

Estudio de la valorización energética de la “fracción resto” del ecovertedero de Zaragoza

David Alejandro Zambrana Vásquez

CIRCE – Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos – Centro Politécnico Superior, Universidad de Zaragoza, calle Mariano Esquillor Gómez, 15 – 50018, Zaragoza, España

e-mail: zambrana@unizar.es

Resumen

La jerarquía de gestión de los residuos plantea la necesidad de tomar acciones frente al desmedido uso del vertedero como opción de tratamiento final de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Frente a esta situación, la valorización energética se considera adecuada cuando ya se han agotado las posibilidades de reutilización, reciclado y valorización material.

La industria cementera, por las condiciones especiales de su proceso, se presenta como una opción interesante para la incorporación de combustibles alternativos en los hornos de producción de clínker.

Las prácticas realizadas por las plantas de la compañía CEMEX con el uso de combustibles alternativos en otras comunidades autónomas, además de las experiencias de otros países de la Unión Europea (UE), abren las puertas a seguir dichas experiencias en la comunidad autónoma de Aragón.

El tratamiento ecológico de los residuos, la disminución de materias primas, el ahorro de combustibles fósiles, la disminución de las emisiones de CO₂ y sobretodo la alternativa para una gestión integral de residuos acorde con el enfoque de la Ecología Industrial son parte del estudio del presente proyecto.

Palabras clave: residuos sólidos urbanos, combustibles alternativos, valorización energética, cemento, ecología industrial

1 Introducción

Uno de los principales problemas a los que se ven enfrentadas las administraciones de los distintos países, tanto de la UE como del resto de mundo, es el incremento en la generación de residuos, industriales y urbanos.

Las consecuencias de la intensiva explotación de recursos naturales para la generación de productos cuyo fin posterior, en un muy elevado porcentaje, es su

disposición en vertedero, se ven reflejadas en los impactos sobre el terreno, tanto en ocupación como contaminación, y la emisión de gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global.

La legislación europea¹ en materia de residuos establece requisitos más exigentes, en relación a los criterios y procedimientos en contra del depósito de materiales que pueden ser reciclados y valorizados.

La actual política de residuos de la UE gira en torno al principio de “jerarquía de residuos”, definida también en la **Ley 10/98 de residuos**, que parte de la base de que la generación de residuos debe minimizarse y los generados deben reutilizarse, reciclarse o valorizarse, siendo el vertido la última opción y la más nociva para el medio ambiente (Figura 1).

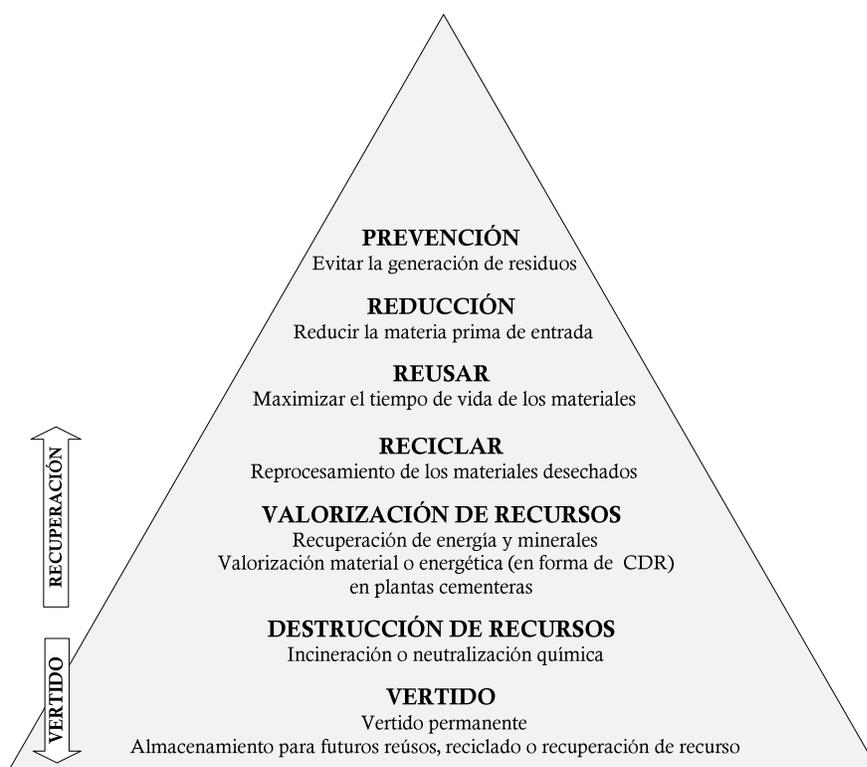


Figura 1: Jerarquía de Gestión de Residuos.

