

SITUACIÓN Y POTENCIAL DE VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DIRECTA DE RESIDUOS

ESTUDIO TÉCNICO
PER 2011-2020



IDAE

Instituto para la Diversificación
y Ahorro de la Energía

SITUACIÓN Y POTENCIAL DE VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DIRECTA DE RESIDUOS

Coordinador de la edición de Estudios Técnicos PER 2011-2020:

Jaume Margarit i Roset, Director de Energías Renovables de IDAE

Título: Situación y potencial de valorización energética directa de residuos.
Estudio Técnico PER 2011-2020

Madrid, 2011

Autores:

RESA: Armengol Grau, Oriol Farré

Coordinación y revisión IDAE: Julio Artigas, Miguel Rodrigo

Agradecimientos: IDAE agradece la colaboración prestada por las distintas asociaciones sectoriales, cuyas aportaciones han sido del máximo interés para la redacción de este estudio

El presente estudio ha sido promovido por el IDAE en el marco de la elaboración del Plan de Energías Renovables (PER) en España 2011-2020. Aunque el IDAE ha supervisado la realización de los trabajos y ha aportado sus conocimientos y experiencia para su elaboración, los contenidos de esta publicación son responsabilidad de sus autores y no representan necesariamente la opinión del IDAE sobre los temas que se tratan en ella.

ÍNDICE

4	Introducción
8	Terminología
14	Marco jurídico
20	Tecnología
37	Situación actual en la Unión Europea y en España
77	Potencial de valorización energética de los RSU y RI en España
129	Conclusiones

1 Introducción

1.1 INTRODUCCIÓN

Cada vez más, la gestión de los residuos se ha ido convirtiendo en uno de los principales retos a los que se debe enfrentar la sociedad actual, dada su generación creciente y su gran impacto ambiental, social y económico.

En España, cada ciudadano genera –en promedio– un kilo y medio de basura al día aproximadamente (Residuos Sólidos Urbanos); a lo que habría que sumar los residuos asociados a la actividad industrial (Residuos Industriales).

El destino mayoritario de todos estos residuos es hoy en día su vertido, opción que a su vez, representa la vía de gestión menos recomendable tanto a nivel ambiental como de la presión sobre el territorio que existe en algunas zonas del país. Las otras vías de gestión posibles, como el reciclaje o la valorización material o energética, si bien ha ido creciendo su implantación en los últimos años, representan aún unos niveles muy por debajo de la media de la Unión Europea.

No obstante, esta situación puede ir transformándose en los próximos años gracias al impulso iniciado desde Europa para reducir cada vez más la eliminación de los residuos en vertederos y aumentar al máximo posible el peso específico de las otras vías más sostenibles. Este impulso viene originado sobretodo por la incorporación de dos leyes que pueden representar los pilares de la gestión de los residuos: por un lado la nueva Directiva marco de residuos de 2008, y por el otro, la Directiva relativa al vertido de residuos de 1999 [esta última ya transpuesta a la legislación española].

En la primera, cabe destacar que se introduce una jerarquía de gestión de los residuos clara donde se establece una prioridad a la hora de gestionar los residuos con el orden de: prevención, reutilización, reciclado, valorización material y energética, y por último, la eliminación de los residuos.

Respecto a la segunda ley, se establecen una serie de medidas y procedimientos en el vertido de residuos con el objetivo de reducir sus efectos medioambientales y de salud humana. A su vez, se fijan unos objetivos cuantitativos específicos de reducción de la cantidad máxima de residuos que se pueden destinar a su vertido en los próximos años.

No hay duda que dentro de este marco regulatorio la valorización energética de los residuos, ya sea

mediante la incineración directa (con la eficiencia energética requerida), la producción y valorización de biogás, o el aprovechamiento de los residuos como combustible sustitutivo en algunas aplicaciones industriales, deberá tomar un papel cada vez más importante dentro de las planificaciones de gestión de los residuos si se quiere alcanzar los objetivos establecidos.

Sin embargo, volviendo al caso de España, el aprovechamiento energético de los residuos es aún una práctica mucho menos implantada que en el resto de Europa (sólo un 10% de los residuos urbanos) y por tanto, tiene por delante un amplio margen de desarrollo. Dicho de otra manera, existe un importante potencial de la valorización energética de los residuos en nuestro país el cual, en caso de aprovecharse, no solamente podría contribuir significativamente a una más apropiada gestión de los residuos, sino que también podrían tener una aportación relevante dentro del mix energético español siendo esta una mejora, dado el alto grado de dependencia energética externa.

Con este estudio el lector podrá obtener una perspectiva global de cómo es la situación actual de la gestión de los residuos (urbanos e industriales) en España, comparándola también con otros países europeos, y qué orden de magnitud puede tener el aprovechamiento energético de los mismos, siempre respetando la jerarquía antes mencionada donde, insistimos, prevalecen otras gestiones de prevención y recuperación material.

1.2 OBJETO

El objeto del trabajo es llevar a cabo un estudio de la situación actual y del potencial de valorización energética directa de residuos en España, con miras tanto a la inclusión de este vector energético en el futuro Plan de Energías Renovables 2011-2020 como a la optimización del aprovechamiento energético de estos residuos.

Los residuos objeto de este trabajo son los residuos, tanto urbanos como industriales, con las siguientes excepciones:

- Residuos contemplados en los grupos b.6 y b.8 del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo (aunque sí se incluirán sus posibles aplicaciones en centrales térmicas o instalaciones industriales y su uso conjunto con otros flujos de residuos).

- Aquellos residuos en los que haya consenso a la hora de aceptar la digestión anaerobia como la mejor opción tecnológica disponible de valorización, que únicamente se reseñarán.

Se distinguirá entre la fracción biodegradable de los RSU y los residuos industriales y el resto de residuos, y se dedicará especial atención a aquellos residuos cuyas características puedan permitir la obtención de combustibles sólidos recuperados, por lo que se hará especial hincapié, entre otros, en residuos como los RSU, residuos voluminosos, madera tratada, cartón y textil, residuos de construcción y demolición (madera), neumáticos fuera de uso, lodos secos de EDAR, residuos industriales y residuos de invernadero y subproductos animales no destinados al consumo humano.

La prevención de los residuos queda fuera del ámbito de este estudio, que se centra en evaluar el potencial de recuperación energética de los residuos una vez generados como tales, descartando aquellos que potencialmente puedan ser reciclados, opción que es prioritaria frente al aprovechamiento energético.

1.3 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

Para cualquier estudio es fundamental explicar cómo se ha realizado, qué premisas se han tenido en cuenta. Más aún cuando se trata de predecir una situación que puede desarrollarse en un plazo temporal futuro de diez años.

En primer lugar, hemos incluido un capítulo de terminología, ya que algunos conceptos tienen un significado muy específico del sector de los residuos. Otros términos se pueden confundir o necesitan aclaraciones en base a entender e interpretar los datos y cifras que se utilizan en este estudio.

Una reflexión inmediata es que muchos conceptos tienen su definición en el marco legal de aplicación. A pesar de ello, algunos conceptos deberán clarificarse; a título de ejemplo, la biodegradabilidad o residuo biodegradable. Este concepto debería ir unido a la temporalidad: ¿en cuánto tiempo se debería considerar biodegradable?

Asimismo, hemos diferenciado los residuos urbanos de los residuos industriales atendiendo a la diferente información existente. En cuanto a los residuos urbanos se han estudiado los diferentes planes de

gestión de residuos urbanos de las comunidades autónomas. En ningún caso los horizontes de estos planes de residuos llegan al año 2020, por lo que ha sido necesario hacer una proyección para los años 2015 y 2020.

En el caso de los residuos industriales, se han seleccionado una serie de sectores objetivo. En la mayoría de ellos y con la colaboración de las asociaciones de cada sector y de sus representantes, se han fijado unos datos que se han considerado realistas para los años 2010, 2015 y 2020. Los autores del estudio quisieramos agradecer el alto grado de colaboración.

En todos los casos hemos realizado un estudio donde el análisis se ha efectuado desde una perspectiva de prudencia.

Es necesario enfatizar de entrada que el estudio trata de aquellos flujos susceptibles de ser valorizados energéticamente, pero presupone que es de aplicación estricta la jerarquía de los residuos en los términos que fija la Directiva Marco sobre los residuos (Directiva 2008/98/CE del Parlamento europeo y del Consejo de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos).

Tanto es así, que el escenario teórico que se ha utilizado en los residuos sólidos urbanos es la existencia de:

1. Recogida selectiva de papel y cartón, envases plástico, vidrio y fracción orgánica.
2. Plantas de tratamiento mecánico biológico para la fracción resto.
3. Plantas de compostaje para FORSU.
4. Plantas de digestión anaeróbica con FORSU.
5. Obtención de una fracción rechazo formada por las salidas de todas las plantas de tratamiento.

En otras palabras, todo el residuo generado es tratado, en la medida de lo posible, de alguna forma antes de su valorización energética o antes de su eliminación en vertedero. Obviamente es una situación teórica. La implantación de los diferentes planes de gestión de residuos urbanos es muy dispar en las diferentes comunidades autónomas.

En este punto se puede observar que se ha reciclado o valorizado el máximo posible de materiales mediante las infraestructuras previstas en cada momento y que hay que optar por valorización energética o por eliminación (vertedero) del flujo residual que queda (esta opción es únicamente para el estudio, dado que jerárquicamente según la Directiva no existe duda). El estudio únicamente analiza este flujo

de residuos urbanos para evaluar la potencialidad de valorización energética.

Es importante diferenciar entre la recogida y la posterior gestión de los residuos. El estudio fija recogida selectiva de las fracciones ya citadas. Efectivamente, la recogida puerta por puerta obtiene unos mejores resultados en términos de calidad del material recuperado. También es evidente que un mejor material disminuye el nivel de rechazo en plantas de tratamiento pero, con el estado actual del conocimiento, el nivel de rechazo para algunos flujos de residuos sigue siendo significativamente alto, siendo el destino de este rechazo en la actualidad mayoritariamente el vertedero.

Tanto para los residuos de origen urbano como para los de origen industrial se ha tratado de establecer su contenido en fracción biodegradable para identificar qué parte de la potencial energía generada se podría establecer como fuente de energía renovable en los términos de la Directiva 2009/28/CE relativa al fomento del uso de energías procedentes de fuentes renovables.

De esta forma, el presente estudio ha tenido en cuenta una serie de aspectos generales como:

1. Aspectos jurídicos: los residuos y las fuentes de energía renovable tienen un marco jurídico muy específico que determinará el desarrollo del presente estudio.
2. Aspectos técnicos: en concreto, los residuos urbanos presentan una serie de características específicas que han de tenerse en cuenta. Su gestión está vinculada a un servicio público que ha de dar respuesta diariamente. Esto también acotará las posibles alternativas técnicas realistas del estudio sin dejar de prestar atención a otras alternativas tecnológicas que, en un futuro, se puedan emplear a escala industrial. En los residuos industriales esta característica no existe salvo algún caso muy particular que se declaran servicio público por alguna comunidad autónoma.
3. Aspectos demográficos: la generación de los residuos está asociada a la actividad humana y la elección de la tecnología está condicionada a cierta economía de escala. Las zonas más densamente pobladas suelen tener más problemas para encontrar ubicaciones aptas para la gestión de sus residuos dada la presión sobre su territorio. Estas zonas más densamente pobladas demandan soluciones ambientales a la gestión de sus residuos urbanos y, por otro

lado, acostumbran a ser zonas de fuerte demanda energética. Por tanto se han tratado de diferenciar.

4. Como ya se ha indicado, el estudio deberá, en algunas ocasiones, efectuar suposiciones o escenarios teóricos atendiendo a la falta de información cuantitativa existente en algunas actividades generadoras de residuos a analizar.

A la hora de presentar los resultados de potencial de valorización energética directa de los residuos, se distinguirá en la medida de lo posible entre potencial total, potencial accesible, potencial disponible, y potencial previsto, y con el siguiente orden:

POTENCIAL TOTAL

Potencial derivado de toda la materia prima (residuos) que se genera. Cantidad de residuos calculada por indicadores estadísticos y estimaciones de proyección.

POTENCIAL ACCESIBLE

Distribución demográfica del Potencial Total. Cantidad de materia prima generada en cada una de las dos áreas demográficas diferenciadas en el estudio según su densidad poblacional (alta y baja). Resultados sólo para los RSU.

POTENCIAL DISPONIBLE

Parte del Potencial Accesible que queda, una vez descontada la valorización material de los residuos y los usos alternativos. Ejemplos: reciclado, compostaje, uso directo agrícola, reutilización, etc. El siguiente destino que queda es la valorización energética, o la eliminación.

POTENCIAL PREVISTO

Potencial calculado como la capacidad instalada de valorización energética que está planificada en cada momento, según las planificaciones regionales, y teniendo en cuenta la capacidad ya existente. En aquellas planificaciones en las que se plantean distintas opciones de gestión, se ha optado por la que promueve una mayor valorización energética.

2 Terminología

En este capítulo se pretende clarificar los diferentes conceptos o términos empleados, la mayoría específicos del sector residuos, que aparecerán en el presente estudio.

A menudo la percepción o el uso cotidiano de algunos conceptos no se corresponden con el concepto de su definición jurídica. Otras veces el concepto puede tener diferentes interpretaciones.

En general, la interpretación que, hasta ahora, han seguido las administraciones competentes ha sido siempre restrictiva.

Hay algún concepto o término empleado en el presente estudio que engloba otras definiciones que deberá tenerse en cuenta. A título de ejemplo, el propio concepto de residuo sólido urbano (a menudo abreviado como RSU) se ha visto que engloba a una serie de flujos de residuos que deberían diferenciarse. Dentro de este concepto aparecen los residuos generados por los domicilios (residuos domiciliarios) y los residuos generados por otras actividades que en muchos casos se pueden catalogar como industriales (residuos industriales asimilables). La tendencia es a diferenciar estos flujos.

En otros casos encontraremos definiciones que se proponen dentro del propio estudio para clarificar o definir conceptos concretos.

2.1 RESIDUO

Directiva 2008/98/CE

“Residuo”: cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención o la obligación de desprenderse.

En todo caso, tendrán esta consideración los que figuren en el Catálogo Europeo de Residuos (CER), aprobado por las Instituciones Comunitarias.

2.1.1 Residuos urbanos o municipales

Ley 10/1998, de Residuos

Los *“residuos urbanos o municipales”* son aquellos que se generan 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.

2.1.2 Residuos industriales

Los *“residuos industriales”* son los que se originan en la actividad industrial.

2.1.3 Residuos No Peligrosos (RNP)

Real Decreto 1481/2001, de eliminación de residuos mediante depósito en vertedero

Se entiende por *“Residuos no peligrosos”*: los residuos que no están incluidos en la definición de residuos peligrosos, de la Ley 10/1998.

2.1.4 Residuos Peligrosos (RP)

Ley 10/1998

Los *“Residuos peligrosos”* son aquellos que figuren en la lista de residuos peligrosos, aprobada en el Real Decreto 952/1997, así como los recipientes y envases que los hayan contenido. Los que hayan sido calificados como peligrosos por la normativa comunitaria y los que pueda aprobar el Gobierno de conformidad con lo establecido en la normativa europea o en convenios internacionales de los que España sea parte.

2.1.5 Residuos inertes

Real Decreto 1481/2001

Por *“residuo inerte”* se entiende el residuo que no experimenta transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas; los residuos inertes no son solubles ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente de ninguna otra manera, ni son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto de forma que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana; la lixiviabilidad, la cantidad de contaminantes de los residuos

y la ecotoxicidad del lixiviado deberán ser insignificantes en el caso de un residuo inerte.

Ejemplos de residuos que con carácter general pueden considerarse inertes son: escombros, tierras, ladrillos refractarios y la chatarra.

2.2 BIODEGRADABLE O BIODEGRADABILIDAD

Real Decreto 1481/2001

Los “Residuos biodegradables” son todos los residuos que, en condiciones de vertido, pueden descomponerse de forma aerobia o anaerobia, tales como residuos de alimentos y de jardín, el papel y el cartón.

En el Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR) 2008-2015, se utiliza la definición anterior pero se añade:

Aparte de los residuos citados a modo de ejemplo en la anterior definición, existen otros muchos tipos que, con mayor o menor velocidad, también son susceptibles de degradación biológica en las condiciones de vertido como pueden ser los procedentes de la agricultura, la silvicultura, la industria agroalimentaria, la depuración de aguas residuales y otras fuentes.

2.3 BIOMASA

Directiva 2009/28/CE, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables

Se entiende por “biomasa”: la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de actividades agrarias (incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal), de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales.

2.4 FRACCIONES DE RESIDUOS

Para las definiciones de residuos siguientes hay que tener en cuenta que en todos los casos serán mezclas y su composición dependerá del tipo de recogida o recogidas selectivas y, si es el caso, al tratamiento a que han sido sometidas.

2.4.1 Fracción resto

La fracción resto es la fracción de los residuos que resulta una vez extraídos de la bolsa de la basura todos o algunos de los materiales reciclables (fracción orgánica, papel y cartón, vidrio y envases ligeros) mediante recogida separada (contenedores marrón, azul, amarillo y verde).

Otra manera de expresar la fracción resto (según el PNIR): aquella cuya composición es variable y dependiente de cómo y qué se haya separado previamente vidrio, papel/cartón, envases ligeros, fracción orgánica.

2.4.2 Fracción rechazo

La fracción rechazo es la fracción de los residuos no valorizable materialmente que resulta del tratamiento de los residuos en plantas específicas.

2.4.3 Fracción biodegradable

Ver definición del apartado 4.2 Biodegradable o biodegradabilidad.

Por otra parte, conviene tener en cuenta que hay materiales reciclables que no son biodegradables.

2.4.4 Fracción combustible

La fracción combustible es cualquier residuo o mezcla de residuos capaz de liberar energía cuando se quema.

2.5 ENERGÍA PROCEDENTE DE FUENTES RENOVABLES

Directiva 2009/28/CE

La “energía procedente de fuentes renovables” es la procedente de fuentes no fósiles, es decir, energía eólica, solar, aerotérmica, geotérmica, hidrotérmica y oceánica, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás.

2.6 INSTALACIÓN DE INCINERACIÓN O COINCINERACIÓN

Real Decreto 653/2003, sobre incineración de residuos

A efectos de lo establecido en este Real Decreto, se entenderá por “*instalación de incineración*” cualquier unidad técnica o equipo, fijo o móvil, dedicado al tratamiento térmico de residuos mediante las operaciones de valorización energética o eliminación, tal como se definen en los apartados R1 y D10 del Anexo 1 de la Orden MAM/304/2002, con o sin recuperación del calor. A estos efectos, en el concepto de tratamiento térmico se incluye la incineración por oxidación de residuos, así como la pirólisis, la gasificación u otros procesos de tratamiento térmico, como el proceso de plasma, en la medida en que todas o parte de las sustancias resultantes del tratamiento se destinen a la combustión posterior en las mismas instalaciones.

Esta definición comprende el lugar de emplazamiento y la instalación completa, incluidas todas las líneas de incineración y las siguientes instalaciones:

- a) Las instalaciones de recepción, almacenamiento y pretratamiento o tratamiento previo in situ de los residuos.
- b) Los hornos de combustión, incluyendo los sistemas de alimentación de residuos, combustible y aire y de recogida de los residuos de combustión.
- c) La caldera y el sistema de recogida de cenizas volantes.
- d) Las instalaciones de tratamiento de los gases de combustión.
- e) Las instalaciones de valorización, eliminación o almacenamiento in situ de los residuos de la incineración y de las aguas residuales, así como de tratamiento de estas últimas, si también se realiza in situ.
- f) La chimenea.
- g) Los dispositivos y sistemas de control de las operaciones de incineración, de registro y de seguimiento de las condiciones de incineración.

“*Instalación de coincineración*”: toda instalación fija o móvil cuya finalidad principal sea la generación de

energía o la fabricación de productos materiales y que, o bien utilice residuos como combustible habitual o complementario, o bien los residuos reciban en ella tratamiento térmico para su eliminación.

Si la coincineración tiene lugar de tal manera que el principal propósito de la instalación no sea la generación de energía o producción de productos materiales sino más bien el tratamiento térmico de residuos, la instalación se considerará como instalación de incineración.

Esta definición comprende el emplazamiento y la instalación completa, incluidas todas las líneas de coincineración y las instalaciones de recepción, almacenamiento y pretratamiento in situ de los residuos; los sistemas de alimentación de residuos, combustible y aire; la caldera; las instalaciones de tratamiento de los gases de combustión; las instalaciones de tratamiento o almacenamiento in situ de los residuos de la incineración y de las aguas residuales; la chimenea; así como los dispositivos y sistemas de control de las operaciones de incineración, de registro y de seguimiento de las condiciones de incineración.

2.7 VALORIZACIÓN ENERGÉTICA

Directiva 2008/98/CE

La “*valorización*” es cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función, en la instalación o en la economía en general.

Para la valorización energética, la utilización principal del residuo será como combustible u otro modo de producir energía.

Se incluyen aquí las instalaciones de incineración destinadas al tratamiento de residuos sólidos urbanos sólo cuando su eficiencia energética resulte igual o superior a:

- 0,60 tratándose de instalaciones en funcionamiento y autorizadas conforme a la legislación comunitaria aplicable desde antes del 1 de enero de 2009.
- 0,65 tratándose de instalaciones autorizadas después del 31 de diciembre de 2008.

Aplicando la fórmula de eficiencia energética especificada en esta Directiva.

2.8 DISTRICT HEATING

La traducción podría ser, según algunos autores: calefacción urbana. Es aquella en que el calor (la energía térmica) se distribuye por una red urbana, del mismo modo en que se hace con el gas o el agua.

Desde una central de producción de calor, se distribuye agua caliente, por medio de conducciones aisladas térmicamente, hacia las subcentrales de edificio donde, con un intercambiador, se prepara el agua con las características (presión y temperatura) propias de la instalación del edificio. Esta subcentral es como cualquier central térmica de edificio, pero con el intercambiador en lugar de calderas.

El agua que ha perdido una parte del calor que transportaba, vuelve a la central de producción para ser recalentada y reenviada a la red.

2.9 COMBUSTIBLE DERIVADO DE RESIDUOS (CDR)

Definición de CDR:

- Combustibles sólidos, líquidos, pastosos o gaseosos.
- Preparados (producidos) a partir de residuos peligrosos o no peligrosos o inertes.
- Para su valorización energética en plantas de incineración o co-incineración.
- No puede asegurarse que cumpla con las especificaciones establecidas por el Comité Europeo de Normalización (CEN)¹.

2.10 COMBUSTIBLE SÓLIDO RECUPERADO (CSR)

Según el Comité Europeo de Normalización (norma EN 15357), un "Combustible Sólido Recuperado" es un combustible sólido preparado a partir de residuos no peligrosos para su valorización energética

en plantas de incineración o co-incineración y que cumple con unos requisitos de clasificación y especificación determinados, que se establecen en la norma EN 15359.

2.11 POTENCIAL TOTAL

POTENCIAL TOTAL (PT): es el potencial derivado de todos los residuos que se generan. Resultados tanto para RSU como para RI.

2.12 POTENCIAL ACCESIBLE

POTENCIAL ACCESIBLE (PA): es la parte del potencial total repartido entre dos áreas demográficas diferenciadas:

- Potencial accesible de densidad demográfica alta (PADA): es el potencial accesible para las áreas demográficas consideradas con mayor densidad de población. Este potencial puede ser alcanzado de forma más viable debido al criterio de proximidad en la gestión de los residuos (recogida, transporte, almacenamiento,...) y por la presión que existe sobre el territorio.
- Potencial accesible de densidad demográfica baja (PADB): es el potencial accesible para el área considerada como difusa, es decir, la parte del territorio con menos densidad de población y que tiene una generación de los residuos más extensiva. Por este motivo, es menos probable la implantación de instalaciones de valorización energética.

Los residuos incluidos en este potencial son los RSU.

Del potencial accesible se desprenden los demás potenciales, por lo que también quedarán diferenciados entre los que son para el área de densidad demográfica alta y los del área de densidad demográfica baja.

¹Mandato de la CE al Comité Europeo de Normalización (CEN), 26 de agosto de 2002:

Desarrollar unas especificaciones técnicas sobre el uso de CSR para la valorización energética en plantas de incineración o co-incineración (reguladas en la directiva 2000/76/CE), hasta convertirlas en un estándar europeo

2.13 POTENCIAL DISPONIBLE

POTENCIAL DISPONIBLE (PD): es la parte del potencial que queda una vez descontados la recuperación de materiales (recogida selectiva, reciclaje, reutilización, etc.), así como otros usos alternativos (producción de compost, aplicación al suelo agrícola, etc.), y que tenemos que elegir por tanto, entre la valorización energética o el depósito controlado (eliminación) como el siguiente destino. Se incluye en este potencial:

1. La cantidad de rechazos del tratamiento de los RSU/fracción resto.
2. La capacidad de producción de combustibles alternativos (CDR/CSR).
3. La cantidad de fracción FORSU que se destine a digestión anaerobia.
4. La cantidad de RI que queda después de el aprovechamiento material y los usos alternativos.

Para los tres primeros casos, se distinguirá entre:

- Potencial disponible de densidad demográfica alta (PDDA), y
- Potencial disponible de densidad demográfica baja (PDDB).

2.14 POTENCIAL PREVISTO

POTENCIAL PREVISTO (PP): considera la capacidad instalada de valorización energética que está planificada en cada momento en los planes de gestión de residuos vigentes, teniendo en cuenta las plantas incineradoras y de digestión anaerobia ya existentes, las que están en fase de proyecto, y las que se han planificado en los diferentes territorios.

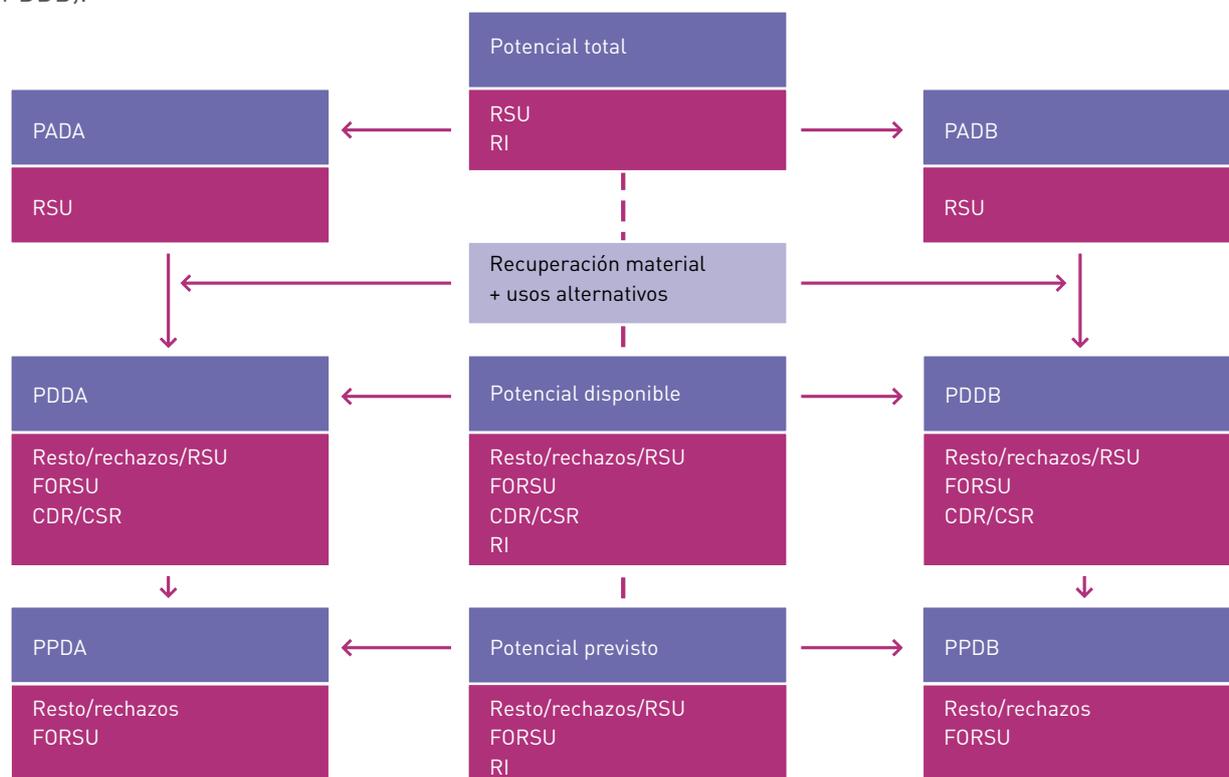
Se incluye en este potencial:

1. La cantidad de rechazos del tratamiento de los RSU/fracción resto.
2. La cantidad de fracción FORSU que se destine a digestión anaerobia.
3. La cantidad de RI prevista de valorizar energéticamente.

De igual modo que antes, se distingue para los dos primeros casos entre:

- Potencial previsto de densidad demográfica alta (PPDA), y
- Potencial previsto de densidad demográfica baja (PPDB).

A continuación se incluye un esquema representativo de la distribución de los potenciales definidos y las fracciones implicadas en cada uno de ellos:



3 Marco jurídico

En el presente capítulo se destaca las principales normativas que constituyen el marco jurídico de este estudio. El detalle del marco jurídico se recopila en el Anexo 1 del presente estudio, de éste destacaríamos los siguientes aspectos:

- La normativa europea está básicamente transpuesta al marco jurídico estatal. Con excepción de la Directiva 2008/98/CE del Parlamento europeo y del Consejo de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables ambas de reciente publicación.
- La normativa estatal incorpora en su totalidad con pocos matices las directivas europeas.
- La normativa autonómica se podría dividir en las comunidades autónomas que han legislado, en el atributo de sus competencias, o las que se han acogido a la normativa estatal. Las primeras sólo se diferencian en algunos matices no siendo de gran trascendencia técnica.
- Probablemente la norma más destacable se refiere a aspectos relativos a la autorización ambiental de las instalaciones que tratan o gestionan residuos: la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. Esta norma es de aplicación tanto para instalaciones nuevas como para instalaciones existentes que quieran emplear residuos para su valorización energética.

3.1 NORMATIVA VIGENTE EN MATERIA DE RESIDUOS

3.1.1 Comunidad Europea

Directiva 2008/98/CE del Parlamento sobre los residuos, de 19 de noviembre de 2008

La nueva Directiva simplifica la legislación comunitaria dado que sustituye a tres directivas en vigor: la Directiva marco sobre residuos, la Directiva sobre productos peligrosos y la Directiva sobre los aceites usados.

Esta nueva Directiva expresa, a través del Parlamento Europeo y del Consejo, la necesidad de regular expresamente determinados aspectos básicos de la gestión de residuos como:

- La necesidad de disminuir la generación de residuos, con el refuerzo de las disposiciones

sobre prevención, con la obligación que los Estados miembros creen programas nacionales de prevención.

- El establecimiento de nuevos objetivos de reciclaje que deberán ser conseguidos por los Estados miembros para el año 2020, incluidos un porcentaje de reciclaje del 50% en los residuos domésticos y similares y del 70% en los residuos de la construcción.
- El establecimiento de una jerarquía clara en la gestión en cinco categorías, según la cual la prevención es la mejor opción, seguida de la reutilización, el reciclaje, otras formas de valorización –incluida la valorización energética y la eliminación segura como último recurso.
- La Directiva fija por primera vez los límites de eficiencia energética a partir de los que la incineración de residuos municipales se puede considerar como una operación de valorización energética.
- Clarifica diversas definiciones importantes y determina cuándo se ha de considerar residuo cualquier sustancia u objeto resultante de un proceso de producción.
- Incide en el principio de la responsabilidad del productor.

Valorización energética

La Directiva establece un criterio más claro de cuándo la incineración de residuos municipales puede ser considerada una operación de valorización energética (ver definición de apartado 4.7 *Valorización energética*).

De esta forma, en la lista de operaciones de valorización se especifica cuándo el tratamiento térmico (incineración) de residuos municipales puede ser considerado una operación de valorización y cuándo ha de ser considerado, porque no cumple los límites de eficiencia energética establecidos, una operación de eliminación.

A pesar de que uno de los objetivos de la negociación de la Directiva, en un inicio, fue poder establecer objetivos para distinguir claramente la valorización de la eliminación, especialmente en casos de tratamiento térmico de residuos, la Directiva sólo establece un criterio claro para definir la valorización energética de los residuos municipales. Para el resto de residuos, aunque es previsible un tratamiento semejante, no se establecen límites y, por tanto, de momento se ha de seguir trabajando con los criterios fijados por el Tribunal de Justicia de la UE para distinguir ambas operaciones.

Fin de la condición de residuo

El artículo 6 de la Directiva indica que se han de establecer criterios para determinar cuándo un residuo que ha estado sometido a operaciones de recuperación, incluidas el reciclaje, ha de dejar de ser considerado residuo.

Para fijar estos criterios se ha de tener en cuenta:

- Si la sustancia u objeto se utiliza normalmente para finalidades específicas.
- Si existe mercado o demanda para esta sustancia u objeto.
- Si cumple los requisitos técnicos para su uso específico y cumple la normativa y estándares aplicables a los productos.
- Si su uso no causa efectos negativos sobre el medio o la salud de las personas.

Los criterios han de incluir, cuando sea necesario, valores límites para los contaminantes y han de tener en cuenta los posibles efectos negativos sobre el medio ambiente. Como mínimo se han de establecer criterios para los conglomerados, papel, vidrio, metal, neumáticos y textiles.

Cuando un residuo deja de tener la consideración de residuo también pierde esta consideración para el cumplimiento de los objetivos de las directivas de envases, RAES, VFU y pilas.

Mientras estos criterios no estén definidos, los Estados miembros pueden decidir caso por caso cuándo un residuo ha dejado de ser residuo teniendo en cuenta la jurisprudencia aplicable y han de notificar estas decisiones a la Comisión.

Subproductos

El artículo 5 de la Directiva indica que cualquier sustancia u objeto resultante de un proceso de producción que no tenía como objetivo principal la producción de esta sustancia u objeto, puede no ser considerado residuo cuando se cumplan las condiciones siguientes:

- El uso posterior de la sustancia u objeto es cierto.
- Puede ser usado directamente sin ninguna otra transformación fuera de la práctica industrial habitual.
- La sustancia u objeto se produce como una parte integral del proceso de producción.
- Su uso ulterior es legal, es decir, la sustancia u objeto cumple los requisitos pertinentes para los productos y la protección ambiental y de la salud,

y no pueden conducir a efectos negativos sobre el medio o la salud de las personas.

Sobre esta base, la Comisión ha de determinar los criterios que han de cumplir objetos y sustancias específicas para poder ser considerados subproductos.

Directiva 2000/76/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de diciembre, relativa a la incineración de residuos (recientemente actualizada mediante la Directiva 2010/75, sobre las emisiones industriales)

La Directiva 2000/76/CE tiene por objeto integrar el progreso técnico llevado a cabo en la gestión del proceso de incineración y limitar en la medida de lo posible los efectos negativos sobre el medio ambiente, especialmente la contaminación causada por las emisiones en la atmósfera, el suelo y las aguas superficiales y subterráneas, así como los riesgos para la salud derivados de la incineración y la co-incineración de los residuos. Esta Directiva se aplica a las instalaciones de incineración y co-incineración de residuos sólidos urbanos, y afecta especialmente a la incineración de RSU.

La Directiva 2000/76/CE establece un régimen general para prevenir o reducir la contaminación atmosférica y fija unos límites de emisión más estrictos para las instalaciones de incineración existentes y para las nuevas, así como condiciones operativas y requisitos técnicos más rigurosos en la entrega y la recepción de los residuos y en la solicitud y la autorización de este tipo de instalaciones.

También establece condiciones más estrictas de explotación, pero no excluye el tratamiento térmico de los residuos sin recuperación de energía, ni exige un determinado rendimiento energético.

El Tribunal de Justicia de las Comunidades Europeas, en sentencias de 13 de febrero de 2003, interpreta que la incineración de residuos en una instalación para su eliminación debe considerarse como operación de eliminación –asimilable a la de vertedero–, dado que la recuperación de calor producida por la combustión de los residuos solo constituye un efecto secundario de una operación, la finalidad última de la cual es la eliminación del residuo. En cambio, la característica básica de una operación de valorización recae en el hecho de tener como objetivo principal la utilización de los residuos, de manera que sustituya el uso de otros materiales y preserve los recursos naturales. Dado que en los supuestos de la co-incineración o el tratamiento de los residuos en hornos de cementeras la utilización principal es como combustible u otra forma de producción de energía, debe considerarse una operación de valorización.

Directiva 1999/31/CE del Consejo de 26 de abril de 1999 relativa al vertido de residuos

La Directiva 1999/31/CE fue aprobada con el objetivo de establecer, mediante requisitos técnicos y operativos referentes a residuos y vertederos, medidas y procedimientos para:

1. Reducir, en la medida de lo posible, los efectos medioambientales negativos del vertido de residuos, en particular, la contaminación de las aguas superficiales, las aguas subterráneas, el suelo y el aire, incluyendo el efecto invernadero.
2. Evitar cualquier riesgo derivado para la salud humana, durante todo el ciclo de vida del vertedero.

Los puntos principales de la Directiva 1999/31/CE son:

- Definir como residuos biodegradables todos los que se puedan descomponer de manera aerobia o anaerobia, como son los residuos de alimentos y de jardinería, papel y cartón.
- Regular los requisitos generales de toda clase de vertederos, criterios y procedimientos de admisión de residuos, procedimiento de control y vigilancia en las fases de explotación y mantenimiento posterior.
- Fijar las condiciones de ubicación, explotación y de clausura de los vertederos.
- Limitar la aceptación de determinados tipos de residuos, en particular, los residuos que no han sido previamente clasificados o sometidos a tratamiento físico, térmico, químico o biológico.
- Establecer la obligación de los Estados miembros de elaborar, en un periodo de cuatro años, un plan para reducir los residuos biodegradables destinados a su vertido. Este plan debe garantizar la reducción progresiva de los residuos biodegradables que se envíen a vertedero antes del 2006 en un mínimo del 25% en peso respecto a los residuos biodegradables generados en 1995; en un mínimo del 50% antes del 2009, y en un mínimo del 65% antes del 2016. De esta manera se impulsa como alternativa el compostaje o la valorización energética por biometanización.

La directiva 1999/31/CE establece el cierre, la restauración y el mantenimiento de los vertederos para un periodo de como mínimo treinta años. Respecto a los vertederos existentes, establece un régimen transitorio consistente en la obligatoriedad de presentar un plan de acondicionamiento al término de un año a contar a partir del 16 de julio de 2001 y hasta el 16 de julio de 2009 de plazo máximo para ejecutar las obras de acondicionamiento.

3.1.2 España

Real Decreto 653/2003, de 30 de mayo, sobre incineración de residuos

El Real Decreto 653/2003 incorpora en el ordenamiento interno la Directiva 2000/76/CE relativa a la incineración de residuos.

Este Real Decreto tiene como objetivo establecer las medidas a las cuales se tienen que ajustar las actividades de incineración y coincineración de residuos, con la finalidad de impedir y limitar los riesgos para la salud y los efectos negativos sobre el medio ambiente de las actividades de incineración y coincineración de residuos:

- Establece condiciones más exigentes en la entrega y la recepción de los residuos en las incineradores.
- Exige más requisitos técnicos a las instalaciones para construir las y hacerlas funcionar.
- Unifica los valores límite para los residuos que se incineren o coincineren.
- Limita de una manera más restrictiva las emisiones a la atmósfera de los diferentes contaminantes.

Asimismo, el Real Decreto 653/2003 desarrolla la Ley estatal 38/1972 de protección del ambiente atmosférico con referencia a la contaminación ocasionada a la atmósfera y la Ley 10/1998. Además, tiene carácter de desarrollo reglamentario de la Ley 12/2002, de 21 de abril, de residuos. También tiene carácter de desarrollo reglamentario de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrado de la contaminación (I PPC), ya que dentro de su ámbito de aplicación están incluidas las incineradoras de residuos peligrosos con capacidad de más de 10 t/día y las incineradoras de residuos urbanos o municipales con capacidad de más de 3 t/hab.

Ley 16/2002, de 1 de julio, de Prevención y Control integrado de la Contaminación (I PPC)

Transposición al ordenamiento interno de la Directiva 96/61/CE del Consejo, de 24 de septiembre de 1996. El objetivo es la protección ambiental respecto a las instalaciones industriales contaminantes. Se establecen medidas para evitar o reducir las emisiones de las actividades industriales a la atmósfera, el agua y el suelo.

En el Anexo I se recogen las categorías de actividades industriales e instalaciones en que es aplicable la ley, que establece que las instalaciones para incinerar los residuos deben tener una capacidad de

más de 3 t/h. Las instalaciones para eliminar los residuos no peligrosos, en lugares diferentes a los vertederos, tienen una capacidad de más de 50 t/día.

Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero

El Real Decreto 1481/2001 incorpora en el ordenamiento jurídico interno la Directiva 199/31/CE y establece un régimen concreto para eliminar los residuos mediante su depósito en vertederos.

Antes del 16 de julio de 2003 el Estado y las comunidades autónomas deben haber elaborado un programa conjunto de actuaciones para reducir los residuos biodegradables destinados a los vertederos. Este programa tiene que establecer las medidas que permitan llegar a los objetivos establecidos en la Directiva que transpone, es decir:

- La reducción de una cantidad mínima del 25% del peso de los residuos urbanos biodegradables generados en 1995 antes de 2006.
- La reducción de una cantidad mínima del 50% del peso de los residuos urbanos biodegradables generados en 1995 antes de 2009.
- La reducción de una cantidad mínima del 65% del peso de los residuos urbanos biodegradables generados en 1995 antes de 2016.

El Real Decreto 1481/2001 regula el régimen jurídico aplicable a las actividades de eliminación de los residuos mediante depósito en vertederos:

- Respecto a la admisión de los residuos en las diferentes clases de vertederos, establece la obligación de un tratamiento previo de la fracción resto, antes de su depósito en vertedero.
- Respecto a las instalaciones, establece los criterios técnicos mínimos exigibles sobre el diseño, la construcción, la explotación, la clausura y el mantenimiento. De la misma manera que la Directiva que incorpora, introduce por todo el territorio español la clasificación de los vertederos en tres categorías diferentes según los residuos que acepten. Define los residuos aceptables en cada uno e introduce una nueva estructura o imputación de los costos de las actividades de vertido de residuos y la obligación de gestionarlos después de su clausura.

Esta ley es aplicable en los vertederos de nueva implantación desde el 30 de enero de 2002. En el caso de los vertederos existentes y legalizados debidamente, establece un período transitorio de adaptación hasta el 16 de julio de 2002 para presentar

un plan de acondicionamiento de las instalaciones existentes a la normativa y un plazo hasta el 16 de julio de 2009 para ejecutar las obras necesarias.

Ley 10/1998, de 21 de abril, de residuos

En su nueva versión dada por la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y del orden social, se modifican determinados aspectos de la Ley 10/1998. Es la transposición de la Directiva 91/156/CEE, del Consejo, de 18 de marzo de 1991, al ordenamiento jurídico español; constituye la legislación básica, y establece, entre otras cuestiones, la planificación estatal de la gestión de residuos por medio de planes nacionales –obligación derivada de la directiva que transpone–, los cuales tienen que fijar los objetivos de reducción, reutilización, reciclaje y otras formas de valorización y eliminación de los residuos. Además, tienen que establecer los sistemas de gestión correspondientes.

