-Caracterización tercer compostaje.

PESO CADA MUESTRA = 50 Kg.	CARACT. 10 - 40 mm (BIOMETANIZACIÓN)		
	FECHA	22/11/2013	28/11/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	6,10	3,9	2,2
Plásticos	1,90	1,1	0,8
Férricos	2,10	0,9	1,2
Vidrio	9,40	4,3	5,1
Madera	0,60	0,5	0,1
Textiles	1,60	1,0	0,6
Cerámicas/Mat. Obra	2,20	1,5	0,7
Mat. Orgánica	67,00	32,1	34,9
Otros	9,10	4,7	4,4
TOTAL (Kg)	100,00	50,0	50,0

Figura5.5.3.4.5.-Caracterización tercer biometanización.

PESO CADA MUESTRA = 100 Kg.	CARACTERIZACION (PRENSA RECHAZOS)		
	FECHA	04/12/2013	05/12/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	14,60	12,5	16,7
Plásticos	19,90	22,1	17,7
Férricos	1,55	2,0	1,1
Vidrio	0,00	0,0	0,0
Madera	1,85	2,1	1,6
Textiles	13,55	13,2	13,9
Cerámicas/Mat. Obra	8,30	9,5	7,1
Mat. Orgánica	2,75	1,7	3,8
Otros	37,50	36,9	38,1
TOTAL (Kg)	100,00	100,0	100,0

Figura5.5.3.4.6.-Caracterización tercer prensa rechazos.

PESO CADA MUESTRA = 50 Kg.	CARACTERIZACION RECHAZO AFINO		
	FECHA	04/12/2013	05/12/2013
	MEDIA %	X1	X2
Papel/Cartón	4,10	1,6	2,5
Plásticos	9,50	4,5	5,0
Férricos	3,60	2,1	1,5
Vidrio	10,20	4,6	5,6
Madera	0,90	0,3	0,6
Textiles	8,00	3,5	4,5
Cerámicas/Mat. Obra	7,70	4,2	3,5
Mat. Orgánica	44,90	22,6	22,3
Otros	11,10	6,6	4,5
TOTAL (Kg)	100,00	50,0	50,0

Figura5.5.3.4.7.-Caracterización tercer afino.

5.5.3.5 Resumen de caracterizaciones.

FRACCIONES	ENTRADA FOSOS				
	% 1T	% 2T	% 3T	% 4T	% MEDIO
Papel/Cartón	12,25	16,51	21,50	13,76	16,00
Plásticos	11,30	15,12	11,13	8,95	11,62
Férricos	3,75	2,65	2,43	2,47	2,83
Vidrio	2,25	2,67	2,26	1,15	2,08
Madera	1,90	2,61	0,94	0,70	1,54
Textiles	4,65	4,19	6,93	2,49	4,56
Cerámicas/Mat. Obra	2,10	1,18	0,54	0,22	1,01
Mat. Orgánica	35,25	29,69	19,03	17,11	25,27
Otros	26,55	25,38	35,25	53,14	35,08
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Figura5.5.3.5.1.-Resumen caracterizaciones todo uno.

FRACCIONES	CARACT. > 300 mm (VOLUMINOSOS)				
	% 1T	% 2T	% 3T	% 4T	% MEDIO
Papel/Cartón	25,20	22,50	19,85	17,65	21,30
Plásticos	21,05	20,05	24,30	17,70	20,78
Férricos	7,55	7,95	6,75	11,85	8,53
Vidrio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Madera	6,70	6,30	6,35	5,95	6,33
Textiles	14,45	18,05	15,35	14,10	15,49
Cerámicas/Mat. Obra	2,90	4,30	2,45	4,45	3,53
Mat. Orgánica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Otros	22,15	20,85	24,95	28,30	24,06
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Figura5.5.3.5.2.-Resumen caracterizaciones voluminosos.

FRACCIONES	CARACT. 80 - 300 mm (ENTRADA CABINA)				
	% 1T	% 2T	% 3T	% 4T	% MEDIO
Papel/Cartón	18,10	20,45	17,65	15,55	17,94
Plásticos	19,20	23,05	18,40	17,45	19,53
Férricos	4,75	6,40	8,40	5,55	6,28
Vidrio	0,60	0,10	0,15	0,30	0,29
Madera	3,35	3,05	1,60	2,35	2,59
Textiles	7,40	7,85	11,85	12,50	9,90
Cerámicas/Mat. Obra	6,60	7,05	3,70	8,05	6,35
Mat. Orgánica	11,35	10,70	10,10	7,50	9,91
Otros	28,65	21,35	28,15	30,75	27,23
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Figura5.5.3.5.3.-Resumen caracterizaciones cabina triaje.

FRACCIONES	CARACT. 40 - 80 mm (COMPOSTAJE)				
	% 1T	% 2T	% 3T	% 4T	% MEDIO
Papel/Cartón	18,50	16,70	17,00	16,50	17,18
Plásticos	12,70	10,30	11,60	14,10	12,18
Férricos	4,60	7,20	6,60	5,90	6,08
Vidrio	4,30	8,50	7,30	6,80	6,73
Madera	1,30	0,50	1,60	1,70	1,28
Textiles	4,80	4,70	5,00	4,50	4,75
Cerámicas/Mat. Obra	5,50	3,30	2,70	2,40	3,48
Mat. Orgánica	37,50	36,80	34,10	32,70	35,28
Otros	10,80	12,00	14,10	15,40	13,08
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Figura5.5.3.5.4.-Resumen caracterizaciones cabina compostaje.

FRACCIONES	CARACT. 10 - 40 mm (BIOMETANIZACIÓN)				
	% 1T	% 2T	% 3T	% 4T	% MEDIO
Papel/Cartón	5,30	6,10	4,90	6,10	5,60
Plásticos	2,00	2,30	3,90	1,90	2,53
Férricos	1,90	1,50	1,60	2,10	1,78
Vidrio	8,10	7,80	8,60	9,40	8,48
Madera	0,40	0,20	0,10	0,60	0,33
Textiles	0,50	0,70	0,80	1,60	0,90
Cerámicas/Mat. Obra	4,40	1,50	1,30	2,20	2,35
Mat. Orgánica	70,70	72,80	70,70	67,00	70,30
Otros	6,70	7,10	8,10	9,10	7,75
TOTAL (Kg)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Figura5.5.3.5.5.-Resumen caracterizaciones biometanización.

FRACCIONES	CARACTERIZACION (PRENSA RECHAZOS)				
	% 1T	% 2T	% 3T	% 4T	% MEDIO
Papel/Cartón	15,75	19,55	19,55	14,60	17,36
Plásticos	23,35	21,05	15,45	19,90	19,94
Férricos	1,15	2,50	2,65	1,55	1,96
Vidrio	0,50	0,05	0,00	0,00	0,14
Madera	3,50	3,00	2,30	1,85	2,66
Textiles	9,65	9,45	10,45	13,55	10,78
Cerámicas/Mat. Obra	6,50	6,60	6,10	8,30	6,88
Mat. Orgánica	4,35	2,80	5,95	2,75	3,96
Otros	35,25	35,00	37,55	37,50	36,33
TOTAL (Kg)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Figura5.5.3.5.6.-Resumen caracterizaciones prensa rechazos.

FRACCIONES	CARACTERIZACION RECHAZO AFINO				
	% 1T	% 2T	% 3T	% 4T	% MEDIO
Papel/Cartón	4,70	5,50	6,90	4,10	5,30
Plásticos	8,10	6,60	8,20	9,50	8,10
Férricos	11,00	6,90	7,40	3,60	7,23
Vidrio	9,50	10,80	10,90	10,20	10,35
Madera	1,90	1,00	1,40	0,90	1,30
Textiles	5,40	6,00	9,80	8,00	7,30
Cerámicas/Mat. Obra	11,70	13,00	10,20	7,70	10,65
Mat. Orgánica	38,70	41,80	33,50	44,90	39,73
Otros	9,00	8,40	11,70	11,10	10,05
TOTAL (Kg)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Figura 5.5.3.5.7.-Resumen caracterizaciones afino.

5.5.4 Caracterizaciones externas.

Las diversas caracterizaciones externas que se han llevado a cabo en la planta se han hecho en la línea de envases.

- Caracterizaciones de entrada a la línea de envases.
- Caracterizaciones de rechazo fin de las líneas de envase.
- Caracterizaciones de rechazo de voluminosos de la línea de envases.

En esas caracterizaciones externas se detallan las siguientes fracciones solicitadas:

- PET
- PEAD Natural
- PEAD Color
- PVC
- Film
- Film bolsas de un solo uso
- Resto de plásticos
- Acero
- Aluminio
- Cartón para bebidas
- Maderas

También se detallan las siguientes fracciones no solicitadas:

- Materia orgánica

- Restos de jardín y podas
- Celulosa
- Textiles
- Madera envase Comercial/Industrial
- Vidrio (envases)
- Plásticos no envase
- Film bolsa basura
- Plástico envase Comercial/Industrial
- Film Comercial/Industrial
- Resto de obras menores
- Acero no envase
- Acero envase Comercial/Industrial
- Aluminio no envase
- Aluminio envase Comercial/Industrial
- Otros
- Papel/Cartón
 - Papel impreso
 - Envase doméstico con Punto Verde
 - Envase doméstico sin Punto Verde
 - Envase Comercial con Punto Verde
 - Envase Comercial sin Punto Verde

5.5.4.1 Caracterizaciones de entrada a la línea de envases.

Fecha:	01/04/2013	10/04/2013	10/04/2013	06/05/2013	25/08/2013	26/06/2013	26/08/2013
Tipo:	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA
Convenio:	Ayto. Astorga	Mancom. Cuatro Riberas	Ayto. Astorga	Mancom. Órbigo	Ayto. Astorga	Ayto. Astorga	Mancom. Cuatro Riberas
Lugar:	PRC San Román	PRC San Román	PRC San Román	PRC San Román	PRC San Román	PRC San Román	PRC San Román
Empresa:	Eurocontrol	Eurocontrol	Eurocontrol	Eurocontrol	Eurocontrol	Eurocontrol	Eurocontrol
MATERIAL	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)
1) Material solicitado:	230,04	167,27	188,18	188,53	175,90	205,48	188,45
PET	44,23	34,15	38,16	26,48	28,77	34,15	31,66
PEAD Natural	7,21	9,96	11,99	5,67	2,92	6,47	2,04
PEAD Color	18,03	13,86	14,15	17,78	12,81	13,88	7,59
PVC	0,00	0,00	0,00	0,39	0,00	0,00	0,03
Film	29,45	16,25	20,12	29,25	26,71	31,11	29,72
Film bolsas de un solo uso	33,65	20,11	25,39	26,10	27,04	29,86	28,84
Resto de plásticos	20,64	16,78	18,48	20,87	15,40	21,86	18,60
Acero	34,66	30,86	24,16	29,12	29,81	33,85	34,66
Aluminio	0,43	0,16	0,29	0,36	0,42	0,61	0,50
Cartón para bebidas	41,74	25,14	35,44	32,13	32,02	33,69	34,81
Maderas	0,00	0,00	0,00	0,38	0,00	0,00	0,00
2) Material no solicitado:	86,68	83,89	59,93	62,21	74,24	43,95	60,93
Materia Orgánica	9,03	0,00	0,00	1,62	0,18	0,41	0,22
Restos de jardín y podas	1,11	0,00	0,00	0,34	0,00	0,52	2,83
Celulosas	5,47	0,02	0,01	0,18	0,03	0,03	0,21
Textiles	15,23	7,04	5,16	4,12	28,83	10,36	0,92
Madera no envase	0,00	0,40	0,00	0,53	0,00	0,00	0,47

Figura5.5.4.1.1. Caracterizaciones de entrada a la línea de envases.