En España, la gestión de residuos urbanos se caracteriza por un mayoritario uso del vertedero. Según Eurostat, en el período 1995 – 2006 el vertido de residuos urbanos ha descendido en España un 6,2%. Sin embargo, es un valor muy inferior al de la media de los países de la UE – 15 que experimentó un descenso del 39,9 %.

¹ Directiva 99/31/CE del Consejo, de 26 de abril 1999, relativa al vertido de residuos. La Unión Europea establece requisitos técnicos estrictos para los residuos y los vertidos con el objeto de prevenir o reducir los efectos ambientales negativos del vertido de residuos.

Dentro de las acciones empleadas en la gestión de residuos urbanos en España, aproximadamente tan solo el 6 % del total de los residuos municipales producidos son valorizados energéticamente e incinerados. En la Figura 2, es posible hacer una comparación de la situación española frente a otros países de la UE en la gestión de Residuos Sólidos Urbanos (RSU):

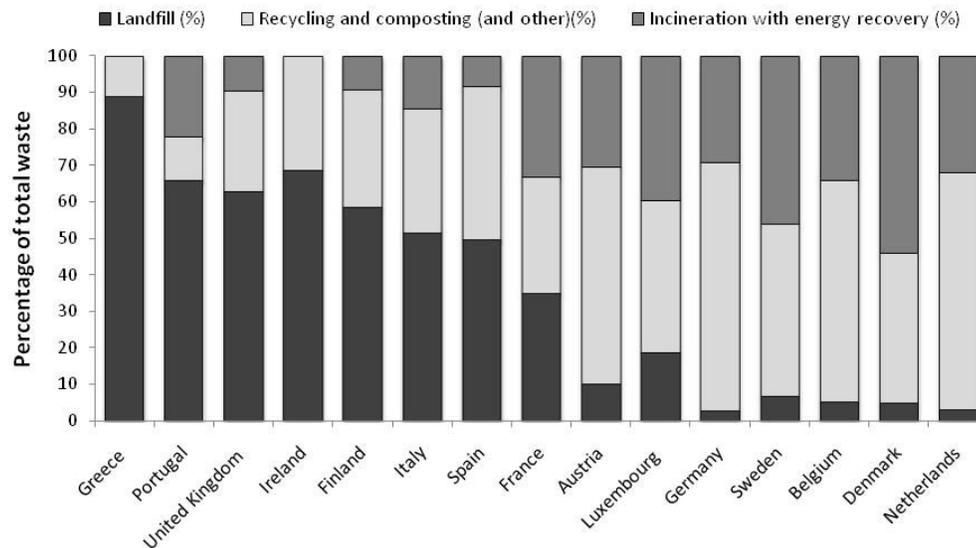


Figura 2: Tratamiento de residuos sólidos urbanos en la UE en 2006 [13].

En la figura anterior, se observa que países como Holanda, Dinamarca, Bélgica y Alemania, cuyos porcentajes de vertido de residuos son muy bajos frente a los demás países de la UE, orientan sus acciones de gestión de residuos hacia opciones de tratamiento como la valorización energética, compostaje, reciclaje y otras. Cabe señalar que dichos países presentan, además, las mayores tasas de reciclaje, por cuanto la valorización energética no es una opción excluyente a sus predecesoras en la jerarquía de gestión de residuos.

Actualmente, los combustibles alternativos obtenidos del tratamiento de los residuos sólidos urbanos han sido experimentados en la co-combustión tal es el caso de los hornos de cemento. De este modo, la industria cementera se convierte en una opción interesante para la gestión de RSU.

El presente artículo se enfoca en el estudio de viabilidad técnica, medio ambiental y normativa de valorización energética de la “fracción resto” resultante del tratamiento de los residuos sólidos urbanos depositados en el Ecovertedero de Zaragoza. Se tienen en cuenta experiencias realizadas en otros países de la UE y en diferentes comunidades autónomas de España. Además, se plantean alternativas de tratamiento de dicha fracción orientando la investigación hacia la valorización energética en hornos de clínker de cemento.