El artículo 3.b establece que se deben incluir como residuos urbanos municipales los procedentes de la limpieza de la vía pública, las zonas verdes, las áreas recreativas y las playas; los animales domésticos muertos; los muebles, las herramientas, los vehículos abandonados y los residuos procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliarias. También determina la necesidad de adaptar la gestión, tanto desde la vertiente de la recogida selectiva, como del tratamiento y la valorización.

Aun así, prescribe las pautas para aplicar de una manera estricta el principio de “quien contamina paga”, ya que regula la obligación de los productores de residuos de hacerse cargo directamente de la gestión, mediante la participación en un sistema de gestión integrado (SIG), o bien a través de una contribución económica a los sistemas públicos de gestión de residuos con la aportación del coste de la gestión.

Con respecto a los ayuntamientos o a las entidades locales, añade a la obligación de recogida las obligaciones siguientes:

- La posibilidad de elaborar planes de gestión locales.
- La eliminación y el tratamiento de residuos en todos los municipios.
- La recogida selectiva de residuos sólidos urbanos (RSU) en municipios de más de 5.000 habitantes, por tal de facilitar el reciclaje y la valorización.

La Ley 10/1998 también regula la forma en que deben realizar la recogida de residuos urbanos las entidades locales y marca las pautas básicas que se deben aplicar.

En el momento de edición de este Estudio, se encontraba en fase de tramitación el proyecto de Ley de Residuos y Suelos Contaminados, que transpone la Directiva 2008/98 y actualizará la Ley 10/98.

3.2 NORMATIVA VIGENTE EN MATERIA DE ENERGÍAS RENOVABLES

3.2.1 Comunidad Europea

Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE

Esta Directiva aporta, a los aspectos relevantes de este estudio, algunos cambios pero conceptualmente se sigue la línea que ya se introdujo en la Directiva 2001/77/CE.

El objeto de este estudio de verificar las actividades de valorización energética de residuos tendrá sentido en tanto en cuanto la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales aparece recogida en esta Directiva como fuente renovable de energía.

3.2.2 España

Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial

El Real Decreto 661/2007, modificado por última vez por el Real Decreto 198/2010, y que sustituye al Real Decreto 436/2004, establece un régimen retributivo para ciertas instalaciones de producción de energías limpias y eficientes, como la solar, eólica, hidroeléctrica, biomasa, cogeneración, etc. en aras de proveer una rentabilidad suficiente y razonable que, unida a la estabilidad, dote de atractivo a la inversión y a la dedicación a estas actividades.

Asimismo, el nuevo Real Decreto supuso un impulso para el alcance de los objetivos del Plan de Energías Renovables 2005-2010, así como los objetivos contraídos por España a nivel comunitario.

4 Tecnología

4.1 INTRODUCCIÓN

Hoy en día, podemos decir que existen diferentes tecnologías que se pueden aplicar para la valorización energética de los residuos. La mayoría de ellas consisten en procesos de tratamiento térmico como son la incineración, la gasificación, la pirólisis o la gasificación por plasma. Cada una de estas se encuentra en un estado de desarrollo de distinto nivel.

También encontramos la biometanización o digestión anaerobia de la fracción orgánica con valorización del biogás obtenido, como una posibilidad adicional de aprovechamiento energético de los residuos.

Por otra parte, también se ha prestado especial atención en este estudio a la producción de combustibles de residuos (CDR o CSR) y a su aprovechamiento en instalaciones como las plantas cementeras, centrales térmicas o en algunos hornos industriales como combustible sustitutivo.

Estas posibles alternativas pueden coexistir en un mismo modelo de gestión de los residuos. De todas formas, a la hora de seleccionar una tecnología deben tenerse en cuenta algunos aspectos fundamentales como son, entre otros, los siguientes:

- El tipo de residuo o mezcla de residuos a valorizar energéticamente,
- Que la tecnología sea flexible, es decir, que sea capaz de responder ante variaciones en las características de los residuos, los cuales presentan normalmente una gran heterogeneidad en su composición,
- La experiencia y madurez de la tecnología en aplicaciones de las mismas características a las que se quiere implantar,
- La viabilidad económica.

De entrada, podemos decir que de todas las alternativas indicadas, la incineración, la digestión anaerobia y la coincineración en algunas aplicaciones industriales, son las más probadas y desarrolladas en su aplicación. La gasificación, pirólisis y gasificación por plasma presentan, en comparación con las anteriores, menos referencias a nivel industrial, aunque sí hay una tendencia creciente en implantarse instalaciones de estas tecnologías, debido a las expectativas que en teoría ofrecen de poder conseguir más rendimiento energético y a la baja aceptación a nivel social de la incineración.

Por otro lado, cabe comentar que la incineración y la coincineración de los residuos en instalaciones industriales con uso intensivo de energía tienen un amplio margen de desarrollo en nuestro país.

En el presente capítulo se presenta un resumen descriptivo de la situación de cada tipo de tecnología que se ha evaluado en el estudio. Aparte, en el Anexo 3 de "Estudio de Tecnologías" se describen y se desarrollan ampliamente todos los aspectos relacionados con cada una de las tecnologías presentadas.

4.2 TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO TÉRMICO

4.2.1 Incineración

En la incineración tiene lugar la combustión, reacción química que se basa en una oxidación térmica total en exceso de oxígeno.

Las características generales de la incineración de residuos, son las siguientes:

- Se requiere un exceso de oxígeno respecto al estequiométrico durante la combustión, para asegurar una completa oxidación.
- La temperatura de combustión está, típicamente, comprendida entre los 850 °C y 1.100 °C después de la última inyección de aire secundario, en función de la composición en compuestos halogenados del residuo a tratar.
- Como resultado del proceso de incineración se obtiene:
 - Gases de combustión, compuesto principalmente por CO₂, H₂O, O₂ no reaccionado, N₂ del aire empleado para la combustión y otros compuestos en menores proporciones procedentes de los diferentes elementos que formaban parte de los residuos. Los componentes minoritarios presentes dependerán de la composición de los residuos tratados. Así pues, pueden contener gases ácidos derivados de reacciones de halógenos, azufre, metales volátiles o compuestos orgánicos que no se hayan oxidado. Finalmente, los gases de combustión contendrán partículas, que son arrastradas por los gases.
 - Residuo sólido, compuesto fundamentalmente por escorias inertes, cenizas y residuos del sistema de depuración de los gases de combustión.

El proceso global convierte prácticamente toda la energía química contenida en el combustible en energía térmica, dejando una parte de energía química sin convertir en gas de combustión y una muy pequeña parte de energía química no convertida en las cenizas.

El aprovechamiento del calor de ese proceso se realiza mediante la generación de vapor de agua recalentado, con rendimientos térmicos del orden del 80%, debido a las pérdidas caloríficas tanto en el horno como en la caldera y por la temperatura mínima de salida de los gases de combustión de la caldera de recuperación.

El uso posterior del vapor, para la obtención de energía mecánica y eléctrica, tiene limitaciones en el rendimiento por razones termodinámicas en los ciclos térmicos en los que interviene el vapor, lo que supone una pérdida muy importante de energía en el foco frío del ciclo térmico.

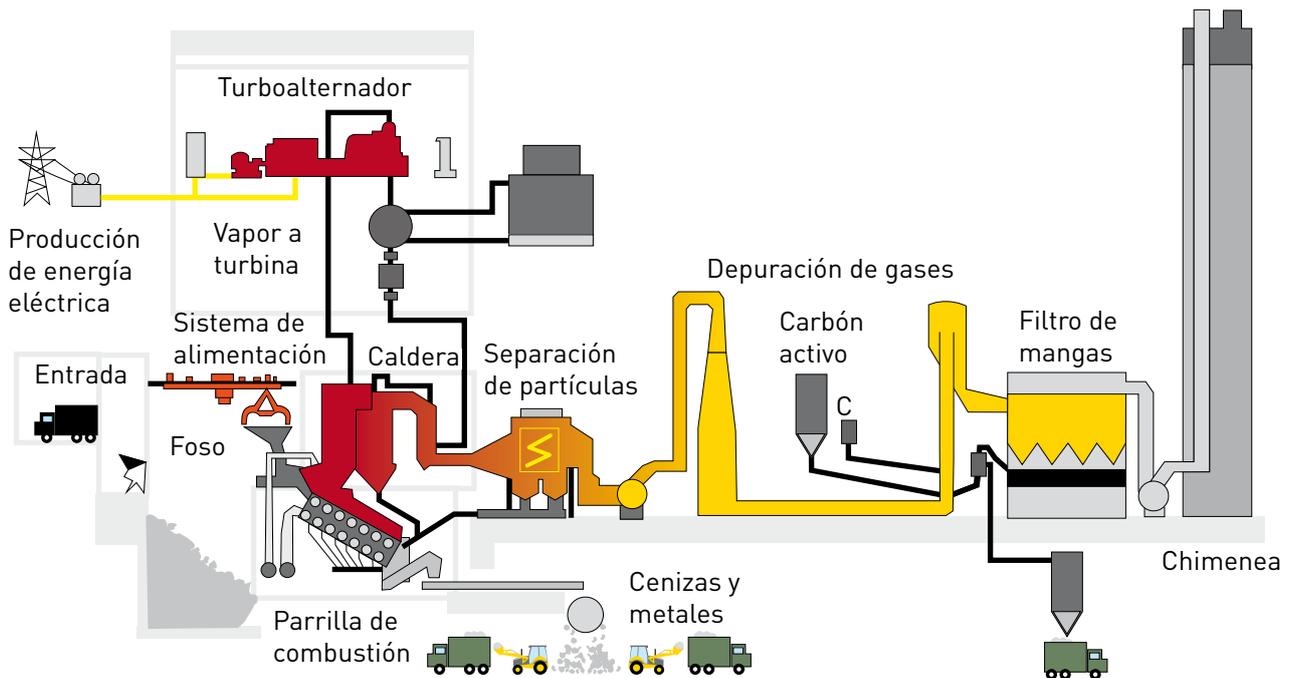
Según el tipo de horno de combustión que se utilice se puede diferenciar entre: incineración en horno de parrilla, incineración en horno rotativo, o incineración en lecho fluido.

Se describen a continuación los tres tipos de sistemas utilizables.

Incineración en horno de parrilla

Diagrama

Ilustración 1. Ejemplo esquema de incineración en horno de parrilla



Descripción

El horno de parrilla es un horno de incineración en el que los residuos se transportan mediante una estructura de forma variable. Asimismo, la parrilla tiene las siguientes funciones:

- Avance de los residuos: se consigue a partir del movimiento de la parrilla y su inclinación.
- Mezcla de los residuos: se consigue mediante el movimiento de cada uno de los elementos que forman la parrilla. Se produce un volteo y avance de los residuos facilitando su mezcla y homogeneización.
- Atizar la llama: el efecto del movimiento facilita la propagación de las brasas y con ello la aceleración de la combustión.

Los diferentes sistemas de parrillas pueden diferenciarse por la manera en que el residuo se transporta a través de las diferentes zonas de la cámara de combustión. Cada uno debe cumplir los requerimientos en la alimentación primaria del aire, la velocidad de transporte y la mezcla adecuada del residuo.

Para conseguir una buena combustión, se debe asegurar una buena distribución del aire de incineración en el interior del horno. Para ello, se inyecta aire en distintos puntos del horno, por lo que varía su función y su denominación:

- Aire primario: es aquel que se inyecta a través de la parrilla y cuya función es la de actuar como aire de combustión.
- Aire secundario: se inyecta por encima del lecho de residuos para completar la combustión.

El tiempo de residencia de los residuos no suele superar la hora, y se extraen, en forma de escorias, por el extremo opuesto de la parrilla.

Típicamente, los finos caen a través de la parrilla, recuperándose en el recolector de cenizas. En algunos casos, se recuperan separadamente y pueden reintroducirse en la parrilla para completar la combustión o eliminarse directamente. Los finos se pueden recircular a la tolva, siempre y cuando se tenga especial cuidado en que no se inflame el residuo contenido en ésta.

La refrigeración de parrillas se realiza a menudo con aire, aunque en los casos donde el poder calorífico es mayor (12-15 MJ/kg), se emplea agua fría como fluido refrigerante, haciéndolo circular a través del interior de la parrilla. El flujo del fluido refrigerante avanza desde las zonas frías hasta las calientes de forma progresiva, con el fin de maximizar la transferencia de calor. El calor absorbido por el medio refrigerante puede ser aprovechado para el uso en el proceso o para uso externo.

Residuos más apropiados

Los hornos de parrilla son muy flexibles en operación frente a combustibles heterogéneos, por lo que pueden tratar RSU, residuos industriales, lodos de depuradoras o residuos hospitalarios.

En el caso concreto de RSU, su aplicación es tan amplia y probada, y el funcionamiento es tan robusto que en Europa el 90% de las instalaciones de tratamiento de RSU, usan hornos de parrilla con capacidades de tratamiento elevadas (hasta 30 t/h).

Ventajas/inconvenientes

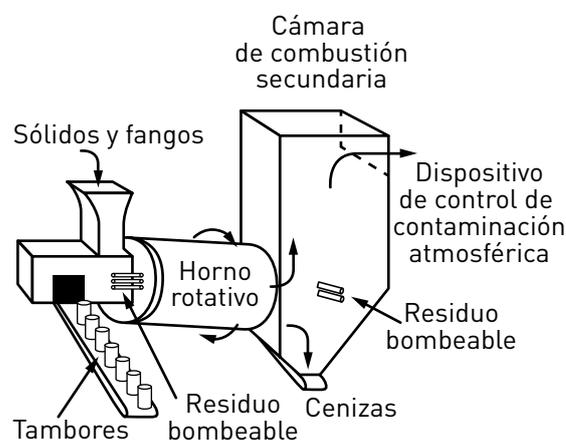
La incineración en horno de parrilla es la más extendida y más desarrollada de todos los tipos de incineración de residuos, por su capacidad de poder tratar una gran variedad de residuos y sin ser necesario un pretratamiento previo de estos. Únicamente se aplica una trituración previa a la alimentación al horno para reducir el tamaño y homogeneizar el material combustible.

En cuanto a sus limitaciones de aplicación, la incineración en horno de parrilla no es idónea para partículas, líquidos o materiales que pueden fundirse en la parrilla.

Incineración en horno rotativo

Diagrama

Ilustración 2. Esquema horno rotativo de incineración



Fuente: Integrated Pollution Prevention and Control Referente Document on the Best Available Technique for Waste Incineration, 2006

Descripción

El horno rotativo consiste en un cuerpo cilíndrico ligeramente inclinado en su eje horizontal. El cilindro está normalmente localizado sobre rodillos, permitiendo que el horno rote u oscile alrededor de su eje en un movimiento recíproco, de manera que el residuo se mueve a través del horno impulsado tanto por la gravedad como por la rotación.

Al trabajar a temperaturas altas se tiene el riesgo de dañar el material refractario de las paredes del horno por estrés térmico, por lo que algunos hornos tienen una camisa refrigerada (por aire o agua), que ayuda a alargar la vida del material de las paredes, y disminuir el tiempo entre paradas producidas para el mantenimiento del horno.

El tiempo de residencia del material sólido en el horno se determina por el ángulo horizontal del cuerpo cilíndrico y la velocidad de rotación. Para conseguir una buena combustión de los residuos, se requiere un tiempo de residencia de entre 30 y 90 minutos.

Residuos más apropiados

En los hornos rotativos se puede incinerar prácticamente, cualquier residuo, independientemente de su tipo o composición. Aún así, y dadas las condiciones de la combustión, su aplicación actual está dirigida al tratamiento de residuos peligrosos (por ejemplo residuos clínicos), por lo que el tratamiento de RSU es minoritario.

El pretratamiento aplicable consistiría en una trituración previa.

Ventajas/inconvenientes

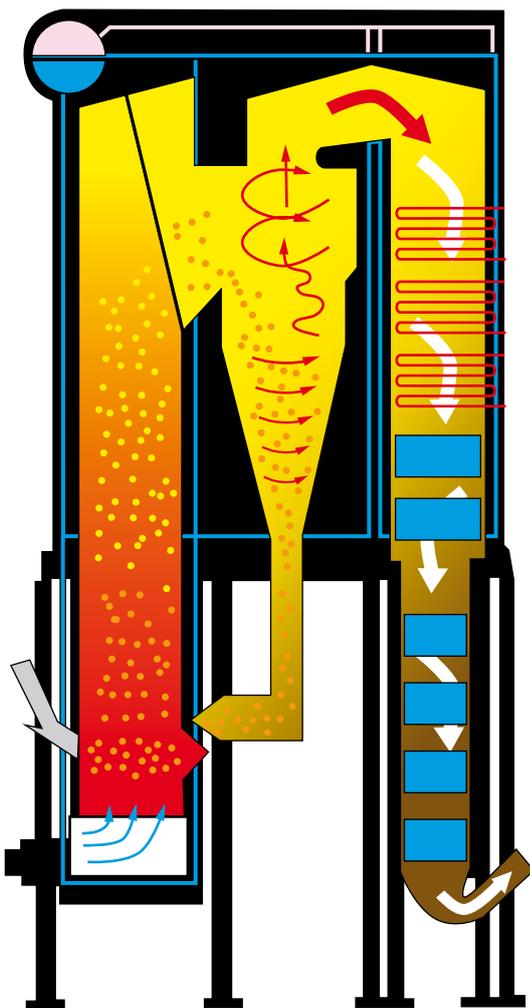
Los hornos rotativos pueden tratar casi cualquier residuo, pero serán difíciles de regular (temperatura) sin consumir combustible auxiliar, lo que encarece su explotación. Además, son difíciles de escalar para grandes capacidades, ya que requieren grandes diámetros.

Por último, requerirán importantes costes de mantenimiento o materiales especiales (de fuerte coste económico) en los casos en que por la temperatura se produjera fusión de escorias.

Incineración en horno de lecho fluido

Diagrama

Ilustración 3. Esquema de horno de lecho fluido circulante



Fuente: Kvaerner, Foster-Wheeler

Descripción

Un horno de lecho fluidizado consiste en una cámara cilíndrica y vertical, cuya parte inferior contiene el material de lecho. Éste debe ser inerte, de tamaño pequeño y esférico y capaz de fluidizar en el momento en que se le introduzca el gas para tal finalidad; típicamente el material del lecho es arena o caliza.

El aire usado en la fluidización, recibe el nombre de primario, y se introduce por la parte inferior del lecho. Aparte de fluidizar el lecho, actúa como comburente. El aire, denominado secundario, es el que se usa para la combustión completa de los gases.

Según el movimiento del lecho, se diferencian en:

- Lecho fluidizado burbujeante (BFB): se hace pasar aire por la parte inferior del horno a través de una placa de distribución hasta hacer burbujear el lecho manteniéndolo en suspensión. El residuo es aproximadamente el 2-3% en peso del lecho. Las cenizas volantes se arrastran con los gases de combustión y las escorias se recogen por la parte inferior del horno.
- Lecho fluidizado circulante (CFB): esta tecnología se desarrolló con la intención de mejorar el lecho burbujeante, y lograr una combustión más completa, conjuntamente con un mayor control sobre la temperatura. En este caso, la velocidad de aire a través del lecho aumenta, con lo que parte del material del lecho se arrastra con los gases de combustión.
- Lecho fluidizado "Revolving type": el objetivo de este diseño es el de mejorar el contacto de las partículas en el lecho, manteniéndolo en continuo movimiento. El lecho es del tipo BFB, en el cual el aire se inyecta de forma no uniforme, creando zonas diferenciadas de paso de aire. Adicionalmente, se instalan unos deflectores en la zona inferior del lecho contra los que golpean los sólidos del lecho, resultando un movimiento circular de agitación. Las escorias se extraen por los laterales del lecho.

En el interior del lecho fluidizado, tiene lugar el secado, la volatilización, la ignición y la combustión de los residuos. Se produce un gradiente de temperaturas, de manera que en la zona situada por encima del lecho, se dan temperaturas de entre 850 °C y 950 °C, permitiendo la retención de gases en la zona de combustión, mientras que en el interior del lecho la temperatura es menor, alrededor de los 650 °C.

Gracias a la capacidad del reactor de permitir una buena mezcla, los hornos de lecho fluidizado generalmente tienen una buena distribución de temperaturas y oxígeno, lo que concluye en una operación más estable.

Residuos más apropiados

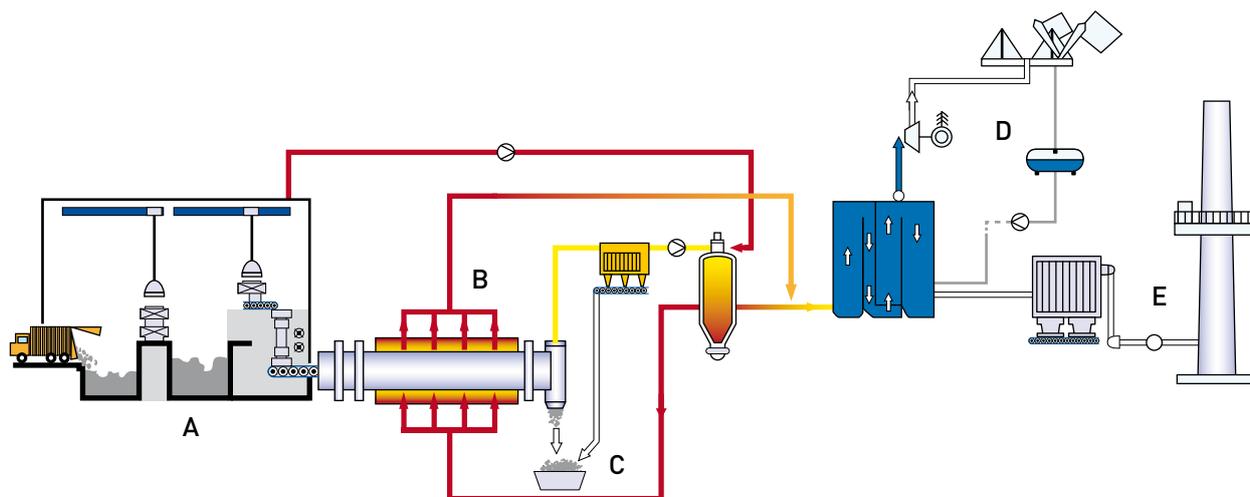
En el caso del lecho fluidizado, los residuos tienen que cumplir unas ciertas especificaciones con respecto a tamaño, forma y composición. En general, los principales residuos aceptados por esta tecnología son:

- Residuos con ausencia o bajo contenido de materiales inertes y metales separados.
- Uso limitado para RSU directos.
- A menudo aplicado para lodos de depuradora o CDR/CSR.

4.2.2 Pirólisis

Diagrama

Ilustración 4. Ejemplo diagrama de proceso planta de pirólisis



A- Zona de descarga y trituración

B- Pirólisis

C- Recogida y selección de residuos procedentes del sistema

D- Recuperación de energía

E- Depuración de gases

Fuente: WasteGen

Ventajas/inconvenientes

En un principio, los hornos de lecho fluido, al permitir una buena mezcla y tener una buena distribución de temperaturas y oxígeno, presentan como ventaja una operación teóricamente más estable.

No obstante, para poder utilizar un horno de lecho fluido es imprescindible un pretratamiento de los residuos para seleccionar los materiales, reducir su tamaño, y conseguir unas especificaciones de calidad concretas. Esta etapa previa implica un coste adicional importante para el tratamiento de los residuos, lo que restringe la viabilidad económica de una instalación con esta tecnología a gran escala.

Con respecto a las anteriores tecnologías de incineración, la de lecho fluidizado presenta una mayor producción de cenizas.

Descripción

La pirólisis es una degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno añadido, por lo que dichas sustancias se descomponen mediante calor, sin que se produzcan las reacciones de combustión.

Las características básicas de dicho proceso se detallan a continuación.

- El único oxígeno presente es el contenido en el residuo a tratar.
- Las temperaturas de trabajo, oscilan entre los 300 °C y los 800 °C.
- Como resultado del proceso se obtiene un:
 - Gas de síntesis, cuyos componentes básicos son CO, CO₂, H₂, CH₄ y compuestos más volátiles procedentes del *cracking* de las moléculas orgánicas, conjuntamente con las ya existentes en los residuos.
 - Residuo líquido, compuesto básicamente por hidrocarburos de cadenas largas como alquitranes, aceites, fenoles, o ceras, formados al condensar a temperatura ambiente.
 - Residuo sólido, compuesto por todos aquellos materiales no combustibles, los cuales o bien no han sido transformados o proceden de una condensación molecular con un alto contenido en carbón, metales pesados y otros componentes inertes de los residuos.
- Al no darse la reacción de oxidación de los compuestos más volátiles, el PCI del gas de síntesis procedente del proceso de pirólisis llega a oscilar entre 10 y 20 MJ/Nm³.

Las condiciones de operación con las que se lleva a cabo la pirólisis pueden variar, diferenciándose tres tipos:

- Pirólisis lenta: proceso discontinuo, (P=atm, T= 400 °C – 500 °C) en el que la velocidad de calentamiento es reducida, (<2 °C/s), prolongando su tiempo de reacción entre 5 minutos y varias horas.
- Pirólisis rápida: proceso continuo, a vacío y a temperaturas elevadas, por lo que la velocidad de reacción es mayor que en el caso anterior. Los productos volatilizados permanecen unos segundos en el reactor, evitando las reacciones de condensación. Se usa comúnmente para biomasa.
- Pirólisis “flash”: proceso continuo, en el que el tiempo de residencia de los gases es <0,5 s, y la transmisión de calor es muy rápida. Se aplica a casos en los que el material a pirolizar tiene un alto contenido en volátiles.

Asimismo, dependiendo de la temperatura de reacción se clasifican en:

- Procesos de baja temperatura: <550 °C, se producen principalmente alquitranes, aceites y un residuo carbonoso.
- Procesos de temperatura media: entre 550 °C y 800 °C, se obtienen elevados rendimientos de gas.
- Procesos a alta temperatura: >800 °C y producen elevadas cantidades de gas, debido al *cracking* de alquitranes.

Las bajas temperaturas de trabajo provocan una menor volatilización de carbono y otros contaminantes precursores en la corriente gaseosa, como metales pesados o dioxinas. Por esto, los gases de combustión necesitarán teóricamente un tratamiento menor para cumplir los límites mínimos de emisiones fijados en la Directiva de incineración. Los compuestos que no se volatilicen, permanecerán en los residuos de la pirólisis y necesitará ser gestionado adecuadamente.

Los residuos sólidos procedentes de la pirólisis pueden contener carbono, en una proporción superior al 40%, conteniendo una proporción significativa de energía del residuo de entrada.

Por este motivo, la recuperación energética del horno es importante para la eficiencia energética. Esta se puede llevar a cabo de distintas maneras.

- Combustión de gases y aceites obtenidos, mediante un ciclo de vapor para la producción de energía eléctrica.
- Aplicación como etapa previa a un proceso de gasificación.
- Uso del producto sólido como combustible en instalaciones industriales, como por ejemplo, en plantas cementeras.

Los hornos usados, típicamente, en pirólisis son:

- Hornos rotativos.
- Hornos de tubos calentados externamente (“heated tubes”).

Dados los procesos implantados de plantas con esta tecnología, la pirólisis se plantea como una etapa previa a la combustión para mejorar su rendimiento energético. Además, de los residuos recibidos se deben seleccionar los materiales con contenido energético más alto y aplicarles también un pretratamiento para su adecuación a las características del proceso.

Residuos más apropiados

Para poder tratar los residuos mediante pirólisis, se deben cumplir una serie de requisitos. Sin embargo, es difícil definir la tipología de residuos considerados como adecuados o inadecuados, dado que está muy relacionado con el tipo de reactor usado y de las condiciones de operación. Básicamente, se consideran como residuos más aptos: papel, cartón, astillas de madera, residuos de jardín y algunos plásticos seleccionados.

En cualquier caso, en cuanto a la clasificación y al pretratamiento, son de aplicación, en mayor o menor medida, los mismos criterios que para la gasificación:

1. Los residuos deben proceder de un sistema de recogida selectiva y/o en su defecto, deben someterse a un sistema de clasificación previo a la planta de pirólisis.
2. No son admisibles los residuos voluminosos, los metales, los materiales de construcción, los residuos peligrosos, vidrio y algunos plásticos, como el PVC.
3. Se requiere triturar, secar y homogeneizar los residuos, siendo los límites de aplicación distintos para cada tipo de proceso.

Ventajas/inconvenientes

Las ventajas en el proceso de pirólisis incluyen:

- La posibilidad de recuperar fracciones orgánicas, como por ejemplo el metanol.
- La posibilidad de generar electricidad usando motores de gas o turbinas de gas para la generación, en lugar de calderas de vapor.
- Reducir el volumen de los gases de combustión, para reducir el coste de inversión en el tratamiento de gases de combustión.

Las ventajas de emisión de los gases de combustión conseguidos en este proceso se verán reducidas, cuando se realice un proceso a altas temperaturas como la gasificación o la combustión.

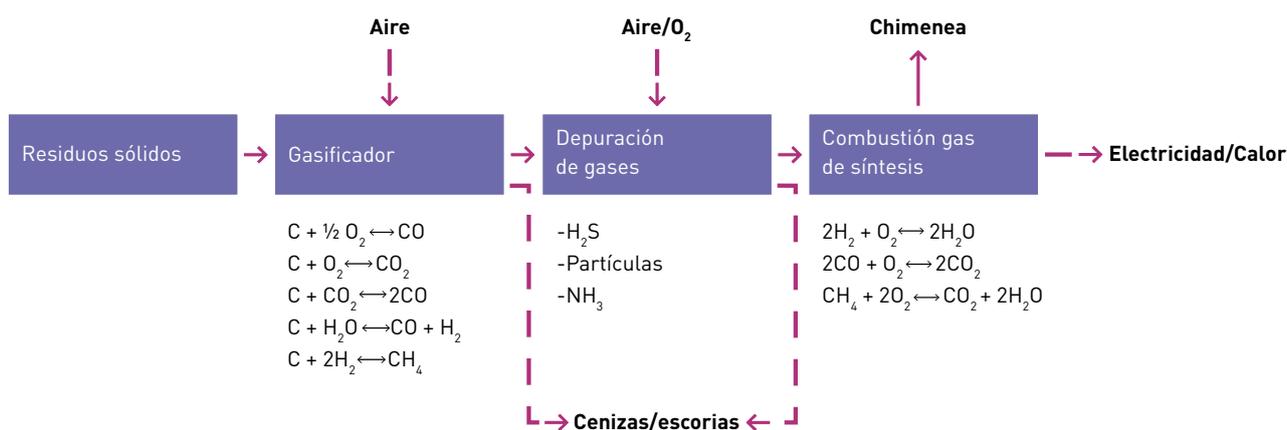
Como inconvenientes, se puede decir que son:

- Uso limitado a ciertos residuos.
- Requiere buen control de operación del proceso.
- La tecnología no está ampliamente probada.
- Requiere un mercado para el gas de síntesis. Normalmente se utiliza en una etapa posterior de combustión.

4.2.3 Gasificación

Diagrama

Ilustración 5. Esquema proceso de gasificación



Descripción

La gasificación es un proceso de oxidación parcial de la materia, en presencia de cantidades de oxígeno inferiores a las requeridas estequiométricamente.

En términos generales, las características para el proceso de gasificación de una corriente de residuos, son las siguientes:

- Se usa aire, oxígeno o vapor como fuente de oxígeno, y en ocasiones como portador en la eliminación de los productos de reacción.
- La temperatura de trabajo es típicamente superior a los 750 °C.
- Las reacciones químicas producidas en este proceso son de dos tipos:
 - De cracking molecular: la temperatura provoca la rotura de los enlaces moleculares más débiles originando moléculas de menor tamaño, generalmente hidrocarburos volátiles.
 - De reformado de gases: estas reacciones son específicas de los procesos de gasificación y en ellas suele intervenir el vapor de agua como reactivo.
- Como resultado del proceso de gasificación se obtiene un:
 - Gas de síntesis, compuesto principalmente por CO, H₂, CO₂, N₂ (si se emplea aire como gasificante) y CH₄ en menor proporción. Como productos secundarios se encuentran alquitranes, compuestos halogenados y partículas.
 - Residuo sólido, compuesto por materiales no combustibles e inertes presentes en el residuo alimentado; generalmente contiene parte del carbono sin gasificar. Las características de este residuo son similares a las escorias de los hornos en las plantas de incineración.
- La cantidad, composición y poder calorífico de los gases procedentes de la gasificación dependerá de la composición de los residuos, de la temperatura y de las cantidades de aire y vapor utilizadas. A modo de ejemplo:
 - Si se usa oxígeno, el PCI típico del gas de síntesis varía entre 10 y 15 MJ/Nm³.
 - Si se usa aire, el PCI típico del gas de síntesis varía entre 4 y 10 MJ/Nm^{3,2}.

El gas de síntesis obtenido en el proceso de gasificación tiene potencialmente varios usos:

- Como materia prima para la producción de compuestos orgánicos, como la síntesis directa de

metanol, amoníaco, o para su transformación en hidrógeno mediante el reformado con vapor o el reformado catalítico.

- Como combustible en los procesos de producción de energía eléctrica mediante ciclos térmicos distintos a los de vapor de agua, ya sean ciclos combinados o simples, en turbinas de gas o motores de combustión interna.
- Como combustibles en calderas tradicionales o en hornos.

El proceso de gasificación se lleva a cabo en el gasificador, donde el carbono presente en los residuos es transformado en gas de síntesis para su posterior aprovechamiento.

Los principales tipos de reactores de gasificación son:

Tabla 1. Tipos de reactores de gasificación

Reactor	Operación
Gasificadores de lecho fijo	Flujo a contracorriente (<i>updraft</i>)
	Flujo en paralelo (<i>downdraft</i>)
	Gasificadores de parrilla
Gasificadores de lecho fluidizado	Burbujeante
	Circulante
	De flujo arrastrado

Residuos más apropiados

La gasificación también tiene la restricción de poder tratar sólo algunos materiales específicos. Las características del combustible alimentado debe asegurar como mínimo que:

- Contenga el mínimo de inertes y de componentes muy húmedos.
- Tenga un tamaño de partícula comprendido entre 80 y 300 mm.
- Contenga una cantidad de carbono suficiente para poder llevarse a cabo las reacciones del proceso de gasificación.
- No contener sustancias peligrosas.
- Si puede ser, que tenga elevado PCI.

²Como referencia, el PCI del gas natural es de unos 38 MJ/Nm³

Ventajas/inconvenientes

Como principales ventajas de la valorización energética de residuos mediante gasificación, destacamos:

- La baja producción de residuos de filtrado.
- La producción de un gas de síntesis.
- La oxidación reducida de metales.

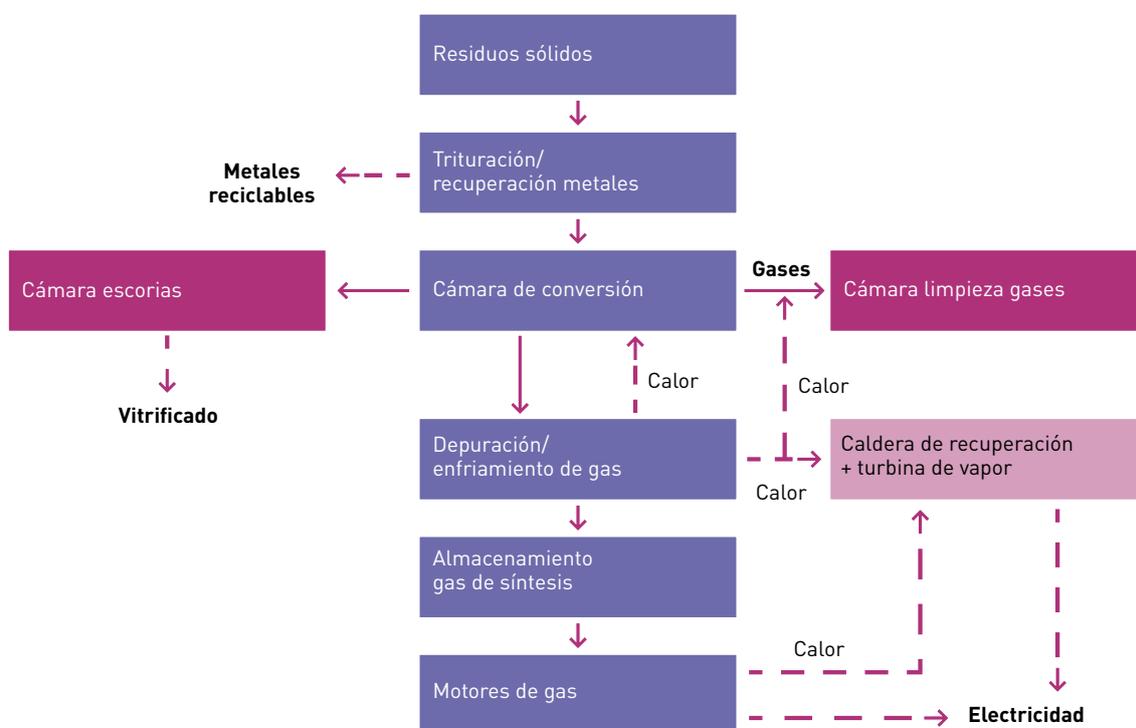
Como principales inconvenientes destacamos:

- Limitaciones de residuos tratables.
- La necesidad de un pretratamiento exigente para la reducción de inertes y de humedad.
- Requiere un buen control de la operación.
- La formación de alquitranes en el gas producido.
- La necesidad de limpieza del gas.

4.2.4 Plasma

Diagrama

Ilustración 6. Esquema proceso de gasificación por plasma.



Fuente: elaboración propia a partir de Plasco Group

Descripción

El plasma es un estado de la materia, formado a partir de un gas sometido a altas temperaturas y en el cual prácticamente todos los átomos han sido ionizados. El resultado es un fluido formado por una mezcla de electrones, iones y partículas neutras libres, siendo en conjunto eléctricamente neutro, pero conductor de la electricidad.

Las características que definen este proceso son las siguientes:

- La generación de plasma se realiza al hacer fluir de un gas inerte a través de un campo eléctrico existente entre dos electrodos, formándose el denominado arco de plasma.
- Las temperaturas de trabajo varían entre 5.000 °C y 15.000 °C.
- En el seno del gas se producen las siguientes reacciones:
 - Disociación de átomos.
 - Pérdida de electrones de las capas externas.
 - Formación de partículas cargadas positivamente.
- El fundamento del proceso es el siguiente:
 - Si un gas se halla en las condiciones anteriores y se introduce en un campo eléctrico se generará una corriente eléctrica, formada por los electrones libres dirigiéndose al polo positivo del campo eléctrico, y las partículas positivas hacia el negativo. Esta corriente eléctrica determina una resistividad y, por tanto, una transformación en calor que depende de la intensidad eléctrica. De este modo, aumentando la intensidad del campo eléctrico se aumenta: la intensidad electrónica y catiónica, la transformación en calor y la temperatura del gas.
- Este proceso tiene como límite práctico la resistencia mecánica y térmica de los electrodos.

El plasma, como método térmico para el tratamiento de residuos, presenta tres posibilidades:

- Tratamiento de gases peligrosos, los cuales se someten a las temperaturas de trabajo, destruyendo así su estructura molecular. Un ejemplo claro, es la aplicación para la destrucción de PCBs³, dioxinas, furanos, pesticidas, etc.
- Vitrificación de residuos peligrosos, tanto para los residuos orgánicos, destruyendo su estructura molecular, como para los inorgánicos, mediante la fusión de los mismos dentro de una masa vítrea.

Después de enfriar y solidificar la masa fundida, los residuos permanecen físicamente capturados dentro de la masa vítrea, y por tanto se convierten en un sólido inerte, minimizando sus posibilidades de lixiviación.

- Gasificación por plasma, en la que se utiliza como fuente de calor la energía térmica contenida en el propio plasma a partir de la energía (normalmente eléctrica) consumida para la generación del mismo. De esta forma, se obtiene como productos finales:
 - Gas, compuesto fundamentalmente por monóxido de carbono e hidrógeno.
 - Residuo sólido, consistente en una escoria inerte generalmente vitrificada.

La gasificación por plasma, presenta ventajas respecto a la gasificación autotérmica, en cuanto a recuperación energética.

- Al trabajar a mayores temperaturas, se reduce la cantidad de carbono en escorias y la generación de alquitranes, por lo que las pérdidas energéticas en términos de PCI son menores.
- Al generarse una menor cantidad de gases, (menor cantidad de CO₂ y de N₂), la energía necesaria para las etapas de depuración y compresión del gas crudo, serán también menores.
- La utilización de combustibles complementarios, como coque, aumentaría el PCI del gas de síntesis, por su mayor facilidad de gasificación y aportación de CO.
- Al vitrificar las escorias, se produce una pérdida adicional de energía, tanto en la extracción directa de energía del reactor como por la necesidad de mantener temperaturas muy elevadas.

En cuanto a la valorización del gas de síntesis obtenido en la gasificación por plasma, se puede realizar por medio de ciclos térmicos combinados de turbina de gas y de vapor o por motores de gas. Los tecnólogos describen rendimientos teóricos de obtención de energía eléctrica, superiores al 50%, en el primer caso, y entorno al 35% en el caso de los motores de gas.

Residuos más apropiados

Como resultado de las pruebas realizadas en planta piloto, algunas fuentes aseguran que esta tecnología podría llegar a tratar una amplia variedad de los residuos, como RSU, residuos industriales, biomasa,

³PCB: Bifenilos policlorados. Son compuestos organoclorados ampliamente utilizados, principalmente como refrigerante en equipos eléctricos, como transformadores o estaciones rectificadoras. Presentan una alta toxicidad ambiental

residuos sanitarios, de desguaces de vehículos, neumáticos, CDR/CSR, plásticos, residuos especiales, etc., aunque no todos ellos están probados al mismo nivel.

A diferencia de la gasificación y la pirólisis, en esta tecnología también se incluyen, residuos con alto contenido de compuestos inorgánicos e inertes, de humedad, e incluso de valores de PCI reducidos, por la posibilidad de aportación energética externa.

Sin embargo, esta misma aportación energética es la que implica limitaciones en rentabilidad económica. Para evitar un coste excesivo se debe tratar residuos de alto PCI, de bajo contenido en volátiles, impurezas y humedad.

Así pues, se requiere un pretratamiento en el que se reduzca la cantidad de inertes y humedad, así como una homogeneización del tamaño de partícula de los residuos, tal y como se realiza en los procesos de gasificación y pirólisis.

Ventajas/inconvenientes

La gasificación por plasma de los residuos es la aplicación más novedosa de todas las presentadas. Existen dos referencias a nivel mundial de aplicación de este tipo de tecnología para el tratamiento

de los residuos: la planta de Eco-Valley, de Hitachi Metals Ltd., y la planta de Trail Road, del grupo Plasco Energy.

Estas plantas aún están en fase de pruebas y la disponibilidad de datos de explotación también es escasa para permitir establecer conclusiones sobre su eficiencia energética y su rentabilidad económica.

Sin embargo, a nivel teórico se citan las ventajas que presentaría esta tecnología:

- Reducción de la cantidad de carbono en las escorias y de la generación de alquitranes, por lo que conlleva menores pérdidas de PCI.
- Menor depuración y acondicionamiento del gas.
- Mayor rendimiento energético que en la gasificación.