Fecha:	01/04/2013	10/04/2013	10/04/2013	06/05/2013	25/06/2013	26/06/2013	26/06/2013
Tipo:	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA
Convenio:	Ayto. Astorga	Mancom. Cuatro Riberas	Ayto. Astorga	Mancom. Órbigo	Ayto. Astorga	Ayto. Astorga	Mancom. Cuatro Riberas
Lugar:	PRC San Román	PRC San Román	PRC San Román	PRC San Román	PRC San Román	PRC San Román	PRC San Román
Empresa:	Eurocontrol	Eurocontrol	Eurocontrol	Eurocontrol	Eurocontrol	Eurocontrol	Eurocontrol
MATERIAL	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)
Madera envase Comercial/Industrial	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vidrio (envases)	1,46	0,40	0,26	4,33	4,49	2,51	9,70
Plásticos no envase	6,52	12,98	6,12	16,45	18,82	10,85	11,02
Film bolsa basura	0,21	0,40	1,06	0,38	0,32	0,30	0,60
Plásticos Envase Comercial/Industrial	0,00	2,88	4,88	1,35	0,00	1,71	0,00
Film Comercial/Industrial	6,12	22,60	17,33	12,51	6,80	5,17	14,79
Resto de obras menores	0,00	6,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acero no envase	0,00	0,00	0,00	1,74	0,00	0,00	5,43
Acero envase Comercial/Industrial	0,00	0,40	0,55	0,00	1,10	0,00	0,70
Aluminio no envase	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
Aluminio envase Comercial/Industrial	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Otros	15,39	6,61	20,89	10,36	6,40	5,21	3,18
Papel/Cartón	26,14	24,06	3,67	8,30	7,27	6,83	9,96
Papel impreso	23,16	13,33	1,12	0,87	3,29	2,98	0,49
Envase doméstico con Punto Verde	1,03	0,49	2,15	4,09	2,01	0,84	0,88
Envase doméstico sin Punto Verde	0,83	0,12	0,40	1,25	0,02	0,21	1,79
Envase Comercial con Punto Verde	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Envase Comercial sin Punto Verde	1,12	10,12	0,00	2,09	1,95	2,80	6,80
Total	316,72	251,16	248,11	250,74	250,14	249,43	249,38

Figura5.5.4.1.2. Caracterizaciones de entrada a la línea de envases.

Fecha:	07/10/2013	08/10/2013	08/10/2013	23/10/2013	05/11/2013	05/11/2013	20/11/2013
Tipo:	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA
Convenio:	Ayto. Astorga	Ayto. Astorga	Mancom. Cuatro Riberas	Mancom. Vega del Tuerto	Ayto. Astorga	Mancom. Órbigo	Mancom. Vega del Tuerto
Lugar:	PRC San Román	PRC San Román	PRC San Román	PRC San Román	PRC San Román	PRC San Román	PRC San Román
Empresa:	Eurocontrol	Eurocontrol	Eurocontrol	Eurocontrol	Eurocontrol	Eurocontrol	Eurocontrol
MATERIAL	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)
1) Material solicitado:	204,81	210,60	188,24	165,48	178,17	194,45	234,73
PET	34,85	36,51	31,08	37,17	32,46	36,58	56,78
PEAD Natural	3,45	4,89	3,95	5,80	1,34	2,31	2,34
PEAD Color	25,37	18,42	16,81	13,57	6,01	6,86	10,23
PVC	0,00	0,03	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00
Film	28,12	31,58	28,58	19,01	27,37	29,93	33,21
Film bolsas de un solo uso	27,78	29,04	26,09	9,89	29,26	31,24	34,50
Resto de plásticos	17,27	18,76	14,72	20,43	18,12	21,13	25,01
Acero	30,81	34,63	33,25	21,86	25,83	27,13	30,19
Aluminio	0,49	0,89	0,11	2,93	0,27	0,18	0,32
Cartón para bebidas	36,67	35,85	33,44	34,82	37,51	39,09	42,15
Maderas	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2) Material no solicitado:	34,06	39,15	62,13	83,93	72,00	56,03	45,90
Materia Orgánica	2,18	2,56	0,36	1,89	5,65	0,00	0,00
Restos de jardín y podas	0,00	0,46	2,15	0,00	0,00	1,56	0,00
Celulosas	3,41	2,86	0,02	6,49	0,93	2,15	1,95
Textiles	4,16	9,63	4,51	5,80	22,46	15,24	4,38
Madera no envase	0,25	0,00	4,63	0,00	2,90	0,00	0,00
Madera envase Comercial/Industrial	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vidrio (envases)	2,43	7,12	0,23	3,41	0,00	1,23	1,90
Plásticos no envase	1,88	0,54	23,72	32,87	8,24	11,43	8,64
Film bolsa basura	0,74	0,67	0,61	0,97	1,94	0,89	1,10

Figura5.5.4.1.3. Caracterizaciones de entrada a la línea de envases.

Fecha:	07/10/2013	08/10/2013	08/10/2013	23/10/2013	05/11/2013	05/11/2013	20/11/2013
Tipo:	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA	ENTRADA
Convenio:	Ayto. Astorga	Ayto. Astorga	Mancom. Cuatro Riberas	Mancom. Vega del Tuerto	Ayto. Astorga	Mancom. Órbigo	Mancom. Vega del Tuerto
Lugar:	PRC San Román	PRC San Román	PRC San Román	PRC San Román	PRC San Román	PRC San Román	PRC San Román
Empresa:	Eurocontrol	Eurocontrol	Eurocontrol	Eurocontrol	Eurocontrol	Eurocontrol	Eurocontrol
MATERIAL	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)	CANTIDAD (Kg.)
Plásticos Envase Comercial/Industrial	0,52	0,00	0,00	0,00	2,17	8,59	3,89
Film Comercial/Industrial	2,81	0,00	3,97	7,70	2,57	5,02	4,40
Resto de obras menores	2,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Acero no envase	0,00	0,15	2,50	5,82	1,07	2,32	1,19
Acero envase Comercial/Industrial	0,00	0,00	0,00	0,94	0,00	0,65	2,13
Aluminio no envase	0,03	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00
Aluminio envase Comercial/Industrial	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Otros	8,17	5,92	14,06	10,65	7,60	6,19	9,88
Papel/Cartón	4,89	9,24	5,37	7,39	16,35	0,76	6,44
Papel impreso	2,98	5,59	0,39	3,65	14,63	0,00	4,17
Envase doméstico con Punto Verde	1,17	2,91	0,41	1,76	0,59	0,49	1,16
Envase doméstico sin Punto Verde	0,53	0,18	0,29	1,98	1,13	0,27	1,11
Envase Comercial con Punto Verde	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Envase Comercial sin Punto Verde	0,21	0,56	4,28	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	238,87	249,75	250,37	249,41	250,17	250,48	280,63

Figura5.5.4.1.4. Caracterizaciones de entrada a la línea de envases.

5.5.4.2 Caracterizaciones rechazo fin de la línea de envases.

Fecha:	17/10/2013	
Tipo:	RECHAZO	
Convenio:	FIN DE LÍNEA	
Lugar:	PRC San Román	
Empresa:	Eurocontrol	
MATERIAL	CANTIDAD (Kg.)	%
1) Material solicitado:	40,22	26,64
PET	2,51	1,66
PEAD Natural	1,13	0,75
PEAD Color	0,69	0,46
PVC	0,14	0,09
Film	13,21	8,75
Film bolsas de un solo uso	9,12	6,04
Resto de plásticos	9,41	6,23
Acero	0,14	0,09
Aluminio	0,10	0,07
Cartón para bebidas	3,77	2,50
Maderas	0,00	0,00
2) Material no solicitado:	110,73	73,36
Materia Orgánica	0,20	0,13
Restos de jardín y podas	0,00	0,00
Celulosas	8,81	4,51
Textiles	17,94	11,88
Madera no envase	1,16	0,77
Madera envase Comercial/Industrial	0,05	0,03
Vidrio (envases)	0,85	0,56
Plásticos no envase	10,21	6,76
Film bolsa basura	0,16	0,11
Plásticos Envase Comercial/Industrial	0,00	0,00
Film Comercial/Industrial	0,00	0,00
Resto de obras menores	0,00	0,00
Acero no envase	0,00	0,00
Acero envase Comercial/Industrial	0,00	0,00
Aluminio no envase	0,03	0,02
Aluminio envase Comercial/Industrial	0,00	0,00
Otros	29,01	19,22
Papel/Cartón	44,31	29,35
Papel impreso	20,89	13,71
Envase doméstico con Punto Verde	17,98	11,91
Envase doméstico sin Punto Verde	2,48	1,64
Envase Comercial con Punto Verde	0,00	0,00
Envase Comercial sin Punto Verde	3,16	2,09
Total	150,95	100,00

Figura5.5.4.2.1.-Caracterizaciones de rechazo fin de la línea de envases.

5.5.4.3 Caracterizaciones de rechazo voluminosos de la línea de envases.

Fecha:	17/10/2013	
Tipo:	RECHAZO	
Convenio:	VOLUMINOSOS	
Lugar:	PRC San Román	
Empresa:	Eurocontrol	
MATERIAL	CANTIDAD (Kg.)	%
1) Material solicitado:	1,61	1,07
PET	0,12	0,08
PEAD Natural	0,41	0,27
PEAD Color	0,00	0,00
PVC	0,00	0,00
Film	0,28	0,19
Film bolsas de un solo uso	0,19	0,13
Resto de plásticos	0,25	0,17
Acero	0,32	0,21
Aluminio	0,00	0,00
Cartón para bebidas	0,04	0,03
Maderas	0,00	0,00
2) Material no solicitado:	149,33	98,93
Materia Orgánica	0,00	0,00
Restos de jardín y podas	0,00	0,00
Celulosas	0,00	0,00
Textiles	27,56	18,28
Madera no envase	0,56	0,37
Madera envase Comercial/Industrial	0,00	0,00
Vidrio (envases)	0,95	0,63
Plásticos no envase	64,45	42,70
Film bolsa basura	0,08	0,05
Plásticos Envase Comercial/Industrial	2,44	1,62
Film Comercial/Industrial	7,19	4,76
Resto de obras menores	0,00	0,00
Acero no envase	1,27	0,84
Acero envase Comercial/Industrial	0,00	0,00
Aluminio no envase	0,00	0,00
Aluminio envase Comercial/Industrial	0,00	0,00
Otros	20,80	13,78
Papel/Cartón	24,03	15,92
Papel impreso	1,14	0,76
Envase doméstico con Punto Verde	5,16	3,42
Envase doméstico sin Punto Verde	0,23	0,15
Envase Comercial con Punto Verde	0,58	0,38
Envase Comercial sin Punto Verde	16,92	11,21
Total	150,94	100,00

Figura 5.5.4.3.1.-Caracterizaciones de rechazo voluminosos de la línea de envases.