2 Metodología

La metodología planteada para el presente estudio cuenta con tres partes principales:

- Revisión bibliográfica acerca del estado del arte de la gestión de residuos sólidos urbanos en los países de la UE y España, la producción de combustibles derivados de residuos y su valorización energética en hornos de clínker, además, las ventajas y limitaciones acerca de dicho tratamiento.
- Elaboración de un diagnóstico de la situación actual del residuo a valorizar y su tratamiento en el Ecovertedero, así como, el potencial de valorización energética en hornos de clínker.
- La elaboración de propuestas de gestión del residuo orientadas a los temas tratados en los puntos anteriores y su viabilidad desde el punto de vista técnico y ambiental.

3 Desarrollo

3.1 Introducción al tratamiento de los residuos sólidos urbanos

Se entiende por residuos sólidos urbanos o municipales a todos los “residuos generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como todos aquellos que no tengan la calificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en los anteriores lugares o actividades”².

El tratamiento de los residuos sólidos urbanos es un problema crítico en muchos países, ya que requiere un sistema integrado para ser encarado de una manera efectiva. Combinaciones entre reciclado de materiales (provenientes de contenedores de recogida selectiva de plástico, vidrio, cartón y papel), tratamientos biológicos de los residuos biodegradables (digestión anaeróbica y compostaje) y valorización material y energética han sido estudiados y comparados frente a la disposición en vertedero.

En efecto, esta última opción es la más nociva para el medio ambiente. Los vertederos son causantes de la contaminación del suelo y agua por lixiviados, afecciones sobre la fauna y la flora, impacto sobre el paisaje, etc. Son responsables del 3% de las emisiones de gases de efecto invernadero en Europa y cerca de 12% en España. Entre los años 1990 y 2005, países como Alemania y Bélgica redujeron sus emisiones procedentes de vertederos de residuos sólidos urbanos un 71% y 69% respectivamente, mientras que España incrementó en un 102% [6].

Como se mencionó anteriormente, dentro de las opciones de tratamiento de los RSU, más ampliamente utilizadas actualmente, se encuentra el tratamiento mecánico - biológico. El tratamiento mecánico - biológico o MBT (por sus siglas en inglés) es uno

² Ley 10/1998, de 21 de Abril, de Residuos (BOE núm. 96, de 22 de Abril de 1998)

de los tratamientos de los residuos sólidos urbanos menos costosos y más empleados. De modo general, en las plantas de tratamiento mecánico - biológico se separan los materiales inertes, metales y la fracción orgánica (para su estabilización mediante procesos de compostaje, ya sea con o sin una fase de digestión), obteniendo finalmente una “fracción resto”, de la que puede obtenerse combustibles alternativos (CDR y CSR), que se compone principalmente de residuos de papel, plásticos y textiles [5] (Figura 3).

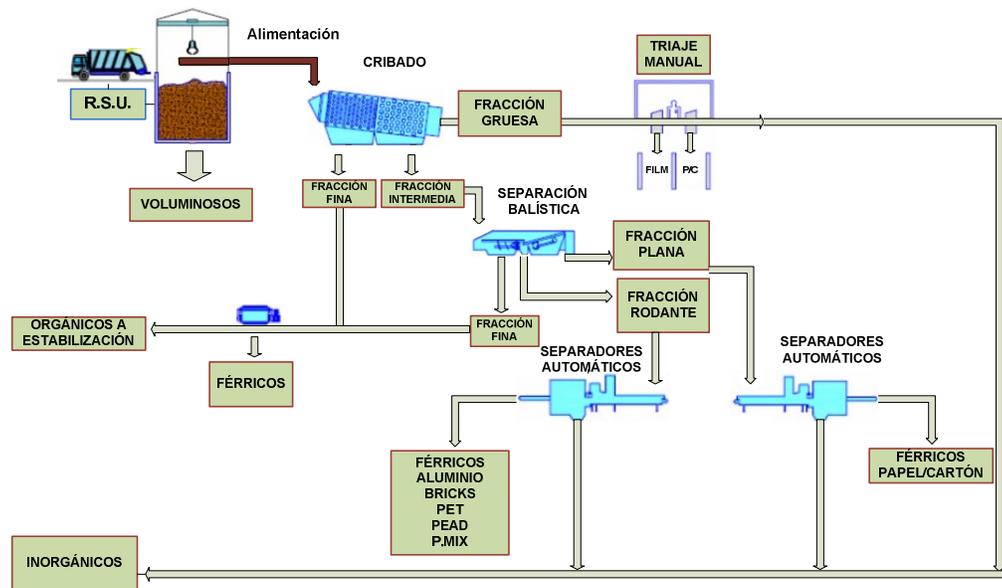


Figura 3: Proceso del tratamiento Mecánico - Biológico de Residuos Sólidos Urbanos [10].