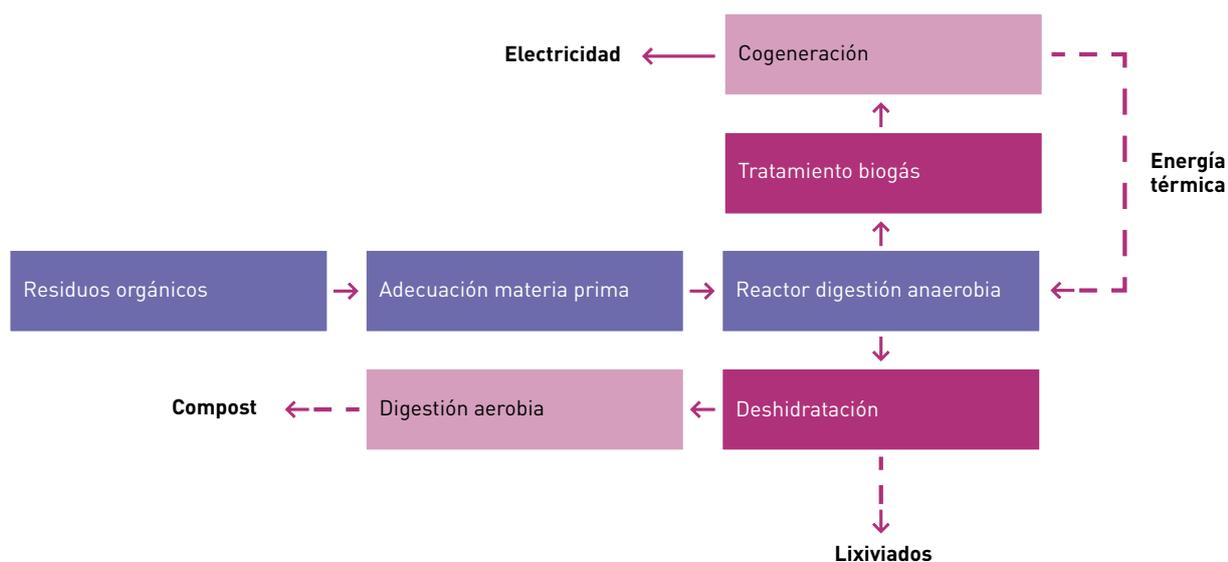
Los inconvenientes serían:

- Al vitrificar las escorias, se produce una pérdida adicional de energía, tanto en la extracción directa de energía del reactor como por la necesidad de mantener temperaturas muy elevadas.
- Es una tecnología en fase de pruebas.

4.3 TECNOLOGÍAS DE DIGESTIÓN ANAEROBIA

Diagrama

Ilustración 7. Esquema proceso de digestión anaerobia



Descripción

Para obtener más información sobre los procesos de digestión anaerobia puede consultarse el estudio específico "Situación y potencial de la generación de biogás en España".

Residuos más apropiados

La metanización es un proceso adecuado para el tratamiento y valoración de residuos agrícolas, ganaderos y urbanos, así como para la estabilización de fangos procedentes del tratamiento de aguas residuales urbanas.

La digestión anaerobia es una tecnología con una experiencia relevante, por lo que se puede considerar como una tecnología madura y que se presenta como una opción para el tratamiento de los residuos biodegradables, como pueden ser la fracción orgánica de la recogida selectiva (FORSU) o los lodos de depuradora o de origen industrial.

También se está utilizando actualmente en el tratamiento de la fracción orgánica de la fracción RESTO, aunque en este caso, el rendimiento de los digestores será menor debido principalmente al elevado contenido en impuros y a la heterogeneidad de este material. Los problemas mecánicos que estos representan hacen más complicado la operación de estos reactores.

Asimismo, esta tecnología requiere de una etapa previa de acondicionamiento del residuo, que normalmente consiste en una separación mecánica y una adecuación del tamaño de partícula para intentar evitar lo más posible los problemas mecánicos que se puedan dar (obturaciones, incrustaciones en los reactores, etc.).

También cabe la opción de realizar una co-digestión entre residuos orgánicos de diferentes orígenes como purines, lodos, y otros junto con la fracción orgánica de los RSU, para mejorar el rendimiento.

4.4 VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS MEDIANTE UTILIZACIÓN COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO EN INSTALACIONES TÉRMICAS

4.4.1 Preparación de CDR/CSR a partir de RSU

Los diferentes procesos para la preparación de CDR/CSR a partir de RSU pueden consistir en general en diversas etapas:

- Separación en origen.
- Clasificación o separación mecánica.
- Reducción de tamaño (trituración, molienda, etc.).
- Separación y cribado.
- Mezcla o blending.
- Secado térmico y pelletizado.
- Biosecado o secado biológico aerobio y afino mecánico.
- Embalaje.
- Almacenamiento.

Los Tratamientos Mecánico-Biológicos (TMB) y los procesos de biosecado producen una fracción rechazo con un elevado poder calorífico.

Por otra parte, se puede producir un combustible de mejor calidad, superior habitualmente a la del CDR/CSR, a partir de aquellas fracciones que no se puedan reciclar separadas en origen (por ejemplo de envases de cartón de bebidas o de envases de PE/PET contaminados con PVC) produciéndose lo que se denomina como PDF (*Packaging derived fuel*) o PEF (*Process engineered fuel*).

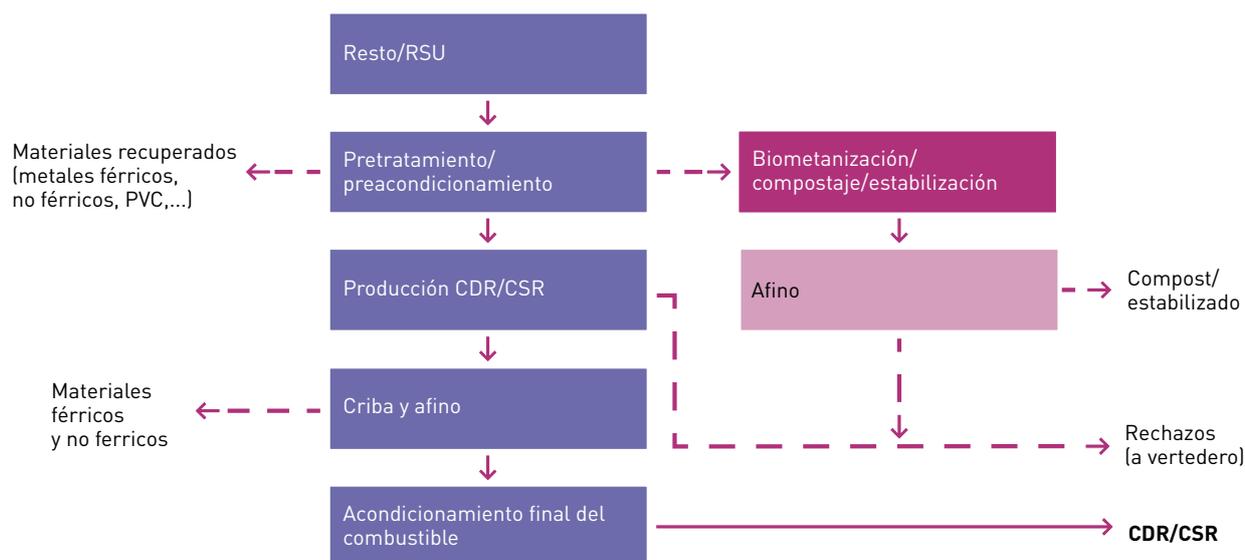
La posibilidad de producción de un CSR adaptado a la Especificación Técnica CEN/TC 343 está condicionada por las características de los residuos de partida, aunque, a diferencia de lo que sucede en la producción de CDR, la composición y variabilidad no deberían influir en la calidad de los combustibles producidos.

El tratamiento de RSU para producir CDR/CSR se lleva a cabo, generalmente, utilizando un tratamiento mecánico y/o biológico, aunque cabe señalar que no todos los tratamientos mecánico-biológicos conducen a la producción de combustibles alternativos de calidad.

Tratamiento Mecánico/Físico

Diagrama

Ilustración 8. Esquema proceso de producción de CDR/CSR mediante tratamiento mecánico



Descripción

Fundamentalmente, la preparación de CDR/CSR por procesos mecánicos/físicos se basa en la separación de las fracciones seca y húmeda de los residuos entrantes (generalmente RESTO).

Como primera etapa, el material recepcionado pasa por un proceso de preacondicionamiento (trituration y separación, clasificación, etc.), con separación de materiales recuperables, hasta obtener las características adecuadas que faciliten la posterior producción del combustible.

La fracción seca, estará constituida principalmente por materiales tales como: envases, plásticos, papel y cartón, textiles, metales férricos y no férricos. Respecto a estos últimos, serán separados del resto de materiales mediante separadores magnéticos (férricos) y de corrientes inductivas (no férricos).

Existen dos métodos principales para la producción de CDR/CSR a partir de RSU o, preferentemente, de la fracción RESTO:

- Por tratamiento mecánico/físico (en plantas TMB⁴).
- Por biosecado, seguido de una clasificación posterior (en plantas de TBM).

La fracción húmeda por su parte, será tratada biológicamente (digestión anaerobia, estabilización, compostaje, etc.) para, en su caso, la producción de biogás, y para cumplir con las condiciones de estabilización exigidas por la legislación.

Una vez separada la fracción húmeda y parte de los metales férricos y no férricos, los materiales restantes pasan por una serie de etapas de tratamiento, normalmente consistentes en la separación de materiales, trituration, o secado térmico, según el proceso seleccionado, hasta obtener una mezcla de los materiales deseados para ser utilizados como combustible.

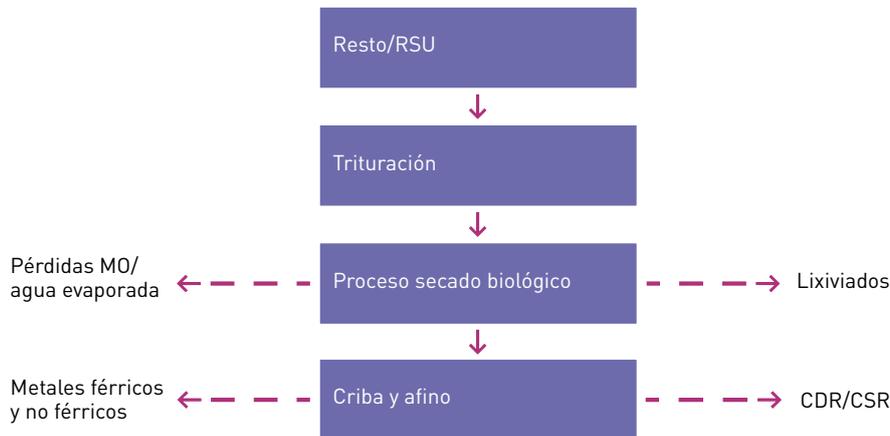
Generalmente, una posterior etapa de cribado y afino para la separación final de finos y metales (férricos y no férricos) y acondicionamiento final (granulación, peletización, briquetación, etc.) es requerida hasta obtener un combustible con las características requeridas por el usuario.

⁴El Tratamiento Biológico de la fracción orgánica separada en la etapa de pretratamiento mecánico de las plantas de TMB, que ha de ser estabilizada biológicamente, ya sea aerobia o anaerobiamente, depende del balance de costes y beneficios económicos y ambientales en cada caso y, en principio, es suficientemente independiente de la producción de CSR. Este sistema de tratamiento es el seguido, tradicionalmente, por la producción de CSR destinado a plantas de incineración

Biosecado

Diagrama

Ilustración 9. Esquema proceso de producción de CDR/CSR mediante biosecado



Descripción

El proceso de biosecado se puede dividir en las siguientes etapas principales:

1. Recepción y trituración de los residuos.
2. Biosecado.
3. Afino para la recuperación de materiales y producción de CDR/CSR.

La etapa de **recepción** consiste en la descarga de los residuos en el foso de recepción.

Su capacidad corresponde a la recepción estimada para un período de 3 días. En condiciones normales de funcionamiento, el foso de recepción contendrá los residuos recibidos durante el intervalo en el que no se realice la trituración de los mismos.

La operación de trituración se realiza durante el día bajo el control de un operario desde la sala de control, que inspecciona visualmente cada descarga y eventualmente interviene accionando manualmente la grúa puente para eliminar los residuos incompatibles con el proceso (como bombonas de gas, bloques de cemento, neumáticos, etc.).

El triturador es una máquina colocada sobre un puente móvil, que permite el llenado homogéneo del foso de almacenamiento.

La trituración se realiza a un tamaño de 200-300 mm con el objeto de homogeneizar el material para mejorar la fermentación, facilitando el contacto de la

parte orgánica de los residuos con el oxígeno del aire que pasa a través de la masa.

El **biosecado** consiste en la evaporación de parte de la humedad contenida en los residuos sólidos urbanos recibidos y triturados y en la estabilización de los mismos. La circulación de una corriente de aire forzada, a través de las pilas formadas con los residuos triturados, el calor producido en las reacciones de degradación aeróbica de la materia orgánica son los mecanismos principales del proceso.

La descomposición de los residuos produce calor y favorece la evaporación del agua contenida en el residuo.

Los residuos procedentes de la sección de trituración se trasladan mediante el puente grúa hasta la sección de biosecado, depositándose en pilas de unos 5 metros de altura. Los residuos permanecerán en pilas durante un tiempo de residencia suficiente hasta que se considera finalizado el proceso de estabilización.

El proceso de biosecado elimina una parte importante de la humedad y de los patógenos, así como una parte de la materia orgánica contenida en los residuos.

El pavimento del área de biosecado está formado por parrillas prefabricadas de hormigón, perforadas para permitir la aireación de las pilas. Se hace pasar aire a través de los orificios del pavimento de la citada zona y de la pila de residuos. Finalmente, el aire se envía hasta unos biofiltros para la depuración de olores, situados en la cubierta del edificio.

Los lixiviados producidos en la zona de biosecado se recogen mediante una serie de colectores, conduciéndolos mediante una tubería subterránea hasta el depósito de lixiviados.

La etapa de **afino** comprende la extracción de los metales férricos mediante una cinta transportadora magnética (extracción de metales férricos) y un equipo de corrientes de Foucault (extracción de aluminio y metales no férricos).

Una vez extraídos los metales, existen diversas configuraciones de preparación, en función de las características del producto final deseado. Habitualmente la mezcla se introduce en un trómel, con el objetivo de separar el rechazo y el producto final. En esta criba giratoria se separan los compuestos de granulometría superior a 10-12 cm.

Estos rechazos están compuestos por plásticos o tejidos no fragmentados y trozos gruesos de gomas, madera, vidrios, etc. La fracción fina, de diámetro medio inferior a 1-2 cm, se puede separar en un segundo trómel de cribado.

Después del cribado, el material seleccionado para formar el CDR/CSR se tritura al tamaño requerido según el destino final del citado CDR/CSR (cementeras, valorización energética, etc.), mientras que la fracción fina se trata como rechazo del proceso.

4.4.2 Utilización del CDR/CSR como combustible alternativo en aplicaciones industriales

4.4.2.1 Introducción

Sobre la utilización de los residuos como combustible alternativo en las instalaciones con uso intensivo de energía, como son las centrales térmicas, hornos industriales y, sobretodo, las cementeras, son usos perfectamente contrastados.

Por un lado, la posibilidad de poder utilizar los residuos como combustible sustitutivo en los procesos de producción y reducir así del consumo de combustibles fósiles, supone sinergias importantes tanto en la disminución del uso de recursos no renovables como en la gestión de la emisiones de gases de efecto invernadero.

Por otro lado, este uso permite la posibilidad de poder aprovechar instalaciones ya existentes.

4.4.2.2 Marco legislativo

Cuando las plantas industriales quieren utilizar cualquier tipo de residuo como combustible en sus procesos productivos, éstas deben declararse como plantas gestoras de residuos, lo que significa tener que realizar una ampliación sustancial de la Autorización Ambiental Integrada a la que están sometidas, y también les pasa a ser de aplicación la Directiva 2000/76/CE (RD 653/2003) de incineración de residuos.

Con la aplicación de esta Directiva se exigirá nuevos límites de emisión sobre algunos contaminantes que no se tenía o que eran menos restrictivos que cuando se trataba solo de una combustión.

Esta circunstancia implica a las plantas tener que implantar sistemas de mejora y control de las emisiones. Esto puede suponer tener que realizar inversiones importantes, lo que puede influenciar en la viabilidad económica de la utilización de residuos.

4.4.2.3 Parámetros técnicos

La utilización de algunos residuos como combustible en los diferentes hornos de combustión puede hacer cambiar las condiciones de proceso (condiciones de vapor, resistencia a la corrosión, etc.) y de mantenimiento de las plantas, afectando también a su eficiencia energética.

Por consiguiente, puede ser necesario realizarse modificaciones de adaptación en el proceso.

Por otro lado, a la hora de utilizar el CDR/CSR, se requiere que este cumpla con unas especificaciones de calidad relacionadas con la composición, el PCI, y nivel de contaminantes. Estas especificaciones vendrán definidas, bien por el consumidor final, o bien por los protocolos de estandarización (CEN, ISO, etc.), y deben garantizarse por parte del suministrador de forma continua y homogénea.

4.4.2.4 Viabilidad económica

Para llevarse a cabo un proyecto de utilización de residuos como combustible alternativo en instalaciones industriales, éste deberá resultar interesante tanto para el consumidor final del combustible (cementeras, centrales térmicas, industria), como para el productor del combustible.

Uno de los requisitos indispensables que debe tenerse en cuenta en la utilización de los residuos

como combustible alternativo, es la garantía de suministro. Sobre todo los residuos urbanos, al estar sujetos a un servicio público que debe garantizarse ininterrumpidamente.

Por este motivo, en algunos casos puede haber una incertidumbre en la implantación de algunos proyectos de producción de CDR/CSR, al tener que conseguirse un contrato de suministro garantizado y de un periodo suficientemente largo que permita poder rentabilizar la inversión económica que supone la construcción o adecuación de una planta de procesamiento de residuos (TMB, biosecado,...) para tal finalidad.

4.5 ANÁLISIS DE COSTES

En primer lugar, cabe comentar la dificultad al analizar los costes de las diferentes tecnologías y, sobre todo de las tecnologías con escasas referencias, y realizar una comparación entre ellos, ya que los resultados son sensibles a unos factores particulares de cada ubicación, entre otros, su tamaño, y la tipología de residuos.

El estudio se ha basado en la mayoría de los casos, en ejemplos concretos de implantación de cada tecnología y se muestran sus costes de inversión y de operación específicos en el Anexo de Estudio de Tecnologías. A partir de estos resultados, se han establecido las conclusiones que a continuación se exponen.

De todas las tecnologías de tratamiento térmico presentadas, la incineración y, concretamente, la que se basa en hornos de parrilla es la más económica de todas, sobre todo cuanto más elevadas sean las capacidades de tratamiento.

Respecto a los otros hornos, los rotativos tienen mayores costes específicos que los de parrilla, debido a la limitación de capacidad que tienen, mientras que en los de lecho fluido, la viabilidad económica de un proyecto a gran escala con este tipo de horno vendrá condicionada por los costes del pretratamiento requerido.

De las tecnologías más emergentes, el tener escasas experiencias a gran escala ha hecho que no se hayan podido desarrollar suficientemente y conseguir unos costes más competitivos. Aun no disponer de suficientes referencias contrastadas y tener que consultar otros estudios de referencia, parece que la pirólisis tendría costes más elevados que la

gasificación. De la gasificación por plasma no se ha obtenido información disponible al respecto.

En cuanto a la digestión anaerobia, cabe comentar que, si bien la inversión inicial es la menor de todas las tecnologías presentadas, el nivel de rechazos que genera es el más elevado y su gestión posterior supone un coste adicional importante (no contemplado en el análisis económico), y que dependerá del ámbito donde se encuentre la planta en concreto.

Por último, se han tratado los aspectos económicos relacionados con la producción y utilización de CDR/CSR. En general, el balance económico de una instalación de producción de este combustible vendrá definido por los siguientes conceptos:

- El ingreso que percibe la planta por tratar los residuos.
- La inversión inicial y los costes de operación, mantenimiento y amortización de la construcción o adecuación de la planta para poder producir el combustible.
- El coste del transporte del combustible hasta el consumidor final.
- La retribución que, en principio, cobrará el consumidor por aceptar este combustible.

De este modo, la producción de CDR/CSR será una opción atractiva o viable económicamente cuando el resultado de este balance económico sea más favorable que el precio de las vías de gestión alternativas en el mismo territorio donde se realiza (vertedero).

5 Situación actual en la Unión Europea y en España

5.1 UNIÓN EUROPEA

5.1.1 Valorización energética de residuos mediante incineración

5.1.1.1 Residuos Sólidos Urbanos (y asimilables)

5.1.1.1.1 Número de instalaciones

El número total de plantas incineradoras en Europa en el año 2007 era de 433⁵.

Los datos indicados son obtenidos de la organización sectorial CEWEP, la cual representa la mayoría de plantas incineradoras en Europa (88%).

Tabla 2. Plantas de incineración de residuos en los países de la Unión Europea en 2007

Países	Nº de plantas
Austria	8
Bélgica	16
Rep. Checa	3
Dinamarca	29
Finlandia	1
Francia	130
Alemania	67
Gran Bretaña	20
Hungría	1
Italia	51
Holanda	11
Noruega	20

(Continuación)

Países	Nº de plantas
Portugal	3
España	10
Suecia	30
Suiza	29
Luxemburgo	1
Polonia	1
Eslovaquia	2
Total	433

Fuente: CEWEP

⁵CEWEP. www.cewep.com

5.1.1.1.2 Cantidad de residuos tratados

Tabla 3. Cantidad de residuos tratados en incineradoras. Año 2007

Países	Residuos tratados 2007 (toneladas)	Población 2007 (promedio) hab.****	Residuos tratados por habitante (t/hab)
Austria	1.030.603	8.315.400	0,12
Bélgica	1.036.705	10.625.700	0,10
Rep. Checa	420.580	10.334.150	0,04
Dinamarca (2006)	1.006.161	5.447.100	0,18
Finlandia	*	5.263.750	0,00
Francia	11.081.692	63.572.600	0,17
Alemania	17.800.000	82.268.350	0,22
Gran Bretaña	150.000	61.001.350	0,002
Hungría	389.457	10.055.600	0,04
Italia	2.989.713	59.374.700	0,05
Holanda	5.543.469	16.381.150	0,34
Noruega	922.000	4.709.150	0,20
Portugal	1.019.484	10.608.350	0,10
España	1.792.737	44.878.950	0,04
Suecia	4.470.690	9.148.100	0,49
Suiza	3.580.000	7.550.050	0,47
Luxemburgo	100.000**	480.000	0,2
Polonia	50.000**	38.120.550	0,001
Eslovaquia	200.000***	5.397.300	0,04
Total	53.583.291	453.532.300	0,12

*Entrada en funcionamiento de la planta Ekokem, de 150.000 t/año a principios de 2008.

**Aproximación.

***Incluye coincineración en hornos de cemento.

****Población promedio 2007, en base a Eurostat.

Fuente: CEWEP

En Europa, la cantidad de residuos que son tratados por la incineración y utilizados para la producción de energía está creciendo constantemente. De todos modos, tal y como se puede apreciar en la tabla anterior, la cantidad de residuos incinerados es muy dispar entre los distintos países europeos: mientras que algunos de ellos practican la incineración a gran escala y la promueven con sus políticas de gestión y tratamiento de residuos, como es el caso de Alemania, Suecia, Suiza, Holanda, etc., otros países utilizan mayoritariamente los vertederos como destino de los

rechazos, como es el caso de Finlandia, Gran Bretaña u otros países como Grecia o Irlanda, que no practican la incineración. En global, el vertido de residuos en depósitos controlados es aún la opción predominante para la gestión de los residuos en Europa.

5.1.1.1.3 Energía exportada/vendida

Todas las plantas aprovechan el calor de combustión, y lo convierten en vapor y/o agua caliente. Normalmente el calor se usa para generar electricidad, en cambio, el agua caliente se utiliza para calefacción urbana.

Tabla 4. Energía vendida por las incineradoras (año 2006)

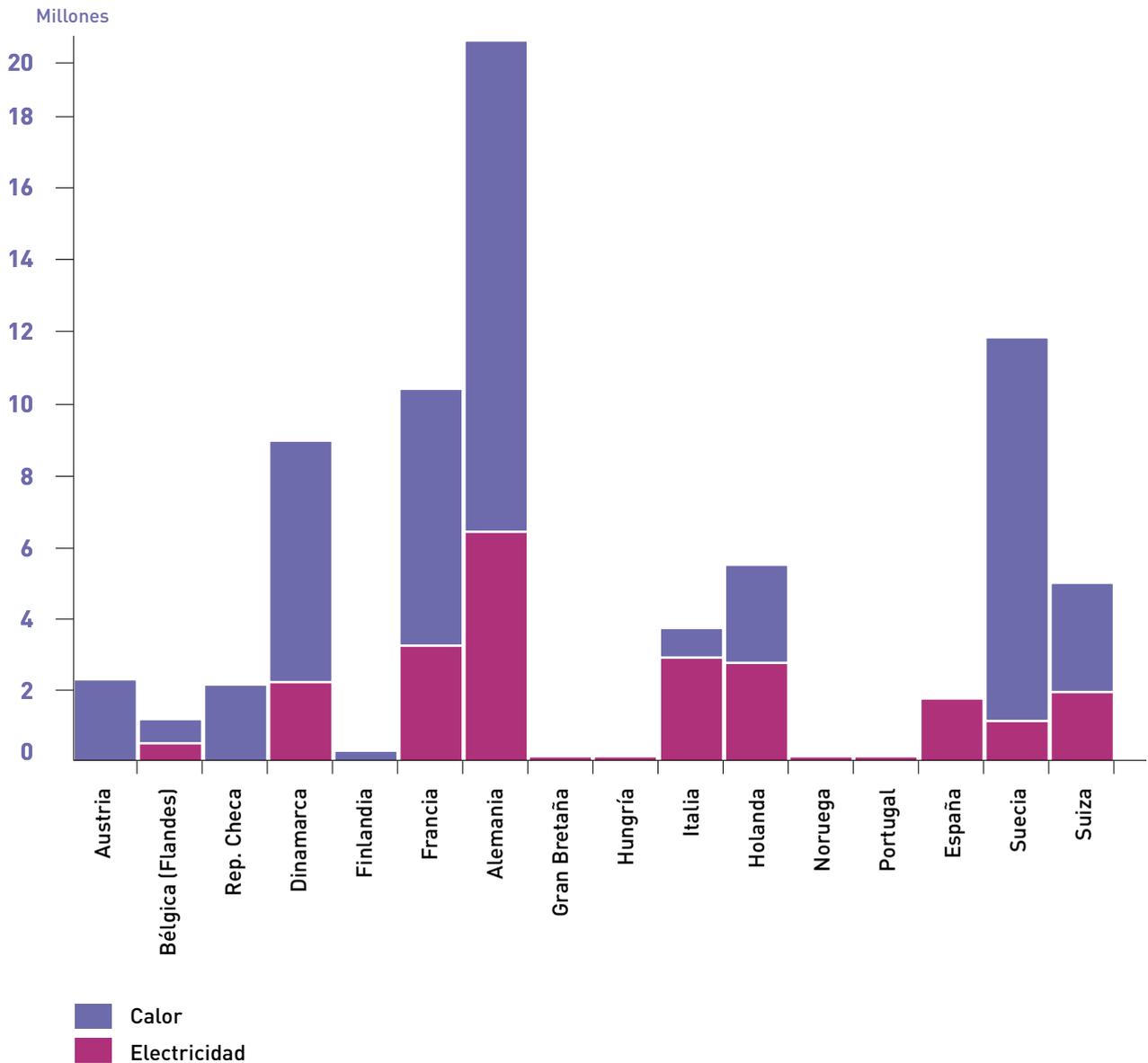
Países	Energía producida		
	Año referencia	Electricidad (MWh/año)	Calor (MWh/año)(*)
Austria	2005	189.000	2.094.000
Bélgica (Flandes)	2006	480.000	620.000
Rep. Checa	2006	40.000	1.926.000
Dinamarca	2006	1.927.500	6.818.889
Finlandia	2006	-	97.000
Francia	2006	3.060.000	7.490.000
Alemania	2006	6.300.000	13.700.000
Gran Bretaña	-	No info.	No info.
Hungría	-	No info.	No info.
Italia	2006	2.900.000	700.000
Holanda	2006	2.760.000	2.488.000(**)
Noruega	-	No info.	No info.
Portugal	-	No info.	No info.
España	2007	1.606.191	
Suecia	2006 ó 2007	1.200.000	10.300.000
Suiza	2006	1.824.000	3.072.000

(*) Incluye calor, frío y vapor.

(**) Energía exportada.

Fuente: CEWEP

Ilustración 10. Electricidad y calor vendido en 2006 por las plantas incineradoras



Como se puede observar en el gráfico anterior, las dos formas de recuperación de calor indicadas; calor y electricidad, no son utilizadas de manera equitativa en toda Europa. Mientras que países del norte (Dinamarca, Suecia) y otros como Alemania y Francia,

exportan la energía preferiblemente en forma de calor, debido a que tienen implantados sistemas de calefacción urbana (*district heating*), los países con poca demanda de calor como son los países del sur de Europa, se dedican a la venta de electricidad.

5.1.1.1.4 Residuos generados por estas instalaciones

La siguiente tabla contiene datos sobre las escorias y cenizas generadas por las plantas incineradoras:

Tabla 5. Residuos provenientes de las incineradoras

Países	Residuos producidos		
	Año referencia	Escorias/Cenizas (t/año)	Residuos tratamientos gases (incl. cenizas filtro de mangas) (t/año)
Austria	2004	380.000	340.000
Bélgica (Flandes)	2006	325.000	100.000
Rep. Checa	2006	101.249	10.489
Dinamarca	2006	498.000	90.000
Finlandia	2006	9.500	3.100
Francia	2002	3.000.000	317.000
Alemania	2006	4.350.000	720.000
Gran Bretaña		No info.	No info.
Hungría		No info.	No info.
Italia		No info.	No info.
Holanda	2006	1.200.000	150.000
Noruega		No info.	No info.
Portugal		No info.	No info.
España	2005/7	358.419 (2007)	94.420 (2005)
Suecia	2006/7	600.000	180.000
Suiza	2004	675.000	70.000

Fuente: CEWEP

(Continuación)

5.1.1.2 Residuos Industriales No Peligrosos (RINP)

En el presente capítulo se incluyen los datos obtenidos del Eurostat (edición 2005) sobre los residuos industriales no peligrosos (RINP) producidos por los distintos sectores industriales europeos para los años 2002 y 2003. Los sectores considerados, según la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE), son:

Tabla 6. Sectores industriales considerados, según su código CNAE

Sector	Código CNAE Rev. 1.1.
Industria de productos alimenticios y bebidas e industria del tabaco	15 - 16
Industria textil e industria de la confección y de la peletería	17 - 18
Preparación, curtido y acabado del cuero; fabricación de artículos de marroquinería y viaje; artículos de guarnicionería talabartería y zapatería	19
Industria de la madera y del corcho, excepto muebles; cestería y espartería	20
Industria del papel	21
Edición, artes gráficas y reproducción de soportes grabados	22
Coquerías, refino de petróleo y tratamiento de combustibles nucleares	23
Industria química	24
Fabricación de productos de caucho y materias plásticas	25
Fabricación de otros productos minerales no metálicos	26
Metalurgia	27

Sector	Código CNAE Rev. 1.1.
Fabricación de productos metálicos, maquinaria y equipo, material eléctrico y electrónico, ópticos y materiales de transporte	28 - 35
Fabricación de muebles; otras industrias manufactureras y reciclaje	36 - 37

De los sectores industriales presentados, los que producen más residuos en Europa son: la industria metalúrgica (CNAE 27), la industria de productos alimenticios y bebidas y del tabaco (15 y 16), el sector de fabricación de productos minerales no metálicos (26) y la industria maderera (20).

Cabe destacar algunos casos particulares como son: Suecia, donde la industria papelera tiene un peso específico muy importante; o Finlandia, donde la industria maderera y del papel son predominantes en la generación de residuos, aunque los valores indicados para el año 2002 de este país no incluyen estos residuos, al no disponerse de la información correspondiente.

Según la fuente consultada, en 2002, la generación de residuos de la industria en la mayoría de países europeos estaba entre los 300 y los 1.500 kg/habitante (promedio UE 25: 944 kg/habitante). En los casos de Finlandia y Suecia este ratio estaba en valores superiores a los 2.000 kg/hab.

La siguiente tabla presenta los datos disponibles sobre la generación de los residuos industriales no peligrosos de los diferentes países europeos, así como el tipo de tratamiento recibido.

Tabla 7. Generación y tratamiento de los Residuos Industriales No Peligrosos en los países europeos (en miles de toneladas)

País	Año	RINP generados (t x 10 ³)	Reciclaje (t x 10 ³)	Incineración con rec. energética (t x 10 ³)	Incineración sin rec. energética (t x 10 ³)	Vertedero -Total- (t x 10 ³)	del cual es controlado (t x 10 ³)
Bélgica	-	-	-	-	-	-	-
República Checa	2003	7.233	1.571	129	5	927	-
Dinamarca	2003	1.617	1.094	255	-	268	268
Alemania	2002	42.218 ⁽¹⁾	-	-	-	-	-
Estonia	-	-	-	-	-	-	-
Grecia	-	-	-	-	-	-	-
España	-	-	-	-	-	-	-
Francia	1999	-	-	3.415 ⁽²⁾	95	3.879 ⁽²⁾	-
Irlanda	2001	5.120	-	127	2	-	-
Italia	2001	34.620	30.733	2.042	413 ⁽³⁾	21.073	21.073
Chipre	-	-	-	-	-	-	-
Letonia	2003	373	38	14	0	273	-
Lituania	2003	-	437	234	0	2.290	-
Luxemburgo	-	-	-	-	-	-	-
Hungría	2000	2.605	1.832	149	0	-	345
Malta	2003	25	0	0	0	28	28
Holanda	2003	17.730 ⁽⁴⁾	14.878	1.458 ⁽⁵⁾	-	1.167	-
Austria	1999	43.100	-	-	-	-	-
Polonia	2003	57.122	-	-	367	9.309	9.309
Portugal	2002	8.806 ^{(6) (7)}	2.692	928 ⁽⁶⁾	38 ⁽⁶⁾	1.882 ⁽⁶⁾	-
Eslovenia	2002	1.605 ⁽⁸⁾	-	-	-	-	-
Eslovaquia	2002	5.484	1.736	251	298	3.207	3.207
Finlandia	2002	12.318	2.575	5.051	2	4.664	4.664

(Continuación)

País	Año	RINP generados (t x 10 ³)	Reciclaje (t x 10 ³)	Incineración con rec. energética (t x 10 ³)	Incineración sin rec. energética (t x 10 ³)	Vertedero -Total- (t x 10 ³)	del cual es controlado (t x 10 ³)
Suecia	2002	18.014 ⁽⁹⁾	8.043 ⁽⁹⁾	7.181 ⁽⁹⁾	18 ⁽⁹⁾	1.784 ⁽⁹⁾	1.784 ⁽⁹⁾
Reino Unido	1998	38.297	17.892	555	139	15.578	-
Bulgaria	2003	3.153 ⁽¹⁰⁾	475	-	37	83.375	-
Croacia	2002	1.840	-	121	57	1.439	-
Rumanía	2002	10.897	2.859	410	-	7.628	509
Turquía	2000	14.433	-	4	-	3.472	23
Islandia	2003	48 ⁽¹¹⁾	-	0	-	13	-
Noruega	2003	2.931	-	-	-	-	-
Suiza	2002	4.900 ⁽¹²⁾	-	-	-	-	80

⁽¹⁾Su gestión era vertedero junto a los residuos peligrosos.

⁽²⁾Los datos son referidos a establecimientos con más de 10 trabajadores.

⁽³⁾Incluye la incineración con y sin recuperación energética.

⁽⁴⁾A partir del 2000 se incluyen en este concepto los residuos vendidos como subproducto, los cuales son todos ellos reutilizados.

⁽⁵⁾Incluye la incineración sin recuperación energética.

⁽⁶⁾Referidos a las cantidades generadas en la industria manufacturera solamente (por ejemplo, RINP y RI sin código CER específico).

⁽⁷⁾Incluye los RINP y los RI sin código CER específico, y también 597.536 toneladas de residuos industriales para los que no les es conocido el tipo de tratamiento ni deposición realizados.

⁽⁸⁾Incluye también residuos municipales (CER grupo 20) que fueron generados en las industrias.

⁽⁹⁾No incluye los residuos de la industria del reciclaje.

⁽¹⁰⁾Información de acuerdo con la nueva clasificación del Código Europeo de Residuos.

⁽¹¹⁾Referido a residuos de matadero y residuos de la industria pesquera.

⁽¹²⁾Incluye los RSU de recogida municipal y los asimilables, enviados directamente a las instalaciones de tratamiento finalista.

Fuente: Eurostat

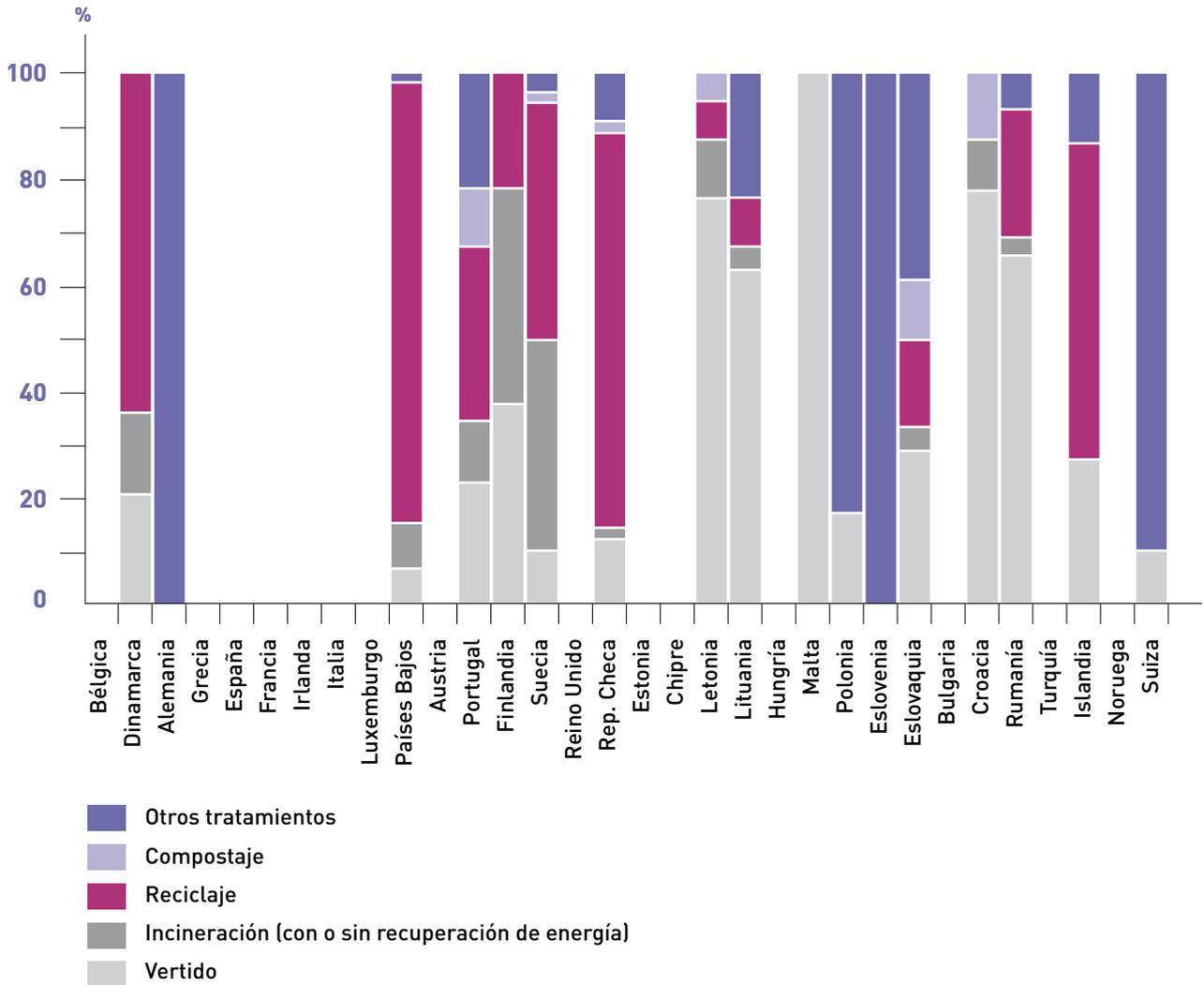
De la información anterior, es difícil hacer un comparativo entre países al no disponer de los valores de todos para el mismo año.

De todos modos, en el gráfico siguiente, extraído de Eurostat⁶, se ha ilustrado como fueron gestionados los RINP en algunos países europeos en el año 2002.

Se distingue como operaciones de gestión, el depósito en vertedero, la incineración (con y sin recuperación energética), el reciclaje y el compostaje. Solo se ha podido comparar los países de los que se disponía datos para este año.

⁶Waste generated and treated in Europe. Data 1995-2003. Eurostat 2005

Ilustración 11. Tratamiento de los Residuos Industriales No Peligrosos en Europa, en 2002 (%)



Fuente: Eurostat

De este gráfico, se puede concluir que el nivel más bajo de vertedero para este tipo de residuos se encuentra en Holanda, Suecia y Suiza. Además, cabe destacar los elevados niveles de reciclaje (>60%) logrados en Holanda, Dinamarca y la República Checa.

5.1.1.3 Residuos Peligrosos (RP)

En la tabla siguiente, se indica para los diferentes países de Europa la gestión adoptada para los Residuos Peligrosos según si se trata de operaciones de valorización o de disposición finalista.

Es necesario clarificar que esa información no es exacta, ni completa y además es difícil de interpretar. Algunas veces, es necesario tener en cuenta otro tipo de información para entender los resultados mostrados. Por ejemplo, en el caso de Luxemburgo no existen vertederos ni incineradoras para los residuos peligrosos, ya que estos son exportados a otros países.

Los valores presentados son en miles de toneladas para el año indicado.