5.5.5 Balance de masas.

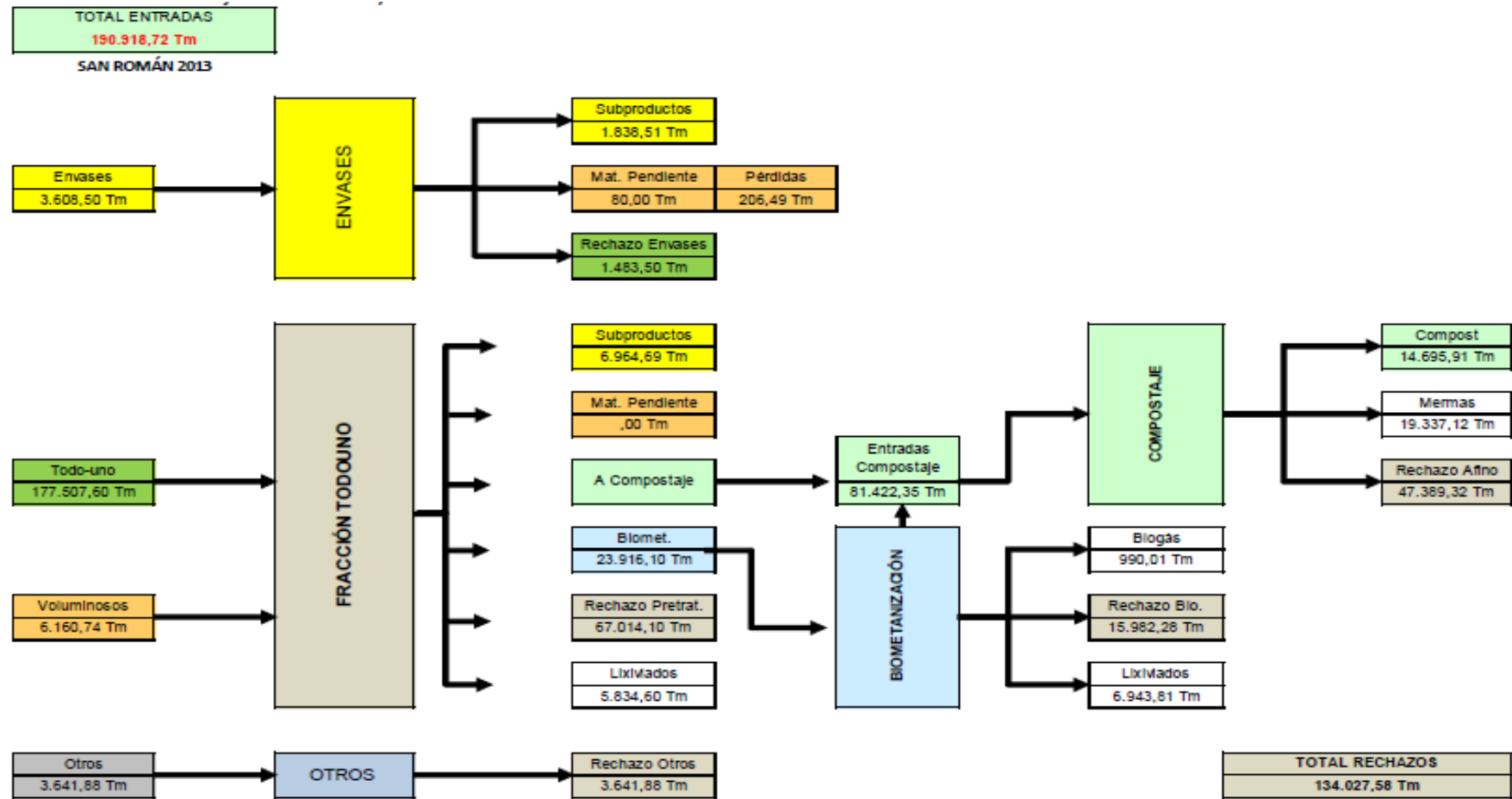


Figura5.5.5.1.-Flujo de entradas y salidas a cada línea de la planta.

ENTRADAS PROCESO 2013			
Entradas	Pretrat	Compostaje	Biomet.
TOTAL	72169,15	81422,35	23916,10

SUBPRODUCTOS PRC 2013											
2013	PET	PEAD	PEAD INYEC.	CARTON	BRICK	FILM	ELÉCTRICOS	FÉRRICOS	CHATARRA	MADERA	TOTAL
	206,54	100,71	86,01	1.873,41	90,08	463,04	102,30	2.371,54	414,40	1.256,66	6.964,69

SUBPRODUCTOS ENVASES 2013											
2013	FÉRRICOS	PET	PEAD	BRICK	FILM	PL. MEZCLA	NO FÉRRICOS	PEAD INY.	CARTÓN	CHATARRA	TOTAL
TOTAL	324,01	408,50	199,83	357,68	363,62	151,30	33,56	0,00	0,00	0,00	1.838,51

SUBPRODUCTOS PROCESO 2013			
2013	Compost	Biogás	Permeado
TOTAL	14695,91	990,01	870,53

RECHAZO VERTEDERO 2013						
2013	Pretrat.	Afino	Pesados	Otros	Total	% a vertedero
TOTAL	67014,10	47389,32	15982,28	3641,88	134027,58	70,20%

Figura5.5.2.-Flujo de entradas, subproductos y rechazos de la planta.

5.5.6 Control y vigilancia de vertido.

5.5.6.1 Volumen de lixiviados

	TOTAL (m ³)
Enero	5.917,2
Febrero	4.529,5
Marzo	7.201,8
Abril	4.281,8
Mayo	4.232,4
Junio	3.663,5
Julio	3.957,8
Agosto	3.611,9
Septiembre	4.911,2
Octubre	6.632,4
Noviembre	4.301,2
Diciembre	5.291,5
	58.532,2

Figura5.5.6.1.1.-Cuadro resumen producción anual de lixiviados.

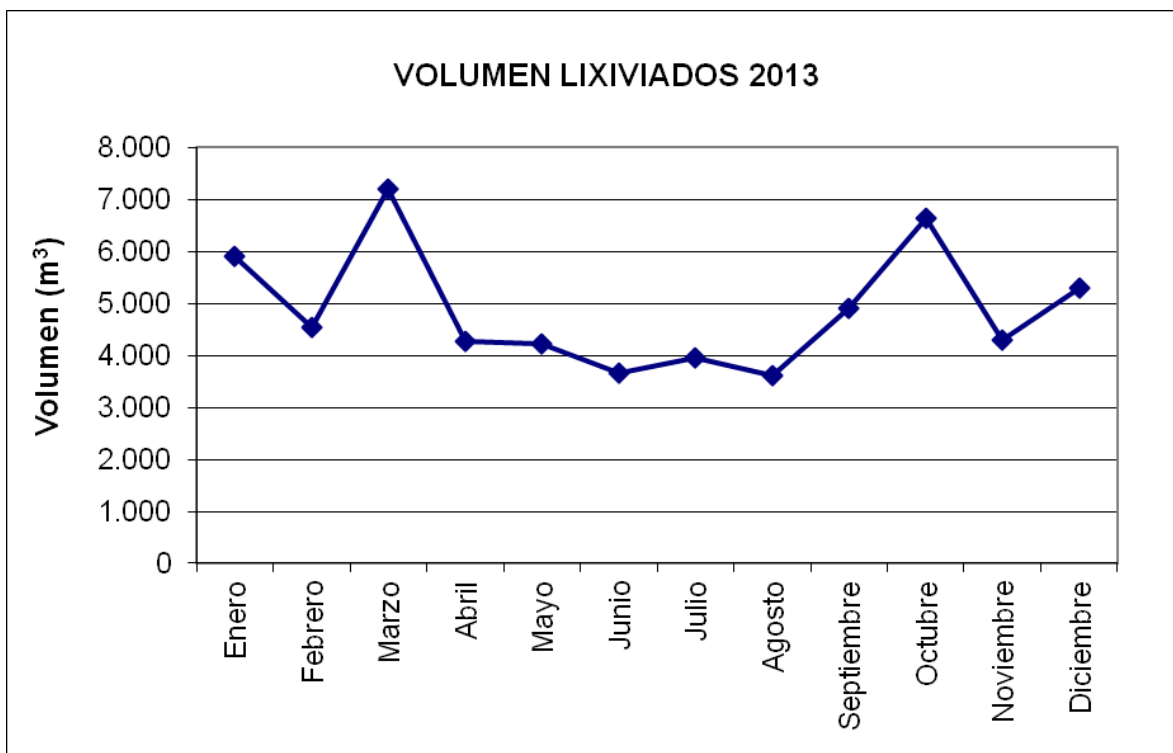


Figura5.5.6.1.2.-Representación gráfica del volumen de lixiviados.

5.5.6.2 Volumen depurado.

	m ³ tratados	m ³ depurados	m ³ concentrados
Enero	0,00	0,00	0,00
Febrero	0,00	0,00	0,00
Marzo	0,00	0,00	0,00
Abril	1.507,60	870,53	637,07
Mayo	0,00	0,00	0,00
Junio	0,00	0,00	0,00
Julio	0,00	0,00	0,00
Agosto	0,00	0,00	0,00
Septiembre	0,00	0,00	0,00
Octubre	0,00	0,00	0,00
Noviembre	0,00	0,00	0,00
Diciembre	0,00	0,00	0,00
	1.507,60	870,53	637,07

Figura5.5.6.2.1.-Cuadro resumen de depurado.

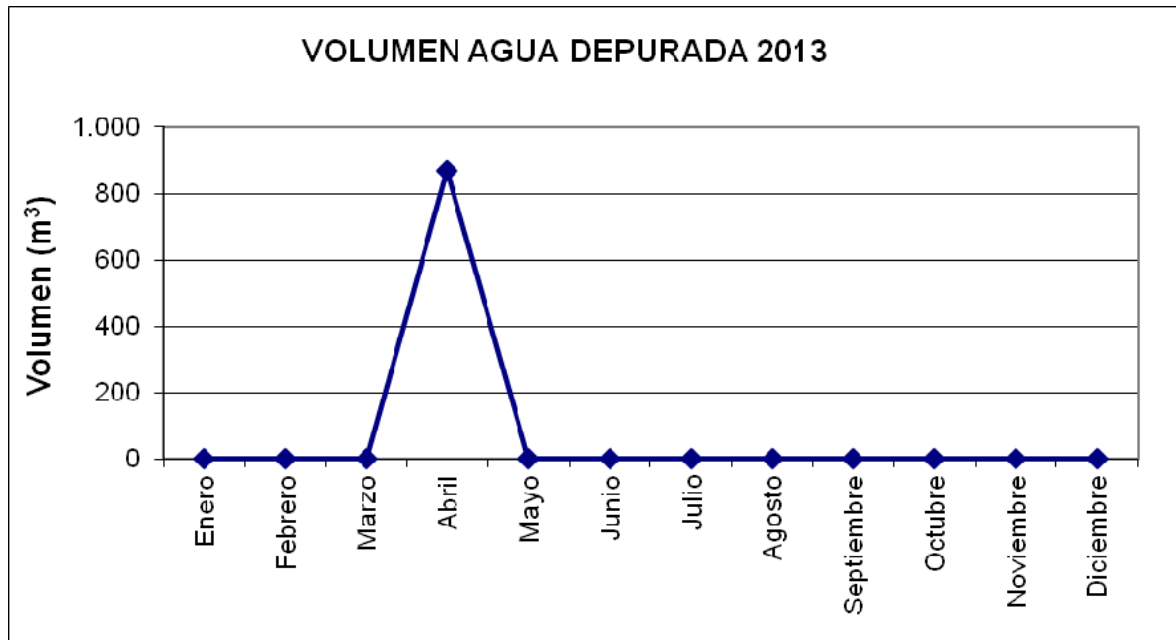


Figura5.5.6.2.2.-Representación gráfica del volumen de agua depurada.