En la Figura 4 se presentan los valores de rendimiento habituales de las operaciones genéricas empleadas dentro del tratamiento mecánico – biológico de RSU, tal es el caso de la planta de tratamiento del ayuntamiento de Vitoria – Gasteiz. Dichos valores de rendimiento, de forma general, varían en función de la composición de los RSU, de la infraestructura de recolección de dichos residuos (selectiva o no) y de la tecnología de las operaciones de tratamiento, clasificación y separación.

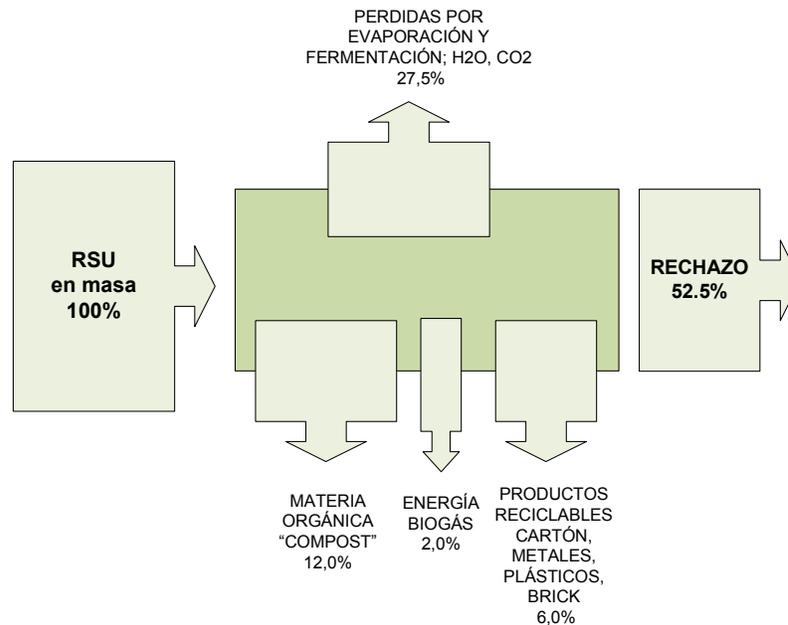


Figura 4: Esquema de los rendimientos de separación del tratamiento Mecánico - Biológico de RSU [1].

3.2 La "fracción resto"

A partir de las operaciones del tratamiento mecánico - biológico de RSU (Figura 4), aún queda una fracción rechazo no reutilizable ni reciclable, y que debido a su composición no es adecuada para tratamientos biológicos. Esta porción de los residuos sólidos urbanos es llamada "fracción resto", que procede de los siguientes rechazos [1]:

- **Rechazo del triaje primario:** formado principalmente por residuos voluminosos (aprox. 5% s/entrada)
- **Rechazo de las líneas de clasificación y triaje:** material que es embalado y constituye la principal fracción de rechazo (aprox. 29% s/entrada)
- **Rechazos de afino (trómel y mesa densimétrica):** procedente del biorresiduo estabilizado, obtenido en el tratamiento biológico de la fracción orgánica (aprox. 19% s/entrada)

La cantidad de esta fracción depende principalmente de las estrategias de gestión y las operaciones de tratamiento de los residuos sólidos urbanos, además de la recogida selectiva y de la concienciación ciudadana. Sin embargo, aún en los países con mayores tasas de reciclaje, la "fracción resto" supera ampliamente el 25% del total de RSU producidos.

A modo de ejemplo, el porcentaje de rechazo en la planta de tratamiento del ayuntamiento de Vitoria - Gasteiz es del 52,5 % (Figura 4). En el caso específico del Ecovertedero de Zaragoza se estima una cantidad por encima del 40% [3].

3.3 Combustibles alternativos: CDR/CSR

Además de la Gasificación, la Pirolisis y la combinación de ambos como alternativas “verdes” dentro de los métodos térmicos de tratamiento de la “fracción resto” de los RSU, la obtención de combustibles alternativos se presenta como una opción viable para la gestión de dicha fracción de rechazo. Dentro de la tipología de combustibles alternativos obtenidos de la fracción resto de RSU cabe diferenciar a los Combustibles Sólidos Recuperados (CSR) y los Combustibles Derivados de Residuos (CDR).