Tabla 8. Generación y tratamiento de los Residuos Peligrosos en los diferentes países europeos (en miles de toneladas)

País	Año	Total generado	Operaciones de valorización					Tratamientos finalistas							
			Total	Incineración con rec. energ.	Reciclaje, compostaje, etc.	Otras oper. de valorización	Actividades de preparación	Total	Tratamiento físico/químico	Tratamiento biológico	Incineración sin rec. energética	Vertedero y otros tipos de deposición en el suelo	Almacén. en tanques de agua	Almacenamiento permanente	Actividades de preparación
Bélgica	1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rep. Checa	2003	1.219 ⁽¹⁾	392	38	194	36	124	751	242	185	38	200	-	1	85
Dinamarca	2003	416	201	98 ⁽²⁾	103	-	-	216	-	-	-	216	-	-	-
Alemania	2002	19.636	5.056	297	-	4.759	-	14.580	2.865	-	1.875	5.545	-	-	4.295
Estonia	2003	7.540	492	53	376	62	0	6.919	50	-	0	6.868	-	-	0
Grecia	2003	354	-	-	60 ⁽³⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
España	2002	3.223	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Francia	2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Irlanda	2001	492	317	33	248	23	10	126	19	3	64	35	0	-	-
Italia	2001	4.235	1.853	140	1.059	75	578	3.293	1.399	486	456	-	-	-	952
Chipre	2001	84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Letonia	2003	26 ⁽⁴⁾	54	14	6	31	3	41	0	-	0	41	-	-	0
Lituania	2003	142	79	1	-	79	-	4	-	-	4	0	-	-	-
Lux.	2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hungría	2000	951	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Malta	2003	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Holanda	2002	2.160	555	241	4	311	-	1.605	78	-	215	593	739	-	-
Austria	1999	972	-	110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Polonia	2003	1.339	525	-	-	-	43	814	-	-	-	254	-	-	-
Portugal	2002	205 ⁽⁵⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eslovenia	2002	63	44	4	37	3	0	31	6	-	13	11	-	-	2
Eslovaquia	2002	1.441	230	16	194	18	3	1.148	449	469	61	135	-	-	34
Finlandia	2002	1.312	324	118	82	-	124	988	-	-	77	911 ⁽⁶⁾	-	-	-
Suecia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(Continuación)

País	Año	Total generado	Operaciones de valorización					Tratamientos finalistas							
			Total	Incineración con rec. energ.	Reciclaje, compostaje, etc.	Otras oper. de valorización	Actividades de preparación	Total	Tratamiento físico/químico	Tratamiento biológico	Incineración sin rec. energética	Vertedero y otros tipos de deposición en el suelo	Almacen. en tanques de agua	Almacenamiento permanente	Actividades de preparación
R. Unido	2002	5.059	1.163	129	1.034	-	-	3.896	1.330 ⁽⁷⁾	-	95	1.986	-	12	473 ⁽⁸⁾
Bulgaria	2003	626	231	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Croacia	2002	27	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rumanía	2002	2.523 ⁽⁹⁾	294	24	131	27	113	2.228	-	-	58	2.055	-	94	22
Turquía	2002	64 ⁽¹⁰⁾	9 ⁽¹⁰⁾	9 ⁽¹⁰⁾	-	-	-	55 ⁽¹⁰⁾	-	-	0 ⁽¹⁰⁾	55 ⁽¹⁰⁾	-	-	-
Islandia	2003	7 ⁽¹¹⁾	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Noruega	2003	794	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Suiza	2002	1.112 ⁽¹²⁾	78	-	-	-	-	926	245	-	415	266	-	-	-

⁽¹⁾Incluye residuos municipales peligrosos.

⁽²⁾Incluye un tratamiento de separación especial. También incluye los residuos hospitalarios.

⁽³⁾Incluye aceites minerales y sintéticos y baterías.

⁽⁴⁾El cambio de clasificación de los residuos respecto al año anterior es lo que produce la desviación en los valores presentados.

⁽⁵⁾La información recogida incluye cantidades de residuos peligrosos obtenida de los mapas de residuos industriales en el territorio, para distintos sectores industriales y para otros sectores. También incluye los residuos hospitalarios (18.093 toneladas).

⁽⁶⁾Incluye el almacenamiento de residuos dentro del suelo (minas, etc.).

⁽⁷⁾Incluye el tratamiento biológico.

⁽⁸⁾Referido a transferencias temporales.

⁽⁹⁾De acuerdo con la lista de residuos peligrosos.

⁽¹⁰⁾Representa los residuos hospitalarios recogidos selectivamente en Turquía.

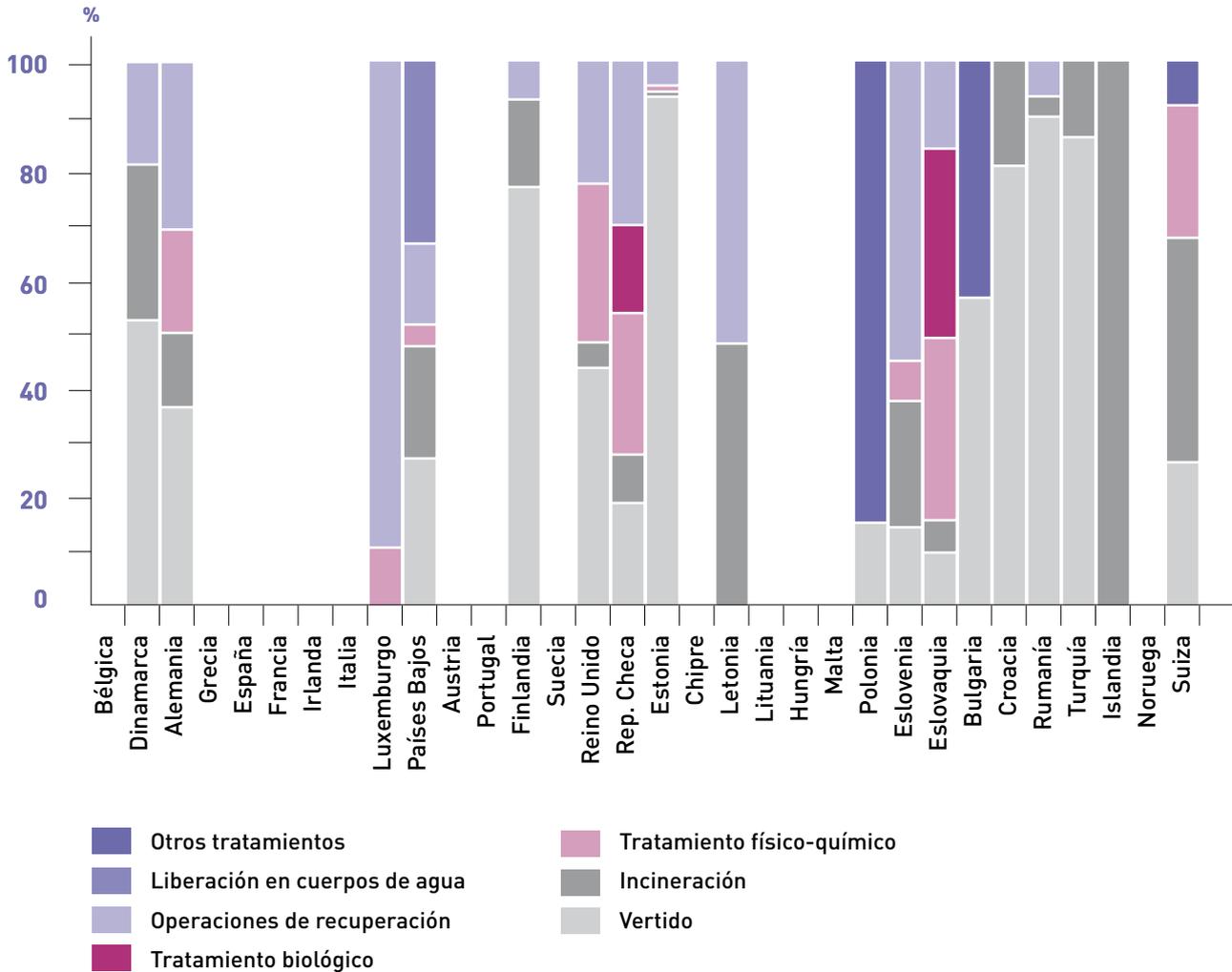
⁽¹¹⁾De acuerdo con la convención de Basel sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación.

⁽¹²⁾De acuerdo con la clasificación nacional.

Fuente: Eurostat

A modo de referencia, el siguiente gráfico representa cómo se realizó la gestión de los Residuos Peligrosos en los distintos países europeos en el año 2002.

Ilustración 12. Tratamiento de los Residuos Peligrosos en Europa, en 2002 (%)



Fuente: Eurostat

El gráfico anterior da una idea general de cómo es la gestión de este tipo de residuos en Europa, indicando, por ejemplo, que la incineración varía entre el 0 y el 50%, o que el porcentaje de vertedero tiene un rango mucho más amplio, entre un 10% y más del 90% aproximadamente, según el caso.

5.1.2 Producción y utilización de CDR/CSR como combustible

5.1.2.1 Introducción

En Europa, las políticas de gestión de residuos implantadas en los últimos años han tenido, entre

otros, un objetivo principal común: la reducción del depósito de la fracción biodegradable de los residuos directamente en vertederos. Esta situación ha influenciado en algunas plantas de tratamiento de residuos a desarrollar un combustible a partir de los residuos procesados y evitar enviarlos a vertederos. En algunos Estados miembros, los sistemas de [elevadas] tasas aplicados al vertedero han reforzado aún más la producción de CDR/CSR.

Esos combustibles, con un porcentaje que puede alcanzar un contenido del 50-60% en material biodegradable, pueden contribuir considerablemente a la reducción de emisiones de CO₂ al considerarse la parte biodegradable como fuente de energía renovable. Además de este motivo, con la liberalización

del mercado energético y la necesidad creciente de reducir costes de producción, la industria y el sector energético están cada vez más interesados en la posibilidad de utilización de un combustible sustitutivo más económico y con unas calidades específicas y homogéneas. Actualmente, la industria cementera es el principal consumidor final de este combustible.

Hay que comentar que, aunque la expresión de "Combustible Derivado de Residuo" se utiliza en todos los Estados miembros que aprovechan los residuos como combustible, su significado varía de forma importante en cada país ya que el tipo de residuos de origen utilizados, los procesos de producción y la calidad final requerida para el CDR/CSR producido son distintos según el caso. Por ejemplo, mientras que en algunos países el CDR/CSR se produce de algunos flujos de residuos muy concretos y definidos, en otros es obtenido a partir del procesado de los RSU directamente. Además, el concepto y la finalidad de las plantas de tratamiento (mecánico-biológico) de residuos con producción de CDR/CSR también son entendidas de forma diferente en algunos casos.

5.1.2.2 Producción de CDR/CSR

De forma general, podemos diferenciar entre los países como Austria, Finlandia, Alemania, Italia y Holanda, donde la producción y utilización de CDR/CSR está muy implantada, y otros países como Bélgica o el Reino Unido, donde la producción de CDR/CSR está en fase de desarrollo.

Las características diferenciadoras de cada país en la producción de CDR/CSR son las siguientes:

- En Finlandia, el CDR/CSR es producido a partir de residuos domésticos de recogida selectiva, residuos comerciales, residuos de la industria y de la construcción y de demolición.
- En Holanda, el CDR/CSR es principalmente producido a partir de la fracción papel recogida segregadamente y de plástico de residuos domésticos. También está extendida la utilización de lodos de depuradora, disolventes y harinas cárnicas.
- En Austria, Alemania e Italia, el CDR/CSR es mayoritariamente producido en plantas de TMB de diferentes flujos residuales (RSU, residuos de madera, residuos comerciales, residuos industriales, lodos de depuradoras, etc.).
- En Alemania e Italia, además de las plantas de TMB también existen las plantas de biosecado (ver Estudio de tecnologías) basadas en la bioestabilización de los residuos.

- En el Reino Unido, el CDR/CSR es producido o bien por el procesado mecánico de RSU o de las fracciones secas de fracciones recicladas que no pueden ser reprocesadas por las empresas recuperadoras. También se puede encontrar algunas plantas de biosecado.
- En el caso de Francia y Dinamarca se producía CDR/CSR a partir de RSU en el pasado, pero su producción fue interrumpida por razones económicas.

La tabla siguiente indica la producción estimada de cada país y su uso final en el año 2005 (según información disponible):

Tabla 9. Producción estimada de CDR/CSR en los diferentes Estados miembros de la UE, en 2005, y su uso final

Estimación producción CDR/CSR (2005)	Nº de plantas prod. CDR/CSR	Prod. CDR/CSR (kt/a)	Uso en plantas de cemento (kt/a)	Uso en centrales de carbón (kt/a)	Uso en plantas de cogeneración (kt/a)	Uso en incinerad. de RSU (kt/a)	Uso en altos hornos (ind. siderúrgica) (kt/a)	Export. (kt/a)
Austria	13	680	150	0	510	20	220	80-100
Bélgica	5	100	100					
Dinamarca	1	12						0
Finlandia	21	300			300			0
Francia	0	0	50					-50
Alemania (2005)	>30	1.800	1.340	300	200			50-100
Alemania (2006)	>35	2.400	1.500	600	300			50-100
Grecia	9	200	200					0
Italia	49	1.000	180	50	40	400		0
Holanda	8	300-400	0	0	0	0	0	300-400
Portugal	3							0
España	0	0						0
Suecia	12	⁽¹⁾			1.300			
Reino Unido	4 ⁽²⁾	100	100					0
Total	>155	4.000-5.000	3.620	950	2.650	420	220	

⁽¹⁾No hay datos de producción de CDR/CSR en Suecia debido a que este combustible es utilizado en plantas de producción eléctrica y de calor convencionales y también en plantas incineradoras, sin exigencia de especificaciones detalladas del combustible.

⁽²⁾Datos más recientes (RPS 2009) indican que la cantidad actual de plantas de producción de CDR/CSR en operación es de 10 instalaciones.

Nota: En la tabla anterior, el CDR/CSR comprende las siguientes fracciones: combustible de las fracciones con alto poder calorífico del RSU en masa, mezcla de residuos comerciales y de residuos específicos. Los CDR/CSR de residuos de madera, neumáticos y lodos de depuradora están excluidos en los datos mostrados.

Fuente: European Recovered Fuel Organisation (ERFO)

Ilustración 13. Producción de CDR/CSR en los países de la UE, 2005

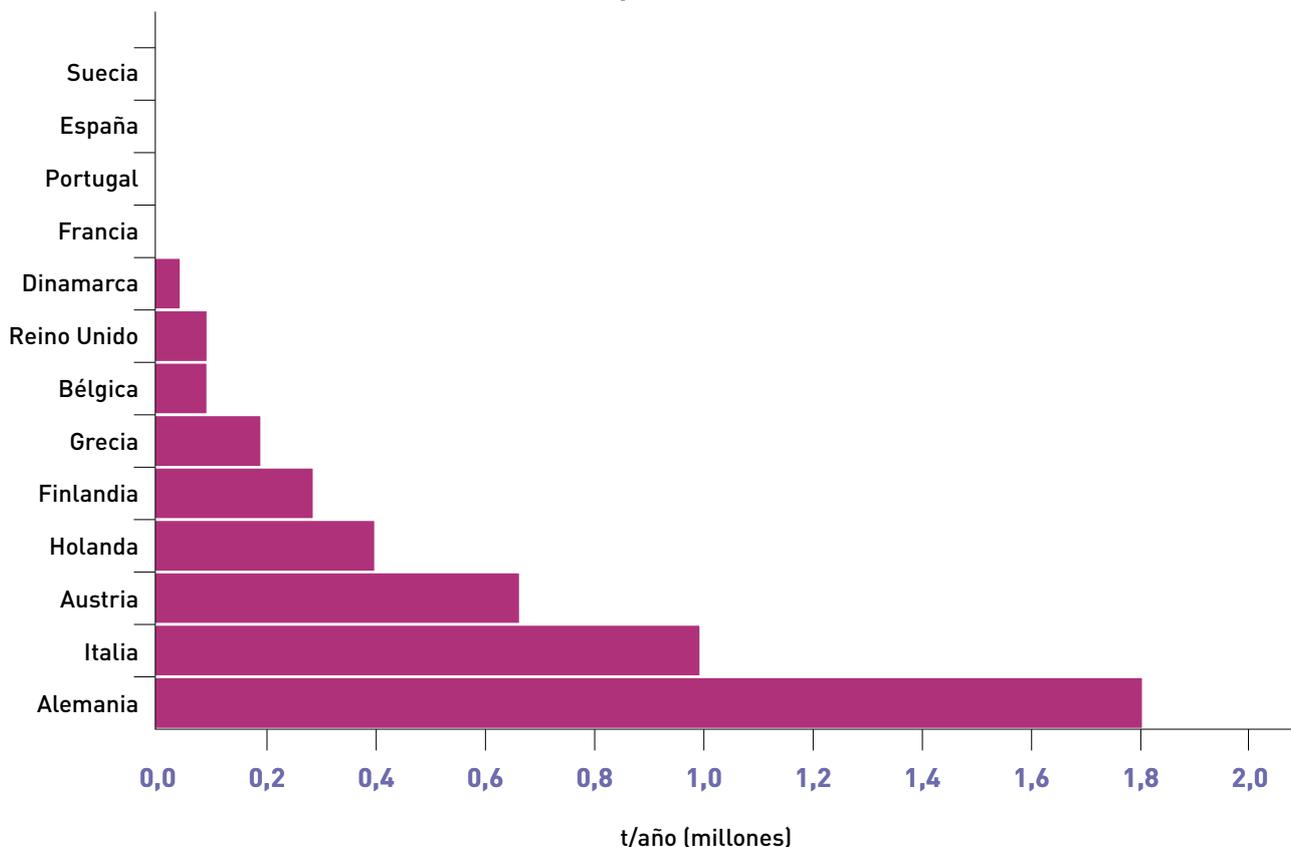
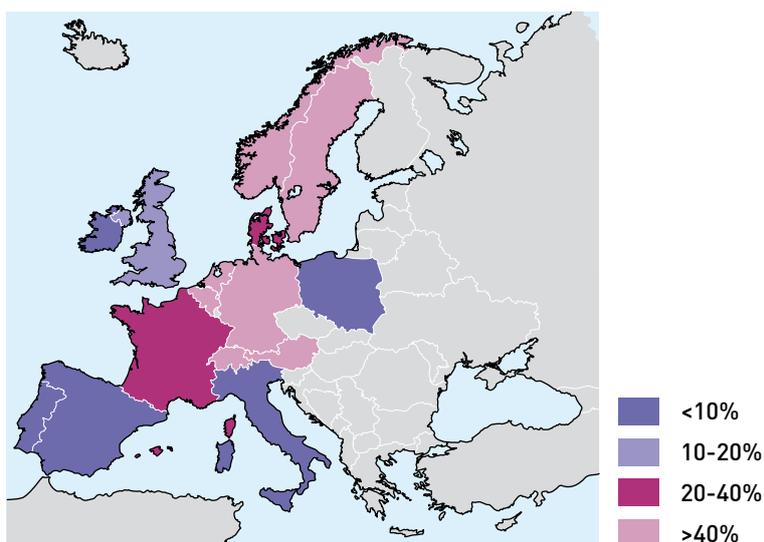


Ilustración 14. Uso de residuos en cementeras en la UE (% de sustitución térmica). Datos de 2002 a 2005



Fuente: OFICEMEN

Tabla 10. Tipos de combustibles de residuos coincinerados en Europa

Combustible de residuos	Austria	Bélgica	Dinamarca	Finlandia	Francia	Alemania	Grecia	Irlanda	Italia	Luxemburgo	Holanda	Polonia	España	Suecia	Reino Unido
Neumáticos	1	1		1	1	1				1		1	1	(1)	1
Disolventes	1	1			1	1					1,2		1	1	1
Plásticos	1	1	1			1,3					1			1	(1)
Residuos de automóviles		1	2												
Papel/cartón	1	1	1,3			1					1				(1),(2)
Residuos animales*	1,2	1,2	2		1				1		1,2				(2)
Aceites usados	1	1	(2)		1	1						(2)	1		1,2
Serrín	3	1				3					1,2				
Madera	2		1	2	2	1					2		1,3	2	2
Lodos papel	1,3					3					1,2				
Lodos depuradora		1,(2)	1			(2)					1,2		(3)		1
Paja	3														(2)
Textiles		1	1			1									
Otros	2,3		2,3		2	1,2,3					1,2				1

*Huesos, grasas animales o estiércoles.

1 Industria cementera.

2 Plantas de producción de energía.

3 Otros sectores industriales (por ejemplo, siderúrgica, cerámicas, etc.).

a) Los datos entre paréntesis corresponden a planificaciones o utilización no confirmada.

Fuente: Comisión Europea

5.2 ESPAÑA

5.2.1 Residuos Sólidos Urbanos y asimilables

5.2.1.1 Situación actual

Si comparamos su cantidad generada, podemos decir que de todos los flujos de residuos identificados y analizados en este estudio, los RSU son los mayoritarios, por lo que representan el potencial energético más elevado con respecto al potencial energético de los residuos industriales.

Los últimos resultados estadísticos disponibles sobre estos residuos indican que en los últimos años su generación se ha incrementado de forma importante. Por ejemplo, en el periodo de 2000-2007 se produjo un incremento superior al 40%.

Los datos presentados en este capítulo referidos a la generación actual y prevista de los RSU y sus

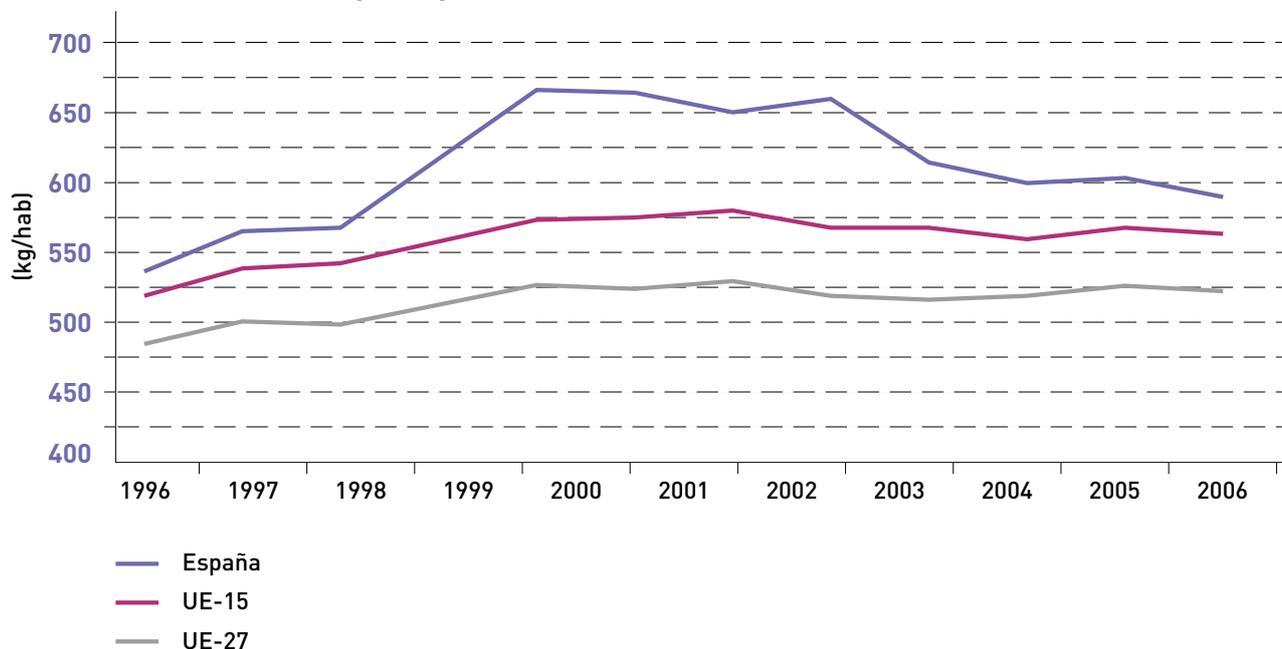
fracciones en el horizonte temporal fijado, se han obtenido utilizando principalmente los documentos oficiales o borradores de Planes Autonómicos de Residuos y de Infraestructuras, el Plan Nacional Integral de Residuos PNIR 2008-2015 del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y estadísticas publicadas por las Consejerías de Medio Ambiente de algunas comunidades autónomas.

Hay que destacar, sin embargo, que los datos que se publican en la bibliografía de referencia no son completamente contrastables ni homogéneos para dar una visión precisa de la situación de los residuos urbanos en España, lo que dificulta la tarea de medir y estimar adecuadamente la generación. Por ello, el estudio de la evolución de los RSU y sus fracciones está basado en estimaciones, siguiendo los criterios que se han considerado más razonables.

5.2.1.2 Generación de RSU

En la siguiente ilustración se muestra la evolución de la generación per cápita de los RSU en España durante los últimos años, publicada por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM):

Ilustración 15. Generación per cápita de residuos urbanos (1996-2007)



Fuente: MARM 2008⁷

⁷MARM: Perfil ambiental de España 2008. Informe basado en indicadores.

http://www.mma.es/secciones/calidad_contaminacion/indicadores_ambientales/perfil_ambiental_2008/index.htm

⁸"Encuestas de recogida y tratamiento de residuos"

Los datos de generación de RSU ilustrados para España son en base a las cifras ofrecidas por el INE⁸, que es la fuente de información empleada por Eurostat. Por otro lado, el MARM también elabora información propia sobre este indicador, presentando algunas diferencias en los resultados. Esto es debido a las diferencias en la metodología de estimación, elaboración de la información, o en los criterios de agregación de los residuos.

La tendencia en la generación total de residuos urbanos en España ha sido de constante aumento en las últimas décadas, como consecuencia del crecimiento económico y del incremento de la población española.

Sin embargo, tal y como se pone de manifiesto en la gráfica anterior, a partir de 2003 se produjo un descenso significativo de la cantidad de residuos urbanos generados por habitante. Como resultado, con la evolución de la población en el mismo periodo, la generación en términos absolutos ha experimentado un crecimiento a un ritmo menos acelerado.

Actualmente, en España la tasa media generación se sitúa alrededor de los 550 kg/hab (1,5 kg/hab/día aproximadamente), lo que significa con la población actual, una generación en términos absolutos del orden de 26 millones de toneladas anuales (en 2007, se recogieron unas 25.584.000 toneladas).

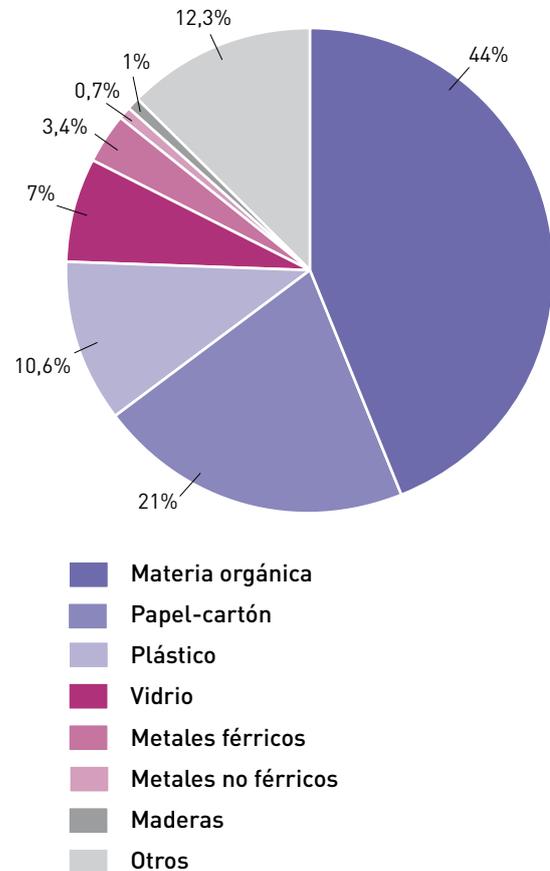
5.2.1.3 Tipología de residuos generados. Composición de los RSU

Dentro del territorio español, la composición de los RSU puede variar significativamente según la CCAA o territorio en el que nos encontramos. Entre otros, los factores que pueden hacer cambiar el porcentaje de cada fracción son:

- Las características de la población, según se trate de zonas rurales o núcleos urbanos, zonas residenciales o de servicios, etc.
- La estacionalidad en su generación.
- El nivel de vida de la población.
- Otros.

No obstante, dentro de su heterogeneidad, se puede establecer tal como lo hace el PNIR 2008-2015, una composición media nacional:

Ilustración 16. Composición media de los RSU en España



Fuente: elaboración propia a partir de PNIR 2008-2015

En base a esta caracterización, se ha agrupado en este estudio los distintos materiales indicados en fracciones principales según se realiza su recogida selectiva, tal y como se definen a continuación:

- **Materia orgánica.** Incluye tanto la fracción orgánica de la recogida selectiva, como la fracción vegetal (restos de poda y jardinería, etc.)
- **Papel/cartón.** Incluye tanto el papel impreso, el papel/cartón no envase en general y el cartón envase.
- **Vidrio.** Envases de vidrio generalmente.
- **Envases.** Incluye los envases plásticos, envases no plásticos y otros plásticos no envases.
- **Otros.** Incluye los residuos voluminosos, residuos destinados a los puntos verdes (residuos de electrodomésticos, muebles, aparatos electrónicos, RP del hogar, metales, textiles, etc.), y otros residuos de recogidas específicas.

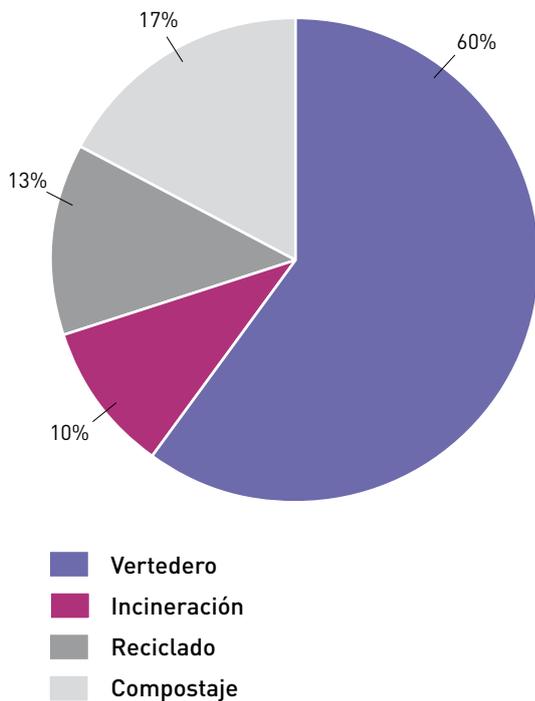
Cabe comentar, que cada fracción tiene un porcentaje de impropios asociado a la recogida selectiva. Según sea la cantidad de impropios en cada fracción recogida se obtendrá unos rendimientos u otros en los procesos de tratamiento y recuperación material.

A su vez, los RSU también se pueden desglosar en dos corrientes principales: los residuos domiciliarios (RD) y los residuos industriales, comerciales e institucionales asimilables (RICIA). Cada uno de estos dos flujos puede evolucionar de forma independiente y presentar composiciones muy diferentes. En este estudio también se han identificado por separado.

5.2.1.4 Vías de gestión actuales

Las principales vías de gestión implantadas en España para el tratamiento de los RSU, y su representación porcentual son como se representa en la siguiente figura:

Ilustración 17. Gestión de los RSU en España en 2007



Fuente: Eurostat

Como se observa, en España, el principal sistema de gestión de los RSU sigue siendo su eliminación directa en vertederos, donde se envía más de la mitad de los residuos urbanos generados. Hay que señalar además, que una gran parte de los residuos que son tratados en

las instalaciones de recuperación material, reciclaje, compostaje o biometanización, acaban también siendo vertidos, ya que el rendimiento de estas instalaciones no es muy elevado, lo que en realidad situaría el porcentaje de residuos vertidos cerca del 70%.

Como segundo sistema de gestión de los RSU más empleado se encuentra el compostaje, seguido de la recogida selectiva. Ambos han visto incrementarse su porcentaje en los últimos años.

Finalmente, la valorización energética no ha experimentado variaciones significativas en cuanto a su importancia relativa con respecto a los últimos años y sigue representando unos porcentajes inferiores al 10%.

5.2.2.1 Residuos Industriales

5.2.2.1 Introducción

Como se ha indicado en el capítulo de metodología en referencia a los residuos industriales, la información se ha obtenido de diferentes reuniones con representantes de los diferentes sectores estudiados y a partir de diferentes fuentes.

El origen de los residuos industriales que hemos estudiado son de los sectores o áreas de actividad siguientes:

- Fabricación de pasta, papel y cartón.
- Vehículos fuera de uso (VFU).
- Neumáticos fuera de uso (NFU).
- Recuperación madera.
- Lodos de estación de depuración de aguas residuales (EDAR).
- Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEEs).
- Residuos de construcción y demolición (RCD).
- Plásticos uso agrícola.

La mayoría de los sectores son procedentes del área de la valorización material de los residuos con la excepción de los plásticos de uso agrícola, insistiendo así en el marcado interés del estudio en centrarse únicamente en aquellos flujos de residuos que han sido tratados con el objetivo de maximizar su valorización material.

En esta línea nos encontramos sectores en que prácticamente todo lo que no pueden valorizar materialmente lo pueden valorizar energéticamente (por ejemplo: el sector NFU y recuperación de madera).

Como ya se ha indicado, la información existente en la mayoría de los casos es procedente de representantes de asociaciones empresariales sectoriales. Asimismo el alcance de las informaciones de los diferentes sectores no tiene el mismo grado de intensidad.

Para los cálculos se ha utilizado una estimación de PCI. Como frecuentemente se han tenido informaciones muy diferentes en cuanto a diferentes valores de PCI, esta estimación se ha efectuado, como otras a lo largo de este estudio, tratando de aplicar criterios de prudencia en las cifras obtenidas.

Cuando se ha efectuado el análisis de los residuos de origen urbano se ha podido estructurar en: Potencial Total, Potencial Accesible, Potencial Disponible y Potencial Previsto. La realidad en cuanto a los residuos industriales es muy distinta. Únicamente algunas CCAA tienen una planificación específica para residuos industriales y, en el caso de posibles inversiones, son básicamente en el ámbito privado. De esta forma, no se dispone de información (sólo en un caso muy concreto) para establecer un Potencial Previsto para todos los Residuos Industriales en los términos en que lo hemos definido en el presente estudio. Por tanto el estudio únicamente establecerá un Potencial Total y un Potencial Disponible.

Dada la dificultad de establecer la vía de gestión futura como valorización energética hemos traducido los potenciales a las tres unidades de energía: MWh, MWh_e y TEP.

5.2.2.2 Fabricación de pasta, papel y cartón

5.2.2.2.1 Situación actual del sector

Es importante indicar que el sector viene de un fuerte ciclo de expansión y crecimiento⁹.

Algunos datos básicos de la industria papelera española son:

- 13 fábricas de celulosa y 86 fábricas de papel, distribuidas por toda la geografía.
- 5.060 millones euros de facturación.
- 17.500 empleos directos y más de 90.000 indirectos.
- Inversión de 1.200 M€ en los últimos años.

Distribución geográfica del sector:

Ilustración 18. Distribución geográfica del sector de pasta y papel en España



Fuente: ASPAPEL

Otros datos de la industria papelera española:

Tabla 11. Información de la industria papelera española

Papel y cartón	2008	% 08/07
Producción	6.414	-4,5
Consumo	7.266	-5,7
Importación	3.816	+1,4
Exportación	2.965	+7,0
Celulosa		
Producción	2.009	-3,4
Consumo	1.965	-2,8
Importación	1.027	-2,4
Exportación	1.071	-3,6
Materias primas		
Consumo madera (m ³ sin corteza)	6.172	-3,8
Consumo papel recuperado	5.443	-4,1
Total facturación sector (millones de €)	4.845	-4,2

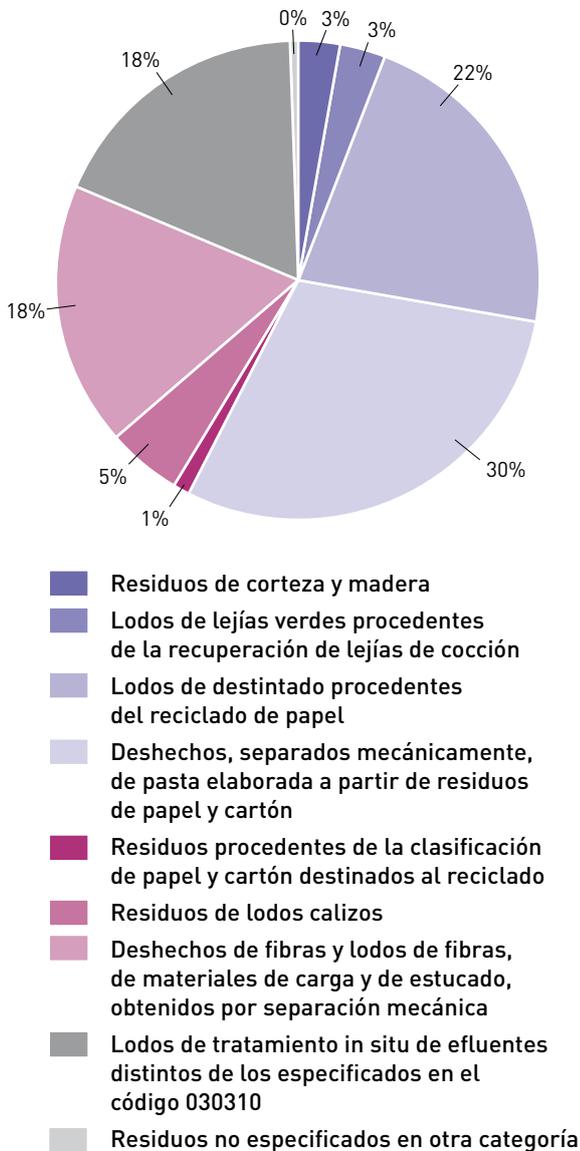
Fuente: ASPAPEL

⁹Información facilitada por Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón (ASPAPPEL)

5.2.2.2 Generación de residuos en el sector

El volumen total de residuos sólidos generados en el sector papelerero en España alcanza los 1,5 millones de toneladas en 2008. Ello significa que a nivel sectorial, por cada tonelada de productos que fabrica el sector, se generan unas 0,32 toneladas de residuos de proceso, no peligrosos. Dado que el 80% de la materia prima del sector en España es papel recuperado, la generación de residuos se produce en su mayor parte asociada a las operaciones de reciclaje del papel¹⁰.

Ilustración 19. Producción de residuos sector pasta y papel, 2008



Fuente: ASPAPEL

Residuos generados en el sector 2008:

Tabla 12. Residuos generados en el sector de pasta y papel, 2008

	2008*
Residuos no peligrosos específicos de la actividad papelerera	1.506.533
Otros residuos no peligrosos	82 961
Residuos peligrosos	9.026
Total	1.598.520

*Datos de la encuesta anual de ASPAPEL, representatividad de la encuesta 88% de la producción de pasta y papel en 2008

Fuente: ASPAPEL

Los residuos peligrosos son aquellos generados principalmente en operaciones de mantenimiento de las instalaciones, y son comunes con otras industrias y actividades. No se generan residuos peligrosos en el proceso de fabricación de pasta y papel.

Todos los residuos específicos del sector generados en el proceso son Residuos No Peligrosos. En el PNIR 2008-2015 se presenta el Sector de fabricación de Pasta y Papel como estudio de caso de Residuos Industriales No Peligrosos.

5.2.2.2.3 Tipología de los residuos generados por el sector

La fábrica de papel es el último eslabón en la cadena del reciclaje y emplea intensivamente tecnología para separar todos aquellos impropios y materiales ajenos a la fabricación de papel reciclado. El proceso de reciclado en la fábrica de papel genera residuos sólidos in situ en relación directa a la eficiencia de la cadena en etapas anteriores (consumidor y recuperador).

Los desechos separados mecánicamente (comúnmente denominados "rechazos" con origen en las unidades de pulper, filtros de tambor, y en las distintas etapas de depuración, ciclónicas, de agujeros, de ranuras u otras) se presentan generalmente con una alta humedad media del orden del 50%, asimismo cuentan con un poder calorífico inferior de entre 15 y 22 MJ/kg.

¹⁰Diagnóstico de la generación y gestión de residuos sólidos en la industria papelerera española. Diciembre 2007. ASPAPEL

Ilustración 20. Residuos de la producción y transformación de pasta papel y cartón (LER 0303)

Residuos de la producción y transformación de pasta papel y cartón (LER 0303)	
Código LER	Descripción del residuo
030301	Residuos de corteza y madera
030302	Lodos de lejías verdes (procedentes de la recuperación de lejías de cocción)
030305	Lodos de destintado procedente del reciclado de papel
030307	Desechos, separados mecánicamente, de pasta elaborada a partir de residuos de papel y cartón
030308	Residuos procedentes de la clasificación de papel y cartón destinados al reciclado
030309	Residuos de lodos calizos
030310	Desechos de fibras y lodos de fibras, de materiales de carga y de estucado, obtenidos por separación mecánica
030311	Lodos del tratamiento in situ de efluentes distintos de los especificados en el código 030310
030399	Residuos no especificados en otra categoría

Residuos no peligrosos específicos de la producción y transformación de pasta, papel y cartón (LER 0303): en el epígrafe "03 03 Residuos de la producción y transformación de pasta de papel, papel y cartón" de la Lista Europea de Residuos (LER) (Orden MAM/304/2002), se recogen la mayor parte de los residuos sólidos que genera la industria papelera en España. Estos residuos papeleros no peligrosos suponen un 88% del total de residuos generados.

Análisis de la humedad de los residuos: una de las características comunes a distintas tipologías de residuos papeleros no peligrosos es que se presentan con elevados grados de humedad. La humedad es una característica importante, ya que una parte significativa de los residuos sólidos papeleros es agua. Ello favorece que algunas tipologías de residuos se encuentren en forma de lodos o fangos. La representatividad de estos datos de humedad es muy alta, ya que el 96% de los residuos declarados en la encuesta reportaron el análisis y control de la humedad de cada residuo.

Aunque la humedad es variable según procesos y fábricas, y depende del tratamiento de secado del que disponga la instalación y de los requisitos de humedad de la gestión final del residuo, el 70% de

los residuos papeleros se encuentran en un rango de humedad entre el 40 y el 60%.

Tabla 13. Humedades relativas de los principales residuos papeleros

Código LER	Descripción del residuo	Humedad media (%)
030301	Residuos de corteza y madera.	35
030302	Lodos de lejías verdes (procedentes de la recuperación de lejías de cocción)	50
030305	Lodos de destintado procedentes del reciclado de papel	40
030307	Desechos, separados mecánicamente, de pasta elaborada a partir de residuos de papel y cartón	58
030308	Residuos procedentes de la clasificación de papel y cartón destinados al reciclado	28

(Continuación)

Código LER	Descripción del residuo	Humedad media (%)
030309	Residuos de lodos calizos	30
030310	Desechos de fibras y lodos de fibras, de materiales de carga y de estucado, obtenidos por separación mecánica	50
030311	Lodos del tratamiento in situ de efluentes distintos de los especificados en el código 030310	55
030399	Residuos no especificados en otra categoría	73
-	Residuos no clasificados	90
Total sectorial		51

Fuente: ASPAPEL

5.2.2.2.4 Vías de gestión actuales

Se han analizado específicamente las vías mayoritarias de gestión para las cuatro tipologías de residuos de mayor volumen generado en el año 2008. Estas tipologías de residuos suponen el 89% del total de residuos no peligrosos del proceso papero, a saber:

- Desechos separados mecánicamente de pasta elaborada a partir de residuos de papel y cartón (LER 030307).
- Desechos de fibras y lodos de fibras, de materiales de carga y de estucado, obtenidos por separación mecánica (LER 030310).
- Lodos de destintado (LER 030305).
- Lodos de tratamiento in situ de efluentes distintos de los especificados en el código 030310 (LER 030311).

A modo de resumen para estas cuatro tipologías las prioritarias vías de gestión principales son:

- Uso agrícola.
- Industria cerámica.
- Compostaje.
- Vertedero.