TOMA DE MUESTRAS		LIXIVIADOS (PC1)				AGUA DEPURADA (PC2)			
PARÁMETRO		09/01/2013	29/04/2013	11/07/2013	14/10/2013	09/01/2013	29/04/2013	11/07/2013	14/10/2013
Molibdeno	mg/l	0,0072	0,030	0,019	0,022	0,0010	0,0010	0,0010	0,015
Níquel	mg/l	0,28	0,0010	0,0010	0,010	0,0010	0,0053	0,0068	0,0075
Nitratos	mg/l	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Nitritos	mg/l	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,18
Nitrógeno Kjeldahl	mg/l	1,174	1,108	1,150	1,400	35	58	65	24
PCBs	mg/l	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
pH	ud pH	7,77	8,02	8,14	8,17	7,15	6,54	7,20	7,58
Plomo	mg/l	0,031	0,039	0,032	0,041	0,0010	0,0010	0,0010	0,0015
Potasio	mg/l	2,008	1,898	1,355	1,952	58	58	69	71
Selenio	mg/l	0,0041	0,014	0,0098	0,033	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
Sólidos disueltos	ppm	8,900	8,385	10,430	13,850	324	444	439	452
Sólidos sedimentables	ml/l	-	-	-	-	0,1	0,1	0,1	0,1
Sulfatos	mg/l	117	108	110	258	55	35	40	142
Sulfuros	mg/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Temperatura	°C	9,2	13,7	21,2	15,3	8,3	13,4	20,7	18,4
Zinc	mg/l	1,0	0,80	0,52	0,68	0,010	0,010	0,010	0,010
Com. Orgánicos	mg/l	0,001				0,001			
Etilbenceno	mg/l	0,005				0,005			
Tolueno	mg/l	0,005				0,005			
Xileno	mg/l	0,005				0,005			
Carbonatos	mg/l	6,0				6,0			
Bicarbonatos	mg/l	9,518				159			
Sodio	mg/l	1,850				67			
Pesticidas	µg/l	0,37				0,37			
Plata	mg/l	0,0010				0,0010			
Hierro	mg/l	23				0,27			
Hidrocarb. Policíclicos	µg/l	0,07				0,07			
Aluminio	mg/l	3,0				0,010			
Benceno	mg/l	0,005				0,005			

Figura5.5.6.3.2.-Composición de los lixiviados y agua depurada.

5.5.6.4 Volúmenes pluviales.

MES	PLUVIALES				
	HORÓMETRO 1	HORÓMETRO 2	TOTAL HORÓMETROS	CURVA TRANSF.	TOTAL PLUVIALES
Enero	2,48	4,72	7,20	640	4808,00
Febrero	3,75	4,06	7,81	640	4998,40
Marzo	3,88	3,81	7,69	640	4921,60
Abril	1,25	1,45	2,70	640	1728,00
Mayo	0,91	0,93	1,84	640	1177,60
Junio	0,22	0,18	0,40	640	256,00
Julio	1,31	0,87	1,98	640	1267,20
Agosto	0,07	0,15	0,22	640	140,80
Septiembre	1,17	1,39	2,56	640	1838,40
Octubre	3,72	4,02	7,74	640	4953,60
Noviembre	1,07	0,91	1,98	640	1267,20
Diciembre	2,82	2,78	5,40	640	3456,00
	22,45	25,07	47,52	640	30.412,80

Figura5.5.6.4.1.-Resumen anual de volumen de pluviales.

TOMA DE MUESTRAS		AGUAS BALSA (PC3)			
PARÁMETRO		09/01/2013	29/04/2013	11/07/2013	14/10/2013
Aceites y Grasas	mg/l	10	10	10	10
Alcalinidad	mg/l	122	134	139	165
Amonio	mg/l	9,2	9,2	9,8	5,5
Antimonio	mg/l	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
Arsénico	mg/l	0,0031	0,0035	0,0033	0,0068
Bario	mg/l	0,015	0,030	0,042	0,037
Cadmio	mg/l	0,00050	0,00050	0,00050	0,00050
Calcio	mg/l	23	15	27	18
Cianuros	mg/l	0,002	0,002	0,002	0,002
Cloruros	mg/l	25,5	33	40	69
Cobre	mg/l	0,0093	0,0075	0,0089	0,013
Coliformes fecales	ufc/100ml	200	0	0	90
Coliformes totales	ufc/100ml	840	180.000	13.000	130.000
Conductividad	µS/cm	294	311	363	523
COT	mg/l	18	14	17	55
Cromo Total	mg/l	0,0047	0,0047	0,0059	0,027
Cromo VI	mg/l	0,050	0,050	0,050	0,050
DBO 5	mgO ₂ /l	58	42	48	60
DQO	mgO ₂ /l	168	120	128	188
Dureza	°F	7	5	8	7
Fenoles	mg/l	0,20	0,20	0,20	0,20
Fluoruros	mg/l	0,50	0,50	0,50	0,50
Fosforo total	mg/l	0,50	0,50	0,50	0,50
Hidrocarburos	mg/l	ausencia	ausencia	ausencia	ausencia
Magnesio	mg/l	3,9	3,6	4,0	6,0
Mercurio	mg/l	0,00050	0,00050	0,00050	0,00050
Molibdeno	mg/l	0,0010	0,0017	0,0011	0,0043
Níquel	mg/l	0,0022	0,0043	0,010	0,0077
Nitratos	mg/l	5,0	5,0	5,0	5,0
Nitritos	mg/l	0,21	0,22	0,18	0,21
Nitrógeno Kjeldahl	mg/l	9,9	10	11	10
PCBs	mg/l	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
pH	ud pH	7,93	8,84	7,52	8,5
Plomo	mg/l	0,0014	0,0038	0,0044	0,0055
Potasio	mg/l	16	22	30	42
Selenio	mg/l	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
Sólidos disueltos	ppm	147	156	182	262
Sólidos sedimentables	ml/l	0,3	0,1	0,1	0,2
Sulfatos	mg/l	14	12	17	46
Sulfuros	mg/l	0,1	0,1	0,1	0,1
Temperatura	°C	7,4	11,5	20,5	15,6
Zinc	mg/l	0,075	0,048	0,064	0,18
Com. Orgánicos	mg/l	0,001			
Etilbenceno	mg/l	0,005			
Tolueno	mg/l	0,005			
Xyleno	mg/l	0,005			
Carbonatos	mg/l	6,0			
Bicarbonatos	mg/l	122			
Sodio	mg/l	41			
Pesticidas	µg/l	0,37			
Plata	mg/l	0,0010			
Hierro	mg/l	0,94			
Hidrocarb. Policíclicos	µg/l	0,07			
Aluminio	mg/l	0,64			
Benceno	mg/l	0,005			

Figura5.5.6.4.2.-Composición de pluviales.

5.5.6.5 Control de aguas vertidas.

El volumen de vertidos se mide con un aforador Parshall.



Figura5.5.6.5.1.-Medidor tipo Parshall.

CANAL PARSHAL	
MES	MEDIDA
ENERO	1.742
FEBRERO	3.995
MARZO	4.785
ABRIL	2.290
MAYO	528
JUNIO	0
JULIO	0
AGOSTO	0
SEPTIEMBRE	0
OCTUBRE	2.916
NOVIEMBRE	1.176
DICIEMBRE	2.684
TOTAL	20.116

Figura5.5.6.5.2.-Resumen anual aforador.

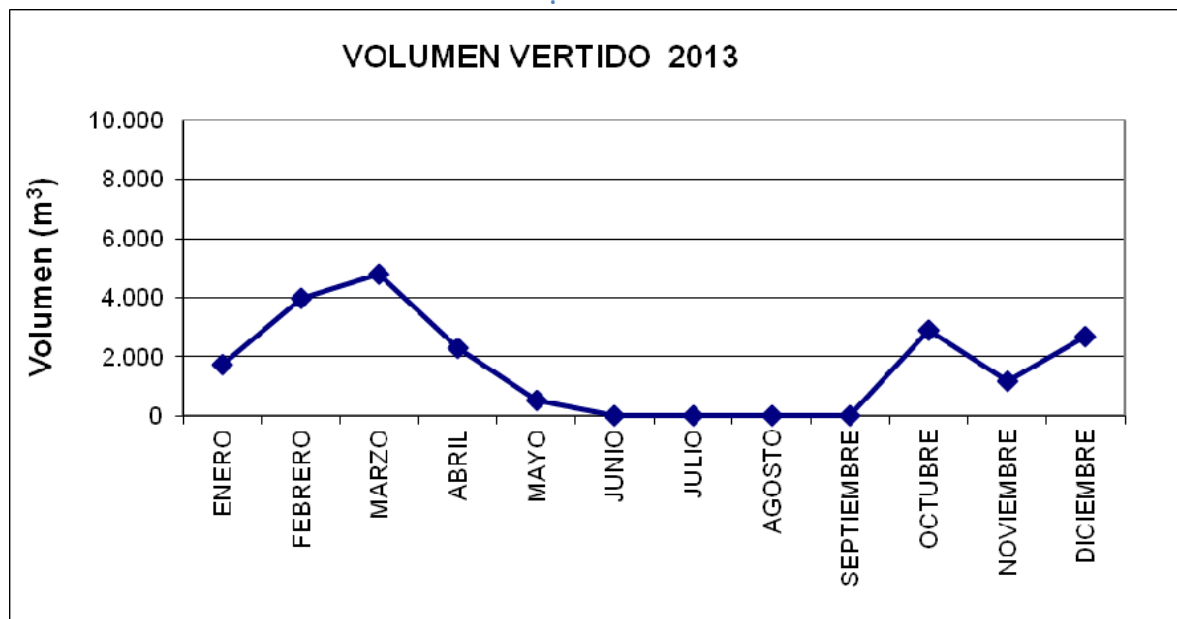


Figura5.5.6.5.3.-Representación gráfica del volumen de vertido.

TOMA DE MUESTRAS		AGUAS VERTIDO (PC4)				Valor Max Ins
PARÁMETRO		09/01/2013	29/04/2013	11/07/2013	14/10/2013	
Aceites y Grasas	mg/l	10	10	10	10	
Alcalinidad	mg/l	54	128	120	146	
Amonio	mg/l	0,64	10	9,8	7,8	8
Antimonio	mg/l	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	
Arsénico	mg/l	0,0033	0,0051	0,0080	0,0034	0,05
Bario	mg/l	0,0050	0,032	0,039	0,026	
Cadmio	mg/l	0,00050	0,00050	0,00050	0,00050	0,004
Calcio	mg/l	18	25	32	26	
Cianuros	mg/l	0,002	0,002	0,002	0,002	0,04
Cloruros	mg/l	12,8	36	39	20	
Cobre	mg/l	0,0010	0,012	0,020	0,0082	0,04
Coliformes fecales	ufc/100ml	0	0	700	0	
Coliformes totales	ufc/100ml	140	23.000	15.000	61.000	
Conductividad	µS/cm	192,5	354	753	293	
COT	mg/l	5,3	3,1	4,8	7,8	
Cromo Total	mg/l	0,0010	0,0049	0,0077	0,013	0,03
Cromo VI	mg/l	0,050	0,050	0,050	0,050	0,005
DBO 5	mgO ₂ /l	18	20	48	20	10
DQO	mgO ₂ /l	40	48	18	44	60
Dureza	°F	6	8	11	8	
Fenoles	mg/l	0,20	0,20	0,20	0,20	0,005
Fluoruros	mg/l	0,50	0,50	0,50	0,50	1,7
Fosforo total	mg/l	0,50	0,50	0,50	0,50	0,5
Hidrocarburos	mg/l	ausencia	ausencia	ausencia	ausencia	0,2
Magnesio	mg/l	3,4	4,2	7,2	4,6	
Mercurio	mg/l	0,00050	0,00050	0,00050	0,00050	0,001
Molibdeno	mg/l	0,0010	0,0010	0,0010	0,0037	
Níquel	mg/l	0,0015	0,0033	0,0042	0,0057	0,05
Nitratos	mg/l	5,0	5,0	5,0	5,0	
Nitritos	mg/l	0,91	0,030	0,030	0,030	
Nitrógeno Kjeldahl	mg/l	1,9	9,4	10	8	9
PCBs	mg/l	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,001
pH	ud pH	8,24	7,30	7,19	7,67	6 a 9
Plomo	mg/l	0,0027	0,0027	0,0036	0,0010	0,025
Potasio	mg/l	13	20	29	11	
Selenio	mg/l	0,0010	0,0010	0,0010	0,0018	0,001
Sólidos disueltos	ppm	96	177	376	146	
Sólidos sedimentables	ml/l	0,1	0,1	0,3	0,6	40
Sulfatos	mg/l	20	10	13	34	75
Sulfuros	mg/l	0,1	0,1	0,1	0,1	
Temperatura	°C	7,6	12,3	21,9	15,3	
Zinc	mg/l	0,010	0,010	0,010	0,010	0,3
Com. Orgánicos	mg/l	0,001				
Etilbenceno	mg/l	0,005				0,03
Tolueno	mg/l	0,005				0,05
Xileno	mg/l	0,005				0,03
Carbonatos	mg/l	24				
Bicarbonatos	mg/l	30				
Sodio	mg/l	39				
Pesticidas	µg/l	0,37				0,001
Plata	mg/l	0,0010				
Hierro	mg/l	0,35				1
Hidrocarb. Policíclicos	µg/l	0,07				0,0002
Aluminio	mg/l	0,062				
Benceno	mg/l	0,005				0,03

Figura5.5.6.5.4.-Composición de aguas vertidas.