Los **Combustibles Sólidos Recuperados** son combustibles sólidos preparados a partir de residuos no peligrosos para ser valorizados energéticamente en plantas de incineración o co-incineración, que cumplen la clasificación y especificaciones establecidas en la especificación técnica CEN/TS 15359 del Comité Europeo de Normalización³.

Los **Combustibles Derivados de Residuos** pueden ser preparados a partir de residuos peligrosos o no peligrosos, pueden presentar un estado físico líquido o sólido, y en cualquier caso, aquellos CDR sólidos producidos a partir de residuos no peligrosos no están sometidos a la especificación técnica CEN/TS 15359 del Comité Europeo de Normalización.

En la actualidad en España no existe como tal una demanda de CSR producido bajo especificación técnica CEN/TS 15359, sino una demanda emergente y creciente de CDR que cumpla los requisitos técnicos definidos por la instalación de co-incineración de destino y los requisitos medioambientales definidos por el Órgano Ambiental de la Comunidad Autónoma donde se ubica la instalación. Hasta ahora, dicha demanda emergente de CDR se centra principalmente en plantas cementeras.

3.4 Obtención de CDR/CSR a partir de RSU

Para la preparación de un CDR/CSR a partir de los rechazos de las plantas de tratamiento mecánico – biológico de RSU se requiere someterlos, básicamente, a distintos tratamientos para adecuar y texturizar el tamaño de las partículas, eliminar impropios de diversa naturaleza y reducir su humedad. De las especificaciones que se soliciten al material de salida dependerá el tipo de alternativas tecnológicas a utilizar. A continuación se presenta el diagrama general para la producción de CDR/CSR [1]:

³ CEN/TS 15359:2006 Solid recovered fuels – Specifications and classes. European Committee for Standardization (www.cen.eu)