Tabla 14. Vías de gestión actuales de los residuos del sector de pasta y papel, 2008

Vías de gestión	2008 (t)	% vía gestión 2008
Vertedero	561.351,58	37
Uso directo agrícola	498.506,60	33
Compostaje	106.681,73	7
Cerámica	194.355,00	13
Cementera	92.096,82	6
Otras industrias	16.179,88	1
Valorización energética en la propia fábrica	8.059,82	1
Valorización energética en otras industrias	300	0
Otros destinos	18.316,67	2
No se especifica	10.685	-
Total	1.506.533,26	

Fuente: ASPAPEL

Destaca que tan solo un 1% de los residuos se valorizan energéticamente en la propia fábrica y un pequeño porcentaje, el 1%, se utiliza como materia prima en otras industrias no agrícolas o de materiales de construcción.

Evolución de la generación de residuos en el sector. Por otro lado las tendencias del sector en cuanto a su generación de residuos han sido en los últimos años:

Tabla 15. Vías de gestión actuales de los residuos del sector de pasta y papel, evolución últimos años

Vía de gestión	2005 (t)	2006 (t)	% 06/05
Vertedero	405.871,92	512.228,04	26
Uso directo agrícola	37.316,81	356.498,86	855

(Continuación)

Vía de gestión	2005 (t)	2006 (t)	% 06/05
Compostaje	76.418,32	72.552,21	-5
Cerámica	298.868,00	173.132,00	-42
Cementera	91.027,51	94.700,16	4
Otras industrias	8.252,22	5.476,17	-34
Valorización energética en la propia fábrica	19.747,71	14.920,84	-24
Valorización energética en otras industrias	0	0	
Otros destinos	66.534,15	70.756,63	6
No se especifica	3.270	2.798	-14
Total	1.007.307	1.303.063	29

Fuente: ASPAPEL

5.2.2.3 Vehículos fuera de uso (VFU)

5.2.2.3.1 Situación actual del sector

El sector presenta dos tipos de centros de gestión¹¹:

Los Centros Autorizados de Tratamiento de Vehículos al Final de su vida útil (CAT) son las instalaciones donde se procede a descontaminar y eliminar líquidos y gases y a separar todos los residuos peligrosos del vehículo como son, los aceites, combustible, baterías, filtros, anticongelante, gases del aire acondicionado, catalizadores, etc., para que cada uno de ellos sea separado y almacenado convenientemente antes de que vaya al gestor especializado. Asimismo los CATs llevan a cabo el desmontaje de todas aquellas piezas y componentes susceptibles de ser reutilizadas.

Las fragmentadoras, son instalaciones donde, una vez descontaminado, el vehículo se tritura para

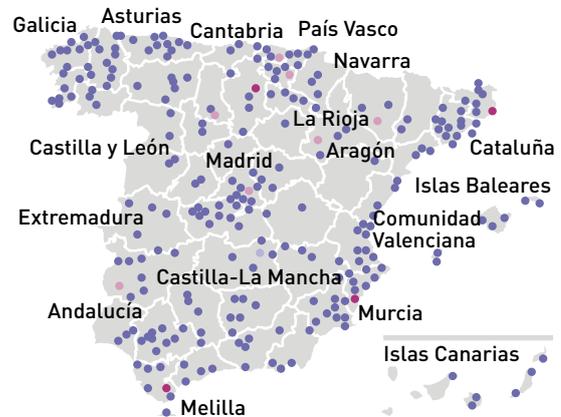
posteriormente llevar a cabo la separación de distintas fracciones recuperables.

La Asociación Española para el Tratamiento Medioambiental de los Vehículos Fuera de Uso (SIGRAUTO) está constituida por los principales sectores involucrados en el tratamiento de los vehículos fuera de uso, es decir, fabricantes e importadores de vehículos, desguazadores y fragmentadores, a través de sus respectivas asociaciones sectoriales (ANFAC, ANIACAM, AEDRA y FER).

El número de CATs que forman parte de la red concertada por los fabricantes e importadores de vehículos en España es¹²:

	2008
CATs	441
Fragmentadoras	27

Ilustración 21. Distribución geográfica de los CATs y fragmentadoras en España



- Autorizado
- Auto. condicionado. No tramita bajas
- En trámite. No tramita bajas
- Fragmentadora

Fuente: SIGRAUTO¹³

Este número de plantas se ha constatado que es suficiente para la gestión y tratamiento de este residuo a nivel de la totalidad del territorio.

¹¹Información facilitada por SIGRAUTO y FER

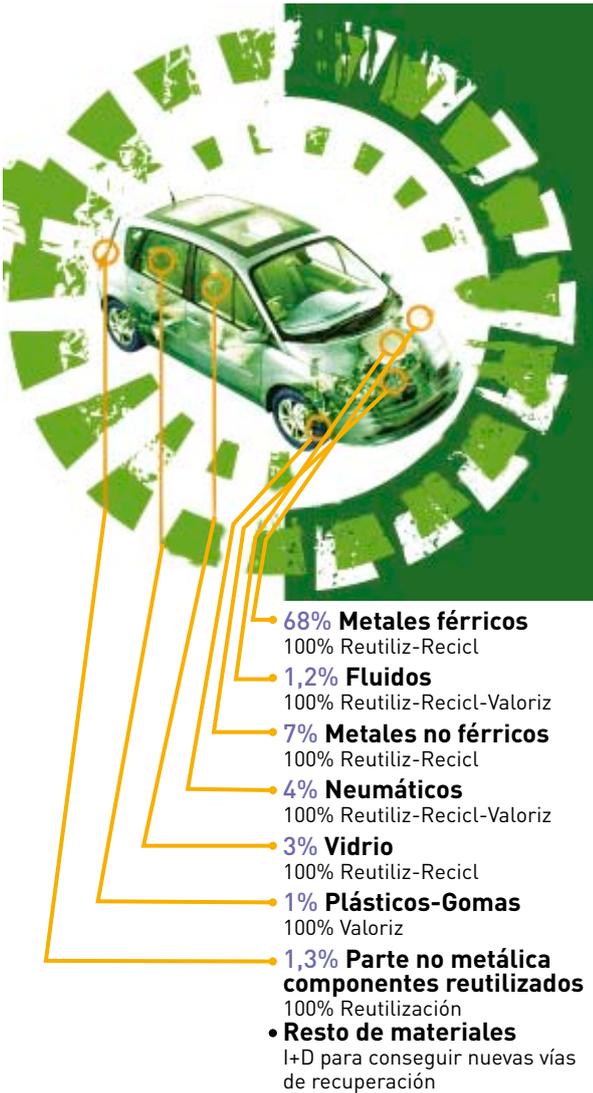
¹²Memoria SIGRAUTO 2008

¹³Página web de SIGRAUTO: www.sigrauto.com

5.2.2.3.2 Generación de residuos en el sector

Desde el sector de la recuperación y reciclado de metales se está trabajando intensamente para buscar una alternativa al vertido de las fracciones no reciclables que provienen de las instalaciones de fragmentación de residuos particularmente de los VFU y otros residuos.

Ilustración 22. Generación de residuos en el sector del tratamiento de los VFU



Fuente: SIGRAUTO¹⁴

Partiendo de los datos del Instituto de Estudios de Automoción, SIGRAUTO ha realizado la corrección necesaria para eliminar las denominadas “bajas por exportación” que desde hace ocho años la Dirección General de Tráfico incluye en la cifra de bajas definitivas totales. Una vez eliminadas este tipo de bajas, se estima que el número de bajas definitivas de vehículos afectados por el Real Decreto 1383/2002 en el año 2008 por tipo fueron:

Tabla 16. Número de bajas definitivas de vehículos por el RD 1383/2002

	2006	2007	2008
Turismos	827.870	795.841	628.619
Industriales de menos de 3.500 Kg	111.057	114.750	101.792
Todoterrenos	15.788	17.369	17.660
Total	954.715	927.960	748.071

Fuente: SIGRAUTO

5.2.2.3.3 Tipología de los residuos generados por el sector

Los VFU que llegan a las fragmentadoras se separan en:

- Metales férreos fragmentados.
- Fracción ligera conteniendo plásticos, fibras, textiles, gomas, etc.
- Fracción pesada que contiene metales no férreos mezclados con aquellos materiales (fundamentalmente plásticos y gomas) que no han sido separados en la aspiración por la fragmentadora. Esta fracción se envía a plantas denominadas de medios densos en las que los materiales son sometidos a distintos procesos de segregación (cribados, flotación, corrientes de inducción, mesas densimétricas, sistemas ópticos, etc.) para obtener por un lado los distintos metales no férreos (aluminio, cobre, etc.) y por otro otras fracciones de materiales no metálicos susceptibles de ser recuperadas.

¹⁴www.sigrauto.com

5.2.2.3.4 Vías de gestión actuales

En la actualidad el grado de valorización es el siguiente:

Tabla 17. Vías de gestión actuales de los residuos de VFU

	(%)	Peso (t)
Reutilización	4,6	40.000
Reciclado	78,5	707.000
Metales férricos y no férricos	75,0	
Valorización energética	2,5	32.000
Total recuperación	85,6	

Fuente: SIGRAUTO

Esto sitúa el nivel de recuperación en este aproximadamente 85,6% del peso total del vehículo, superando el 80% de reutilización y reciclado que exige la normativa vigente (Directiva 2005/64/CE).

A pesar de que lo que actualmente se está recuperando de los vehículos fuera de uso es un porcentaje muy elevado, es necesario conseguir vías de recuperación para el resto de materiales ya que la normativa vigente exige que en el año 2015 se alcance el 95% de recuperación. Las fracciones que todavía no se recuperan a día de hoy son depositadas en vertedero.

5.2.2.4 Neumáticos fuera de uso (NFU)

5.2.2.4.1 Situación actual del sector

La correcta gestión de los neumáticos fuera de uso, en adelante NFU, está regulada por el Real Decreto 1619/2005, en el que participaron los principales fabricantes de neumáticos junto a distribuidores, gestores y otros sectores con el fin de garantizar la correcta gestión de los neumáticos fuera de uso. Este Real Decreto está enmarcado dentro de lo establecido por la Ley 10/98 de Residuos y el PNIR 2008-2015, aprobado en Consejo de Ministros a finales de diciembre de 2008.

En el ámbito internacional, en el mes de diciembre de 2008, entró en vigor la nueva Directiva Europea sobre Residuos, con la que se impulsará la reutilización y el reciclado de residuos.

Los neumáticos fuera de uso, como residuos, se pueden valorizar con aplicaciones diferentes, que van desde su reutilización tras el recauchutado, hasta la valorización energética o la obtención de polvo de caucho para fabricar diferentes productos, como superficies de caucho, suelas para la industria del calzado, aplicaciones en betunes asfálticos para pisos de carreteras, etc.

La mayor dificultad para destinar a tales fines los neumáticos fuera de uso está en la recogida y agrupación de estos residuos. Hasta la fecha, los entes locales no han podido superar esta barrera con las condiciones técnicamente necesarias para posibilitar las actividades de valorización, que requieren un suministro continuado de material con unas especificaciones técnicas determinadas.

Los NFU tienen el código europeo de residuo (CER) 160103 y están clasificados como residuo no peligroso. Los neumáticos, como residuo, tienen principalmente dos orígenes:

- Neumático de reposición: el que proviene de reemplazar los neumáticos usados de un vehículo.
- Neumático que se genera en el proceso de desguace de un vehículo fuera de uso (VFU).

Los puntos más significativos del Real Decreto 1619/2005, antes mencionado, se pueden resumir en tres:

- La obligación de los productores de presentar planes empresariales de prevención de neumáticos fuera de uso y de alcanzar los objetivos ecológicos sobre los neumáticos que ponen en el mercado nacional de reposición.
- La identificación de los agentes implicados, productores, generadores, poseedores y gestores, así como sus responsabilidades.
- La regulación de los sistemas integrados de gestión de neumáticos fuera de uso.

Actividades de gestión en España realizadas por los SIG en 2007:

Tabla 18. Generación de NFU en los últimos años

	1998	2005	2007
NFU generados (t)	241.081	302.000	341.000

Tabla 19. Gestión de los NFU

	Signus Ecovalor	(%)	TNU	(%)	Total	(%)
Recogida	213.542	62,62	55.326	16,22	268.868	78,85
Reutilizado y recauchutado		0	8.852	3	8.852	3
Reciclado de material	123.575	36	22.684	7	146.259	43
Valorización energética	21.960	6	23790	7	45.750	13
	145.535	43	55.326	16	200.861	59

Se observa la diferencia entre la cantidad total recogida entre ambos SIG y la cantidad total de NFU generados en todo el país.

5.2.2.4.2 Generación de residuos en el sector

De hecho el sector debe gestionar como residuo todo aquel material que el mercado de la valorización material no puede absorber.

5.2.2.4.3 Tipología de los residuos generados por el sector

La composición de los neumáticos puede variar de un continente a otro. En el caso de Europa, una composición tipo de los neumáticos puede ser:

Tabla 20. Tipología de los residuos generados por el sector de los NFU

Material	Turismos (%)	Camiones (%)
Caucho/elastómeros	48	45
Negro de carbono	22	22
Metal	15	25
Textil	5	-
Óxido de zinc	1	2
Azufre	1	1
Aditivos	8	5

5.2.2.4.4 Vías de gestión actuales

Según el PNIR "en el año 2004, un año antes de la prohibición en nuestro país del depósito en vertedero de neumáticos enteros, el porcentaje de neumáticos

destinados a vertedero fue del 50%. La valorización energética alcanzó un 17% de los NFU generados, y el de reciclado el 14%; es decir, en las actividades de gestión de más interés como son las citadas y, sobre todo la de reciclado, en nuestro país se aplicaron en cuantías de escasa entidad. Sin embargo, la tasa porcentual de recauchutado (actividad esta de primerísima importancia, ya que constituye una actividad de prevención de generación del residuo) en ese año 2004, fue del orden del 12%, que en aquel año era un porcentaje razonablemente aceptable. Pues bien, del estudio comparativo de estos datos del año 2004 con los análogos del año 2007, resulta: 1º) Oficialmente ya no se ha vertido ninguna cantidad de NFU. Ello es debido a la prohibición de realizar este vertido establecido en la legislación que se acaba de mencionar. 2º) El porcentaje del reciclado ha aumentado de modo sustancial, lo que significa una importante mejora en la gestión de este residuo".

Las instalaciones de valorización material de neumáticos generan básicamente los siguientes residuos:

- Polvo de caucho/elastómeros de diferentes tamaños y calidades.
- Residuo metálico.
- Residuos textiles.

Mayoritariamente, en peso, la primera fracción es la más abundante. En concreto, los neumáticos de camión presentan una composición mejor para su valorización material que los neumáticos de turismos.

5.2.2.5 Recuperación de madera

5.2.2.5.1 Situación actual del sector

En sus inicios, los recuperadores de madera gestionaban en su mayoría residuos de origen industrial

provenientes de la industria de la madera y el mueble español. Esto ha cambiado ya que actualmente la mayoría de las empresas recuperadoras de madera gestionan todo tipo de residuos de madera de diversos orígenes.

Existen empresas situadas en zonas tradicionalmente de industrias de madera y mueble por su fabricación y/o comercialización de productos: Yecla en Murcia, Lucena en Córdoba, Toledo o Valencia son algunos ejemplos. Y también hay empresas que gestionan diversos tipos de residuos no peligrosos entre ellos la madera.

El primer tipo de empresas ha sido testigo directo de la caída de las empresas de la industria de la madera y el mueble, encontrándose que la entrada de madera para gestionar ha bajado en algunos casos a más de la mitad.

Pero la disminución de estos sectores industriales no significa que haya disminuido el residuo de madera.

Se había conseguido incrementar los porcentajes de madera recuperada evitando la entrada en muchos vertederos españoles pero la situación está variando. A su vez, la salida ha bajado de forma drástica ya que la principal salida de la madera recuperada, la industria del tablero, (69,31% en 2007) pertenece a la cadena del mueble que está en crisis. Este porcentaje se ha reducido drásticamente en 2008 y a lo largo de este año, a menos de la mitad.

Se da la circunstancia de empresas recuperadoras de madera que no encuentran salida a su material: dejando la actividad de recuperación de madera o manteniéndola mínimamente.

Existe también una vía para la madera recuperada en el sector ganadero pero representa un bajo porcentaje con respecto al total y depende mucho de las zonas.

5.2.2.5.2 Generación de residuos en el sector

Si en 2007 sólo las empresas afiliadas a ASERMA gestionaron casi 800.000 toneladas de madera y éstas estimamos que representan el 70% de lo gestionado en toda España, esta cifra a falta de algunos datos¹⁵ se ha reducido en 2008 a poco más de la mitad.

Entre 2008 y 2009 esto ha continuado, la entrada de madera para gestionar por los recuperadores ha caído entre un 25 y 50%, superando algunas ese 50%. Igual ocurre con la salida (madera gestionada por el recuperador preparada para un nuevo uso).

5.2.2.5.3 Tipología de los residuos generados por el sector

Los residuos del sector se desglosan en los siguientes grandes grupos:

- 02 01 07: Restos de la silvicultura.
- 03 01 05: Restos de la industria maderera.
- 15 01 03: Restos de envases.
- 17 02 01: Restos de la construcción.
- 20 01 38: Restos municipales.
- 20 02 01: Restos de parques y jardines.

Los siguientes son valores aproximados de composición a partir de una muestra seca:

Poder calorífico – 4.495 kcal/kg
 % Humedad – 16,3
 % Ceniza – menor de 5
 % Materia volátil – 70
 % Azufre – 0,03
 % Cloro – menor de 1
 Cobre mg/kg – 18
 Mercurio mg/kg – menor de 0,10

Ensayos en cementeras/valorización: actualmente los valores solicitados por las plantas cementeras rondarían los siguientes:

Poder calorífico – 4.000 kcal/kg
 % Humedad – menor de 20
 % Cenizas – menor de 10
 % Azufre – menor de 1
 % Cloro – menor de 1

5.2.2.5.4 Vías de gestión actuales

El destino de la madera una vez gestionada y dependiendo de la composición de la misma se gestiona mediante las siguientes potenciales salidas:

- Industria del tablero.
- Uso térmico.
- Uso eléctrico.
- Compost.
- Camas de ganado.

¹⁵ASERMA realiza un estudio entre sus empresas asociadas a año vencido. Ahora mismo está ultimando el correspondiente a los datos de 2008, y en las encuestas, se ha preguntado a las empresas sobre 2009 y expectativas para 2010

5.2.2.6 Lodos de estación de depuración de aguas residuales (EDAR)

5.2.2.6.1 Situación actual del sector

Datos del EUREAU Statistics Overview on Water and Wastewater in Europe 2008 para ESPAÑA:

- Población (millones de habitantes): 44.7.
- Densidad de población (habitantes/km²): 89.
- Población servida: (% de población total) 98% de las aguas residuales se recogen y el 86% de estas aguas son tratadas.

La producción de lodos en las estaciones depuradoras de aguas residuales, siempre ha sido un tema problemático. El hecho de eliminarlos, transformarlos o depositarlos en algún lugar ha resultado ser un problema de más o menos dimensión. En los últimos años, los problemas de almacenamiento y eliminación de lodos se han agravado al haberse incrementado el volumen de agua depurada y, en consecuencia, el volumen de lodos a gestionar.

Actualmente, la gestión de lodos de depuradora está regulada por la directiva 86/278/CEE. Esta es la encargada de establecer las condiciones en las que podrán ser tratados los lodos, y sus aplicaciones e incidencia sobre el medio ambiente, los cultivos, los seres vivos y la salud en general. Esta directiva tiene un papel fundamental en el control de los lodos.

Un punto básico de la directiva es la prohibición de utilizar estos lodos sin haberlos tratado previamente, salvo en los casos de inyección directa o enterramiento en el suelo, siempre que lo autoricen los Estados miembros (en España no está autorizado). Por otro lado, se prohíbe utilizarlos en algunos tipos de cultivos por las repercusiones que puedan tener en la salud, y también se controla de una manera más exhaustiva la cantidad de metales pesados que puedan contener. Este control se lleva a cabo mediante análisis periódicos de los suelos y de los lodos.

El aspecto que más preocupa a la mayoría de los países, es la disminución de los metales pesados en los lodos, cuando estos van destinados a la agricultura.

Hasta ahora, los lodos resultantes de las estaciones depuradoras de aguas residuales, han estado regulados y controlados según el Plan Nacional de Lodos.

Con el Plan Nacional de Lodos, se aplicaron nuevas reformas de ley que afectarían a la gestión de los lodos, como es el caso de la normativa de los vertederos, transposición mediante el RD 1481/2001, de 27 de diciembre, de la Directiva 99/31/CEE.

5.2.2.6.2 Generación de residuos en el sector

Tabla 21. Generación de residuos en el sector de los lodos de EDAR, 2005

2005 Comunidad Autónoma	Toneladas materia seca/año
Andalucía	312.500 ⁽¹⁾
Aragón	41.000
Asturias	36.000
Canarias	54.000
Cantabria	18.000
Castilla y León	81.000
Castilla-La Mancha	56.000
Cataluña	200.000 ⁽²⁾
Ceuta	1.200
Comunidad Valenciana	130.000
Extremadura	36.000
Galicia	90.000
Illes Balears	29.000
La Rioja	8.000
Madrid	178.000-342.862 ⁽³⁾
Melilla	1.100
Murcia	37.000
Navarra	11.314 ⁽⁴⁾
País Vasco	63.000 ⁽⁵⁾
Total	1.547.976

⁽¹⁾Fuente: Plan Director Territorial de Gestión de R. U. de Andalucía (octubre 1999) en este plan se estiman en 0,5 kg/habitante/día la generación

futura de LD, equivalente a un total de 1.250.000 toneladas/año. Se ha supuesto un porcentaje de materia seca del 25 por 100.

^[2]Estimación de la Comunidad Autónoma de Cataluña. La disminución de LD con respecto a los generados hoy se deberá, entre otras razones, a la construcción de plantas de tratamiento biológico.

^[3]Fuente: Comunidad Autónoma de Madrid y Canal de Isabel II. Posteriormente, en el Plan de Lodos Procedentes del Sistema de Depuración gestionado por el Canal de Isabel II (octubre 2000) se calcula que en 2006 se generarán 342.862 toneladas debido a la entrada en funcionamiento antes de ese año de las EDAR de Fuenlabrada (25.200 toneladas de lodos/año), Getafe (77.000 toneladas de lodos/año) y varias otras de menor tamaño.

^[4]Fuente: Plan Integrado de Gestión de Residuos de la Comunidad Autónoma de Navarra. En este plan se cuantifica en 78.600 toneladas/año los LD generados en el año 2002, y en 38.600 los generados en el año 1996. En ambos casos se ha tomado un porcentaje de materia seca del 16-17 por 100; la menor concentración en materia seca se debe al tipo de depuradoras instaladas.

^[5]Fuente: Plan Director de Gestión de RSU de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

En las comunidades autónomas en las que no figura la fuente informativa la cifra que se indica es una estimación del MARM, utilizando como base para el cálculo la población y los ratios medios conocidos y los habitantes-equivalentes considerados en el Plan de Saneamiento y Depuración.

Según el PNIR 2008-2015, se estima una generación de 1.064.972 toneladas de materia seca en España en 2006.

5.2.2.6.3 Tipología de residuos generados

- **Lodo crudo:** es aquel que no ha sido tratado ni estabilizado, que puede extraerse de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- **Lodo primario:** el producido durante los procesos de tratamiento primario de las aguas residuales. Esto ocurre después de las pantallas y desarenado y consiste en productos no disueltos de las aguas residuales. El lodo en el fondo de tanque primario de sedimentación se llama también lodo primario. La composición del lodo depende de las características del área de recogida de las aguas. El lodo primario contiene generalmente una gran cantidad de material orgánico, vegetales, frutas, papel, etc. La consistencia se caracteriza por ser un fluido denso con un porcentaje en agua que varía entre 93 y 97 %.
- **Lodo activo:** la eliminación de materia orgánica disuelta y los nutrientes de las aguas residuales tiene lugar durante el tratamiento biológico del agua. Normalmente se caracteriza por la interacción de distintos tipos de bacterias y microorganismos,

que requieren oxígeno para vivir, crecer y multiplicarse y consumen materia orgánica. El lodo resultante se llama lodo activo. Normalmente este lodo está en forma de flóculos que contienen biomasa viva y muerta además de partes minerales y orgánicas adsorbida y almacenada.

- **Exceso de lodo,** lodo secundario: para alcanzar una vida del lodo constante, la biomasa en exceso debe eliminarse de la planta biológica de tratamiento. El lodo en exceso contiene partículas no hidrolizables y biomasa resultado del metabolismo celular.
- **Lodo terciario:** se produce a través de procesos de tratamientos posteriores, por ejemplo: adición de agentes floculantes.
- **Fango/lodo digerido:** tienen lugar en los procesos de digestión aeróbica. Tiene una proporción de materia orgánica del orden de 45 al 60%.

Como hemos visto, los lodos pueden encontrarse con diferentes porcentajes de agua. De esta forma los lodos deshidratados según el grado de humedad se pueden dividir en:

- **Lodos pastosos:** 30-50% de materia seca. Permite su vertido al terreno.
- **Lodos secos:** 50-90% MS. Lodo estabilizado y sin olor.
- **Lodos totalmente secos:** > 90 % MS. Lodo estabilizado y sanitariamente seguro. Permite un almacenamiento de larga duración.

La estabilización se efectúa de forma más usual mediante el tratamiento biológico: digestión anaeróbica. El tratamiento de digestión anaeróbica permite la generación de biogás, que normalmente es utilizado:

- Para la producción de la energía interna necesaria para el propio proceso, es decir, el calentamiento necesario del digestor, así como además para obtener energía para el secado térmico del fango o deshidratación.
- También puede ser exportada para producción de energía por cogeneración, aunque es necesario un proceso de limpieza del mismo, donde se reduzca la cantidad de sulfuro de hidrógeno que pudiera contener, así como otros compuestos como siloxanos.

5.2.2.6.4 Vías de gestión actuales

Los lodos de depuradora tienen propiedades agronómicas útiles en el ámbito de la agricultura. La utilización de los lodos de depuradora debe tener en cuenta las necesidades en nutrientes de las plantas, pero no debe perjudicar la calidad de los suelos y de la producción agrícola. La gestión de lodos de las depuradoras de aguas residuales tiene con respecto a otros tipos de residuos la peculiaridad de que ciertos usos y posibilidades de reciclaje están regulados por

normas específicas, algunas de carácter agronómico al existir la posibilidad de utilizarlos como abonos y enmiendas orgánicas en los suelos.

Tres son los principales usos posibles de lodos de depuradora (código LER 190805):

- La aplicación al suelo con fines de fertilización y reciclaje de los nutrientes y la materia orgánica.
- La valorización energética –en todas sus variantes, incluida la biometanización.
- El depósito en vertedero.

Producción de lodos en España, por CCAA y destinos en el año 2003 (Toneladas de materia seca):

Tabla 22. Vías de gestión de los lodos de EDAR, 2003

CCAA	Total lodo	Total agrario	Total vertedero	Total incineración	Total otros
Andalucía	63.594	53.830	9.348	0	416
Aragón	30.577	8.319	1.943	20.000	315
Navarra	14.004	13.957	40	0	7
Canarias	10.856	20	9.264	0	1.572
Cantabria	12.472	0	12.472	0	0
Castilla-La Mancha	2.350	2.350	0	0	0
Castilla y León	53.926	29.579	16.701	0	7.647
Cataluña	306.676	160.560	58.519	0	87.597
CCAA Ceuta y Melilla	1.460	0	1.460	0	0
Comunidad de Madrid	144.115	138.729	5.347	0	40
Comunidad Valenciana	249.260	180.509	24.191	42.829	1.731
Extremadura	9.430	6.114	3.316	0	0
Galicia	34.211	25.203	4.925	440	3.643
Islas Baleares	34.619	31.002	3.617	0	0
La Rioja	15.257	15.247	0	0	10
Principado de Asturias	2.229,00	1.413,00	791	0	25
País Vasco	24.391	1.721	9.126	13.544	0
Región de Murcia	2.731	1.003	1.728	0	0
Total	1.012.158	669.555	162.788	76.813	103.002
	100%	66%	16%	8%	10%

Fuente: Registro Nacional de Lodos, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

Como ya hemos indicado, la normativa actual en materia de reciclaje de lodos en la agricultura exige que éstos hayan sido tratados (Directiva 86/278 y Real Decreto 1310/1990 - Art. 2): "...previamente deberán haber sido tratados, de modo que se haya reducido de forma significativa su poder de fermentación y los inconvenientes sanitarios de su utilización...". Como se puede observar los límites, tanto en estabilización de la materia orgánica como en higienización, son un tanto ambiguos, lo cual ha permitido interpretaciones diferentes de estos términos.

Un método ampliamente utilizado en nuestro país como tratamiento de fangos es la digestión anaerobia en fase mesófila (34-36° C). Es un proceso en continuo donde habitualmente se calienta el fango con el calor procedente de la refrigeración de los motores accionados por el biogás generado en la digestión.

La digestión anaerobia, además de estabilizar el fango para su posterior valorización agrícola, genera biogás, con una riqueza en metano en torno a 50-60%, que puede ser utilizado como combustible. Así, si se digiere el 45% de la materia orgánica podemos hablar de producciones medias de 800-1.000 m³ biogás/ Tm volátil digerida, que puede valorizarse mediante su combustión en motores para la obtención de:

- Energía eléctrica (motogeneradores) para aprovechamiento en la propia planta depuradora y exportación a la red.
- Energía mecánica (turbocompresores) para la aportación del aire necesario a los reactores del proceso biológico de depuración (fangos activados).
- Energía térmica de la refrigeración de motores y gases de escape para el calentamiento de digestores y otras aplicaciones (calefacción, higienización, ...).

5.2.2.7 Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEES)

5.2.2.7.1 Situación actual

Los españoles producimos al año más de 200.000 toneladas de basura electrónica, según el MARM.

Algunos investigadores calculan que cerca del 75% de estos productos terminan almacenados en nuestros hogares o en vertederos de inertes, que no están preparados para su depósito. En la actualidad, equipos eléctricos y electrónicos son enviados a los

vertederos cuando aún pueden funcionar o se pueden aprovechar elementos y/o materiales.

El volumen de este tipo de residuos crece tres veces más rápido que el resto de residuos urbanos y cada vez ocupan más espacio en los vertederos, que tienen una vida limitada.

Por ello, la Unión Europea creó una directiva que implica a productores, distribuidores, instaladores y, por supuesto, a los usuarios finales, para la gestión correcta de estos residuos y para el reciclaje de sus componentes, de forma que, lejos de contaminar, sirvan para no tener que utilizar más recursos naturales para la producción de nuevos aparatos.

En España, la directiva se materializó en el Real Decreto 208/2005, de 25 de febrero, que obliga a los productores a hacer una recogida selectiva de los aparatos que ponen en el mercado y a garantizar su transporte a centros de tratamiento y la correcta gestión de su reciclaje. Para ello, el Real Decreto exige la colaboración de todas las partes implicadas en la producción y el consumo a través de una tasa destinada exclusivamente a financiar estas tareas de gestión y reciclaje de residuos.

La Fundación ECO-RAEE's es una fundación ambiental, sin ánimo de lucro, fundada con el apoyo y compromiso de fabricantes aparatos eléctricos y electrónicos, y creada de conformidad con la Ley 50/2002 de 26 de diciembre de Fundaciones, así como de conformidad con lo dispuesto en el Real Decreto 208/2005 de 25 de febrero, sobre aparatos eléctricos y electrónicos, y Real Decreto 106/2008 sobre pilas y baterías, que establecen la necesidad de que los Sistemas Integrados de Gestión sean entidades sin ánimo de lucro, como la fundación de ECO-RAEE's.

El ámbito de actuación de la Fundación ECO-RAEE's es a nivel nacional incluido las islas de Canarias y Baleares, y las ciudades de Ceuta y Melilla.

Las distintas categorías de RAEE son:

1 Aparatos eléctricos y electrónicos

1. Grandes electrodomésticos.
2. Pequeños electrodomésticos.
3. Equipos de informática y telecomunicaciones.
4. Aparatos de consumo.
5. Aparatos de alumbrado.
6. Herramientas eléctricas y electrónicas.
7. Juguetes o equipos deportivos y de tiempo libre.

- 8. Aparatos médicos¹⁶.
- 9. Instrumentos de vigilancia y control.
- 10. Máquinas expendedoras.

2 Pilas y baterías

- 1. Pilas botón: (zinc de aire, óxido de plata, óxido de manganeso, litio, otras, ...).
- 2. Pilas bastón: (alcalinas, zinc carbón, litio AAA, litio AA, litio, no recargables, otras, ...).
- 3. Acumuladores portátiles.

Objetivos de % de re-utilización y reciclado y de valorización mínimos para las distintas categorías de RAEEs:

Tabla 23. Objetivos de reutilización, de reciclado y de valorización de las distintas categorías de RAEE

Directiva RAEE: Categorías Anexo I	Reutilización y reciclado (%)	Valorización (%)
1. Grandes electrodomésticos	75	80
2. Pequeños electrodomésticos	50	70
3. Equipos de informática y telecomunicaciones	65	75
4. Aparatos de consumo	65	75
5. Aparatos de alumbrado	80	-
6. Herramientas eléctricas y electrónicas	50	70
7. Juguetes o equipos deportivos y de tiempo libre	50	70
8. Aparatos médicos	-	-
9. Instrumentos de vigilancia y control	50	70
10. Máquinas expendedoras	75	80

Estos objetivos se revisarán periódicamente por el TAC (Technical Assistance Committee) de esta Directiva.

5.2.2.7.2 Generación de residuos en el sector

Según el PNIR, “una vez recogidos selectivamente los RAEE se acopian en puntos preestablecidos desde donde son trasladados a plantas de clasificación y tratamiento. En la actualidad existen en España 10 plantas para tratamiento específico de RAEE, más dos en construcción y

26 plantas de fragmentación que gestionan residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que no son peligrosos. Se detecta que no en todos los casos se está procediendo a la descontaminación de los aparatos que contienen componentes peligrosos antes de proceder a su valorización. En este grupo se incluirían los frigoríficos y aparatos de frío, RCTs y lámparas fluorescentes”.

A continuación se detalla el volumen de RAEE recogidos y gestionados en España en 2006 y 2007.

¹⁶Con excepción de todos los productos implantados, infestados o radiactivos

Tabla 24. RAEEs de uso doméstico gestionados en 2006 y 2007

Categoría	2006		2007	
	(Toneladas)	(% val)	(Toneladas)	(% val)
1. Grandes electrodomésticos	150.361	76	238.428	94
2. Pequeños electrodomésticos	688	59	2.512	72
3. Equipos de informática y telecomunicación	2.589	79	11.239	82
4. Aparatos electrónicos de consumo	5.105	94	14.881	91
5. Aparatos de alumbrado	51	92	273	91
6. Herramientas eléctricas y electrónicas	45	73	422	64
7. Juguetes o equipos deportivos	209	65	525	86
8. Aparatos médicos	44	80	215	88
9. Instrumentos de vigilancia y control	2	84	522	61
10. Máquinas expendedoras	-	-	-	-
Total	159.094		269.017	

Fuente: SIG

“Aunque en 2006 la recogida de RAEE fue inferior al objetivo planteado por la UE de 4 kg por habitante y año, en el 2007 se han alcanzado 5,85 kg/hab”.

Los residuos generados por las plantas de tratamiento de RAEEs son función del tipo de planta y, en general son muy heterogéneos. La fracción no valorizable se destina a vertedero en su gran mayoría. No hemos encontrado ejemplos de valorización energética en la actualidad.

Según el PNIR, *“habida cuenta del volumen de RAEE que se espera generar en España en los próximos años y la capacidad de estas plantas, parece que pueden ser suficientes las infraestructuras existentes, con lo que España puede absorber íntegramente la totalidad de gestión de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos generados”.*

5.2.2.7.3 Tipología de los residuos generados por el sector

Los RAEEs se componen principalmente de:

- Metales (cobre, aluminio, hierro, etc.).
- Plásticos (ABS, HIPS, PC, etc.).
- Vidrio (CRTs).

Siendo la tendencia a contener menos metales y más plásticos.

5.2.2.7.4 Vías de gestión actuales

En la actualidad la fracción rechazo o las fracciones rechazo en las plantas donde se valorizan las diferentes fracciones y los diferentes tipos de RAEEs son notablemente heterogéneas. La propia naturaleza de estas fracciones rechazo, tanto en cantidad como en calidad, no ha sido problemática para que en estos momentos mayoritariamente se gestionen mediante vertedero.

5.2.2.8 Residuos de construcción y demolición (RCD)

5.2.2.8.1 Situación actual del sector

Los residuos de construcción y demolición, en adelante RCD, son aquellos que se generan a través de la construcción, demolición, reforma y rehabilitación de edificios e infraestructuras y de la excavación. Estos residuos son considerados por la Unión Europea uno de los flujos prioritarios que han de ser regulados mediante normas específicas, tanto por el volumen de generación que representan (el mayor flujo de residuos privados) como por la viabilidad de su reciclaje.

La legislación vigente sobre los residuos de construcción y demolición determina las responsabilidades de los agentes que intervienen en las diversas fases del proceso de generación, traslado y tratamiento de estos residuos, regula las actividades de gestión y determina los objetivos a alcanzar. En España las administraciones con competencias relativas a estos procesos son el Estado, las Comunidades Autónomas y los entes locales.

La Administración del Estado elabora y promulga las leyes sobre residuos a partir de las cuales aprueba las normativas de residuos, los Planes Nacionales y los Decretos que establecen los criterios y requisitos mínimos de las programaciones autonómicas, así como los requisitos básicos en materia de control de la producción y gestión de estos residuos.

Las Administraciones Autonómicas elaboran los Programas o Planes autonómicos sobre los RCD en que se determinan las ubicaciones, tipos y número de instalaciones necesarias, bajo criterios de equidistancia y suficiencia, según la distribución territorial de la producción de los residuos.

La Administración local provee de suelo cualificado para el desarrollo de las actividades de gestión y promulga las ordenanzas oportunas para, a través de las tramitaciones de licencias de obras urbanísticas, controlar los flujos de estos residuos y el buen fin de la gestión.

Gran parte de los elementos que configuran las construcciones contemporáneas pueden reutilizarse. El reciclaje es el proceso mediante el que, a partir de materiales procedentes de los residuos que se generan en la construcción y demolición, se

obtiene un producto que puede valorarse como apto para su reutilización como materia prima. Los materiales de origen pétreo pueden reincorporarse a su ciclo productivo mediante un proceso de trituración y cribado.

La gestión ambientalmente correcta de los RCDs incorpora mayor innovación tecnológica, mejora la eficiencia productiva e incrementa el respeto al entorno. Las etapas características de esta gestión son:

- **Minimización:** comprende toda operación destinada a reducir la cantidad o la peligrosidad de residuos generados en origen (en la misma obra donde se generan). El máximo exponente de este objetivo se obtiene mediante las técnicas de deconstrucción o demolición selectiva, que permiten separar los escombros por componentes para un mejor aprovechamiento y retiran en origen los residuos no peligrosos y peligrosos que en ellos se contienen.
- **Valorización,** fundamentalmente mediante procesos industriales de reciclaje de los materiales previamente utilizados en construcción para producir áridos y otros productos que se vuelven a colocar en el mercado.
- **Vertido seguro del rechazo** en vertederos de tipo inerte, preferentemente ubicados en espacios degradados por actividades extractivas destinados a la restauración.

La normativa de aplicación específica de este sector es el Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.

5.2.2.8.2 Generación de residuos en el sector

Aunque hay varias comunidades autónomas que dedican un apartado específico a este tipo de residuos en sus respectivos Planes de Residuos Urbanos, hasta la fecha sólo se ha dispuesto de escasos datos cuantitativos sobre el volumen de RCDs generados en nuestro país, a menudo referidos a la primera mitad de la década de los noventa donde la situación de crecimiento de la economía, y más en concreto en el sector inmobiliario, era muy distinta a la de los dos-tres últimos años.

En España, se generan¹⁷ cada año 40 millones de toneladas de materiales pétreos, previamente utilizados en construcción, que esperan ser reciclados

¹⁷El Gremio de Entidades del Reciclaje de Derrivos (GERD) es la asociación empresarial que agrupa y representa los intereses de las empresas dedicadas a la gestión de plantas de reciclaje de escombros y vertederos de residuos inertes en España desde el año 1994. (<http://www.gerd.es>)

para convertirse en nuevos materiales de construcción, el 50% de los cuales pueden transformarse en áridos reciclados.

Como en cualquier industria, el producto es la clave. Y en la gestión de los residuos de construcción y demolición, el producto estrella es el árido reciclado. Las empresas de gestión de RCD deberían ser fundamentalmente fábricas de áridos reciclados, con procesos productivos eficientes y sistemas de control de la calidad. El acceso de los áridos reciclados a los mercados debe ser posible en igualdad de condiciones que los áridos naturales y sin barreras administrativas.

5.2.2.8.3 Tipología de residuos generados

La composición de los RCD, varía en función del tipo de infraestructuras de que se trate y refleja en sus componentes mayoritarios, el tipo y distribución porcentual de las materias primas que utiliza el sector. Los materiales minoritarios dependen en cambio, de un número de factores mucho más amplio como pueden ser el clima del lugar, el poder adquisitivo de la población, los usos dados al edificio etc.

Por otro lado, la composición de las edificaciones varía a lo largo del tiempo y con ello también cambia la composición de los RCD, según sea la edad del edificio o estructura que es objeto de demolición.

Los RCD se pueden clasificar en dos grupos fundamentales, de acuerdo con sus características y origen:

- Tierras y materiales pétreos (RDC-Nivel I): son el resultado de la excavación y los movimientos de tierra llevados a cabo en el transcurso de las obras cuando están constituidos, exclusivamente, por tierras y materiales pétreos exentos de contaminación. Su composición es bastante homogénea y su destino, siempre que sea viable, es su empleo en obras de restauración de espacios afectados por actividades extractivas, la restauración de áreas no procedentes de la actividad minera, el relleno o el empleo como material de construcción...
- Escombros (RDC-Nivel II): son los residuos generados principalmente en las actividades propias del sector de la construcción, de la demolición, de la reparación domiciliar y de la implantación de servicios (abastecimiento y saneamiento, telecomunicaciones, suministro eléctrico, gasificación y otros).

La composición de estos residuos se caracteriza por ser muy heterogénea, incluyendo materiales como el hormigón, ladrillos y otros materiales cerámicos, metales o madera. Pueden aparecer mezclados con otra tipología de residuos como restos de vegetales y podas, voluminosos, residuos orgánicos, plásticos.

En la Lista Europea de Residuos (LER) los residuos de construcción y demolición están identificados con el código LER 170000 y proceden, en su mayoría, de derribos de edificios o de rechazos de los materiales de construcción de obras de nueva planta, y de obras de reformas en viviendas o urbanizaciones.

En la Tabla siguiente se indica una posible distribución del porcentaje en volumen de las distintas materias primas utilizadas en la construcción¹⁸:

Tabla 25. Materias primas utilizadas en el sector de la construcción

Materia	% En volumen
Arena	60
Yeso natural	1
Metales	4
Grava	14
Caliza (producción de cemento)	6
Arcilla	6
Piedra natural	4
Madera	2
Petróleo (plásticos)	3
Total	100

5.2.2.8.4 Vías de gestión actuales

Los **vertederos de RCD** son las instalaciones de eliminación definitiva de los residuos mediante la disposición en vertederos de clase I (inertes), que cumplen con los requisitos constructivos y disponen de los servicios adecuados de separación y

¹⁸Fuente: Informe Symond

tratamiento previo para asegurar la calidad ambiental que establece la normativa vigente (Real Decreto 1481/1999). Preferentemente están ubicados en espacios degradados por actividades extractivas y destinadas a la restauración.