5.5.6.6 Análisis aguas subterráneas.

TOMA DE MUESTRAS		PIEZOMETRO S-1 - AGUAS ARRIBA		PIEZOMETRO CHD 1 AGUAS ABAJO (PC5)		PIEZOMETRO CHD 2 AGUAS ABAJO (PC6)		PIEZOMETRO CHD 3 AGUAS ABAJO (PC7)	
AGUA SUBTERRÁNEAS		MAX 2013	NIVEL REF.	MAX 2013	NIVEL REF.	MAX 2013	NIVEL REF.	MAX 2013	NIVEL REF.
Aceites y Grasas	mg/l	10	<10	10	11	10	15	10	10,2
Alcalinidad	mg/l	30	185	61	150	98	250	67	80
Amonio	mg/l	0,14	0,6	0,18	0,6	0,18	36,4	0,18	0,3
Antimonio	mg/l	0,001	<0,005	0,001	<0,005	0,001	<0,005	0,001	<0,005
Arsénico	mg/l	0,0005	<0,003	0,0005	<0,003	0,0016	<0,003	0,0005	<0,003
Bario	mg/l	0,25	<0,050	0,14	<0,050	0,063	<0,050	0,33	<0,050
Cadmio	mg/l	0,0005	<0,0003	0,0005	<0,0003	0,0005	<0,0003	0,0005	<0,0003
Calcio	mg/l	30	40	9,1	80,2	23	40,1	28	48,1
Cianuros	mg/l	0,002	<0,002	0,002	<0,002	0,002	<0,002	0,002	<0,002
Cloruros	mg/l	30	106	44	106	40	106	128	284
Cobre	mg/l	3,4	<0,24	0,011	<0,24	0,012	<0,24	0,0063	<0,24
Coliformes fecales	ufc/100ml	400	0	8	0	0	0	0	0
Coliformes totales	ufc/100ml	500	12.000	47.000	520.000	1.400	7.500	7.500	36.000
Conductividad	µS/cm	136,8	112,2	239	180,7	423	272	523	459
COT	mg/l	3	5,0	5,5	3	3	16	4,5	5
Cromo Total	mg/l	0,016	<0,015	0,0082	<0,015	0,0091	<0,015	0,011	<0,015
Cromo VI	mg/l	0,05	<0,03	0,05	<0,03	0,05	<0,03	0,05	<0,03
DBO 5	mgO ₂ /l	10	22	10	<10	10	22	10	<10
DQO	mgO ₂ /l	32	40	32	32	40	40	24	16
Dureza	°F	9	200	10	400	12	300	22	240
Fenoles	mg/l	0,2	0,06	0,2	0,22	0,2	2,02	0,2	0,12
Fluoruros	mg/l	0,5	<0,45	0,5	<0,45	0,5	<0,45	0,5	<0,45
Fosforo total	mg/l	0,5	0,44	0,5	0,3	0,5	0,09	0,5	0,88
Hidrocarburos	mg/l	0	ausencia	0	ausencia	0	ausencia	0	ausencia
Magnesio	mg/l	7,8	24,3	22	48,6	15	48,6	37	29,2
Mercurio	mg/l	0,0005	<0,0006	0,0005	<0,0006	0,0005	<0,0006	0,0005	<0,0006
Molibdeno	mg/l	0,001	<1	0,001	1,1	0,011	3,4	0,001	<1
Níquel	mg/l	0,0062	<0,006	0,0076	<0,006	0,0026	<0,006	0,0077	<0,006
Nitratos	mg/l	41	40	35	18	5	6	17	27

TOMA DE MUESTRAS		PIEZOMETRO S-1 - AGUAS ARRIBA		PIEZOMETRO CHD 1 AGUAS ABAJO (PC5)		PIEZOMETRO CHD 2 AGUAS ABAJO (PC6)		PIEZOMETRO CHD 3 AGUAS ABAJO (PC7)	
AGUA SUBTERRÁNEAS		MAX 2013	NIVEL REF.	MAX 2013	NIVEL REF.	MAX 2013	NIVEL REF.	MAX 2013	NIVEL REF.
Nitritos	mg/l	0,03	0,11	0,03	0,5	0,03	1,2	0,03	0,09
Nitrógeno Kjeldahl	mg/l	2	2,2	2	5,6	2	12,9	2	6,7
Nivel freático	m	5,9	2,44	4,2	2,64	8,5	2,15	1,5	0,2
PCBs	mg/l	0,0005	<0,0005	0,0005	<0,0005	0,0005	<0,0005	0,0005	<0,0005
pH	ud pH	5,54	5,7	6,05	6,04	6,26	5,72	6,03	5,34
Plomo	mg/l	0,001	<0,006	0,0088	<0,006	0,0069	<0,006	0,0042	<0,006
Potasio	mg/l	3,3	1	3,5	4	4,6	4	5,7	4
Selenio	mg/l	0,001	<0,003	0,001	<0,003	0,001	<0,003	0,001	<0,003
Sólidos disueltos	ppm	68	80	120	89	212	138	262	231
Sólidos sedimentables	ml/l	0,6	<0,1	0,7	1,5	1	45	0,5	0,2
Sulfatos	mg/l	11	<10	20	20	85	46	15	<10
Sulfuros	mg/l	0,1	<0,020	0,1	<0,020	0,1	<0,020	0,1	<0,020
Temperatura	°c	17,3	10,5	17,2	10,6	17	7,8	17,2	6
Zinc	mg/l	0,091	<0,24	0,01	<0,24	0,01	<0,24	0,025	<0,24
Com. Orgánicos	mg/l	0,001	<0,003	0,001	<0,003	0,001	<0,003	0,001	<0,003
Etilbenceno	mg/l	0,005	<0,003	0,005	<0,003	0,005	<0,003	0,005	<0,003
Tolueno	mg/l	0,005	<0,003	0,005	<0,003	0,005	<0,003	0,005	<0,003
Xyleno	mg/l	0,005	<0,003	0,005	<0,003	0,005	<0,003	0,005	<0,003
Carbonatos	mg/l	6	<0,1	6	<0,1	6	<0,1	6	<0,1
Bicarbonatos	mg/l	18	225,7	30	183	98	305	43	97,6
Sodio	mg/l	25	12	46	14	102	33	61	26
Pesticidas	µg/l	0,37	ausencia	0,37	ausencia	0,37	ausencia	0,37	ausencia
Plata	mg/l	0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,001	0,001	<0,001
Hierro	mg/l	0,03	<0,060	0,45	0,596	1,9	3,501	0,053	<0,060
Hidrocarb. Policíclicos	µg/l	0,07	ausencia	0,07	ausencia	0,07	ausencia	0,07	ausencia
Aluminio	mg/l	0,039	<0,060	0,53	<0,060	2,6	0,24	0,034	<0,060
Benceno	mg/l	0,005	<0,003	0,005	<0,003	0,005	<0,003	0,005	<0,003

Figura5.5.6.6.1.-Cruce de analíticas con el nivel de referencia.

A la vista del histórico de datos del año para cada piezómetro y del cruce analítico con el nivel de referencia realizado, podemos decir que los parámetros determinados se mantienen a lo largo del tiempo dentro de un intervalo con pequeñas oscilaciones. Estas oscilaciones, se encuentran dentro de unos márgenes aceptables. Además en la comparativa de los valores máximos del año con el nivel cero de contaminación se observa que no existe en ninguno de los parámetros analizados una fluctuación o incremento significativo.

Teniendo en cuenta los resultados de la tabla anterior, podemos afirmar que no existe contaminación de las aguas subterráneas, por los lixiviados producidos, puesto que los valores obtenidos aguas arriba, son semejantes a los obtenidos aguas abajo del vaso de vertido, incluso algunos parámetros son más elevados aguas arriba que aguas abajo, por lo tanto, el sistema integral de impermeabilización (sintética y mineral), está funcionando correctamente.

5.5.7 Control del agua de biometanización.

TOMA DE MUESTRAS		1T	2T	3T	4T
PARÁMETRO		09/01/2013	29/04/2013	11/07/2013	14/10/2013
Amonio	mg/l	2.042	3.212	350	1.332
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	27.100	31.800	3.270	3.840
COT	mg/l	1.630	2.000	112	34.200
DBO5	mg/l	3.620	4.200	240	4.800
DQO	mg/l	5.920	9.760	560	10.880
Fosfatos	mg/l	18	31,0	7,3	33
Materia orgánica disu	mg/l	1.008	1.312	110	1.550
Materia orgánica susp	mg/l	176	208	38	310
Nitratos	mg/l	5,0	5,0	5,0	5,0
Nitritos	mg/l	0,030	0,030	0,030	0,18
Nitrógeno total	mg/l	2.450	2.744	234	2.800
pH	ud pH	8,12	8,25	8,10	8,38
Potencial redox	mV	-381,9	-350,4	-21,3	-354,6
Sulfatos	mg/l	580	316	49	374
Sulfuros	mg/l	0,1	0,1	0,1	0,1
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	23,5	24,9	26,2	22,0

Figura5.5.7.1-Resultados analíticos del agua de biometanización.

5.5.8 Control del agua de compostaje.

TOMA DE MUESTRAS		1T	2T	3T	4T
PARÁMETRO		09/01/2013	29/04/2013	11/07/2013	14/10/2013
Aceites y Grasas	mg/l	79	55	86	86
Amonio	mg/l	1.200	2.055	2.200	1.418
Antimonio	mg/l	0,0090	0,015	0,0086	0,016
Arsénico	mg/l	0,18	0,24	0,20	0,14
Berilio	mg/l	0,00050	0,00050	0,00050	0,00050
Cadmio	mg/l	0,00050	0,00050	0,00050	0,00050
Cobre	mg/l	0,036	0,075	0,082	0,055
Conductividad	μS/cm	16.880	22.600	27.000	29.900
COT	mg/l	4.000	5.340	7.900	16.400
Cromo	mg/l	0,14	0,15	0,17	0,26
D.B.O5	mgO2/l	9.600	10.100	16.785	17.400
D.Q.O.	mgO2/l	13.760	18.240	32.269	29.000
Fenoles	mg/l	0,20	0,42	0,51	0,68
Fluoruros	mg/l	0,50	0,50	0,50	0,5
Hidrocarburos	mg/l	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Mercurio	mg/l	0,00050	0,00050	0,00050	0,00050
Molibdeno	mg/l	0,0083	0,034	0,042	0,012
Níquel	mg/l	0,21	0,34	0,31	0,34
pH	ud pH	7,70	7,98	7,18	7,52
Plomo	mg/l	0,0091	0,012	0,013	0,013
Potencial Redox	mV	-397,5	-385,1	-377,7	-375,3
Relación C/N		7,5	65	58	25,0
Selenio	mg/l	0,013	0,015	0,014	0,029
Temperatura	°C	22,6	23,7	27,2	26,2
Zinc	mg/l	0,21	0,35	0,38	0,33

Figura5.5.8.1-Resultados analíticos del agua de compostaje.