Las **plantas de transferencia** son aquellas instalaciones ubicadas en zonas que generan bajas cantidades de residuos o destinadas a la recepción de cargas pequeñas de escombros preferentemente domiciliarios, para ser tratados sosteniblemente y que disponen de las condiciones para acopiar y separar los residuos recibidos que han de ser trasladados posteriormente a las instalaciones de gestión adecuadas.

Las **plantas de reciclaje** son aquellas instalaciones que disponen de maquinaria y equipos específicos de reciclaje de los RCD, así como de sistemas de control de la calidad, para maximizar el valor añadido de los productos reciclados y optimizar el rendimiento de la producción. La fabricación de áridos reciclados ha de estar sujeta a las especificaciones técnicas y ensayos que prescriben las normativas vigentes.

En España existen actualmente casi dos centenares de instalaciones de reciclaje de RCD, la mitad de las cuales está en proceso de legalización, a las que deben añadirse un número similar de plantas móviles simples que operan en las obras al margen de cualquier control público.

El porcentaje de reciclaje en España se sitúa cerca del 8%, aunque menos de un tercio del material reciclado se comercializa como producto reciclado (árido para bases y subbases, drenajes, arenas y gravas, explanadas y suelos). La mayor parte se destina a rellenos o a restauración de espacios degradados (entre los que se contabiliza la restauración de canteras).

Mientras que las instalaciones de reciclaje autorizadas han producido y comercializado cerca de dos millones de toneladas de áridos reciclados el año pasado, se estima que una cantidad similar de materiales reciclados ha sido reutilizada en las mismas obras que la han generado.

5.2.2.9 Plásticos de uso agrícola

5.2.2.9.1 Situación actual del sector
El uso del plástico agrícola es¹⁹:

Ilustración 23. Tipos de uso del plástico agrícola



Fuente: CICLOPLAST

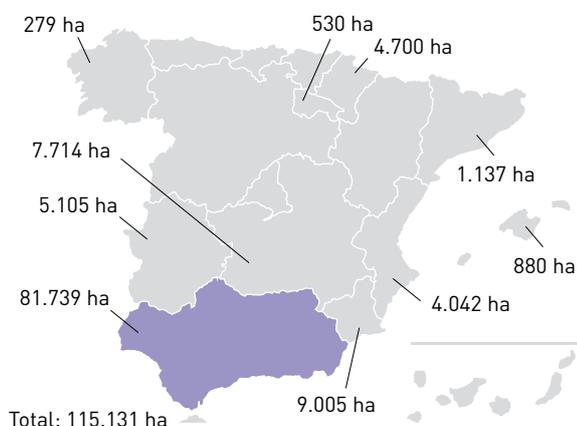
La distribución de estos materiales es:

Material	(%)
Filmes	40
Acolchado	
Tunelillo	
Invernadero	
Film ensilado	7
Tuberías	32
Otros	21
Mallas	
Otros	
Total	100

¹⁹Información facilitada por CICLOPLAST

Distribución geográfica:

Ilustración 24. Distribución geográfica plásticos para superficie de acolchado



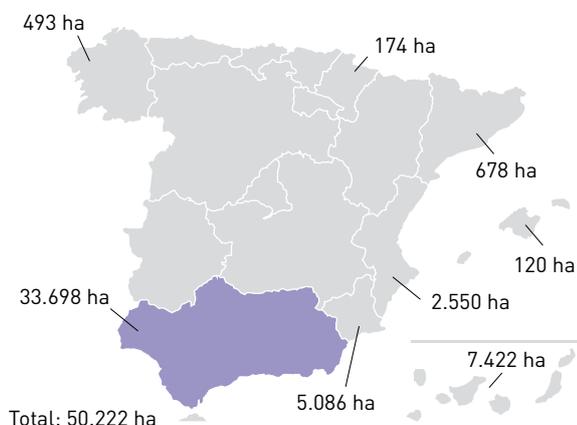
Fuente: CICLOPLAST

Ilustración 25. Distribución geográfica plásticos para superficie de tunelillo



Fuente: CICLOPLAST

Ilustración 26. Distribución geográfica plásticos para superficie de invernadero



Fuente: CICLOPLAST

5.2.2.9.2 Generación de residuos en el sector

Tabla 26. Generación de residuos en el sector de plásticos agrícolas

Año 2008 Sector		Consumo	Residuo
Envase y embalaje	Doméstico	1.109.000	1.109.000
	Industrial y comercial	476.000	476.000
	Total sector	1.585.000	1.585.000
Construcción		560.000	58.000
Automoción		273.000	102.000
Electricidad, electrónica y electrodomést.		255.000	122.000
Agricultura		228.000	192.000
Aplicaciones varias		677.000	338.500
Total general		3.578.000	2.397.500

5.2.2.9.3 Tipología de residuos generados por el sector

La tipología de residuos generados por este sector se concreta en los restos de los propios materiales plásticos aplicados a la actividad agraria. A menudo estos residuos se encuentran mezclados con otros materiales. Uno de los componentes de este flujo de residuos son tierras del propio campo de cultivo o del invernadero así como maderas u otros materiales de la aplicación habitual de estos productos.

5.2.2.9.4 Vías de gestión actuales

Tabla 27. Vías de gestión actuales. Residuos de plásticos agrícolas

Año 2008 Sector		Consumo	Residuo	Reciclado mecánico	Recuperación energética	Valorización energética
Envase y embalaje	Doméstico	1.109.000	1.109.000	289.084	208.000	497.084
	Industrial y comercial	476.000	476.000	98.197	39.000	137.197
	Total sector	1.585.000	1.585.000	387.281	247.000	634.281
Construcción		560.000	58.000	3.296		3.296
Automoción		273.000	102.000	8.403		8.403
Electricidad, electrónica y electrodomésticos		255.000	122.000	6.225		6.225
Agricultura		228.000	192.000	54.335		54.335
Aplicaciones varias		677.000	338.500	40.943	75.000	115.943
Total general		3.578.000	2.397.500	500.483	322.000	822.483

6 Potencial de valorización energética de los RSU y RI en España

6.1 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y ASIMILABLES

6.1.1 Evolución de la generación de RSU con el horizonte 2020

6.1.1.1 Potencial total

La evolución de la generación de los RSU se ha estimado siguiendo la misma metodología aplicada individualmente a las distintas áreas demográficas en las que se ha distribuido la población española en este estudio:

- 1. Estimación de la población por áreas demográficas en el periodo 2010-2020.** A partir de los datos del histórico de población obtenidos del INE, se prolonga la misma tendencia de evolución hasta 2020.
- 2. Estimación de la evolución de la generación por cápita de los RSU en el periodo 2010-2020.** Respecto a la tendencia en la generación per cápita, se toman las previsiones de evolución estimadas por los distintos planes de gestión de residuos correspondientes a cada área hasta su año horizonte. Para la proyección de este indicador hasta 2020, se considera una estabilización en la generación y, por tanto, se mantiene el mismo valor del último año objetivo de cada plan.
- 3. Estimación de la generación total de residuos en el periodo 2010-2020.** A partir de las proyecciones de población y de la generación per cápita de residuos establecidas, se calcula la evolución de la generación total de residuos durante el periodo 2010-2020.

La suma de la generación total obtenida por cada área da como resultado la generación total en España.

Tabla 28. Potencial total de RSU

	2010	2015	2020
Res. domésticos	19.485.699	20.737.013	21.922.796
Res. comerciales*	6.576.328	7.105.321	7.551.542
Total RSU	26.091.021	27.842.335	29.474.338

*Asimilables a urbanos. También incluye los industriales asimilables.

6.1.1.2 Potencial accesible

Dado que la generación de los residuos está asociada a la actividad humana, las zonas más densamente pobladas y, por tanto, con más presión sobre su territorio, tendrán mayores problemas para encontrar ubicaciones aptas para la gestión de sus residuos. Estas zonas demandan soluciones ambientales a la gestión de sus residuos urbanos y, por otro lado, acostumbran a ser zonas de demanda energética también concentrada.

La población española se caracteriza por tener una distribución irregular. La densidad media de población es de unos 91,2 hab/km² en 2008, siendo una de las más modestas de Europa Occidental. Pero este valor medio esconde claros desequilibrios dentro del territorio, donde en algunas áreas la concentración es de más de 500 hab/km², mientras que en otras áreas con un claro despoblamiento, no se alcanzan los 20 hab/km².

Las grandes zonas de población, con densidades superiores a la media, tienen una disposición periférica (Rías Bajas, País Vasco, Cataluña, Comunidad Valenciana, Andalucía, Baleares e Islas Canarias), a excepción de la Comunidad Autónoma de Madrid. En estas zonas, que representan el 43,3% de la superficie total, vive el 69% de la población.

Por el contrario, los grandes espacios con densidades inferiores a la media se localizan en el interior (Castilla-La Mancha, Castilla y León, Extremadura, Aragón, Galicia interior) y en áreas montañosas. Sobre este 56,6% del territorio, vive el 31% de la población total española. Solamente se pueden destacar en estas zonas las provincias de Zaragoza y Valladolid.

Ilustración 27. Distribución de la población en España, 2007

Distribución de la población en España 2007



España. Año 2007

Población total: 45.200.737 hab.

Densidad media: 89,57 hab/km²

Provincia con mayor densidad:
Madrid (758,13 hab/km²)

Provincia con menor densidad:
Soria (9,08 hab/km²)

Densidades de población en el año 2007,
por provincias (hab/km²):

- Más de 500
- Entre 140 y 500
- Entre 65 y 140
- Entre 30 y 65
- Menos de 30

Datos según el censo a 1 enero de 2007

Fuente: INE

Dada esta característica del territorio, el estudio diferencia entre las áreas demográficas más densamente pobladas, donde el principio de proximidad puede facilitar la viabilidad de las plantas, y las áreas menos densamente pobladas.

De este modo, se ha diferenciado en el resultado de cada potencial que se presenta en adelante, entre el que pertenecerá al área con densidad demográfica alta y el correspondiente al área con densidad demográfica baja o área difusa.

Para determinar el área con densidad demográfica alta, se ha escogido en algunos casos zonas geográficas asociadas a áreas metropolitanas (agregación de varios municipios aunque no tengan estructura administrativa propia), o bien zonas geográficas asociadas a una provincia o una comunidad autónoma. En todos los casos, las áreas seleccionadas coinciden con un ámbito

territorial o sectorial del Plan gestión de residuos que les corresponde.

Concretamente, las áreas consideradas de densidad demográfica alta son:

Tabla 29. Áreas consideradas de densidad demográfica alta

	Área demográfica	Población abarcada (2008)
1	Comunidad Autónoma de Madrid	6.271.638
2	Área metropolitana de Barcelona	4.845.231
3	Comunidad Autónoma de Galicia	2.794.796
4	Provincia de Sevilla	1.898.424
5	Área metropolitana de Valencia	1.616.529
6	Provincia de Málaga	1.587.840
7	Provincia de Cádiz	1.228.987
8	Provincia de Vizcaya	1.146.421
9	Principado de Asturias	1.080.138
10	Provincia de Granada	905.285
11	Isla de Tenerife	886.033
12	Isla de Mallorca	846.210
13	Isla Las Palmas de Gran Canaria	829.597
14	Área metropolitana de Alicante	714.997
15	Provincia de Guipúzcoa	700.392
16	Área metropolitana de Zaragoza	680.651
17	Área metropolitana de Alzira-Xàtiva	667.700
18	Área metropolitana de Murcia	615.054
19	Área metropolitana de Tarragona	538.333

(Continuación)

	Área demográfica	Población abarcada (2008)
20	Provincia de Valladolid	529.759
21	Área metropolitana de Santander-Torrelavega	391.293
22	Área metropolitana de Castellón	377.689
23	Área metropolitana de Pamplona	370.347
24	Provincia de Álava	315.525
Total		31.838.868

El total de la población del área de densidad demográfica alta cubre aproximadamente el 69% de la población española e incluye las principales áreas metropolitanas de España y zonas más concentradas en población.

De este modo, el potencial total queda repartido entre los siguientes potenciales accesibles:

Potencial accesible para el área de densidad demográfica alta (PADA)

El potencial accesible para esta área es:

Tabla 30. Potencial accesible para el área de densidad demográfica alta (PADA)

	2010	2015	2020	Unidades
Residuos domésticos	13.440.898	14.304.034	15.121.966	t/año
Residuos comerciales*	4.536.237	4.901.128	5.208.923	t/año
Total RSU	17.997.136	19.205.162	20.330.889	t/año

*Asimilables a urbanos. También incluye los residuos industriales asimilables.

Potencial accesible para el área de densidad demográfica baja (PADB)

Para el 31% de la población restante (área difusa) su potencial accesible se ha estimado en:

Tabla 31. Potencial accesible para el área de densidad demográfica baja (PADB)

	2010	2015	2020	Unidades
Residuos domésticos	6.044.800	6.432.980	6.800.830	t/año
Residuos comerciales*	2.040.090	2.204.193	2.342.619	t/año
Total RSU	8.093.885	8.637.173	9.143.449	t/año

*Asimilables a urbanos. También incluye los residuos industriales asimilables.

(Continuación)

6.1.2 Identificación de los flujos valorizables energéticamente

Atendiendo a la jerarquía de gestión de los residuos, los residuos que serán susceptibles de ser valorizados energéticamente serán, principalmente, los rechazos de los diferentes tipos de tratamientos que recibe cada fracción, según cuales sean las instalaciones existentes y previstas, respetando así los modelos de gestión planificados en cada región y prevaleciendo la recuperación y el reciclaje de materiales antes que la valorización energética o la eliminación en vertederos.

También se identifica como flujos valorizables energéticamente la fracción RESTO, los RSU en masa o, en algunos casos, la materia orgánica, que no hayan podido ser tratados, por distintas circunstancias de cada territorio (capacidad de las instalaciones insuficiente, la consecución parcial de los objetivos de reciclaje planteados en los planes de gestión, etc.).

En este estudio también se analiza la posibilidad de transformar los residuos en combustibles alternativos (CDR/CSR) para su utilización en otros tipos de instalaciones industriales.

Se incluye también en el estudio, el potencial de valorización energética de biogás obtenido de la digestión anaerobia de la materia orgánica de recogida selectiva.

También se identifica en paralelo, el potencial de valorización energética obtenido del biogás procedente de la desgasificación en los vertederos, donde se habrán enviado aquellos desechos que finalmente no hayan podido ser valorizados.

6.1.2.1 Rechazos de las instalaciones

Se ha considerado los siguientes porcentajes de obtención de rechazos sobre la entrada de residuos en los distintos tipos de tratamiento y en los distintos años del periodo de estudio:

Tabla 32. Generación de rechazos en los distintos tipos de tratamiento de los RSU

Tratamiento	2010 (%)	2015 (%)	2020 (%)
Tratamiento Mecánico-Biológico (TMB)	60	70	75
Compostaje	20	20	20

Tratamiento	2010 (%)	2015 (%)	2020 (%)
Biometanización	30	30	30
Reciclaje de papel/cartón	5	5	5
Reciclaje de vidrio	3	3	3
Reciclaje de envases	50	50	50
Tratamiento mecánico (selección) o procesos de recuperación material de la fracción "Otros"	30	30	30

Algunas observaciones:

- El TMB se ha considerado como un proceso tipo para todo el territorio, con separación de materiales mediante procesado mecánico y la biometanización o estabilización de la fracción orgánica del RESTO. En la proyección estimada en este estudio, los rechazos generados en estas instalaciones aumentan con el tiempo, ya que al aumentar la recogida selectiva disminuye la cantidad recuperable de la fracción RESTO.
- El rechazo de la biometanización, tanto de la fracción orgánica de recogida selectiva como de la fracción Resto, incluye también el rechazo del compostaje (maduración) del material digerido.
- El rechazo del reciclaje de las fracciones papel/cartón y vidrio es el producido por los recuperadores privados, que es donde se destinarán estos materiales.
- Para el reciclaje de envases, estos son enviados primeramente a las plantas de selección respectivas y, posteriormente, los materiales recuperados son enviados a los recicladores, siguiendo el marco de su Sistema Integral de Gestión (SIG). Los porcentajes de rechazo indicados son los globales para todo el ciclo del reciclaje.
- Para la fracción "Otros", también se ha fijado un porcentaje de rechazo global.

6.1.2.2 Generación energética en las instalaciones

Los valores de los parámetros considerados para el cálculo de la producción energética de cada tipo de instalación de valorización energética (incineración y digestión anaerobia), son:

Tabla 33. Parámetros de generación de energía eléctrica. Incineración

Incineración	
PCI de los rechazos (kcal/kg)	2.600
Rendimiento del ciclo de producción de energía eléctrica, n	25%
Horas operativas anuales	7.500

Tabla 34. Parámetros de generación de energía eléctrica. Digestión anaerobia

Digestión anaerobia	
Generación de biogás (m ³ /t)	120
PC del biogás (kcal/m ³)	5.000
Rendimiento (motores), n	38%
Rendimiento (producción kWh/t materia orgánica en base seca), n	55%
Horas operativas anuales	7.200

6.1.2.3 Capacidad de producción de CDR/CSR

Para este estudio, se ha considerado que el CDR/CSR se obtiene del tratamiento mecánico de la fracción RESTO, por medio de una separación de las fracciones seca y húmeda de los residuos entrantes en la planta de TMB y un procesado de la fracción seca (trituration, separación de metales, etc.) hasta obtener el combustible con las características demandadas por el usuario.

La relación considerada de la cantidad de producción de este material respecto al total de rechazos que producen las plantas de TMB es del orden del 10-15%, según se vaya implantando y desarrollando esta técnica con el tiempo.

Dada su naturaleza y composición más rica en las fracciones combustibles, se ha considerado un PCI promedio del CDR/CSR de 4.000 kcal/kg.

De acuerdo con estos valores, el estudio estima un potencial de producción de CDR/CSR en cada área y su equivalente en energía térmica (MWht/año o tep²⁰) sustituible en el horno industrial en el que se utilice este combustible alternativo. El potencial total de producción y sus contenidos energéticos que se han estimado son:

Tabla 35. Generación potencial de CDR/CSR a partir de los RSU (t/año) y energía térmica equivalente (MWht o ktep)

	2010	2015	2020	Unidades
CDR/CSR Área de densidad demográfica alta	378.110	789.763	879.531	t/año
Producción energía	1.758.650	3.673.315	4.090.844	MWht/año
Sustitución de combustible	151	316	352	ktep
CDR/CSR Área de densidad demográfica baja	180.000	315.000	337.500	t/año
Producción energía	837.209	1.465.116	1.569.767	MWht/año
Sustitución de combustible	72	126	135	ktep

²⁰1 kWh = 0,000086 tep (Fuente: IDAE, Guía práctica de la energía)

6.1.3 Evolución de los flujos valorizables energéticamente con el horizonte 2020

A continuación, se muestra un resumen de la recogida estimada para cada fracción y su gestión correspondiente en el horizonte temporal estudiado, así como el destino final previsto para los rechazos producidos, según las planificaciones de cada región estudiada.

Los resultados son obtenidos de los análisis de estas planificaciones de las que se ha analizado individualmente las evoluciones de cada fracción (orgánica, papel/cartón, vidrio, envases, otros y RESTO), así como todas las infraestructuras de tratamiento actuales y previstas (compostaje, digestión, recuperación, incineración, vertederos).

Para el caso de la fracción orgánica, el criterio utilizado para su evolución es común al de las demás

fracciones para los años 2010 y 2015, en los que se ha seguido los objetivos y previsiones de recogida y tratamiento de los Planes estudiados. Sin embargo, para su proyección hasta el 2020, año en el que no llega ningún Plan de residuos, se ha considerado cumplir con los objetivos planteados por el MARM en su actual "Borrador de Anteproyecto de Ley de Residuos y Suelos contaminados"²¹.

Este borrador establece para el mismo año 2020, el objetivo de alcanzar el 40% de recogida separada de los biorresiduos generados, con vistas al compostaje o la digestión anaerobia de los mismos. En consecuencia, se ha considerado para este año la consecución de este objetivo de recogida.

Respecto a su tratamiento, se ha supuesto un escenario teórico en el que toda la cantidad recogida podrá ser tratada, bien por medio de la digestión anaerobia (se ha estimado un 40%) o bien mediante el compostaje (se ha estimado un 60%).

61.3.1 Área de densidad demográfica alta

Tabla 36. Estimación de la evolución de la recogida selectiva de las distintas fracciones en el área de densidad demográfica alta

Fracción	2010	2015	2020	Unidades
Materia orgánica	1.491.493	2.001.373	3.578.237	t/año
Papel/cartón	1.509.732	2.022.887	2.184.043	t/año
Vidrio	551.132	829.328	887.987	t/año
Envases	689.004	918.523	985.785	t/año
Otros	1.032.852	1.129.434	1.225.376	t/año
RESTO	12.722.922	12.303.617	11.469.462	t/año

²¹http://www.mma.es/secciones/participacion_publica/calidad_contaminacion/pdf/borrador_anteproyecto_residuos_10junio.pdf

Infraestructuras previstas

Infraestructuras		2010	2015	2020	Unidades
Compostaje de FORSU	Cantidad	20	30	N/A	
	Capacidad	296.006	615.004	2.146.942	t/año
	Rechazos	45.102	89.636	429.388	t/año
Digestión de FORSU	Cantidad	4	9	N/A	
	Capacidad	250.000	491.947	1.431.295	t/año
	Producción eléctrica	66.279	130.423	140.864	MWhe/año
	Potencia	9	18	20	MWe
	Rechazos	53.002	98.055	111.447	t/año
Recuperación de Papel/cartón	Cantidad	Gestión privados			
	Capacidad	1.509.732	2.022.887	2.184.043	t/año
	Rechazos	75.487	101.144	109.202	t/año
Recuperación de vidrio	Cantidad	Gestión privados			
	Capacidad	551.132	829.328	887.987	t/año
	Rechazos	16.534	24.880	26.640	t/año
Recuperación de envases	Cantidad	40	45	45	
	Capacidad	956.294	1.114.696	1.140.271	t/año
	Rechazos	344.502	459.261	492.892	t/año
Otros	Cantidad	Gest. pública/privados			
	Capacidad	1.032.852	1.129.434	1.225.376	t/año
	Rechazos	309.856	338.830	367.613	t/año
Tratamiento de RESTO	Cantidad	39	48	48	
	Capacidad	7.188.166	8.927.291	9.167.291	t/año
	Potencial CDR/CSR	378.110	789.763	879.531	t/año
	Biometanización	701.000	821.000	821.000	t/año
	Producción eléctrica	83.631	97.947	97.947	MWhe/año
	Potencia	12	14	14	MWe
	Rechazos	3.195.689	4.354.622	4.863.311	t/año

Fracciones sin tratar*	2010	2015	2020	Unidades
Orgánica (FORSU y poda)	1.013.194	913.075	0	t/año
RESTO/RSU	6.769.331	4.960.804	5.233.232	t/año

*Las demás fracciones de recogida selectiva, al poder ser enviadas a recuperadores privados, se considera que siempre podrán ser tratadas.

Rechazos de los tratamientos	2010	2015	2020	Unidades
Total	4.040.171	5.466.429	6.400.493	t/año

Tabla 37. Gestión de los RSU prevista y estimada en el horizonte del año 2020 en el área de densidad demográfica alta

Infraestructuras finalistas		2010	2015	2020	Unidades
Valorización energética (incineración)	Cantidad*	8	11	12	
	Capacidad	2.483.752	5.248.452	5.698.452	t/año
	Producción eléctrica	1.877.254	3.966.853	4.306.970	MWhe/año
	Potencia	250	529	574	MWe
	Escorias producidas	521.588	1.102.175	1.196.675	t/año
	Cenizas producidas	99.350	209.938	227.938	t/año
Vertederos (privados y públicos)	Cantidad	42	39	42	
	Carga	9.395.220	6.588.230	7.152.920	t/año
Import/Export.	±	N/A	N/A	N/A	t/año

*En el caso de la CCAA de Madrid, el Plan no indica el número de PVE que se construirán, aunque sí se indica la nueva capacidad de tratamiento a la que se pretende llegar. Se ha considerado para este caso el escenario 3 del Plan: máxima incineración.

A partir de los datos analizados en esta tabla, se destaca el déficit de tratamiento de la fracción RESTO/RSU en 2020 (ver "fracciones sin tratar"). Este déficit de tratamiento detectado es debido a la diferencia entre las cantidades proyectadas y las capacidades de las instalaciones de tratamiento previstas por los Planes, y mantenidas a 2020.

Se espera por tanto, que para las próximas planificaciones que se vayan desarrollando se considere la ampliación de las capacidades de tratamiento, con el fin de dar la gestión adecuada de los RSU, y cumplir con la jerarquía definida por la Directiva Marco, asegurando siempre el tratamiento previo de los residuos antes de su eliminación.

Valorización energética prevista

Tabla 38. Valorización energética prevista en el área de densidad demográfica alta

Valorización energética prevista		2010	2015	2020	Unidades
Valorización de biogás ^(*)	Capacidad	951.000	1.312.947	2.252.295	t/año
	Producción eléctrica	149.910	228.370	238.811	MWhe/año
	Potencia	21	32	33	MWe
Incineración	Capacidad	2.483.752	5.248.452	5.698.452	t/año
	Producción eléctrica	1.877.254	3.966.853	4.306.970	MWhe/año
	Potencia	250	529	574	MWe

(*) Incluye el biogás de biometanización

6.1.3.2 Área de densidad demográfica baja

Tabla 39. Estimación de la evolución de la recogida selectiva de las distintas fracciones en el área de densidad demográfica baja

Fracción	2010	2015	2020	Unidades
Materia orgánica	534.196	760.071	1.609.247	t/año
Papel/cartón	678.975	909.757	982.234	t/año
Vidrio	247.862	372.975	399.356	t/año
Envases	309.867	413.089	443.339	t/año
Otros	464.506	507.943	551.091	t/año
RESTO	5.858.479	5.673.339	5.158.183	t/año

Los porcentajes indicados son los de recogida selectiva sobre la fracción.

Infraestructuras previstas

Infraestructuras		2010	2015	2020	Unidades
Compostaje de FORSU	Cantidad	13	13	N/A	
	Capacidad	200.000	200.000	965.548	t/año
	Rechazos	40.000	40.000	115.866	t/año

(Continuación)

Infraestructuras		2010	2015	2020	Unidades
Digestión de FORSU	Cantidad	0	0	N/A	
	Capacidad	0	0	643.699	t/año
	Producción eléctrica	0	0	170.655	MWhe/año
	Potencia	0	0	24	MWe
	Rechazos	0	0	77.244	t/año
Recuperación de papel/cartón	Cantidad	Gestión privados			
	Capacidad	678.975	909.757	982.234	t/año
	Rechazos	33.949	45.488	49.112	t/año
Recuperación de vidrio	Cantidad	Gestión privados			
	Capacidad	247.862	372.975	399.356	t/año
	Rechazos	7.436	11.189	11.981	t/año
Recuperación de envases	Cantidad	47	47	47	
	Capacidad	309.867	413.089	443.339	t/año
	Rechazos	154.934	206.544	221.669	t/año
Otros	Cantidad	Gestión pública/ privados			
	Capacidad	464.506	507.943	551.091	t/año
	Rechazos	139.352	152.383	165.327	t/año
Tratamiento de RESTO	Cantidad	35	35	35	
	Capacidad	3.000.000	3.000.000	3.000.000	t/año
	Potencial CDR/CSR	180.000	315.000	337.500	t/año
	Biometanización	413.000	413.000	413.000	t/año
	Producción eléctrica	49.272	49.272	49.272	MWhe/año
	Potencia	7	7	7	MWe
	Rechazos	1.620.000	1.785.000	1.912.500	t/año

Fracciones sin tratar*	2010	2015	2020	Unidades
Orgánica (FORSU y poda)	334.196	560.071	0	t/año
RESTO/RSU	2.858.479	2.673.339	2.158.183	t/año

*Las demás fracciones de recogida selectiva, al poder ser enviadas a recuperadores privados, se considera que siempre podrán ser tratadas.

Rechazos de los tratamientos	2010	2015	2020	Unidades
Total	1.995.670	2.240.604	2.553.699	t/año

Tabla 40. Gestión de los RSU prevista y estimada en el horizonte del año 2020 en el área de densidad demográfica baja

Infraestructuras finalistas		2010	2015	2020	Unidades
Valorización energética (incineración)	Cantidad	2	2	2	
	Capacidad	56.000	110.000	110.000	t/año
	Producción eléctrica	42.326	83.140	83.140	MWhe/año
	Potencia	6	11	11	MWe
	Escorias producidas	11.760	23.100	23.100	t/año
	Cenizas producidas	2.240	4.400	4.400	t/año
Vertederos (privados y públicos)	Cantidad	varios	varios	varios	
	Carga	5.132.345	5.364.014	4.601.881	t/año
Import/Export.	±	N/A	N/A	N/A	t/año

Se pone de manifiesto en este caso, la misma situación detectada sobre la fracción RESTO/RSU sin tratar, que la comentada para el caso del área de densidad demográfica alta (Tabla 11).

Valorización energética prevista

Tabla 41. Valorización energética prevista en el área de densidad demográfica baja

Valorización energética prevista		2010	2015	2020	Unidades
Valorización de biogás ^(*)	Capacidad	413.000	413.000	1.056.699	t/año
	Producción eléctrica	49.272	49.272	219.927	MWhe/año
	Potencia	7	7	31	MWe

(Continuación)

Valorización energética prevista		2010	2015	2020	Unidades
Incineración	Capacidad	56.000	110.000	110.000	t/año
	Producción eléctrica	42.326	83.140	83.140	MWhe/año
	Potencia	6	11	11	MWe

(*) Incluye el biogás de biometanización

6.1.4 Escenarios de potencial de valorización energética contemplados con el horizonte 2020

Dados estos resultados, se plantean dos hipótesis o escenarios posibles sobre la valorización energética de los residuos urbanos en España:

- **Escenario máximo:** evalúa toda la cantidad de rechazos que tenemos una vez descontados la recuperación de materiales. Este escenario se

basa en una situación teórica en la que se elegiría la valorización energética de todos los rechazos como el siguiente destino, evitando así totalmente su eliminación en vertederos. Con esta situación, obtenemos el Potencial Disponible.

- **Escenario mínimo o previsto:** considera la cantidad que está planificada en cada momento en los planes de gestión de residuos vigentes, de ser enviada a valorización energética, teniendo en cuenta las plantas incineradoras existentes, las que están en fase de proyecto, y las que se han planificado en los diferentes territorios. La capacidad de estas instalaciones en cada momento representa el Potencial Previsto.

6.1.4.1 Escenario máximo. Potencial Disponible

Potencial Disponible de Densidad demográfica Alta (PDDA)

Tabla 42. Potencial Disponible en el área de densidad demográfica alta (PDDA)

	2010	2015	2020	Unidades
Cantidad	11.822.696	11.340.309	11.633.726	t/año
Producción energía posible	8.935.759	8.571.163	8.792.932	MWhe/año
Potencia	1.191	1.143	1.172	MWe

Potencial Disponible de Densidad demográfica Baja (PDDB)

Tabla 43. Potencial Disponible en el área de densidad demográfica baja (PDDB)

	2010	2015	2020	Unidades
Cantidad	5.188.345	5.474.014	4.711.881	t/año
Producción energía posible	3.921.424	4.137.336	3.561.306	MWhe/año
Potencia	523	552	475	MWe

6.1.4.2 Escenario mínimo. Potencial Previsto

Potencial Previsto de Densidad demográfica Alta (PPDA)

Tabla 44. Potencial Previsto en el área de densidad demográfica alta (PPDA)

	2010	2015	2020	Unidades
Cantidad	2.483.752	5.248.452	5.698.452	t/año
Producción energía prevista	1.877.254	3.966.853	4.306.970	MWhe/año
Potencia	250	529	574	MWe

En el área de densidad demográfica alta el nivel de valorización energética previsto está en el 21% sobre el total de rechazos (PDDA), o lo que es lo mismo, el 9,5% sobre el total de RSU, según las cantidades estimadas para 2010 y con las ocho plantas incineradoras existentes en esta área, que son las de:

- Madrid,
- Mallorca,
- Mataró (Barcelona),
- Meruelo (Cantabria)
- Sant Adrià del Besòs (Barcelona),
- Sogama (La Coruña),
- Tarragona,
- Zabalgarbi (Bilbao).

Para 2020, se llegaría hasta el 48,9% (19,3% del total de RSU) si se completasen todas las nuevas incineradoras previstas en los distintos Planes de Residuos en el momento de redacción del presente estudio, que serían las de: Guipúzcoa (en proyecto), Área Metropolitana de Barcelona, Asturias (nuevo Plan aún no definitivo), Tenerife y Madrid (ampliación de capacidad, escenario del Plan con valorización energética máxima).

De ser así, la capacidad instalada en esta área llegaría a duplicarse en los próximos diez años.

Potencial Previsto de Densidad demográfica Baja (PPDB)

Tabla 45. Potencial Previsto en el área de densidad demográfica baja (PPDB)

	2010	2015	2020	Unidades
Cantidad	56.000	110.000	110.000	t/año
Producción energía prevista	42.326	83.140	83.140	MWhe/año
Potencia	6	11	11	MWe

Habiendo solamente dos plantas incineradoras instaladas en esta parte del territorio: Girona y Melilla, y con capacidades más modestas, de 36.000 t/año (con ampliación a 90.000 t/año) y 20.000 t/año respectivamente, en el área de densidad demográfica baja el grado de valorización energética implantado es mucho menor al del caso anterior, de aproximadamente el 1,1% sobre su potencial disponible (PDDB), o 0,2% sobre todos los RSU.

6.1.5 Fracción renovable de los residuos valorizables energéticamente

Los RSU contienen una proporción importante de material biodegradable²² que consiste, principalmente, en los residuos orgánicos domésticos, residuos de jardinería, o papel y cartón. Pero también las otras fracciones tienen su parte de origen biológico.

En relación a este aspecto, la Directiva 2009/28/CE establece dos premisas: la primera, que la biomasa es una fuente de energía renovable, y la segunda que se considera que la fracción biodegradable de los residuos urbanos e industriales es biomasa. Por lo tanto, la energía generada a partir de la combustión de los residuos urbanos e industriales constituye una energía parcialmente renovable. En otros términos, las emisiones producidas por la combustión de la fracción biodegradable de los residuos se consideran neutras a efectos de su contribución sobre el cambio climático.

En el caso de los CSR, cabe mencionar la norma EN 15440:2011, que establece el método para la determinación del contenido biodegradable de este combustible.

Sin embargo, estimar o calcular la fracción renovable en los residuos destinados a valorización energética es complejo debido a la gran heterogeneidad del combustible. Para estimar un valor representativo se requeriría realizar un análisis profundo de los residuos destinados a este tratamiento, lo que supondría realizar un estudio que comprendería un largo período de muestreo y de análisis de los residuos.

Para calcular el porcentaje de energía renovable obtenido de las plantas incineradoras, una posible metodología a emplear consistiría en realizar los siguientes pasos:

1. Identificar la cantidad de residuos incinerados.
2. Identificar los tipos de residuos que componen el flujo incinerado (rechazos, residuos en masa, residuos domésticos, RICIA, materia orgánica no compostada, etc.) y su composición en fracciones (orgánica, P/C, plásticos, etc.).
3. Definir el contenido energético (kcal/kg) de cada componente y establecer cuánto de éste sería renovable (%).

4. A partir de esa relación entre el contenido de energía renovable y el contenido energético total, se puede calcular el porcentaje de energía renovable obtenida a partir de la incineración de los residuos.

Para poder desarrollar este método de balance hace falta disponer de un registro de datos muy completo y preciso de la caracterización de los residuos que se envíen a incineración. Posteriormente, mediante la aplicación de modelos matemáticos se calcularía el resultado más probable de la fracción renovable.

Por otro lado, existe también otro método basado en la datación por radiocarbono que utiliza el isótopo carbono-14 para determinar la edad de materiales que contienen carbono. Mediante esta técnica se podría diferenciar entre el carbono de origen fósil y el de origen biogénico.

Por el momento, estos métodos están siendo comprobados sus resultados en algunas plantas incineradoras de Europa.

Si bien algunos países europeos han desarrollado un protocolo o metodología propia para definir cual es la fracción renovable de sus residuos domésticos, como Dinamarca, que considera que es el 77,7%, u Holanda, que considera que es el 47%, en la mayoría de casos no se dispone aun de tal información.

Por ejemplo, para los países que no hayan fijado una cuota, la Agencia Internacional de la Energía (AIE) recomienda considerar un 50% de fracción renovable de la energía obtenida de la incineración de los residuos.

Atendiendo a esta situación, en la elaboración de este estudio se ha considerado el 50% como la parte renovable de la energía procedente de la incineración de la fracción biodegradable de los residuos urbanos en el caso de España.

Asimismo, para los CDR/CSR, al no disponer de referencias de estudios claras sobre el contenido biodegradable de este material, se ha considerado también en este estudio, como criterio conservador, un 50% de fracción renovable de la energía obtenida.

6.1.5.1 Estudio comparativo

Alternativamente, y a modo de ejemplo de comparación con los criterios descritos anteriormente, los autores de este trabajo hemos realizado un estudio para la estimación de la fracción renovable de los RSU a partir de la composición genérica publicada

²²Ver definición de biodegradabilidad en el capítulo de terminología

por el PNIR 2008-2015, y la situación de generación para 2020, obtenida de los resultados anteriormente expuestos.

Se incluye dos tablas de análisis:

- Una tabla para la estimación de la fracción biodegradable de los rechazos que irán a valorización energética.
- Una tabla de cálculo del contenido energético renovable de estos rechazos.

Estas tablas recogen los conceptos de análisis para cada flujo de residuos considerado hasta llegar a los rechazos a valorización energética.

Previamente, para facilitar la comprensión de estas tablas, a continuación se describen los conceptos utilizados en las mismas.

- **Composición de los RSU:** la considerada en el PNIR 2008-2015. De la fracción "Otros" se ha separado entre los que son biodegradables (maderas y algunos textiles) de los que no.
- **RSU generados:** es el Potencial Total para las dos áreas de densidad demográfica sumadas (29.474.338 t). Los resultados parciales de cada material son a partir del total y la composición considerada.
- **Recogida selectiva:** suma de las cantidades recogidas calculadas para el 2020 de las principales fracciones. Para la fracción "Otros", los materiales que la componen se han calculado a partir de la RS de esta fracción y su composición porcentual a partir de la composición de los RSU.
- **RESTO recogido:** es la diferencia entre recogida

de RSU y recogidas selectivas.

- **RESTO a TMB:** es la suma de capacidades de las plantas de TMB estimadas para el 2020. Los valores de las fracciones son calculadas manteniendo la proporción de la composición de la fracción RESTO.
- **Orgánica a compostaje/digestión:** en el caso de 2020, y según criterio ya comentado, toda la fracción orgánica recibe uno de estos dos tratamientos.
- **Orgánica sin tratar:** en el caso de 2020, el valor es 0.
- **RESTO sin tratar:** suma del RESTO sin tratar de las distintas áreas demográficas.
- **Rechazos del tratamiento de orgánica:** suma los rechazos para los tratamientos recibidos (60% digestión, 40% compostaje), descontándoles un 15% de impropios (aproximación) que serán inertes que irán a vertedero.
- **Rechazos de TMB:** suma de los rechazos de los TMB de España.
 - De los materiales que no son materia orgánica, se ha considerado para todos que se recupera un 10%.
 - En el caso de la madera, se recupera toda ya que se ha considerado que vendrá de voluminosos, palets, etc. Por lo tanto, no tiene rechazo.
 - La orgánica se calcula por diferencias con los demás materiales presentes en los rechazos.
- **Rechazos de recogidas selectivas:** suma de los rechazos de los tratamientos de valorización material de: papel/cartón, vidrio, envases, otros. Como aproximación, se ha asumido que los rechazos tienen la misma naturaleza que los materiales recogidos selectivamente.
- **Total a entrada de VE:** suma de rechazos y fracciones sin tratar.

Cálculo de la fracción biodegradable de los RSU

Tabla 46. Cálculo de la fracción biodegradable de los RSU

	Composición (%)	RSU generados (t/a)	Recogida selectiva (t/a)	RESTO recogido (t/a)	RESTO a TMB (t/a)	Orgánica a compostaje y digestión (t/a)	Orgánica sin tratar (t/a)	RESTO sin tratar (t/a)	Rechazos tratamientos orgánica (t/a)	Rechazos de TMB (t/a)	Rechazos de recogidas selectivas (t/a)	Total a entrada de valorización energética (t/a)	Composición (%)
Total	100,0	29.474.338	12.846.693	16.627.645	9.236.230	5.187.483	0	7.391.415	733.945	6.775.811	1.444.436	16.345.607	100,0
Fracción combustión biodegradable	70,0	20.632.037	8.864.239	11.767.797	6.536.709	5.187.483	0	5.231.088	733.945	4.346.243	244.971	10.556.246	64,6
Orgánica	44,0	12.968.709	5.187.483	7.781.225	4.322.271	5.187.483	0	3.458.954	733.945	2.449.558		6.642.457	40,6
Papel-cartón	21,0	6.189.611	3.166.277	3.023.334	1.679.385			1.343.950		1.511.446	158.314	3.013.710	18,4
Maderas	1,0	294.743	102.096	192.648	107.011			85.637		0		85.637	0,5
Otros (porcentaje del 12,3%)	4,0	1.178.974	408.383	770.590	428.043			342.547		385.239	86.657	814.443	5,0

(Continuación)

	Composición (%)	RSU generados (t/a)	Recogida selectiva (t/a)	RESTO recogido (t/a)	RESTO a TMB (t/a)	Orgánica a compostaje y digestión (t/a)	Orgánica sin tratar (t/a)	RESTO sin tratar (t/a)	Rechazos tratamientos orgánica (t/a)	Rechazos de TMB (t/a)	Rechazos de recogidas selectivas (t/a)	Total a entrada de valorización energética (t/a)	Composición (%)
Fración combust. no biodegradable	30,0	8.842.301	3.982.454	4.859.848	2.699.521	0	0	2.160.327	0	2.429.569	1.199.465	5.789.361	35,4
Plástico	10,6	3.124.280	1.429.123	1.695.157	941.616			753.541		847.454	714.562	2.315.557	14,2
Vidrio	7,0	2.063.204	1.287.342	775.861	430.971			344.890		387.874	38.620	771.384	4,7
Metales férricos	3,4	1.002.127	347.126	655.002	363.837			291.165		327.453		618.618	3,8
Metales no férricos	0,7	206.320	71.467	134.853	74.908			59.946		67.417		127.363	0,8
Otros (porcentaje del 12,3% no renovable)	8,3	2.446.370	847.395	1.598.975	888.190			710.785		799.371	446.283	1.956.439	12

Cálculo de la fracción renovable de los RSU

Tabla 47. Cálculo de la fracción biodegradable de los residuos destinados a valorización energética

	Composición (%)	PCI base seca (Kcal/kg)	Inertes (%)	Humedad (%)	PCI base seca sin inertes (kcal/kg)	PCI por fracción (kcal/kg)	Aportación al PCI (kcal/kg)	Caudal (base de cálculo) (t/año)	Energía térmica (MWh/año)	Porcentaje energético (%)
Total	100,0							100	37.40	
Fración combustión renovable	64,6						747,3	65	17.402	46,5
Orgánica	40,6	3.645	8	70	3.353,4	381,9	155,2	41	7.333	20
Papel-cartón	18,4	4.203	10	30	3.782,7	2.341,8	431,8	18	9.257	25
Maderas	0,5	4.617	2	4	4.524,7	4.316,0	22,6	0,5	14	0,04
Otros (porcentaje del 12,3%)	5,0	4.600	6	30	4.324,0	2.764,0	137,7	5	798	2,1
Fración combustión no renovable	35,4						1265,5	35	20.001	53,5
Plástico	14,2	7.653	3	10	7.423,4	6.598,1	934,7	14	15.397	41
Vidrio	4,7	0	98	2	0,0	0,0	0,0	5	0	0
Metales férricos	3,8	0	99	1	0,0	0,0	0,0	4	0	0
Metales no férricos	0,8	0	99	1	0,0	0,0	0,0	1	0	0
Otros (porcentaje del 12,3% no renovable)	12,0	4.600	6	30	4.324,0	2.764,0	330,8	12	4.604	12

Como vemos, se ha obtenido un resultado final del 46,5% de fracción renovable de los RSU, valor similar al propuesto por la AIE (50%).