6 Legislación y normativa aplicable en materia de gestión de residuos domésticos.

6.1 Antecedentes y marco legislativo general.

En España, la primera ley específica que regula la gestión de residuos nació como consecuencia de la situación económica del país y de la necesidad de aprovechar los desechos que se eliminaban en vertedero. La crisis energética sufrida en todo el mundo y en particular en España en 1973 impulsó la modificación de la Ley de Minas, que es en donde por primera vez el Gobierno se compromete a impulsar una norma específica que estimule y regule el aprovechamiento de los residuos urbanos.

La nueva Ley de Minas aprobada en el año 1974, vigente actualmente, estableció en su disposición adicional única que «el Gobierno, en el plazo de un año remitiría a las Cortes un Proyecto de Ley por el que se regule el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos para, entre otros objetivos, obtener la adecuada recuperación de los recursos minerales y proteger otros recursos geológicos».

En esas fechas ya existía la Directiva Europea Marco sobre residuos: Directiva 75/442/CEE, del Consejo, de 15 de julio de 1975, norma que España no tenía que cumplir por no estar dentro de la Unión Europea, entonces Comunidad Económica Europea.

En definitiva, la Ley 42/1975, de 19 de noviembre, sobre desechos y residuos sólidos urbanos se elaboró para dar cumplimiento a aquel mandato legal establecido en la Ley de Minas; si bien, desde el comienzo de los trabajos preparatorios de la comisión encargada de su elaboración, se advirtió la necesidad de ampliar el contenido previsto inicial, con el fin de contemplar y dar solución jurídica a los problemas que planteaban en nuestro país las actividades que formaban las distintas fases Integradas en el ciclo completo de la gestión de los residuos sólidos urbanos, desde su producción hasta su aprovechamiento o eliminación final. Esta modificación de los objetivos, sin duda se debió al influjo ejercido por los países del entorno.

Desde que se aprobara la primera Ley de residuos de la historia en el Estado español, allá por el año 1975, hasta que entró en vigor la actual Ley que regula el sector han transcurrido 40 años.

Esta primera y novedosa Ley de residuos tenía por objeto establecer el régimen jurídico para la ordenación y vigilancia de la recogida y tratamiento de los desechos y residuos sólidos urbanos en orden a la protección debida del medio ambiente y el subsuelo, fomentando su aprovechamiento mediante la adecuada recuperación de los recursos en ellos contenidos.

En este contexto legal, se entendía por tratamiento el conjunto de operaciones encaminadas a la eliminación de los desechos y residuos o al aprovechamiento de los recursos contenidos en ellos. A su vez la eliminación comprendía todos aquellos procedimientos dirigidos bien al almacenamiento o vertido controlado de los residuos, bien a su destrucción, total o parcial, por incineración u otro sistema que no implicase recuperación de energía. Si existía recuperación energética, entonces, la ley lo consideraba "aprovechamiento industrial".

Posteriormente, a lo largo de su desarrollo, durante los 23 años que estuvo en vigor la ley, se pudo comprobar, que, en realidad, no cumplió prácticamente ninguno de los objetivos propuestos. O al menos, el más importante de todos ellos, el aprovechamiento de los residuos.

Sólo en la provincia de León, cuando entró en vigor la nueva Ley 10/1998, de 21 de abril de residuos, que derogó la anterior preconstitucional, se pudieron identificar y describir más de 300 vertederos de residuos sólidos urbanos ilegales. De hecho, en aquellos momentos no existía ninguna infraestructura legalizada administrativamente para el tratamiento o la eliminación de residuos.

Pero no se desaprovecharon todas las oportunidades. Quizás debido a los elevados costes exigidos por los modernos sistemas de recogida y tratamiento de residuos, que en numerosas ocasiones superaban a las posibilidades económicas de los pequeños ayuntamientos, aprovechando la concesión de beneficios fiscales y ayudas económicas a las actividades relacionadas con la recogida y el tratamiento de residuos, estimuladas por

las propias Diputaciones provinciales, surgieron numerosas mancomunidades municipales para la recogida y tratamiento de residuos que han perdurado hasta el día de la fecha. Es decir, si existe en la tradición local española un paradigma de asociación municipal mediante la constitución de mancomunidades, aquel es el debido a la unión de varios municipios para prestar el servicio de recogida y tratamiento de residuos.

En el año 1986 España se integró de forma efectiva en la Unión Europea. A partir de entonces incorporará al derecho interno todas las directivas europeas, incluidas las relativas a la gestión de los residuos urbanos.

La primera consecuencia del ingreso de España en la Unión Europea, en materia de residuos, es la trasposición al derecho interno español de la Directiva Comunitaria 91/156/CEE, del Consejo, de 18 de marzo de 1991, que modificaba la Directiva 75/442/CEE, del Consejo, de 15 de julio de 1975, mediante la aprobación precisamente de la Ley 11/1997, de 24 de abril, de envases y residuos de envases, y un año más tarde de la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos.

Una de las novedades que se introducen consiste en que esta nueva ley era aplicable a todo tipo de residuos, con excepción de las emisiones a la atmósfera, los residuos radiactivos y los vertidos a las aguas. Respecto a los residuos mineros, la eliminación de animales muertos y otros desperdicios de origen animal, los residuos producidos en las explotaciones agrícolas y ganaderas que no sean peligrosos y se utilicen exclusivamente en el marco de dichas explotaciones y los explosivos desclasificados, la Ley sólo podía ser de aplicación de forma subsidiaria en los aspectos no regulados expresamente por su normativa específica.

Por otro lado, el primer Plan Nacional de Residuos que se elabore en España también va a ser consecuencia de esta Ley, dado que se preveía su elaboración como resultado de la integración de los respectivos planes autonómicos de gestión, y, al mismo tiempo, también se admitía la posibilidad de que las Entidades locales pudieran elaborar sus propios planes de gestión de residuos urbanos.

Actualmente la Ley que regula la gestión de los residuos en España es la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. Esta ley se produce en un contexto europeo en el que la producción de residuos crece de forma imparable, a pesar de todos los esfuerzos por contenerla. El Sexto Programa de Acción Comunitario en Materia de Medio Ambiente pedía al Parlamento Europeo la revisión de la legislación sobre residuos y el desarrollo de medidas relativas a la prevención y gestión de residuos, incluido el establecimiento de objetivos.

En el mismo sentido, la Comisión Europea en el año 2003, redactó un documento que tituló «Hacia una estrategia temática para la prevención y el reciclado de residuos» a través del cual se sumaba a la anterior petición e instaba a que se revisaran tanto los objetivos de reciclado y valorización como la legislación en su conjunto en materia de residuos.

Finalmente la Unión Europea sustituyó todo el régimen jurídico que regulaba la gestión de los residuos mediante la 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 integrándolas en una única norma, que es la que actualmente se conoce como «Directiva Marco de residuos». La transposición de esta Directiva en nuestro ordenamiento jurídico interno se lleva a cabo a través de la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados que sustituye a la anteriormente vigente Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos.

La nueva Ley promueve la implantación de medidas de prevención, la reutilización y el reciclado de los residuos, y conforme a lo que establece la Directiva marco permite calificar como operación de valorización la incineración de residuos domésticos mezclados sólo cuando ésta se produce con un determinado nivel de eficiencia energética; asimismo, aspira a aumentar la transparencia y la eficacia ambiental y económica de las actividades de gestión de residuos.

Finalmente, forma parte del espíritu de la Ley promover la innovación en la prevención y gestión de los residuos, para facilitar el desarrollo de las soluciones con mayor valor para la sociedad en cada momento, lo que sin duda incidirá en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a este sector y contribuirá a la conservación del clima.

Esta Ley aporta por primera vez un marco legal «sistematizado y coherente» que delimita la responsabilidad de los productores de residuos.

La Ley 22/2011 dedica su título IV a la «Responsabilidad ampliada del productor del producto». Si bien no puede afirmarse que esta regulación sea nueva, porque ya apareció regulada en la anterior Ley 10/98 de Residuos y en la anterior de Envases, sí cabe destacar, como indicábamos en el párrafo anterior, que se establece por primera vez un marco legal sistematizado y coherente, en virtud del cual los productores de productos que con su uso se convierten en residuos quedan involucrados en la prevención y en la organización de la gestión de los mismos, promovándose la reutilización, el reciclado y la valorización de residuos, de acuerdo con los principios inspiradores de esta nueva legislación.

La Ley delimita el ámbito de esta responsabilidad, estableciendo las obligaciones a las que, mediante el correspondiente desarrollo reglamentario, pueden quedar sometidos los productores, tanto en la fase de diseño y producción de sus productos como durante la gestión de los residuos que deriven de su uso.

En cuanto a la forma de hacer frente a estas obligaciones, la Ley posibilita que se haga de manera individual o mediante sistemas colectivos. En este caso los productores deberán constituir una entidad con personalidad jurídica propia y sin ánimo de lucro, garantizando el acceso de todos los productores en función de criterios objetivos. Para este supuesto se prevé un sistema de autorización con la participación de la Comisión de coordinación en materia de residuos, que garantiza una actuación homogénea en todo el territorio nacional de los sistemas colectivos.

Los sistemas individuales, por el contrario, no quedan sometidos a este régimen de autorización administrativa, sino al de comunicación previa al inicio de su actividad, en

consonancia con el principio, inspirador también de Ley, de facilitar a los ciudadanos y a las empresas el acceso y el ejercicio de actividades de servicio.

Una de estas modificaciones que adquiere especial relevancia es el Real Decreto 252/2006, de 3 de marzo, por el que se revisan los objetivos de reciclado y valorización establecidos en la Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases (que también modifica el Reglamento para su ejecución aprobado por el Real Decreto 782/1998, de 30 de abril), establece que desde su entrada en vigor se deberá reciclar entre un mínimo del 25% y un máximo del 45% en peso de la totalidad de los materiales de envasado contenidos en los residuos de envases, con un mínimo del 15% en peso para cada material de envasado. Además, se valorizará o incinerará en instalaciones de incineración de residuos con recuperación de energía entre un mínimo del 50 por ciento y un máximo del 65 por ciento en peso de los residuos de envases.

Sin embargo, estos objetivos de reciclado y valorización se hacen más ambiciosos a partir del 31 de diciembre de 2008, y en años sucesivos. En este sentido, los objetivos marcados y que deben alcanzarse como mínimo en el año 2014 en el que nos encontramos son los siguientes:

- a) Se reciclará entre un mínimo del **55%** y un máximo del **80%** en peso de los residuos de envases.
- b) Se valorizará o incinerará en instalaciones de incineración de residuos con recuperación de energía un mínimo del 60 % en peso de los residuos de envases.

6.2 Relación no exhaustiva de Legislación aplicable.

Para la elaboración de este Trabajo de Fin de Grado no es necesario realizar un estudio en profundidad de la abundante y profusa normativa europea, española y sobre la legislación aplicable, separando las normas y disposiciones que regulan la gestión de los residuos según su ámbito de aplicación, ya sea éste europeo, estatal, autonómico o municipal. Por eso, a modo meramente enunciativo, a continuación se recoge un listado con la legislación aplicable en materia de residuos domésticos, en la que se apuntan las normas más relevantes. En definitiva, el objeto de este epígrafe es presentar de forma somera el marco normativo en el que se desenvuelve la gestión de los residuos en general, haciendo hincapié en aquellas normas especialmente dirigidas a los procesos de tratamiento térmico.