De todos modos, este resultado está sujeto a unas suposiciones de composición y flujos de materiales determinadas. Entendemos que para contrastar estos valores presentados, habrá que ir aplicando con el tiempo una metodología concreta para obtener datos más fiables y cercanos a la realidad.

En cualquier caso, para el presente estudio, se considera razonables las consideraciones presentadas, y se utilizará como valor orientativo de fracción renovable, el 50% propuesto por la AIE.

6.1.6 Potencial de obtención y valorización energética de biogás

6.1.6.1 Biogás procedente de digestión anaerobia

Además de los rechazos de los tratamientos que pueden ser valorizados energéticamente, tal y como hemos visto anteriormente, también cabe destacar el potencial energético que se puede obtener de la

fracción orgánica de recogida selectiva, a través de su tratamiento mediante digestión anaerobia.

Se ha realizado el estudio del potencial de valorización energética de esta fracción, en base a las cantidades de FORSU obtenidas en las tablas de análisis presentadas anteriormente y, en la misma línea que para los demás residuos, se ha determinado los diferentes potenciales de valorización energética de biogás de digestión anaerobia, tal y como se describen a continuación:

- **Potencial total:** corresponde a toda la fracción orgánica de los RSU que se recoja en el área de densidad demográfica alta y en el área de densidad demográfica baja.
- **Potencial accesible:** corresponde a la cantidad de materia orgánica a recoger según los Planes de residuos, para los años 2010 y 2015, y según los objetivos del Borrador de Anteproyecto de Ley de Residuos y Suelos Contaminados para el año 2020 (40%).
- **Potencial disponible:** escenario teórico considerado en el que un 40% de la FORSU se valorizaría mediante digestión anaerobia.
- **Potencial previsto:** capacidad de digestión de FORSU prevista por los planes, y prolongada hasta 2020.

Las tablas siguientes recogen los resultados obtenidos:

Potencial total

- Área de densidad demográfica alta

Tabla 48. Potencial total de obtención y valorización energética de biogás. Área de densidad demográfica alta

	2010	2015	2020	Unidades
RSU	17.997.136	19.205.162	20.330.889	t/año
Fracción orgánica	7.918.740	8.450.271	8.945.591	t/año
Energía primaria	5.524.702	5.895.538	6.241.110	MWht/año
	475.124	507.016	536.735	tep
Energía final	2.099.387	2.240.304	2.371.622	MWhe/año
	292	311	329	MWe

- Área de densidad demográfica baja

Tabla 49. Potencial total de obtención y valorización energética de biogás. Área de densidad demográfica baja

	2010	2015	2020	Unidades
RSU	8.093.885	8.637.173	9.143.449	t/año
Fracción orgánica	3.561.310	3.800.356	4.023.117	t/año
Energía primaria	2.484.635	2.651.411	2.806.826	MWht/año
	213.679	228.021	241.387	tep
Energía final	944.161	1.007.536	1.066.594	MWhe/año
	131	140	148	MWe

- Total

Tabla 50. Potencial total de obtención y valorización energética de biogás

	2010	2015	2020	Unidades
RSU	26.091.021	27.842.335	29.474.338	t/año
Fracción orgánica	11.480.049	12.250.627	12.968.709	t/año
Energía primaria	8.009.337	8.546.949	9.047.936	MWht/año
	688.803	735.038	778.123	tep
Energía final	3.043.548	3.247.841	3.438.216	MWhe/año
	423	451	478	MWe

Potencial accesible

- Área de densidad demográfica alta

Tabla 51. Potencial accesible de obtención y valorización energética de biogás. Área de densidad demográfica alta

	2010	2015	2020	Unidades
Fracción orgánica	7.918.740	8.450.271	8.945.591	t/año
Cantidad recogida	1.491.493	2.001.373	3.578.237	t/año
Energía primaria	1.040.577	1.396.306	2.496.444	MWht/año
	89.490	120.082	214.694	tep

(Continuación)

	2010	2015	2020	Unidades
Energía final	395.419	530.596	948.649	MWhe/año
	55	74	132	MWe

- Área de densidad demográfica baja

Tabla 52. Potencial accesible de obtención y valorización energética de biogás. Área de densidad demográfica baja

	2010	2015	2020	Unidades
Fracción orgánica	3.561.310	3.800.356	4.023.117	t/año
Cantidad recogida	534.196	760.071	1.609.247	t/año
Energía primaria	372.695	530.282	1.122.730	MWht/año
	32.052	45.604	96.555	tep
Energía final	141.624	201.507	426.638	MWhe/año
	20	28	59	MWe

- Total

Tabla 53. Potencial accesible de obtención y valorización energética de biogás

	2010	2015	2020	Unidades
Fracción orgánica	11.480.049	12.250.627	12.968.709	t/año
Cantidad recogida	1.722.007	2.450.125	5.187.483	t/año
Energía primaria	1.201.401	1.709.390	3.619.175	MWht/año
	103.320	147.008	311.249	tep
Energía final	456.532	649.568	1.375.286	MWhe/año
	63	90	191	MWe

Potencial disponible

- Área de densidad demográfica alta

Tabla 54. Potencial disponible de obtención y valorización energética de biogás. Área de densidad demográfica alta

	2010	2015	2020	Unidades
Cantidad recogida	1.491.493	2.001.373	3.578.237	t/año
Cant. Rec. digestión	596.597	800.549	1.431.295	t/año
Energía primaria	416.231	558.523	998.578	MWht/año
	35.796	48.033	85.878	tep
Energía final	158.168	212.239	379.459	MWhe/año
	22	29	53	MWe

- Área de densidad demográfica baja

Tabla 55. Potencial disponible de obtención y valorización energética de biogás. Área de densidad demográfica baja

	2010	2015	2020	Unidades
Cantidad recogida	534.196	760.071	1.609.247	t/año
Cant. Rec. digestión	213.679	304.028	643.699	t/año
Energía primaria	149.078	212.113	449.092	MWht/año
	12.821	18.242	38.622	tep
Energía final	56.650	80.603	170.655	MWhe/año
	8	11	24	MWe

- Total

Tabla 56. Potencial disponible de obtención y valorización energética de biogás

	2010	2015	2020	Unidades
Cantidad recogida	2.025.690	2.761.444	5.187.483	t/año
Cant. Rec. digestión	810.276	1.104.578	2.074.993	t/año
Energía primaria	565.309	770.635	1.447.670	MWht/año
	48.617	66.275	124.500	tep

(Continuación)

	2010	2015	2020	Unidades
Energía final	214.817	292.841	550.115	MWhe/año
	30	41	76	MWe

Potencial previsto

- Área de densidad demográfica alta

Tabla 57. Potencial previsto de obtención y valorización energética de biogás. Área de densidad demográfica alta

	2010	2015	2020	Unidades
FORSU	1.491.493	2.001.373	2.163.877	t/año
FORSU a digestión	250.000	491.947	531.330	t/año
Energía primaria	174.419	343.219	370.695	MWht/año
	15.000	29.517	31.880	tep
Energía final	66.279	130.423	140.864	MWhe/año
	9	18	20	MWe

- Área de densidad demográfica baja

Tabla 58. Potencial previsto de obtención y valorización energética de biogás. Área de densidad demográfica baja

	2010	2015	2020	Unidades
FORSU	670.772	900.081	973.164	t/año
FORSU a digestión	0	0	0	t/año
Energía primaria	0	0	0	MWht/año
	0	0	0	tep
Energía final	0	0	0	MWhe/año
	0	0	0	MWe

- Total

Tabla 59. Potencial previsto de obtención y valorización energética de biogás

	2010	2015	2020	Unidades
FORSU	2.162.265	2.901.454	3.137.041	t/año
FORSU a digestión	250.000	491.947	531.330	t/año
Energía primaria	174.419	343.219	370.695	MWht/año
	15.000	29.517	31.880	tep
Energía final	66.279	130.423	140.864	MWhe/año
	9	18	20	MWe

6.1.6.2 Biogás procedente de la desgasificación de vertederos

Como escenario comparativo, y no adicional a los demás potenciales presentados, se ha cuantificado también el potencial de obtención de biogás que se obtendría de la degradación de la materia biodegradable contenida en los residuos destinados a vertedero.

Los potenciales para este caso se definirían de la siguiente manera:

- **Potencial total:** se considera la valorización energética de biogás procedente de la desgasificación de vertederos contabilizando toda la fracción biodegradable de los RSU. Obviamente, este es un escenario hipotético y no realizable.
- **Potencial accesible:** la cantidad de fracción biodegradable que sería depositada en vertederos sería la máxima permitida según cumplimiento de el RD 1481/2001 por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.
- **Potencial disponible:** comprende una parte considerada (%) de los rechazos que no están previstos de incinerar por las planificaciones. Se ha considerado que de todos los vertederos donde se enviarán estos residuos, los que harán captación y valorización energética del biogás son mayoritariamente, por su tamaño y demanda de energía, los pertenecientes al área de densidad demográfica alta. En el área de densidad demográfica baja, los vertederos serán la mayoría pequeños, lo que hace difícil implantar una instalación de recuperación de biogás y valorización energética por su baja

viabilidad. Muchos de ellos, o no harán captación de biogás, o lo captarán pero no harán recuperación energética (se quemarán en antorcha directamente). Entonces, se ha considerado un 60% de la cantidad biodegradable en el área de densidad demográfica alta, y un 20% en el área de densidad demográfica baja.

Se ha considerado los siguientes parámetros para el cálculo de los potenciales de valorización energética:

- Fracción biodegradable de los deshechos que van a vertedero: 65%.
- Producción promedio de biogás en los vertederos con sistema de desgasificación: de 100 m³/t de residuos vertido.
- Régimen de funcionamiento promedio para toda España: 4.500 h/año.

A partir de estas consideraciones los resultados obtenidos son los siguientes:

Potencial total

- Área de densidad demográfica alta

Tabla 60. Potencial total de valorización energética de biogás de vertederos. Área de densidad demográfica alta

	2010	2015	2020	Unidades
RSU	17.997.136	19.205.162	20.330.889	t/año
Fracción biodeg.	11.698.138	12.483.355	13.215.078	t/año
Energía primaria	6.801.243	7.257.765	7.683.185	MWht/año
	584.907	624.168	660.754	tep
Energía final	2.584.472	2.757.951	2.919.610	MWhe/año
	574	613	649	MWe

- Área de densidad demográfica baja

Tabla 61. Potencial total de valorización energética de biogás de vertederos. Área de densidad demográfica baja

	2010	2015	2020	Unidades
RSU	8.093.885	8.637.173	9.143.449	t/año
Fracción biodeg.	5.261.025	5.614.163	5.943.242	t/año
Energía primaria	3.058.736	3.264.048	3.455.373	MWht/año
	263.051	280.708	297.162	tep
Energía final	1.162.320	1.240.338	1.313.042	MWhe/año
	258	276	292	MWe

- Total

Tabla 62. Potencial total de valorización energética de biogás de vertederos

	2010	2015	2020	Unidades
RSU	26.091.021	27.842.335	29.474.338	t/año
Fracción biodeg.	16.959.164	18.097.518	19.158.320	t/año
Energía primaria	9.859.979	10.521.813	11.138.558	MWht/año
	847.958	904.876	957.916	tep

(Continuación)

	2010	2015	2020	Unidades
Energía final	3.746.792	3.998.289	4.232.652	MWhe/año
	833	889	941	MWe

Potencial accesible

- Área de densidad demográfica alta

Tabla 63. Potencial accesible de valorización energética de biogás de vertederos. Área de densidad demográfica alta

	2010	2015	2020	Unidades
RSU	17.997.136	19.205.162	20.330.889	t/año
Cantidad biodeg.	4.011.776	4.011.776	2.881.188	t/año
Energía primaria	2.332.428	2.332.428	1.675.109	MWht/año
	200.589	200.589	144.059	tep
Energía final	886.323	886.323	636.542	MWhe/año
	197	197	141	MWe

- Área de densidad demográfica baja

Tabla 64. Potencial accesible de valorización energética de biogás de vertederos. Área de densidad demográfica baja

	2010	2015	2020	Unidades
RSU	8.093.885	8.637.173	9.143.449	t/año
Cantidad biodeg.	1.804.224	1.804.224	1.295.762	t/año
Energía primaria	1.048.967	1.048.967	753.350	MWht/año
	90.211	90.211	64.788	tep
Energía final	398.608	398.608	286.273	MWhe/año
	89	89	64	MWe

- Total

Tabla 65. Potencial accesible de valorización energética de biogás de vertederos

	2010	2015	2020	Unidades
RSU	26.091.021	27.842.335	29.474.338	t/año
Cantidad biodeg.	5.816.000	5.816.000	4.176.950	t/año
Energía primaria	3.381.395	3.381.395	2.428.459	MWht/año
	290.800	290.800	208.848	tep
Energía final	1.284.930	1.284.930	922.815	MWhe/año
	286	286	205	MWe

Potencial disponible

- Área de densidad demográfica alta

Tabla 66. Potencial disponible de valorización energética de biogás de vertederos. Área de densidad demográfica alta

	2010	2015	2020	Unidades
Rechazos no previstos de incinerar	9.338.944	6.091.857	5.935.274	t/año
Cantidad biodeg.	3.642.188	2.375.824	2.314.757	t/año
Energía primaria	2.117.551	1.381.293	1.345.789	MWht/año
	182.109	118.791	115.738	tep
Energía final	804.669	524.891	511.400	MWhe/año
	179	117	114	MWe

- Área de densidad demográfica baja

Tabla 67. Potencial disponible de valorización energética de biogás de vertederos. Área de densidad demográfica baja

	2010	2015	2020	Unidades
Rechazos no previstos de incinerar	5.132.345	5.364.014	4.601.881	t/año
Cantidad biodeg.	667.205	697.322	598.245	t/año
Energía primaria	387.910	405.420	347.817	MWht/año
	33.360	34.866	29.912	tep
Energía final	147.406	154.059	132.170	MWhe/año
	33	34	29	MWe

- Total

Tabla 68. Potencial disponible de valorización energética de biogás de vertederos

	2010	2015	2020	Unidades
Rechazos no previstos de incinerar	14.471.289	11.455.871	10.537.155	t/año
Cantidad biodeg.	4.309.393	3.073.146	2.913.001	t/año
Energía primaria	2.505.461	1.786.713	1.693.605	MWht/año
	215.470	153.657	145.650	tep
Energía final	952.075	678.951	643.570	MWhe/año
	212	151	143	MWe

Si comparamos estos resultados obtenidos de biogás de vertedero con los anteriores de potencial de biogás de digestión anaerobia, vemos que hay unas diferencias entre los potenciales calculados:

- El potencial total de biogás de vertedero, en términos de producción energética, es mayor que el de biogás de digestión anaerobia, debido a que en el caso de la digestión anaerobia el material que podría degradarse es principalmente la materia orgánica, la cual representa el 44% (según composición de RSU considerada), mientras que para el vertedero este contenido degradable representa el 65%, ya que también considera la fracción de papel/cartón.
- Cuando bajamos al nivel del potencial accesible, el resultado es inverso: el potencial de biogás de digestión es mayor que el de vertedero. Este cambio sucede ya que para este potencial, la cantidad de fracción biodegradable contabilizada es según los objetivos fijados por la legislación considerada en cada caso, es decir, por el Borrador de Anteproyecto de Ley de Residuos en el caso de la digestión anaerobia; y por el RD 1481/2001 de eliminación de residuos en vertederos en este segundo caso.
- Finalmente, para el potencial disponible las diferencias obtenidas entre los dos casos no son tan amplias como en los otros potenciales, de acuerdo con los escenarios teóricos considerados. Otras suposiciones de escenarios darían otros resultados distintos.

6.1.7 Resumen

A partir de los resultados obtenidos en el presente capítulo de RSU y centrándose en el último año del horizonte establecido; 2020, las siguientes figuras representan el resumen de los distintos escenarios de valorización energética en España, tanto en términos de energía total, como en términos de energía renovable.

Ilustración 28. Potencial total y accesibles de RSU estimados para 2020

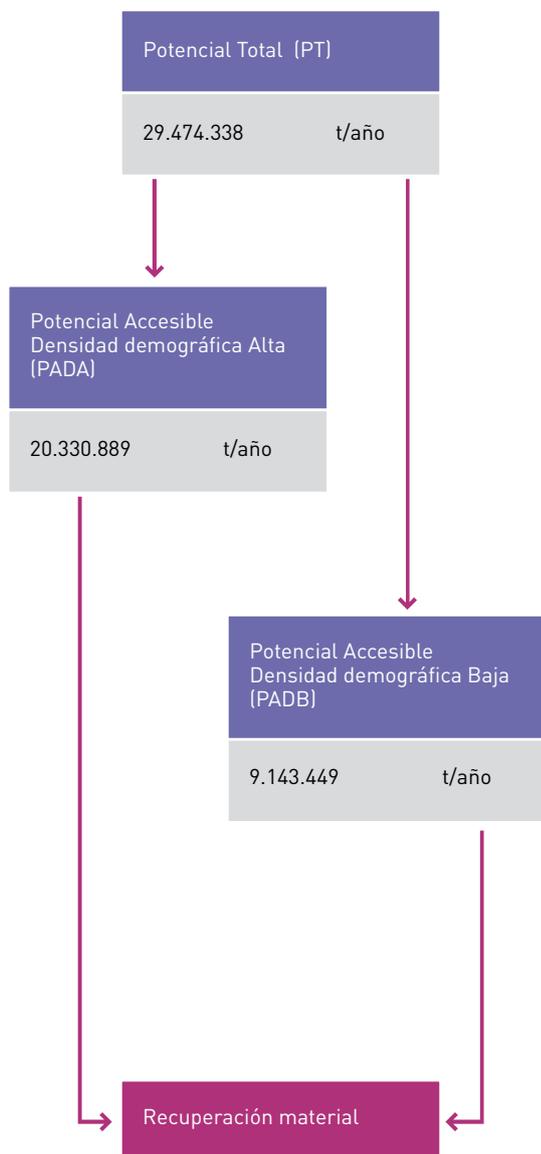


Ilustración 29. Potencial accesible y disponible de RSU en el área de densidad demográfica alta estimados para 2020

Potencial Accesible Densidad demográfica Alta (PADA)	
20.330.889	t/año
↓	
Potencial disponible biogás (digest. FORSU)	
1.431.295	t/año
379.459	MWhe/año
53	MWe
Fracción renovable	
379.459	MWhe/año
53	MWe
↓	
Potencial disponible CDR/CSR	
879.531	t/año
4.090.844	MWht/año
392	ktep
Fracción renovable	
2.045.422	MWht/año
176	ktep
↓	
Potencial Disponible Densidad demográfica Alta (PDDA) incineración	
11.633.726	t/año
8.792.932	MWhe/año
1.172	MWe
Fracción renovable	
4.396.466	MWhe/año
586	MWe

Ilustración 30. Potencial accesible y disponible de RSU en el área de densidad demográfica baja estimados para 2020

Potencial Accesible Densidad demográfica Baja (PADB)	
9.143.449 t/año	
↓	
Potencial disponible biogás (digest. FORSU)	
643.699 t/año	
170.655 MWhe/año	
24 MWe	
Fracción renovable	
170.655 MWhe/año	
24 MWe	
↓	
Potencial disponible CDR/CSR	
337.500 t/año	
1.569.767 MWht/año	
135 ktep	
Fracción renovable	
784.884 MWht/año	
68 ktep	
↓	
Potencial Disponible Densidad demográfica Baja (PDDB) incineración	
4.711.881 t/año	
475 MWhe/año	
0	0
Fracción renovable	
1.780.653 MWhe/año	
237 MWe	

Ilustración 31. Potencial accesible y disponible de RSU totales estimados para 2020

Total potencial disponible biogás	
2.074.993 t/año	
550.115 MWhe/año	
76 MWe	
Fracción renovable	
550.115 MWhe/año	
76 MWe	
↓	
Total potencial disponible CDR/CSR	
1.217.031 t/año	
5.660.611 MWht/año	
487 ktep	
Fracción renovable	
2.830.306 MWht/año	
243 ktep	
↓	
Total potencial disponible incineración	
16.345.607 t/año	
12.354.238 MWhe/año	
1.647 MWe	
Fracción renovable	
6.177.119 MWhe/año	
824 MWe	

Ilustración 32. Potencial accesible, disponible y previsto de RSU en el área de densidad demográfica alta estimados para 2020

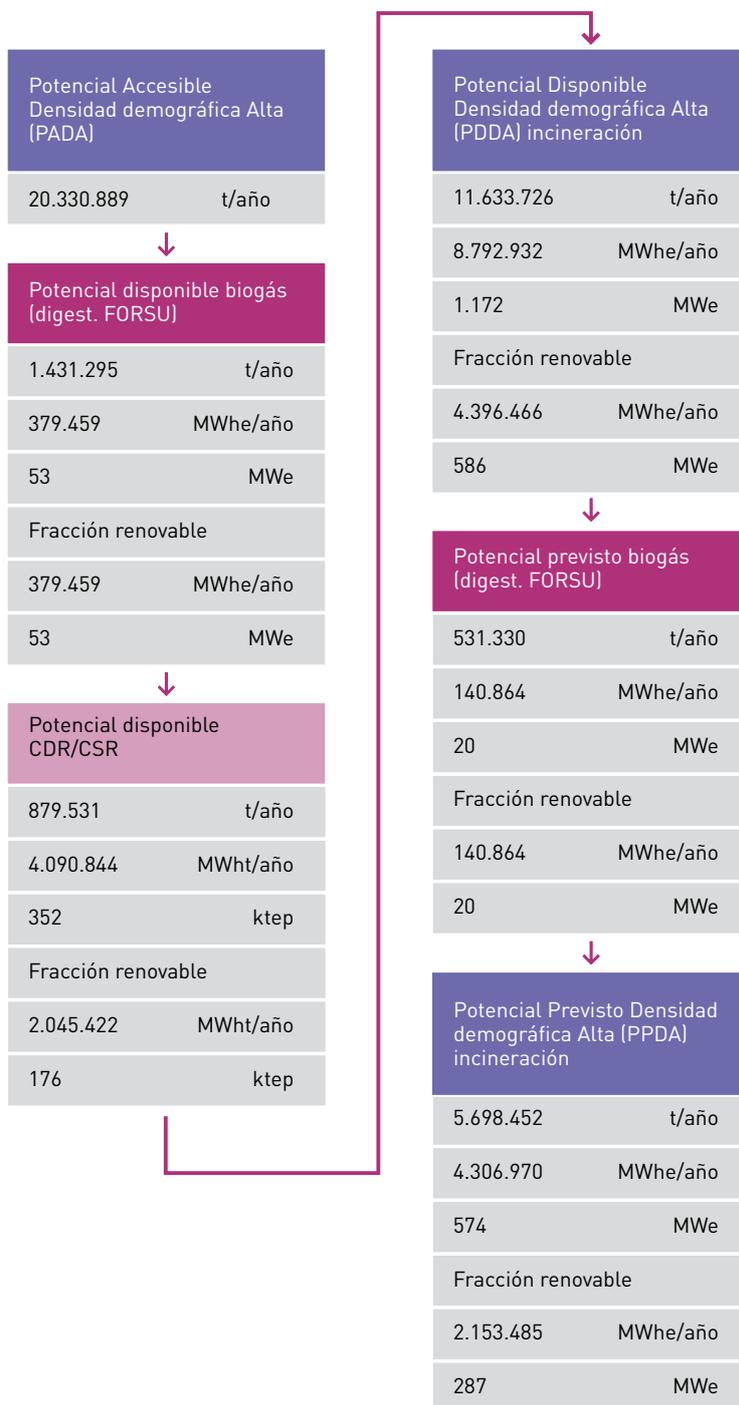


Ilustración 33. Potencial accesible, disponible y previsto de RSU en el área de densidad demográfica baja estimados para 2020

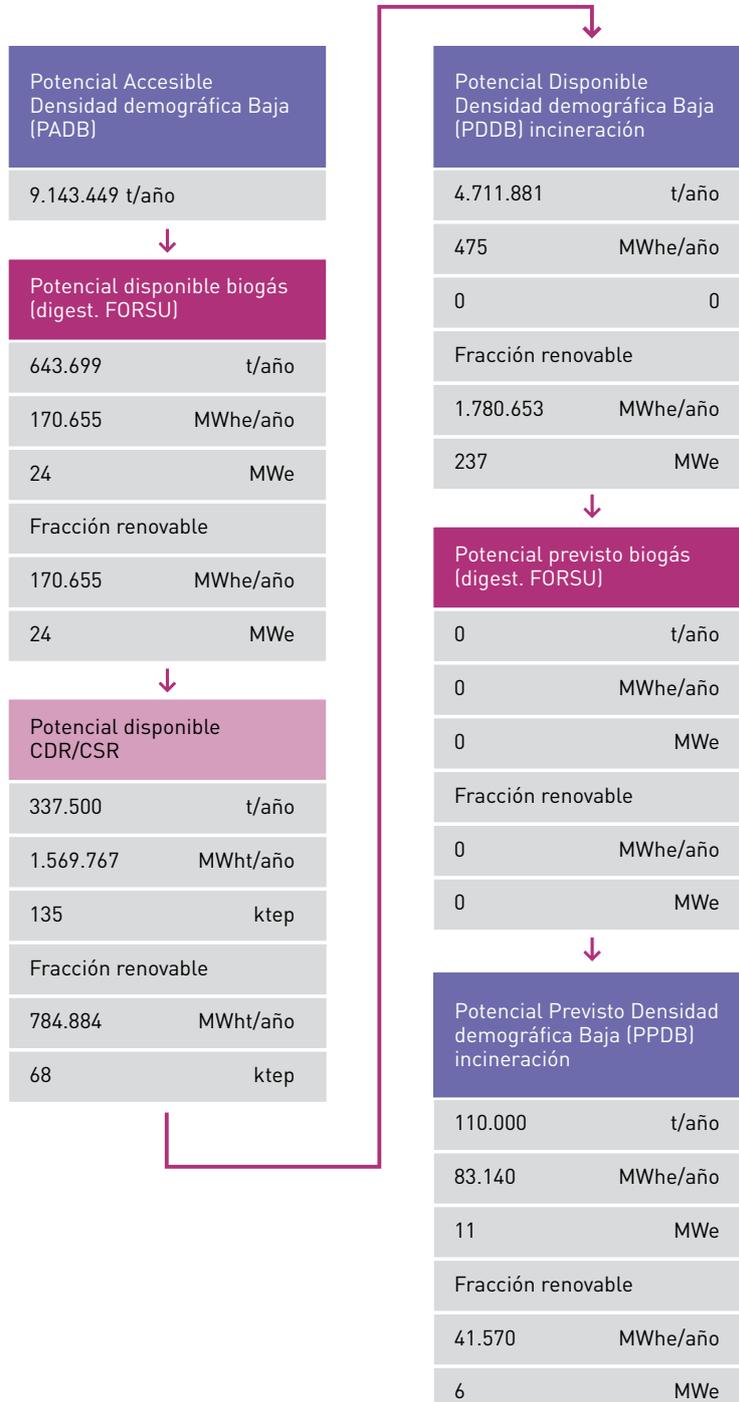
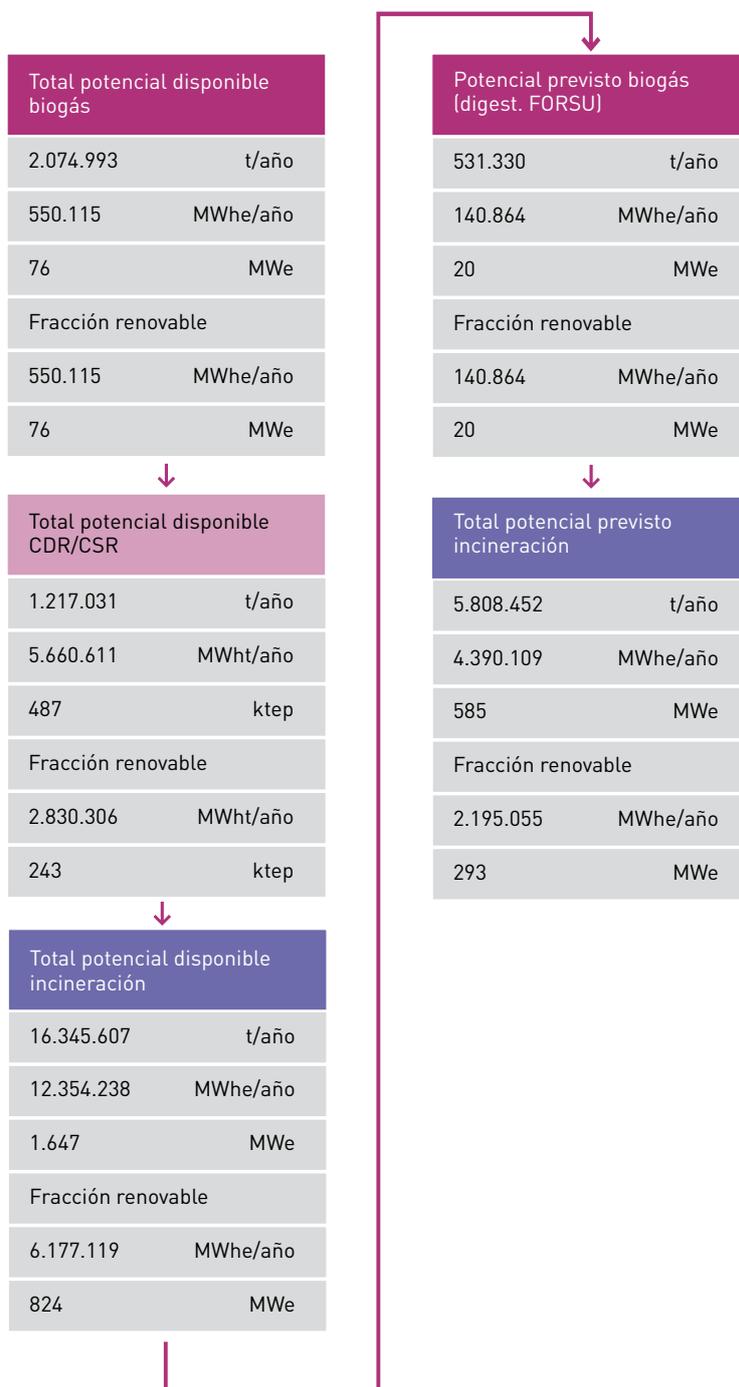


Ilustración 34. Potencial accesible, disponible y previstos de RSU totales estimados para 2020



6.2 RESIDUOS INDUSTRIALES

6.2.1 Fabricación de pasta, papel y cartón

6.2.1.1 Evolución de la generación de residuos con el horizonte 2020

Tabla 69. Estimación de la evolución de los residuos del sector de pasta y papel con el horizonte 2020

Previsión de producción papel 2008-2020												
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Toneladas papel	6.093.585	5.971.713	6.103.091	6.255.668	6.443.338	6.636.638	6.835.738	7.040.810	7.252.034	7.469.595	7.693.683	7.924.493
Toneladas pasta	1.928.736	1.890.161	1.927.965	1.976.164	2.025.568	2.076.207	2.128.112	2.181.315	2.224.941	2.264.990	2.305.760	2.347.264
Total prod. pasta + papel (t)	8.022.321	7.861.874	8.031.056	8.231.832	8.468.906	8.712.845	8.963.850	9.222.125	9.476.975	9.734.585	9.999.443	10.271.757
Toneladas totales residuos fabricación pasta papel (0,32 t/t)	1.949.947	1.910.948	1.952.989	2.001.814	2.061.868	2.123.724	2.187.436	2.253.059	2.320.651	2.390.270	2.461.979	2.535.838
Toneladas totales valorizables energétic. (88%)	1.715.954	1.681.634	1.718.630	1.761.596	1.814.444	1.868.877	1.924.944	1.982.692	2.042.173	2.103.438	2.166.541	2.231.537

De la tabla anterior se desprende que el Potencial Total de residuos del sector de pasta y papel es, para los años objetos del estudio, el siguiente:

Tabla 70. Potencial total. Sector de pasta y papel

	2010	2015	2020
Potencial total residuos de fabricación de pasta y papel	1.910.948	2.187.436	2.535.838

6.2.1.2 Identificación de los flujos valorizables energéticamente

Tabla 71. Identificación de los flujos valorizables energéticamente. Sector de pasta y papel

Estimación generación	2010	2015	2020
Toneladas papel	5.971.713	6.835.738	7.924.493
Toneladas pasta	1.890.161	2.128.112	2.347.264
Total producción pasta + papel	7.861.874	8.963.850	10.271.757
Generación residuos (ratio 0,32 t/t pasta y papel=0,32)	1.910.948	2.187.436	2.535.838
Residuos valorizables energéticamente (88%)	1.681.634	1.924.944	2.231.537

Los residuos destinados a aplicaciones agrícolas son fundamentalmente lodos de destintado y lodos biológicos. La gestión se realiza cumpliendo con todos los requisitos de la legislación aplicable de residuos en cuanto a autorizaciones, registros, gestores, controles y los requisitos de aplicaciones agrícolas. Si bien es cierto, que hay otros países de la UE donde esta aplicación no se emplea. Su gestión más frecuente en la UE es la valorización energética. Por ello el estudio propone su consideración como potencial de valorización energética ya que sería una vía alternativa de gestión, en caso de futuros desarrollos legislativos que pudieran restringir este uso y equipararnos a otros países europeos.

6.2.1.3 Escenarios de potencial de valorización energética con el horizonte 2020

6.2.1.3.1 Escenario máximo. Potencial disponible

Con un PCI estimado para cálculo de 3.500 kcal/kg:

Tabla 72. Potencial disponible. Sector de pasta y papel

Año	Fracción valorizable energét. t	Potencial disponible		
		MWh	MWhe	TEP
2010	1.681.634	6.840.679	1.710.170	588.192
2015	1.924.944	7.830.431	1.957.608	673.296
2020	2.231.537	9.077.616	2.269.404	780.535

6.2.1.3.2 Escenario mínimo. Potencial previsto

Existe un proyecto de valorización energética en el ámbito privado de este flujo de residuos en una instalación que estará en operación en breve. El diseño de esta instalación está dimensionado, según su autorización ambiental integrada, para tratar 450.000 toneladas año con una estimación de generación térmica de energía de 150 MWh. Este proyecto se estima que estará finalizado entre 2010 y 2011.

6.2.1.4 Fracción biodegradable de los residuos valorizables energéticamente

El contenido biodegradable promedio, según estimación del propio sector, se calcula en un 59%.

6.2.2 Vehículos Fuera de Uso (VFU)

6.2.2.1 Evolución de la generación de residuos con el horizonte 2020²³

Tabla 73. Potencial total. Sector de VFU

	2008 ²⁴	2010	2015	2020
Residuo ligero de fragmentación (t/año)	390.000	377.500	431.700	490.000
Residuo pesado de fragmentación sin metales (t/año)	51.200	49.500	57.000	64.000
Potencial total	441.200	427.000	488.700	554.000

6.2.2.2 Identificación de los flujos valorizables energéticamente.

Por tanto nos vamos a centrar en los flujos ya citados:

- Residuo ligero de fragmentación.
- Residuo pesado de fragmentación sin metales.

Se estima que en las plantas fragmentadoras españolas se han generado durante el año 2008 las cantidades siguientes de estas fracciones no recuperables²⁵:

Tabla 74. Residuos generados en las plantas fragmentadoras españolas, 2008.

2008	t/año
Residuo ligero de fragmentación	390.000
Residuo pesado de fragmentación sin metales	51.200

Fuente: SIGRAUTO

Como ya se ha comentado, la gestión más extendida es el vertedero. No obstante, desde el año 2007 se ha impulsado desde las asociaciones sectoriales implicadas y varias empresas privadas, la valorización energética de estos residuos acondicionados en plantas cementeras.

Cuantificación energética:

FER, SIGRAUTO y OFICEMEN, en enero de 2007, suscribieron un Convenio de Colaboración con el objeto de promover, cada una entre sus empresas asociadas, y conjuntamente ante las administraciones públicas y colectivos sociales, la valorización de los residuos generados en las plantas de fragmentación en los hornos de cementeras.

El acuerdo prevé la colaboración en diversos ámbitos para promover la valorización energética en cementeras de parte de los residuos que se generan en las plantas fragmentadoras españolas. Se han ejecutado dos proyectos de diferente calado a fin de contrastar la inclusión de este residuo en planta cementera²⁶:

- I: Pruebas piloto en seis cementeras.
- II: Pruebas de alimentación en continuo a la cementera durante varios meses.

Los resultados se estiman como positivos.

Metodológicamente el inicio pasa por la caracterización de los residuos. En todos los casos se tomaron dos muestras en momentos distintos procedentes de cada una de las plantas participantes para así poder evaluar también la homogeneidad de los residuos analizados. Cuatro plantas de fragmentación participaron como proveedores de residuo ligero y una planta de medios densos como proveedora del

²³Datos facilitados por SIGRAUTO-FER

²⁴Se estima un leve descenso por la caída de actividad en las fundiciones de metales

²⁵Datos facilitados por SIGRAUTO-FER

²⁶Resultados del proyecto en: www.autocemento.com

residuo pesado. Todos los resultados que se muestran son medias de los resultados obtenidos en las distintas caracterizaciones.