- Ley 11/1997, de envases y residuos de envases
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados
- Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación
- El Real Decreto 782/1998, de 30 de abril de 1998, por el que se aprueba el Reglamento para el Desarrollo y Ejecución de la Ley de Envases y Residuos de Envases. (La Ley de residuos tóxicos y peligrosos está derogada; no así el reglamento que la desarrolla)

- Real Decreto 1088/1992, de 11 de septiembre, incineración residuos municipales
- Real Decreto 1217/1997, de 18 de julio, en lo referente a la incineración de residuos peligrosos
- Real decreto 252/2006, que revisa los objetivos de reciclado y valorización establecidos en la Ley 11/1997 y su reglamento de desarrollo, y su corrección de errores.
- Orden MAM/304/2002 de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. y su corrección de errores.
- Real Decreto 653/2003 de incineración de residuos.
- Real Decreto 833/1988, por el que se aprueba el reglamento para la ejecución de la ley 20/1986, básica de residuos tóxicos y peligrosos.
- Real Decreto 952/1997, por el que se modifica el reglamento para la ejecución de la ley 20/1986 básica de residuos tóxicos y peligrosos.
- Decisión del consejo, de 19/12/2002, por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertedero.
- Plan Integrado de Residuos de Castilla y León.
- Plan nacional integrado de residuos para el periodo 2008-2015.
- Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre los residuos
- Real Decreto 1481/2001, sobre eliminación de residuos en vertedero, y su modificación
- Real Decreto 653/2003 de incineración de residuos y su corrección de errores
- Real Decreto 208/2005, sobre aparatos eléctricos y electrónicos y la gestión de sus residuos, y su corrección de errores
- Real Decreto 1619/2005, sobre la gestión de neumáticos fuera de uso
- Real Decreto 679/2006, sobre la gestión de los aceites industriales usados
- Real Decreto 1378/1999, para la eliminación y gestión de PCB, y su modificación
- Real Decreto 106/2008, sobre pilas y acumuladores y la gestión ambiental de sus residuos.
- Reglamento (CE) 1069/2009 por el que se establecen las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano, y Reglamento (CE) 142/2011 por el que se establecen las disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) 1069/2009.
- Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes.
- Real Decreto 367/2010, de modificación de diversos reglamentos del área de medio ambiente para su adaptación a las Leyes 17/2009 y 24/2009, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio.
- Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.

6.3 Marco legal comunitario.

Aparte de la Directiva marco de residuos (2008/98), su gestión también está regulada por la Directiva 2000/76/CE, relativa a la incineración de residuos. Merece también una mención especial la legislación comunitaria relativa a los residuos destinados a

vertedero, constituida por la Directiva 1999/31/CE, relativa al vertido de residuos y por la Decisión del Consejo 2003/33/CE, de 19 de diciembre de 2002, por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo al artículo 16 y el anexo II de la Directiva 1999/31/CE.

6.3.1 Lista Europea de Residuos.

La Lista Europea de Residuos (LER) se aprobó mediante la Decisión de la Comisión, de 18 de diciembre de 2014 que modifica la decisión 2000/532/CE de 3 de mayo de 2000 (Diario Oficial de la Unión Europea de 30 de diciembre de 2014). Esta decisión, que es aplicable desde el 1 de enero de 2015, (última revisión publicada en España: Orden MAM/304/2002, de 8 de Febrero de 2002) establece la catalogación de los residuos, entre los que se encuentran los de construcción y demolición, agrupados en el código 17, según se relaciona en el Ámbito de Estudio, en el epígrafe 3.1, del presente Trabajo Fin de Carrera.

6.4 Legislación española.

En España, como ya hemos indicado, la legislación básica específica sobre la gestión de residuos está constituida por la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados y por el Real Decreto 653/2003, de incineración de residuos. También es importante tener en cuenta el II Plan Nacional de Residuos, en los apartados que para este trabajo más interesan. Dicho plan nacional es de reciente aprobación, habiéndose autorizado su publicación por el Consejo de Ministros celebrado en febrero de 2009.

Para los residuos peligrosos que puedan producirse en obras de construcción y demolición se aplica el régimen general de dichos residuos, constituido por la propia Ley 22/2011 y por el Real Decreto 952/1997, que modifica el Real Decreto 833/1988. Para los RCD cuyo destino sea el vertedero, la normativa de aplicación es el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. La Decisión comunitaria 2003/33/CE, por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos, entró en vigor, sin necesidad de transposición al ordenamiento jurídico español, el 16 de julio de 2004, momento desde el que es de aplicación los procedimientos de admisión de residuos en los vertederos. De acuerdo con la citada Decisión, los criterios de admisión de residuos en vertederos son de aplicación desde el 16 de julio de 2005.

6.4.1 Constitución Española de 1978.

El artículo 45 de la Constitución Española establece el derecho de todos los ciudadanos a disfrutar de un medio ambiente adecuado para el desarrollo de la persona, así como el deber de conservarlo y la obligación de los poderes públicos de velar por la utilización racional de los recursos naturales con el fin de proteger y mejorar la calidad de vida y defender y restaurar el medio ambiente.

6.4.2 Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas.

Esta Ley constituye la primera iniciativa legislativa sobre el aprovechamiento de los residuos de origen municipal en España. Por tanto, esta norma es la palanca y el punto de partida para el aprovechamiento de los residuos urbanos en España. La legislación minera, y concretamente la ley que se cita en este epígrafe, constituye la primera fuente de derecho interno español sobre la necesidad de aprovechar los componentes de los residuos sólidos urbanos.

En esta norma, en su disposición adicional, se indica que: *«En el plazo de un año el Gobierno remitirá a las Cortes un proyecto de ley por el que se regule el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos para, entre otros objetivos obtener la adecuada recuperación de los recursos minerales y proteger otros recursos geológicos.»*

- **Ley 22/2011, de 22 de abril, de Residuos y suelos contaminados**

En la primera parte de este capítulo ya se ha hecho referencia a esta norma. Por ello, no se va a reiterar lo que ya hemos dicho. Nos remitimos al citado epígrafe.

- **Real Decreto 653/2003 de incineración de residuos**

Por la relación directa que tiene con este Trabajo de Fin de Grado, a continuación se resumirán los aspectos más importantes de la legislación específica sobre incineración de residuos: **Real Decreto 653/2003 de incineración de residuos.**

Mediante este Real Decreto se incorpora al ordenamiento interno español la Directiva 2000/76/CE, con la finalidad de limitar al máximo los efectos ambientales de las actividades de incineración y co-incineración de residuos. En consecuencia, el régimen jurídico de estas actividades debe ajustarse a las exigencias ambientales derivadas de la legislación general sobre residuos, regulada con carácter básico en la Ley 22/2011, de 28 de julio, de Residuos y suelos contaminados, en cuyo articulado se faculta al Gobierno para establecer, respectivamente, los requisitos de las plantas, procesos y productos de la valorización energética y de la eliminación de residuos.

Tal y como se indica en la exposición de motivos de esta misma norma, hasta la aprobación de la Directiva 2000/76/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de diciembre de 2000, relativa a la incineración de residuos, el régimen jurídico aplicable en el seno de la Unión Europea a estas operaciones de gestión se fundamentaba en una doble regulación, en función de que los residuos sometidos a incineración tuvieran o no la consideración de peligrosos, circunstancia ésta que

coabraba una relevancia excepcional, en la medida en que determinaba que se tuvieran que aplicar unos valores de emisión de contaminantes atmosféricos más o menos estrictos.

De esta forma, mediante las Directivas 89/369/CEE y 89/429/CEE del Consejo, de 8 y 21 de junio de 1989, respectivamente, se establecieron normas para la prevención y la reducción de la contaminación atmosférica procedente de la incineración de residuos municipales, mientras que la incineración de residuos peligrosos se reguló mediante la Directiva 94/67/CE del Consejo, de 16 de diciembre de 1994.

Las mencionadas directivas fueron incorporadas al ordenamiento interno español mediante los Reales Decretos 1088/1992, de 11 de septiembre, en cuanto a los residuos municipales, y 1217/1997, de 18 de julio, en lo referente a la incineración de residuos peligrosos, y es cierto que la aplicación efectiva de las diferentes medidas establecidas en este conjunto de normas ha contribuido de forma positiva a la reducción de la contaminación atmosférica derivada del funcionamiento de las instalaciones de incineración de residuos.

La diferenciación entre residuos peligrosos y no peligrosos tiene su fundamento en las características de los residuos con carácter previo a su incineración, pero es irrelevante en relación con la emisión de contaminantes a la atmósfera, por lo que la Directiva 2000/76/CE exige unos valores límite de emisión comunes, cualesquiera que sean los tipos de residuos que se incineren, si bien establece diferencias en la aplicación de las técnicas y condiciones de funcionamiento de las instalaciones, así como en materia de mediciones y controles.

De esta manera, se adoptan una serie de exigencias en relación con la entrega y recepción de los residuos en las instalaciones, así como unas condiciones sobre su construcción y explotación en las que también se distingue si en la instalación se realiza incineración o coincineración, y que resultan más estrictas cuando se trata de residuos peligrosos, tal como se recoge en la directiva que se incorpora.

En lo que se refiere a la contaminación atmosférica que puede producirse en las actividades de incineración y coincineración de residuos, se fijan valores límite de emisiones a la atmósfera que son comunes para los diferentes tipos de residuos que se incineren, haciendo uso para ello de la habilitación contenida en la Ley 38/1972, de 22 de diciembre, de protección del ambiente atmosférico.

Con cobertura legal en el texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado mediante Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, y en la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, se adoptan, de igual forma, valores límite de emisión de determinados contaminantes que habrán de aplicarse al vertido de las aguas residuales procedentes de la depuración de los gases de escape de las instalaciones de incineración y coincineración, y se establecen exigencias en cuanto a mediciones y control, tanto si el vertido se realiza a las aguas continentales como a las marinas.

Particular mención en el conjunto de normas de rango legal de las que trae causa este real decreto, y de especial relevancia en lo que se refiere a su aplicación, adquiere la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación, en cuyo ámbito de aplicación están incluidas las instalaciones de incineración de residuos peligrosos con una capacidad de más de 10 toneladas por día y las de incineración de residuos urbanos o municipales con una capacidad de más de tres

toneladas por hora.

Como consecuencia de esta necesariamente diversa cobertura legal, considerados los distintos aspectos de la materia regulada, el régimen sancionador aplicable al incumplimiento de las medidas que se adoptan será el derivado de las leyes anteriormente citadas, de las que este real decreto tiene el carácter de desarrollo reglamentario.

De acuerdo con la directiva que se incorpora, y sin perjuicio de las medidas específicas de carácter transitorio recogidas en los anexos, se establece un régimen transitorio para las instalaciones de incineración y coincineración existentes, a las que el régimen dispuesto en este real decreto les será de aplicación a partir del día 28 de diciembre de 2005.

En este sentido, para las instalaciones incluidas en el ámbito de aplicación de la Ley 16/2002 se ha tenido en cuenta la distinta definición de instalaciones existentes incluidas en dicha ley y en la Directiva 2000/76/CE, de manera que las instalaciones de incineración y coincineración que tengan la consideración de nuevas, de acuerdo con la mencionada ley, y de existentes, de acuerdo con este real decreto, estarán lógicamente sometidas a la autorización ambiental integrada, si bien la normativa sectorial que se deberá tener en cuenta para la fijación de los valores límite de emisión, así como la documentación que deba incluirse en la solicitud de dicha autorización, vendrán determinadas por el régimen anterior a la entrada en vigor de este real decreto.