Residuo ligero de fragmentación

Este residuo se extrae normalmente de la corriente de las plantas fragmentadoras a través de un sistema de aspiración situado antes de los separadores magnéticos. Como ya se ha comentado anteriormente, los materiales a fragmentar son varios, pero debemos tener en cuenta que el mayoritario (70-80%) son vehículos fuera de uso (VFUs) con lo que esta caracterización (que es una media de las caracterizaciones realizadas sobre distintas muestras de residuo tomadas en distintas plantas en distintos momentos) es una aproximación perfectamente válida al contenido del residuo ligero proveniente de los VFUs. Los análisis fueron realizados por el laboratorio acreditado y los resultados obtenidos son los siguientes:

Caracterización de las muestras

Densidad aparente de la muestra en estado de recibo:

	(g/cm ³)
Densidad aparente	0,23

Distribución de tamaño de partícula:

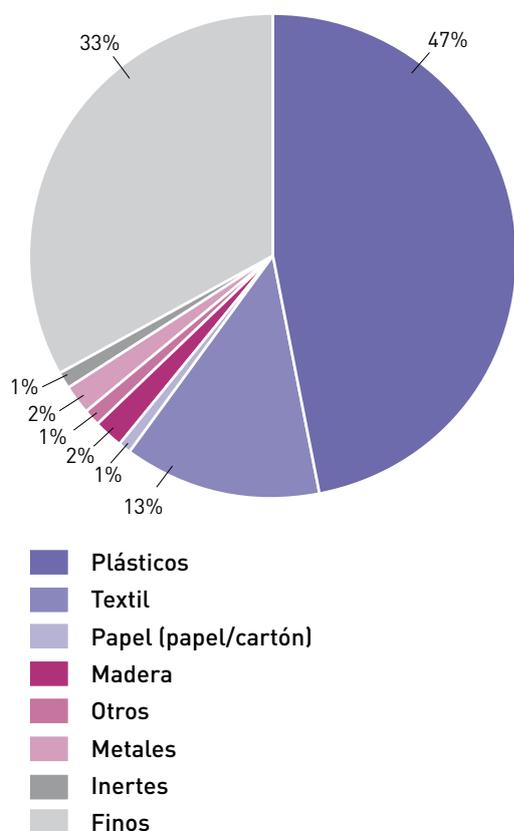
Tamaño (intervalo en mm)	(%)
d > 80	10,80
60 < d < 80	2,66
20 < dP < 60	10,94
10 < dP < 20	12,78
5,6 < dP < 10	9,65
3,2 < dP < 5,60	5,28
2 < dP < 3,2	3,48
1 < dP < 2	7,39
0,5 < dP < 1 (28,58)	
0,2 < dP < 0,5 (27,38)	37,10

(Continuación)

Tamaño (intervalo en mm)	(%)
0,1 < dP < 0,2 (5,79)	
dP < 0,1	
Total	100

Composición de la muestra:

Componente	%
Plástico rígido	43,33
Film	0,32
Elastómeros	3,05
Plásticos	46,69
Textil	12,84
Papel (papel/cartón)	1,37
Madera	2,42
Cableado (PVC+Cu)	0,52
Adhesivo	0,16
Capa de pintura	0,03
Otros	0,70
Metales	2,29
Vidrio	0,49
Piedra	0,03
Inertes	0,58
Finos (<1mm)	33,11
Total	100



Análisis de las muestras:

Elementos	(mg/kg)
Plata (mg Ag/kg)	4,73
Arsénico (mg As/kg)	<2,5)
Bario (mg Ba/kg)	4.246,00
Cadmio (mg Cd/kg)	6,09
Cromo (mg Cr/kg)	586,50
Cobre (mg Cu/kg)	10.271,00
Mercurio (mg Hg/kg)	0,35
Níquel (mg Ni/kg)	261,25
Plomo (mg Pb/kg)	2.805,00
Antimonio (mg Sb/kg)	128,28

(Continuación)

Elementos	(mg/kg)
Berilio (mg Be/kg)	<2,5
Molibdeno (mg Mo/kg)	<2,5
Hierro (mg Fe/kg)	48.536,25
Calcio (mg Ca/kg)	23.647,50
Fósforo (mg P/kg)	515,00
Selenio (mg Se/kg)	<2,5
Estaño (mg Sn/kg)	143,50
Talio (mg Tl/kg)	<2,5
Vanadio (mg V/kg)	13,33
Zinc (mg Zn/kg)	4.686,75
Cobalto (mg Co/kg)	13,06
Telurio (mg Te/kg)	10,54
Platino (mg Pt/kg)	29,48
Paladio (mg Pd/kg)	<2,5
Rodio (mg Rh/kg)	<2,5
Manganeso (mg Mn/kg)	363,75
Aluminio (mg Al/kg)	6.714,75
Magnesio (mg Mg/kg)	2.034,25
Silicio (mg Si/kg)	100,83

Análisis de elementos halógenos en las muestras:

Ilustración 35. Caracterización de las muestras del residuo ligero de fragmentación

Elemento	(mg/kg)
Cloro (mg/kg)	1408
Bromo (mg/kg)	
Flúor (mg/kg)	

Fuente: SIGRAUTO

Propiedades como combustible

Análisis calorimétrico del residuo:

Propiedad	(kcal/kg)
PCS	5.154
PCI	4.807

Residuo pesado de fragmentación sin metales

El residuo pesado de fragmentadora sin metales está compuesto principalmente por gomas, plásticos y otros materiales que se obtienen del residuo pesado de la fragmentación (lo que queda después de la separación de la fracción férrica mediante separadores magnéticos y de los sistemas de aspiración) tras ser éste sometido a distintos procesos de segregación (cribados, flotación, corrientes de inducción, mesas densimétricas, sistemas ópticos, etc.) en las plantas denominadas de medios densos. Los resultados son los siguientes:

Caracterización de las muestras

Densidad aparente de la muestra en estado de recibo:

	(g/cm ³)
Densidad aparente	0,24

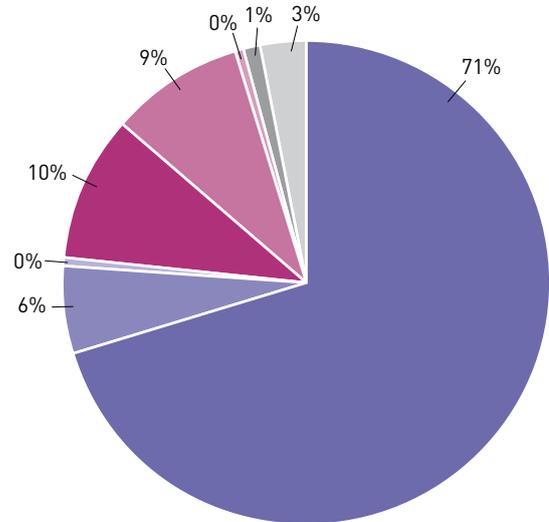
Distribución de tamaño de partícula:

Tamaño (intervalo en mm)	(%)
20 <dP <60	79,79
10 <dP <20	11,89

(Continuación)

Tamaño (intervalo en mm)	(%)
5,6 <dP <10	2,82
3,2 <dP <5,6	1,28
2 <dP <3,2	0,94
1 <dP <2	0,81
0,5 <dP <1	0,51
0,2 <dP <0,5	
0,1 <dP <0,2	1,99
dP < 0,1	
Total	10

Composición de la muestra:



- Plásticos
- Textil
- Papel (papel/cartón)
- Madera
- Cableado (PVC+Cu)
- Adhesivo
- Mezcla de materiales
- Otros

(Continuación)

Componente	(%)
Plástico rígido	35,51
Film	0,02
Elastómeros	35,38
Plásticos	70,91
Textil	6,37
Papel (papel/cartón)	0,10
Madera	9,91
Cableado (PVC+Cu)	0,42
Adhesivo	0,30
Capa de pintura	7,75
Otros	8,47
Metal	0,30
Tarjetas circuitos impresos	0,04
Metales	0,34
Vidrio	0,77
Piedra	0,16
Inertes	0,93
Finos (<1mm)	2,99
Total	100

Análisis de las muestras:

Elementos	(mg/kg)
Plata (mg Ag/kg)	< 2,5
Arsénico (mg As/kg)	< 2,5
Bario (mg Ba/kg)	<5
Cadmio (mg Cd/kg)	10,28
Cromo (mg Cr/kg)	96,82
Cobre (mg Cu/kg)	14.090,67
Mercurio (mg Hg/kg)	0,51
Níquel (mg Ni/kg)	59,87
Plomo (mg Pb/kg)	195,48

Elementos	(mg/kg)
Antimonio (mg Sb/kg)	509,83
Berilio (mg Be/kg)	<2,5
Molibdeno (mg Mo/kg)	9,99
Hierro (mg Fe/kg)	14.891,67
Calcio (mg Ca/kg)	55.191,67
Fósforo (mg P/kg)	2.056,33
Selenio (mg Se/kg)	<2,5
Estaño (mg Sn/kg)	112,67
Talio (mg Tl/kg)	<2,5
Vanadio (mg V/kg)	<5
Zinc (mg Zn/kg)	4.597,00
Cobalto (mg Co/kg)	12,16
Telurio (mg Te/kg)	<2,5
Platino (mg Pt/kg)	<2,5
Paladio (mg Pd/kg)	<2,5
Rodio (mg Rh/kg)	<2,5
Manganeso (mg Mn/kg)	152,62
Aluminio (mg Al/kg)	15.825,67
Magnesio (mg Mg/kg)	3.014,67
Silicio (mg Si/kg)	4.936,67

Análisis de elementos halógenos en las muestras:

Ilustración 36. Caracterización de las muestras del residuo pesado de fragmentación

Elemento	(mg/kg)
Cloro (mg/kg)	1,04
Bromo (mg/kg)	0,02
Flúor (mg/kg)	0,05

Fuente: SIGRAUTO

Propiedades como combustible

Análisis calorimétrico del residuo:

Propiedad	(kcal/kg)
PCS	6.600,5
PCI	6.162,5

6.2.2.3 Escenarios de potencial de valorización energética con el horizonte 2020²⁷

6.2.2.3.1 Escenario máximo. Potencial disponible

Con un PCI estimado para cálculo de 4.800 kcal/kg:

Tabla 75. Potencial disponible. Sector de VFU

Año	Fracción valorizab. energét. t	Potencial disponible		
		MWh	MWh _e	TEP
2010	427.000	2.382.148	595.537	204.828
2015	488.700	2.726.360	681.590	234.425
2020	554.000	3.090.656	772.664	265.749

6.2.2.4 Fracción biodegradable de los residuos valorizables energéticamente

Con los datos del sector estimamos de su composición un 18% de contenido biodegradable en los términos definidos en el presente estudio.

6.2.3 Neumáticos Fuera de Uso (NFU)

6.2.3.1 Evolución de la generación de residuos con el horizonte 2020

Tabla 76. Potencial total. Sector NFU

	2010	2015	2020
Estimación PNIR (t)	300.000	330.000	363.000

6.2.3.2 Identificación de los flujos valorizables energéticamente

En este caso, prácticamente la totalidad de los NFU pueden ser un flujo valorizable energéticamente. Por lo tanto, tenemos:

²⁷El sector ha realizado pruebas en cementeras: www.autocemento.com

Tabla 77. Flujos valorizables energéticamente de los residuos generados por el sector de los NFU

	2010 (t)	(%)	2015 (t)	(%)	2020 (t)	(%)
Estimación PNIR	300.000		330.000		363.000 ⁽¹⁾	
Valorización energética	60.000	20	66.000	20	54.450	15

⁽¹⁾Estimación propia a partir datos años anteriores.

6.2.3.3 Escenarios de potencial de valorización energética con el horizonte 2020

6.2.3.3.1 Potencial total

Con un PCI estimado para cálculo de 7.000 kcal/kg:

Tabla 78. Potencial total. Sector NFU

	2010	2015	2020
Potencial total	300.000	330.000	363.000

6.2.3.3.2 Potencial disponible

Tabla 79. Potencial disponible. Sector NFU

Año	Fracción valorizab. energét.	Potencial disponible			
		t	MWh	MWh _e	TEP
2010		60.000	523.013	130.753	44.971
2015		66.000	575.314	143.828	49.468
2020		54.450	474.634	118.658	40.811

6.2.3.3.3 Fracción biodegradable de los residuos valorizables energéticamente

Según estimaciones de la Oficina Española de Cambio Climático (OECC), en su documento publicado "Recomendaciones del Grupo Técnico de Comercio de Emisiones de la Comisión de Coordinación de Políticas de Cambio Climático"²⁸, la fracción biodegradable de los NFU sería del 25,5%.

6.2.4 Recuperación de madera

6.2.4.1 Evolución de la generación de residuos con el horizonte 2020

Para el presente estudio estimamos las siguientes cifras:

Tabla 80. Potencial total. Sector recuperación de madera

	2010	2015	2020
Potencial total residuos de madera (t)	750.000	825.000	907.500

6.2.4.2 Identificación de los flujos valorizables energéticamente

En este sector básicamente la totalidad de sus residuos son valorizables energéticamente.

6.2.4.3 Escenarios de potencial de valorización energética con el horizonte 2020

6.2.4.3.1 Escenario máximo. Potencial disponible

Con un PCI estimado para cálculo de 4.500 kcal/kg:

²⁸http://www.mma.es/secciones/cambio_climatico/areas_tematicas/comercio_emisiones/com_emis_espania/pdf/rec_gt_cpcc.pdf

Tabla 81. Potencial disponible. Sector recuperación de madera

Año	Fracción valorizab. energét.	Potencial disponible		
	t	MWh	MWh _e	TEP
2010	750.000	3.922.594	980.649	337.282
2015	825.000	4.314.854	1.078.713	371.011
2020	907.500	4.746.339	1.186.584	408.112

6.2.4.4 Fracción renovable de los residuos valorizables energéticamente

En este caso, el 100% de la energía obtenida en caso de valorización energética se podría considerar como renovable.

6.2.5 Lodos de Estación de Depuración de Aguas Residuales (EDAR)

6.2.5.1 Evolución de la generación de residuos con el horizonte 2020

Evolución de los lodos utilizados en agricultura (1998-2003). Materia seca (toneladas/año):

Tabla 82. Evolución histórica de los lodos utilizados en agricultura (1998-2003)

	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Producción de lodos	716.145	784.882	853.482	892.238	987.221	1.012.157
Lodos utilizados en agricultura	353.986	413.738	454.251	606.118	658.453	669.554
Proporción de lodos utilizados en agricultura	49,4%	52,7%	53,2%	67,9%	66,7%	66,2%

Fuente: Registro Nacional de Lodos, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación

La estimación de generación para los años 2010, 2015, y 2020, se ha efectuado suponiendo un crecimiento del 10% cada cinco años.

Tabla 83. Estimación de la generación de lodos de EDAR

	2010	2015	2020
Estimación generación	1.171.469	1.288.616	1.417.478

6.2.5.2 Identificación de flujos valorizables energéticamente

El lodo valorizable energéticamente, en el ámbito del presente estudio, es aquel que no es valorizable por ninguna otra vía de gestión.

A título de ejemplo, una caracterización de un lodo de depuradora a la entrada de una planta cementera para su uso como combustible sería la siguiente:

Tabla 84. Flujos valorizables energéticamente de los lodos de EDAR

PCI (kcal/kg)	1.000-10.000
Azufre	6%
Metales	Hg < 10ppm
	Cd + Hg + Tl < 100ppm
	Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Ni+Mn+V < 0,5%
Cloro	Halógenos totales (expresados en Cl) <2%
PCB	< 50 ppm
Flúor	< 15%
Otros	pH > 3

Cuantificación energética

El PCI de los lodos es función de su origen y de su sequedad. El PCI de la materia combustible es de aproximadamente 4.400 kcal/kg a 4.950 kcal/kg en función de la naturaleza de los fangos. Por otro lado, los lodos

secos tienen una composición estimativamente de un 75% material combustible y un 25% de cenizas.

La siguiente tabla permite visualizar los PCI de las dos calidades de lodos en función del grado de sequedad:

Tabla 85. Contenido energético de los lodos de EDAR

Sequedad		%	50	60	70	80	90
PCI	Lodos frescos	kcal/kg	1.350	1.740	2.130	2.520	2.910
	Lodos digeridos	kcal/kg	820	1.107	1.390	1.680	1.960

6.2.5.3 Escenarios de potencial de valorización energética con el horizonte 2020

6.2.5.3.1 Potencial total

De estos residuos, prácticamente su totalidad pueden ser valorizados energéticamente.

Por tanto, con un PCI estimado para cálculo de 1.900 kcal/kg:

Tabla 86. Potencial total. Lodos de EDAR

	2010	2015	2020
Potencial total	1.171.469	1.288.616	1.417.478

6.2.5.3.2 Potencial disponible

El PNIR establece como objetivo que la proporción entre valorización mediante aplicación en agricultura y valorización energética sea:

Valorización agrícola	67%
Valorización energética	33%

Tabla 87. Potencial disponible. Lodos de EDAR

Año	Fracción valorizab. energét.	Potencial disponible			
		t	MWh	MWh _e	TEP
2010		386.585	853.686	213.421	73.404
2015		425.243	939.054	234.764	80.744
2020		467.768	1.032.960	258.240	88.819

6.2.5.4 Fracción renovable de los residuos valorizables energéticamente

En este caso, el 100% de la energía obtenida de la valorización energética de los lodos puede considerarse como renovable.

6.2.6 Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)

6.2.6.1 Evolución de la generación de residuos con el horizonte 2020

En este caso, ante la ausencia otros datos, hemos hecho una estimación:

Tabla 88. Potencial total. Sector RAEE

	2010	2015	2020
Potencial total estimación (t)	269.017	295.919	325.511

6.2.6.2 Identificación de los flujos valorizables energéticamente

La fracción mayoritaria que identificamos como valorizable energéticamente es la fracción de los residuos de poliuretano de las plantas de neveras y frigoríficos.

6.2.6.3 Escenarios de potencial de valorización energética con el horizonte 2020

Tabla 89. Estimación de la generación y gestión de los RAEE con el horizonte 2020

Estimación generación y gestión (t)	2010	%	2015	%	2020	%
Valorización material	231.355	86	254.490	86	279.939	86
Valorización energética	37.662	14	41.429	14	45.571	14
Vertido		0	0	0	0	0
Total	269.017		295.919		325.511	

6.2.6.3.1 Escenario máximo. Potencial disponible
Con un PCI estimado para cálculo de 3.500 kcal/kg:

Tabla 90. Potencial disponible. Sector RAEE

Año	Fracción valorizab. energét.	Potencial disponible		
		t	MWh	MWh _e
2010	37.662	153.204	38.301	13.173
2015	41.429	168.528	42.132	14.191
2020	45.571	185.379	46.34	15.940

6.2.6.4 Fracción biodegradable de los residuos valorizables energéticamente

La estimación de la fracción biodegradable de los RAEE es que representa una cantidad inferior al 5%.

Se proponen los siguientes objetivos cuantitativos:

Tabla 91. Objetivos de la gestión de los RCD con el horizonte 2020

	2010 (%)	2012 (%)	2015 (%)
Separación y gestión de forma ambientalmente correcta de los RP procedentes de los RCD	10	10	10
Reciclado de RCD	15	25	35
RCD objeto de otras operaciones de valorización, incluidas las operaciones de relleno	10	15	20
Eliminación de RCD en vertedero controlado	75	60	45

6.2.7 Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

6.2.7.1 Evolución de la generación de residuos con el horizonte 2020

El PNIR 2008-2015 propone una serie de objetivos cuantitativos y medidas de prevención, reciclado y vertido para los RCD, para alcanzar los objetivos establecidos por el Parlamento Europeo el 17 de junio de 2008, en segunda lectura de la propuesta de modificación de la Directiva Marco de Residuos. Este texto, exige a los Estados miembros que adopten las medidas necesarias para garantizar que antes del 2020, el 70% en peso de los residuos no peligrosos procedentes de la construcción y demolición sean destinados a operaciones de reutilización, reciclado y otras operaciones de valorización de materiales, incluidas las operaciones de relleno que utilicen residuos para sustituir otros materiales.

6.2.7.2 Identificación de los flujos valorizables energéticamente

Tabla 92. Flujos valorizables energéticamente de los RCD

Estimación generación	2010	(%)	2015	(%)	2020	(%)
Vertido incontrolado	10.949.916	45	6.691.615	25	4.416.466	15
Vertido controlado sin y con tratamiento previo	10.949.916	45	14.186.224	53	16.193.709	55
Valorización como árido reciclado	1.946.652	8	3.211.975	12	4.416.466	15
Valorización energética	486.663	2	2.676.646	10	4.416.466	15
	24.333.146	100	26.766.460	100	29.443.107	100

De la tabla anterior se desprende que el Potencial Total de los RCD es:

Tabla 93. Potencial total. Sector RCD

	2010	2015	2020
Potencial total	24.333.146	26.766.460	29.443.107

6.2.7.3 Escenarios de potencial de valorización energética con el horizonte 2020

6.2.7.3.1 Escenario máximo. Potencial disponible
 Estimamos que un 15% del total generado es susceptible de valorización energética.

Con un PCI estimado para cálculo de 3.000 kcal/kg:

Tabla 94. Potencial disponible. Sector RCD

Año	Fracción valorizab. energét.	Potencial disponible		
		t	MWh	MWhe
2010	3.649.972	12.726.541	3.181.635	1.094.286
2015	4.014.969	13.999.195	3.499.799	1.203.714
2020	4.416.466	15.399.114	3.849.779	1.324.085

6.2.7.4 Fracción biodegradable de los residuos valorizables energéticamente

Estimamos un 50% de contenido biodegradable en los términos del presente estudio.

6.2.8 Plásticos de uso agrícola

6.2.8.1 Evolución de la generación de residuos en el horizonte 2020

Tabla 95. Gestión de los residuos. Sector de la agricultura

Año 2008 Sector	Consumo	Residuo	Reciclado mecánico	Recuperación energética	Valorización total
Agricultura	228.000	192.000	54.335	0	54.335

Para este sector estimamos que la evolución será de mantener las cifras actuales de aplicación y de generación de residuos.

Tabla 96. Estimación de la evolución de los residuos de plásticos agrícolas con el horizonte 2020

	2008	(%)	2010	(%)	2015	(%)	2020	(%)
Residuo generado (t/año)	192.000		192.000		192.000		192.000	
Reciclado mecánico (t/año)	54.335	28	54.335	28	54.335	28	54.335	28
Vertido (t/año)	137.665	72	118.465	62	80.065	42	41.665	22
Recuperación energética (t/año)	0	0	19.200	10	57.600	30	96.000	50

De la tabla anterior, se obtiene el Potencial Total de los residuos de plásticos agrícolas:

Tabla 97. Potencial total. Sector plásticos agrícolas

	2010	2015	2020
Potencial total	192.000	192.000	192.000

6.2.8.2 Identificación de los flujos valorizables energéticamente

En este sector cualquier flujo que no sea valorizable mediante reciclado mecánico puede considerarse como un flujo valorizable energéticamente.

En 1998 se hizo un experimento en España utilizando los residuos plásticos de invernadero como co-combustible en una central térmica de Almería. La principal conclusión fue que la eficacia térmica se mantuvo sin aumento de las emisiones. En Holanda se hizo una prueba similar. Para más información sobre ambas experiencias consultar la web de APME - www.apme.org.

6.2.8.3 Escenarios de potencial de valorización energética con el horizonte 2020

6.2.8.3.1 Escenario máximo. Potencial disponible
Con un PCI estimado para cálculo de 3.500 kcal/kg:

Tabla 98. Potencial disponible. Sector plásticos agrícolas

Año	Fracción valorizab. energét.	Potencial disponible			
		t	MWh	MWhe	TEP
2010		192.000	2.008.368	502.092	172.689
2015		192.000	2.008.368	502.092	172.689
2020		192.000	2.008.368	502.092	172.689

6.2.8.4 Fracción biodegradable de los residuos valorizables energéticamente

Para cálculo estimamos menos del 5% como contenido biodegradable.

6.2.9 Resumen

En las tablas siguientes se recogen los datos indicados en el presente capítulo para cada sector a fin de reflejar las cantidades de Potencial Total y Potencial Disponible de los Residuos Industriales para los años 2010, 2015 y 2020.

Análogamente al capítulo de los RSU, también se ha incluido un resumen donde se refleja los distintos escenarios de valorización energética de RI en España, para el año horizonte 2020.

Como ya se ha puesto de manifiesto anteriormente, en la introducción del presente capítulo, para los RI no se ha distinguido los distintos potenciales entre diferentes áreas demográficas, ni se ha determinado un Potencial Previsto.

Tabla 99. Potencial total de RI

RI	Potencial total (t)			Origen datos
	2010	2015	2020	
Pasta, papel y cartón	1.910.948	2.187.436	2.535.838	Sector
VFU	427.000	488.700	554.000	Sector
NFU	300.000	330.000	363.000	Sector+PNIR
Recuperación madera	750.000	825.000	907.500	Sector
Lodos EDAR	1.171.469	1.288.616	1.417.478	PNIR
RAEE's	269.017	295.919	325.511	Estimación
RCD	24.333.146	26.766.460	29.443.107	Estimación
Plásticos uso agrícola	192.000	192.000	192.000	Sector+PNIR
Total	25.353.980	32.374.131	35.738.434	

Tabla 100. Potencial disponible de RI. Año 2010

RI	Potencial disponible 2010				Estimación biodegradable (%)
	t	MWh	MWhe	TEP	
Pasta, papel y cartón	1.681.634	6.840.679	1.710.170	588.192	59
VFU	427.000	2.382.148	595.537	204.828	18
NFU	60.000	523.013	130.753	44.971	25,5
Recuperación madera	750.000	3.922.594	980.649	337.282	100
Lodos EDAR	386.585	853.686	213.421	73.404	75
RAEE's	37.662	153.204	38.301	13.173	< 5
RCD	3.649.972	12.726.541	3.181.635	1.094.286	50
Plásticos uso agrícola	192.000	2.008.368	502.092	172.689	< 5
Total	7.184.853	29.410.233	7.352.558	2.528.825	

Tabla 101. Potencial disponible de RI. Año 2015

RI	Potencial disponible 2015				Estimación biodegradable (%)
	t	MWh	MWhe	TEP	
Pasta, papel y cartón	1.924.944	7.830.431	1.957.608	673.296	59
VFU	488.700	2.726.360	681.590	234.425	18
NFU	66.000	575.314	143.828	49.468	25,5
Recuperación madera	850.000	4.314.854	1.078.713	371.011	100
Lodos EDAR	425.243	939.054	234.764	80.744	75
RAEE's	41.429	168.528	42.132	14.491	< 5
RCD	4.014.969	13.999.195	3.499.799	1.203.714	50
Plásticos uso agrícola	192.000	2.008.368	502.092	172.689	< 5
Total	7.978.285	32.562.104	8.140.526	2.799.838	

Tabla 102. Potencial disponible de RI. Año 2020

RI	Potencial disponible 2020				Estimación biodegradable (%)
	t	MWh	MWhe	TEP	
Pasta, papel y cartón	2.231.537	9.077.616	2.269.404	780.535	59
VFU	554.000	3.090.656	772.664	265.749	18
NFU	54.450	474.634	118.658	40.811	25,5
Recuperación madera	907.500	4.746.339	1.186.584	408.112	100
Lodos EDAR	467.768	1.032.960	258.240	88.819	75
RAEE's	45.571	185.379	46.345	15.940	< 5
RCD	4.416.466	15.399.114	3.849.779	1.324.085	50
Plásticos uso agrícola	192.000	2.008.368	502.092	172.689	< 5
Total	8.869.292	36.015.066	9.003.766	3.096.740	

Ilustración 37. Resumen de los distintos escenarios de valorización energética de RI en España para 2020

Potencial Total (PT)	
35.738.434	t/año
↓	
Potencial Accesible (PA)	
35.738.434	t/año
↓	
Potencial Disponible (PD)	
8.869.292	t/año
36.015.066	MWht/año
9.003.766	MWhe/año
3.096.740	tep

6.3 RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

6.3.1 Resumen de los resultados principales

La siguiente tabla resumen recoge los resultados principales obtenidos en este estudio para el horizonte de 2020, y unificados para los RSU y los RI. De este modo, se proporciona así una visión global del potencial de la valorización energética de los residuos en España.

Tabla 103. Resumen del potencial de la valorización energética de residuos en España. Año 2020

Residuos	Aplicación / Sector	Potencial total	Potencial disponible				% Renewable ⁽¹⁾	Ktep renovables	
		t()	(t)	(MWh _t)	(tep)	(MWh _e)			(MWe)
RSU	Biogás		2.074.993	1.447.670	124.500	550.115	76	100	124,5
	CDR/CSR		1.217.031	5.660.611	486.813	-	-	50	243,4
	Incineración		16.345.607	49.416.951	4.249.858	12.354.238	1.647	50	2.124,9
	Total Val. Energ. RSU	29.474.338	19.637.632	56.525.232	4.861.170	12.904.352	1.724		2.492,8
RI	Pasta, papel y cartón	2.535.838	2.231.537	9.077.616	780.535	2.269.404	303	59	460,5
	VFU	554.000	554.000	3.090.656	265.749	772.664	103	18	47,8
	NFU	363.000	54.450	474.634	40.811	118.658	16	25,5	10,4
	Residuos de madera	907.500	907.500	4.746.339	408.112	1.186.584	158	100	408,1
	Lodos de EDAR	1.417.478	467.768	1.032.960	88.819	258.240	34	100	88,8
	RAEE	325.511	45.571	185.379	15.940	46.345	6	0	0,0
	RCD	29.443.107	4.416.466	15.399.114	1.324.085	3.849.779	513	50	662,0
	Plásticos uso agrícola	192.000	192.000	2.008.368	172.689	502.092	67	0	0,0
	Total Val. Energ. RI	35.738.434	8.869.292	36.015.066	3.096.740	9.003.766	1.201		1.677,6

⁽¹⁾Para algunos RI se ha asimilado el porcentaje biodegradable (términos de contenido másico) indicado, al porcentaje renovable (términos de contenido energético), como estimación, al no disponer de referencias sobre este término para estos residuos.

6.3.2 Discusión de los resultados

Se discuten los resultados principales obtenidos en el presente estudio²⁹.

6.3.2.1 Valorización energética de los residuos urbanos mediante incineración/coincineración

- Para 2020, el Potencial Total de generación de RSU en España se ha estimado en unas 29.474.338 toneladas, siguiendo los criterios de pronóstico de generación de las distintas planificaciones

territoriales de la gestión de residuos y prolongándolas hasta el mismo año, pero manteniendo las mismas infraestructuras previstas por cada plan en su año objetivo.

- Dentro de este potencial, cabe diferenciar entre el Potencial Accesible en las zonas geográficas más densamente pobladas (69% de la población) y donde será más probable la implantación de la valorización energética, y el Potencial Accesible en el área del territorio nacional más difusa (31%), donde la densidad de población es mucho menor y la generación de residuos es más extensiva, por lo que será menos factible la implantación de la valorización energética.
- También se ha calculado en este estudio un potencial total de producción de CDR/CSR de las

²⁹Nota: todos los resultados presentados en este estudio no han sido redondeados, ya que hay que interpretarlos como resultados matemáticos de los cálculos realizados para la determinación de los potenciales, no debiendo ser interpretados los valores estrictamente en el sentido físico

instalaciones de TMB de la fracción RESTO en cada zona. Esta capacidad podría llegar a ser de aproximadamente 1.217.031 toneladas, en el supuesto teórico de que todas las instalaciones de tratamiento de la fracción RESTO adaptaran sus procesos a la producción de este combustible. Obviamente, este es un valor hipotético, ya que está supeditado a las posibilidades reales de cada área geográfica para desarrollar esta práctica.

- Los materiales que serán susceptibles de ser valorizados energéticamente mediante incineración, es decir, los rechazos de los tratamientos y fracciones que no han podido ser tratadas, representarán en 2020 aproximadamente un 55,5% del total de RSU recogidos (16.345.607t).
- En el escenario máximo en el que se incineraran todos estos materiales, supondría una generación energética de unos 12.354 GWhe o, lo que lo mismo, una capacidad instalada de incineración de 1.647 MWe.
- De esta potencia instalada, aproximadamente unos 585 MWe están previstos alcanzarse si se llevan a cabo todas las actuaciones planificadas de ampliación o construcción de nuevas infraestructuras de valorización energética en los diferentes planes de gestión y reflejadas en este estudio.
- Esta capacidad prevista supone doblar la actual y representaría un nivel de incineración del 19,7% respecto a la cantidad total de los RSU totales recogidos (promedio 20% EU27 en 2007³⁰).
- Finalmente, se ha estimado a partir del Potencial Disponible, que la incineración de todos los rechazos de RSU y la co-incineración de CDR/CSR podría representar una obtención de energía primaria renovable equivalente a 2.369 Ktep (2.125 de RSU y 243 de CDR/CSR).

6.3.2.2 Valorización energética de biogás procedente de la fracción orgánica de los RSU

- Paralelamente a los rechazos de los tratamientos correspondientes para los RSU, también se ha estudiado el potencial de valorización energética del biogás procedente de la fracción orgánica recogida selectivamente.
- Para ello, se ha establecido una serie de criterios específicos para esta fracción, como es el cumplimiento en 2020 del objetivo de recogida de biorresiduos propuesto por el Borrador de Anteproyecto de Ley de Residuos y Suelos Contaminados (40% de recogida

separada de los biorresiduos generados), así como establecer un escenario teórico para el mismo año en el que su tratamiento se distribuiría entre la digestión anaerobia (40%) y el compostaje (60%).

- En primer lugar, cabe comentar que el cumplimiento del Borrador presupondría, partiendo de la proyección de los residuos realizada en este estudio, la recogida selectiva en todo el país, y en 2020, de unas 5.187.483 toneladas de FORSU a las que habrá que dar salida mediante la digestión anaerobia o el compostaje.
- En caso de llegar al 40% supuesto de valorización mediante digestión, esto supondría obtener una energía primaria de 1.448 GWht, lo que corresponde a unos 124,5 ktep equivalentes.
- Cabe señalar que este Potencial Disponible considerado implicaría aumentar la capacidad de digestión anaerobia de forma considerable: de las 531.330 toneladas previstas por las planificaciones hasta 2.074.993 toneladas, lo que presupondría apostar fuertemente por este tipo de tratamiento en los próximos Planes de gestión de residuos a desarrollar.
- En términos de energía final (considerando todo el aprovechamiento como energía eléctrica), el cumplimiento de estos objetivos supondría alcanzar una producción de energía eléctrica renovable de 550 GWhe, equivalente a una potencia instalada de unos 76 MWe.
- Al tratarse el biogás de una fuente renovable de energía, toda la energía producida por la digestión anaerobia de FORSU es energía renovable.

6.3.2.3 Valorización energética de los Residuos Industriales

- Se han estudiado los residuos industriales de determinados sectores o áreas de actividad objetivos, como son: residuos de la fabricación de pasta, papel y cartón, vehículos fuera de uso (VFU), neumáticos fuera de uso (NFU), residuos de la recuperación de madera, lodos de EDAR, Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), residuos de construcción y demolición (RCD), y plásticos de uso agrícola.
- Respecto a estos residuos considerados, se ha estimado un Potencial Total (cantidad generada) para 2020 de 35.738.434 toneladas. Cabe comentar que esta cantidad se ve reducida considerablemente cuando pasamos al Potencial Disponible (flujos valorizables energéticamente) debido

³⁰Fuente: Eurostat

- fundamentalmente a los RCD, los cuales sólo se ha estimado que puedan valorizarse energéticamente un 15% del total de materiales producidos.
- De acuerdo con lo anterior, el Potencial Disponible de los RI (fracción rechazo) es de 8.869.292 toneladas. De esta cantidad total, los sectores que aportarán más residuos son los RCD (4.416.466 t) y los de la fabricación de pasta, papel y cartón (2.231.537 t), representando un 50 y un 25% respectivamente de la cantidad total de residuos industriales susceptibles de ser valorizados energéticamente. Les siguen los residuos de la recuperación de madera (907.500 t) y los VFU (554.000 t). También se produce el mismo orden en términos energéticos.
 - A partir de las cantidades de flujos valorizables energéticamente obtenidas, se ha determinado en el estudio el potencial energético que éstos tienen en dos opciones o vías de gestión posibles; tanto si se utilizaran los residuos como combustible de sustitución en determinados hornos industriales, dando los resultados en términos de energía primaria (MWht, tep), o si se destinaran a incineración directa dando los resultados en términos de energía eléctrica final (MWhe, MWe).
 - Sobre la primera opción posible de valorización energética, cabe señalar que la idoneidad de los RI para ser utilizados como combustibles alternativos depende de varios factores relevantes que hay que tener en cuenta. Entre otros, las propias características físicas del flujo como son su heterogeneidad, la facilidad de manipulación y de poder ser mezclados, etc.
 - Si un residuo se pretende que se utilice como combustible de sustitución, existen dos opciones o vías posibles: o bien por aplicación directa en los hornos, o bien mezclando previamente determinados flujos con el fin de obtener una calidad determinada (plantas de blending). En el primer caso, los condicionantes para poder utilizar un residuo como combustible alternativo dependen directamente de las condiciones de combustión del horno industrial en el que se vaya a utilizar con los demás combustibles primarios o fósiles que esté consumiendo. En el segundo caso, además de la anterior condición, la viabilidad de utilización de los residuos depende de las condiciones de mezcla y de las características físicas de los flujos residuales a mezclar que se den en las plantas de preparación del combustible, donde se debe conseguir unos parámetros (PCI, humedad, granulometría, etc.) lo más constantes y homogéneos posible.
 - Estos aspectos son de gran importancia a la hora de establecer qué flujos de residuos son más idóneos para cada vía de utilización. Por ejemplo, residuos como los de pasta, papel y cartón, los NFU o los lodos de depuradora, serán más fáciles de utilizar directamente, mientras que los RCD o residuos de madera, en función de su origen, si se quieren utilizar como combustibles alternativos, seguramente habrá que aplicarles un tratamiento previo para adecuarse a los requerimientos del usuario final.
 - En cualquier caso, se ha calculado los potenciales para las dos opciones (combustible alternativo o incineración directa) y los resultados obtenidos son: 36.015 GWht o 3.097 ktep equivalentes de energía primaria si se valorizaran todos los flujos procedentes de los RI identificados como valorizables energéticamente; o 9.004 GWhe de energía eléctrica producible de los mismos mediante incineración, representando una potencia instalada de 1.201 MWe.
 - En comparación con los RSU, observamos que aún sumando todos los rechazos de RI, el potencial de valorización energética sigue siendo superior para los primeros, por lo que se puede concluir que los RSU son los residuos que representan más potencial de valorización energética en nuestro país.
 - Finalmente, igual que en el caso de los RSU, también se ha estimado la fracción renovable de la energía obtenible de los RI. Para cada flujo residual, en el estudio se ha estimado para cada uno de ellos un porcentaje renovable. Debe señalarse que para algunos residuos como los RCD o los VFU, solo se disponía de valores de contenido biodegradable. Por aproximación, estos valores han sido asimilados a porcentaje de energía renovable al no disponer de datos publicados referentes a este parámetro para estos residuos determinados. Se espera en un futuro, que se irán estudiando los diferentes casos y se podrán ir ajustando estos parámetros.
 - Como resultado global para todos los flujos de RI, obtenemos que se podría obtener una energía primaria renovable de 1.687 ktep equivalentes.

7 Conclusiones

7.1 CONCLUSIONES AL MARCO JURÍDICO

La **Directiva Marco de residuos** posibilita un cambio notable al introducir la valorización energética por encima de la eliminación. La jerarquía en la gestión de los residuos empezando por la prevención puede dar un impulso importante a la utilización de la valorización energética de residuos en un país como el nuestro donde, como ya se ha indicado, nuestra dependencia energética externa es muy relevante.

Por otro lado, la misma Directiva introduce la eficiencia energética como frontera entre la valorización energética y la eliminación. Este concepto sugiere un análisis más de detalle. Por un lado parecería lógico pensar que este nivel de eficiencia energética sería fácilmente alcanzable mediante la exportación de calor por parte de las plantas de valorización, pero por otro lado, en la mayoría de nuevos proyectos se buscan ubicaciones apartadas y manteniendo ciertas distancias mínimas a núcleos poblados.

Otro punto de vista es que la eficiencia energética referida al 0,65 en instalaciones nuevas o al 0,60 referida en instalaciones existentes no puede alcanzarse (o no debería tratarse) de la misma forma según la climatología donde se ubica una instalación.

Por tanto entendemos que no puede cerrarse este punto sin una clarificación de su aplicabilidad en el entorno de nuestra climatología específica incluso entre Comunidades Autónomas.

La Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, introduce la *Energía procedente de fuentes renovables* y habilita mediante la definición de biomasa que la energía procedente de la fracción biodegradable de los residuos tanto urbanos como industriales está incluida en este concepto.

No hemos localizado una definición en el marco jurídico precisa de biodegradable probablemente porque las definiciones encontradas no especifican la temporalidad en la biodegradación. Asimismo será necesario concretar un procedimiento técnico para caracterizar los residuos en términos de su contenido en fracción biodegradable.

En términos generales se puede afirmar que la normativa (traspuesta a nuestro marco jurídico o pendiente como la Directiva Marco de residuos)

posibilita el desarrollo de la actividad de valorización energética. Por tanto, la normativa existente no es una barrera para el desarrollo de esta actividad.

De todas maneras, un tema que el trabajo no ha analizado serían los aspectos derivados de los incentivos económicos incluidos en la actualidad por el Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

Otro aspecto a considerar sería que ciertas vías de gestión que actualmente se establecen en nuestro marco jurídico se descarten en un futuro. Nos estamos refiriendo a la aplicación directa en campo de algunos flujos de residuos tanto de origen urbano como de origen industrial. Esto podría favorecer que se incentivaran otras vías de gestión como es la valorización energética.

La conclusión es que, como ya se ha indicado en el presente estudio, existe un marco jurídico que con matizaciones podemos considerar apto para el desarrollo de la valorización energética en España. Por otro lado indicar, que la principal dificultad puede estar en la interpretación de dicha normativa y en la voluntad política de afrontar el potencial rechazo de algunos grupos sociales que puede conllevar.

7.2 CONCLUSIONES A LA TECNOLOGÍA

Atendiendo a la tecnología se puede afirmar sin ninguna duda que tampoco es una barrera a la implantación y al desarrollo de la actividad de valorización energética de residuos. Existe tecnología muy contrastada. Obviamente las actividades de I+D han de ser apoyadas y seguir trabajando para la mejora continua de este sector y actividad.

Nos gustaría enfatizar algunos puntos para la reflexión que entendemos como claves:

- Existe tecnología contrastada. Países de larga tradición ambientalista, con altos niveles de valorización material, han optado y optan por estas vías de gestión.
- La incineración y la co-incineración están dentro de las mejores tecnologías disponibles por parte de la UE (BAT).
- Los países con más desarrollo de la valorización energética tienen los índices más altos de reciclaje y valorización material.

7.3 CONCLUSIONES A LA GENERACIÓN DE RESIDUOS

Efectivamente el mejor residuo es aquel que no se genera. Pero mientras no llegamos a cotas de prevención mucho más ambiciosas hemos de dar respuesta a una generación de residuos que ocasiona un gran impacto ambiental, social y económico.

Los modelos de estimación de la generación de residuos son sensibles a diversos factores entre ellos:

- Crecimiento de la población.
- Situación económica.
- Densidad demográfica.
- Actividad industrial.

La elaboración del presente estudio se ha realizado en un momento de crisis económica precedida de una larga etapa expansiva de la economía.

La generación de residuos va a continuar siendo, en los próximos años, un flujo de material al cual deberemos aplicar la lógica de la jerarquía de los residuos de la Directiva Marco.

7.4 CONCLUSIONES A LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS

7.4.1 Gestión de residuos urbanos

El hecho objetivo es que la implantación de las Directivas comunitarias en materia de residuos ha promovido y han de promover una gestión de los residuos que ambientalmente vaya mejorando. Hacerlo cada vez mejor tiene diversas consecuencias.

Una de ellas es la consecuencia económica. Otra consecuencia será probablemente las características técnicas (composición) del residuo resultante antes de su valorización energética y antes de su eliminación.

A menudo se observa que en España el precio del vertedero es dispar entre CCAA. Aunque no se

puede generalizar, el cumplimiento de la Directiva de vertederos y de su transposición a nuestro marco legal lo valoramos como insuficiente. Este estudio pone de manifiesto que un precio bajo de vertedero desincentiva la aplicación de tecnologías de valorización material de residuos. Un precio bajo de vertedero, también, desincentiva la valorización energética de residuos tanto en plantas específicas como mediante la preparación de CDR o CSR.

Otro aspecto relevante de los residuos de origen urbano es que su gestión está sufragada económicamente por los ciudadanos. Existe una lógica sensibilidad a la repercusión de los costos del servicio público a la hora de subir las tasas por este concepto al ciudadano. Tanto la valorización material como la valorización energética tienen algún ingreso económico: venta de materiales férricos, no férricos, compost, energía, etc. La realidad es que estos ingresos no cubren (a menudo ni de lejos) los costos de la gestión de residuos.

En concreto, para una planta media de valorización energética (incineradora) los ingresos podrían ser estimativamente un 75% por tratamiento de residuos y un 25% por venta de electricidad. Por tanto, una disminución en la retribución de la energía producida se deberá compensar con un incremento de ingresos por el tratamiento de los mismos.

7.4.2 Gestión de residuos industriales

Los residuos industriales tienen una problemática distinta tanto en cuanto se mueven fundamentalmente en el ámbito privado.

A nivel del presente estudio ya se ha puesto de manifiesto la dificultad de obtener una información que permita hacer estimaciones con un grado de precisión similar al de los residuos urbanos.

A pesar de ello, el estudio pone de manifiesto no sólo la idoneidad de avanzar en la valorización energética de los residuos industriales sino que para algunos sectores será imprescindible a medio plazo tener vías de gestión de sus residuos diferentes al vertedero. Un previsible endurecimiento de las condiciones de admisión de residuos a vertedero podría llevar a una situación muy complicada de viabilidad de alguna de las actividades estudiadas.

7.5 CONCLUSIONES ENERGÉTICAS

La fuente energética procedente de los residuos no puede ser obviada. De forma resumida los motivos serían:

- El déficit energético del país debería posibilitar que se aprovechara todo aquello que técnica, ambiental y económicamente está contrastado que se puede valorizar energéticamente de forma segura.
- La generación tiene un muy alto nivel de disponibilidad.
- La cuantificación estimada en el presente estudio es importante.
- Los CDR o CSR pueden ser una fuente energética importante para ser empleados en instalaciones de co-incineración.

Como se ha tratado en el presente estudio, después de una gestión promedio teórica muy optimizada en los términos del nivel de desarrollo tecnológico actual nos podemos encontrar con un aproximadamente 60-65% de fracción de residuos urbanos al cual podemos optar por eliminar o seguir valorizando (energéticamente). Esta fracción estimamos que se podría reducir probablemente en aproximadamente un 5% mediante la gestión como CDR o CSR. Por tanto, se continuará teniendo que considerar una fracción cuantitativamente importante de residuos de procedencia urbana cuya valorización energética debería priorizarse.

Como resumen cualitativo de este estudio los puntos clave pueden ser:

1. Después de aplicar los modelos de gestión de residuos más acordes con cada situación y tratando de optimizar las cotas de prevención, reutilización y reciclaje deberemos prever cómo gestionar la última fracción.
2. El objetivo común debería ser eliminar la menor fracción posible. La tendencia europea es tratar de minimizar la gestión vía vertedero.
3. El encontrar ubicaciones aptas técnicamente para vertedero es y va a ser cada vez más complicado atendiendo, entre otros aspectos, a la presión demográfica sobre el territorio.
4. Existe tecnología contrastada en Europa para valorizar energéticamente la última fracción de los residuos de forma segura.
5. Existe una fracción biodegradable de los residuos que se enmarca en el concepto de energía procedente de fuentes renovables.
6. España no puede renunciar a una mejor gestión de los residuos y a un flujo valorizable energéticamente cuantitativamente significativo.

www.idae.es

IDAE: Calle Madera 8, 28004, Madrid, Tel.: 91 456 49 00, Fax: 91 523 04 14
mail: comunicacion@idae.es