De igual modo, se ha tenido en cuenta el período de adaptación de las instalaciones existentes recogido en la Ley 16/2002, de tal forma que las diferentes autorizaciones sectoriales que se hayan otorgado a dichas instalaciones deberán adecuarse a las exigencias establecidas en este real decreto antes del 28 de diciembre de 2005, a menos que en dicha fecha cuenten ya con la autorización ambiental integrada, que en todo caso resultará exigible el 30 de octubre de 2007.

- **Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero**

El citado Real Decreto, que traspone al ordenamiento jurídico español la Directiva 1999/31/CE del Consejo de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos, establece el marco jurídico y técnico que regula las actividades de eliminación de residuos mediante su depósito en vertederos.

De su ámbito de aplicación se excluyen expresamente la utilización de residuos inertes adecuados en obras de restauración/ acondicionamiento y colmatación, o con fines de construcción, en vertederos (art. 3.2 del Real Decreto), con lo que el aprovechamiento de residuos inertes en este tipo de actividades no constituye necesariamente una actividad de vertido.

II Plan nacional de residuos de construcción y demolición (II PNRCD) 2007-2015

El primer Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición (PNRCD) 2001-2006, fue aprobado por Acuerdo del Consejo de Ministros de fecha 1 de junio de 2001, apareciendo publicado en el Boletín Oficial del Estado del 12 de julio de 2001. Su período de vigencia finalizó el 31 de diciembre de 2006. En los términos previstos en el artículo 5 de la Ley 10/1998, de 21 de abril, de residuos, el objeto del II Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición es establecer los objetivos de prevención, reutilización, reciclado, otras formas de valorización y eliminación de los RCD en España, las medidas para conseguir dichos objetivos, los medios de financiación y el procedimiento de revisión. La redacción del II PNRCD parte de la experiencia adquirida en el desarrollo y aplicación del PNRCD 2001-2006. El nuevo plan toma como base principal los planes de las Comunidades Autónomas y de las Entidades locales relativos a RCD, así como el resultado del “Estudio sobre la generación y gestión de los residuos de construcción y demolición en España” (Ministerio de Medio Ambiente, 2006). La información de partida sobre producción y gestión de RCD para la redacción del II PNRCD se ha obtenido de los planes regionales o locales, de otras fuentes de información relevante (empresas constructoras, gestoras de residuos, etc.) y, cuando no se ha encontrado información fiable, mediante estimaciones basadas en indicadores. El II PNRCD forma parte del Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) para el período 2007-2015.

6.4.3 Legislación de la comunidad autónoma de Castilla y León

- **DECRETO 74/2002 de 30 de mayo, por el que se aprueba la Estrategia Regional de Residuos de la Comunidad de Castilla y León 2001-2010.** Define la política general de la Junta de Castilla y León en esta materia, y establece a su vez la obligación de elaborar Planes que concreten las necesidades y actuaciones para los tipos de residuos que, por sus circunstancias particulares, lo requieran. Dicho requerimiento se ha detectado en el caso de los residuos de construcción y demolición, por cuanto no existe un conjunto organizado de principios y actuaciones que faciliten la gestión ambientalmente correcta del residuo e incidan en la prevención. Al mismo tiempo, son notorias las carencias materiales en este sentido, adoleciendo la Comunidad Autónoma de una red adecuada de infraestructuras y operadores que permitan el cumplimiento de los objetivos establecidos en la Estrategia Regional de Residuos, la Ley de Residuos, y otras normas sectoriales del ámbito europeo y estatal, que se relacionan en el apartado correspondiente del presente Plan. La ausencia, por tanto, de un modelo explícito que ordene las operaciones de generación y gestión final de los residuos amparados por el presente Plan, redundaría en un potencial perjuicio ambiental y social. Queda así patente el interés social y utilidad pública del Plan. El Plan ha tenido en consideración tanto los planes de carácter nacional (Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición 2001- 2006) como los planes, programas y proyectos de ámbito regional aprobados, como son en el ámbito sectorial de la gestión de residuos la Estrategia Regional de Residuos de la Comunidad de

Castilla y León 2001-2010, El Plan Regional de Ámbito Sectorial de Residuos Urbanos y Residuos de Envases de Castilla y León 2004-2010, y el resto de instrumentos de ordenación del territorio aprobados.

- **LEY 10/1998 de 5 de diciembre, de Ordenación del Territorio de Castilla y León.** Establece que la actividad autonómica en materia de ordenación del territorio, se ejercerá a través de los Planes Regionales de Ámbito Sectorial, que tienen por objeto ordenar y regular las actividades sectoriales sobre el conjunto o partes de la Comunidad y cuyo procedimiento de elaboración y aprobación aparece diseñado en su artículo 24.
- **Plan Integral de Residuos de Castilla y León**

Durante los últimos años, la Junta de Castilla y León ha diseñado políticas específicas dirigidas a compatibilizar el ahorro de recursos y la conservación del medio con un desarrollo sostenible de la actividad económica. En otros términos, se trata de lograr una adecuada gestión de los recursos que minimice la generación de residuos y permita un adecuado crecimiento de la actividad económica.

Las políticas en materia de residuos se han convertido en uno de los componentes centrales de toda política ambiental, con implicaciones en estrategias básicas como reducción del consumo de recursos y energía, la lucha contra el cambio climático y las energías renovables. Para facilitar la necesaria aplicación de todas estas directrices, es necesario que se integren en un único texto que recoja todas las actuaciones comunes para diferentes tipos de residuos y que permita una actuación coordinada y eficaz entre todos los agentes implicados.

La Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados otorga a las Comunidades Autónomas, la competencia para elaborar planes autonómicos de residuos que contengan un análisis actualizado de la situación de los mismos en su ámbito territorial y una exposición de las medidas para facilitar su reutilización, reciclado, valorización y eliminación, estableciendo objetivos de prevención, preparación para la reutilización, reciclado, valorización y eliminación y su contribución a la consecución de los objetivos establecidos en ella.

La Comunidad de Castilla y León dio un primer paso hacia una planificación integrada en la "Estrategia Regional de Residuos de Castilla y León 2001-2010", aprobada mediante Decreto 74/2002, de 30 de mayo. En este instrumento se diagnosticaba la situación de ese momento, definía las necesidades de gestión a escala regional de los diferentes tipos de residuos y concretaba los planes de acción y medidas a desarrollar en el período 2001-2010, así como el grado de participación de las diferentes administraciones públicas y agentes implicados en la resolución de los problemas relacionados con su gestión y tratamiento.

La Estrategia Regional de Residuos de Castilla y León ponía el acento tanto en la prevención de la generación de los residuos como en el fomento del sector de la reutilización y el reciclado, como forma de aprovechar los recursos que contienen los residuos, que de otro modo serían eliminados, disminuyendo así los efectos ambientales.

En desarrollo de las líneas previstas en la Estrategia Regional de Residuos de Castilla y León, se han aprobado planes autonómicos sectoriales para flujos específicos de residuos como son los siguientes:

- Plan Regional de Ámbito Sectorial de Residuos Urbanos y Residuos de Envases de Castilla y León 2004-2010, aprobado por Decreto 18/2005, de 17 de febrero.
- Plan Regional de Ámbito Sectorial de Residuos Industriales de Castilla y León 2006-2010, aprobado por Decreto 48/2006, de 13 de julio, y modificado por el Decreto 45/2012, de 27 de diciembre.
- Plan Regional de Ámbito Sectorial de Residuos de Construcción y Demolición de Castilla y León (2008-2010), aprobado por Decreto 54/2008, de 17 de julio.
- Programa de Gestión de Lodos de Estaciones de Depuración de Aguas Residuales Urbanas y de Compost de Centros de Tratamiento de Residuos Urbanos aprobado por Orden MAM/1711/2009, de 27 de julio.

El nuevo marco normativo aplicable a los residuos y la necesidad de dotar al territorio de Castilla y León de un instrumento de ordenación único que dé continuidad a los anteriores planes, para la Administración Regional hicieron necesario disponer de un Plan Integral de Residuos de ámbito regional que sea instrumento eficaz para impulsar el logro de los objetivos ecológicos establecidos en la legislación y en el Plan Nacional Integrado de Residuos.

El Plan Integral de Residuos de Castilla y León, promovido por la Dirección General de Calidad y Sostenibilidad Ambiental de la Consejería de Fomento y Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León, incluye en sus determinaciones a todos los residuos que contempla la legislación básica vigente: domésticos, comerciales, industriales, peligrosos y no peligrosos, de construcción y demolición, sanitarios, vehículos fuera de uso, envases y residuos de envases, pilas y acumuladores eléctricos, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, aceites industriales usados y neumáticos fuera de uso.

El PIRCyL se ha elaborado por la Consejería de Fomento y Medio Ambiente, en concreto por la Dirección General de Calidad y Sostenibilidad Ambiental, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 22/2011.

Este Plan fue tramitado como un plan regional de ámbito sectorial según indica la Ley 10/1998, de 5 de diciembre, de Ordenación del Territorio de la Comunidad de Castilla y León. Esta Ley establece que la actividad autonómica en materia de ordenación del territorio, se ejercerá, entre otros instrumentos, a través de los Planes Regionales de Ámbito Sectorial, que tienen por objeto ordenar y regular las actividades sectoriales sobre el conjunto o partes de la Comunidad Autónoma. Las determinaciones del Plan tendrán distintos grados de aplicación en aplicación de la clasificación establecida en

el artículo 6 de la citada Ley de Ordenación del Territorio de Castilla y León y reflejada en apartado específico.

El PIRCyL pretende que los distintos agentes implicados en los objetivos de este Plan, adopten posturas activas en la gestión de los residuos tendentes a incrementar la coordinación institucional y la participación ciudadana, mediante el desarrollo de instrumentos de coordinación previstos con entidades locales, empresas privadas y agentes implicados en la gestión de los residuos, considerando que una política eficaz en materia de residuos debe considerar la transversalidad en esta materia.

6.4.4 Normativa de las Entidades Locales

Según el artículo 4 de la Ley 22/2011, de residuos y suelos contaminados, las Entidades locales son competentes para la gestión de los residuos urbanos, en los términos establecidos en dicha Ley y en las que, en su caso, dicten las Comunidades Autónomas.

La casuística en España es de tal variedad que sería imposible presentar y analizar todos los modelos de intervención municipal que existen. Por otra parte, dado que no es frecuente que los modelos varíen entre distintas Entidades locales dentro de una Comunidad Autónoma, tampoco tendría objeto en el presente Trabajo Fin de Grado llevar a cabo un análisis profundo de los distintos modelos.

No obstante, sí queremos dejar reseñado que las actividades relacionadas con la gestión de los residuos, incluido su tratamiento térmico, están sometidas al control y la intervención no sólo de la Administración Autonómica, sino también de la municipal. En este sentido es importante recordar la capacidad normativa, de inspección y control que la legislación reconoce a las entidades locales.

Lista de referencias

- [1] www.recuperaresiduosencementeras.org/reportaje.asp?id_rep=86
- [2] www.uned.es/biblioteca/rsu/pagina4.htm#epig_8
- [3] www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/recogida_selectiva_de_rs_u.asp
- [4] <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd61/tecnadmvo/cap6.pdf>
- [5] http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/incineracion_y_tratamientos_termicos.asp
- [6] <http://www.comunidadism.es/blogs/%C2%BFpuede-ser-el-compost-una-bomba-de-relojeria>
- [7] “Fundamentos del manejo de los residuos urbanos” Ernesto Hontoria García y Montserrat Zamorano Toro. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- [8] GERSUL
- [9] https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/sites/default/files/estudio_basico_del_biogas_0.pdf
- [10] “Manual para la Gestión de los Residuos Urbanos”