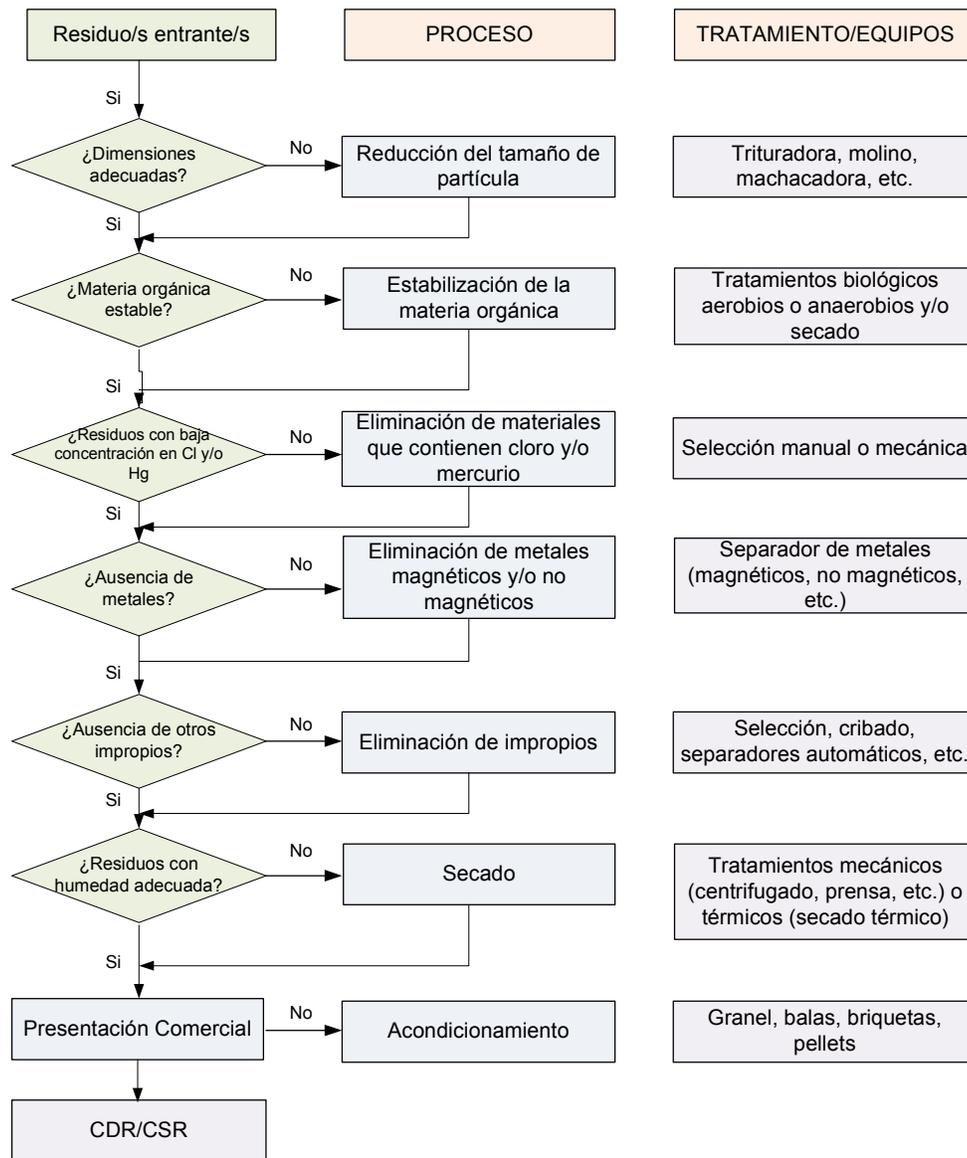


Figura 5: Procesos y tratamientos generales para la producción de CDR/CSR [1].

Para la producción de CDR/CSR se deben tener en cuenta los rendimientos propios de cada tecnología. A modo de ejemplo, en el caso del proyecto de una planta de producción de CDR/CSR del ayuntamiento de Vitoria – Gasteiz se estima que es posible obtener alrededor de un 49% de CSR.

3.5 Valorización energética en hornos de clínker de cemento

De acuerdo al proceso previo del material antes de su entrada al horno de clínker, se distinguen cuatro tipos de fabricación de cemento: vía seca, vía semi-seca, vía semi-húmeda y vía húmeda. Siendo que la fabricación de cemento por vía seca es la más empleada en España, en la Figura 6 se representa el esquema de las operaciones más importantes de dicho proceso [1]:

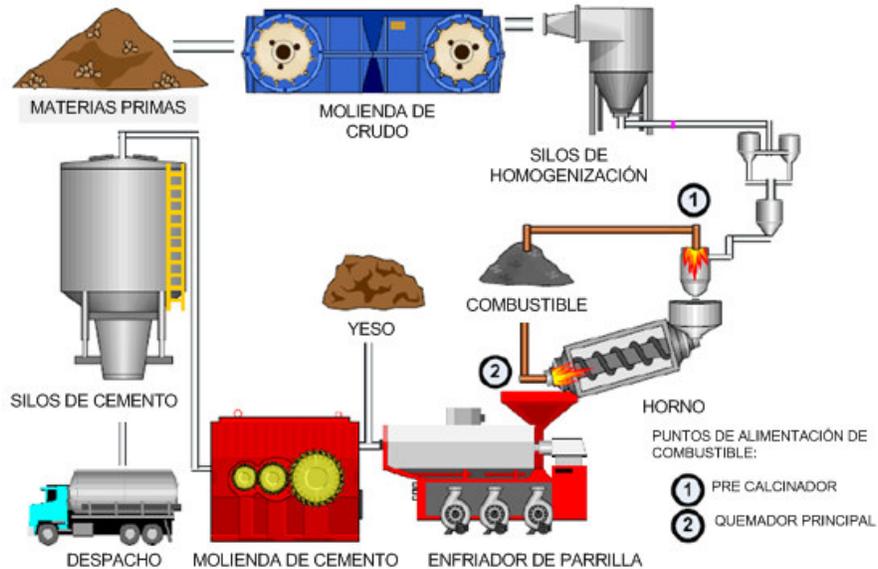


Figura 6: Diagrama del proceso de producción de cemento [12].

Desde el punto de vista del presente estudio, se considera el horno rotativo como una etapa crítica en el proceso de fabricación del cemento, ya que en él se lleva a cabo la combustión.

En la Figura 7 se observa la evolución de la temperatura de los gases y el material dentro el horno de Cemento. Asimismo, se observan los tiempos de residencia en cada una de las etapas, desde los electrofiltros hasta el enfriador. Por otra parte, se representan los dos puntos de alimentación de combustible, tanto en la llama principal como en el pre calcinador:

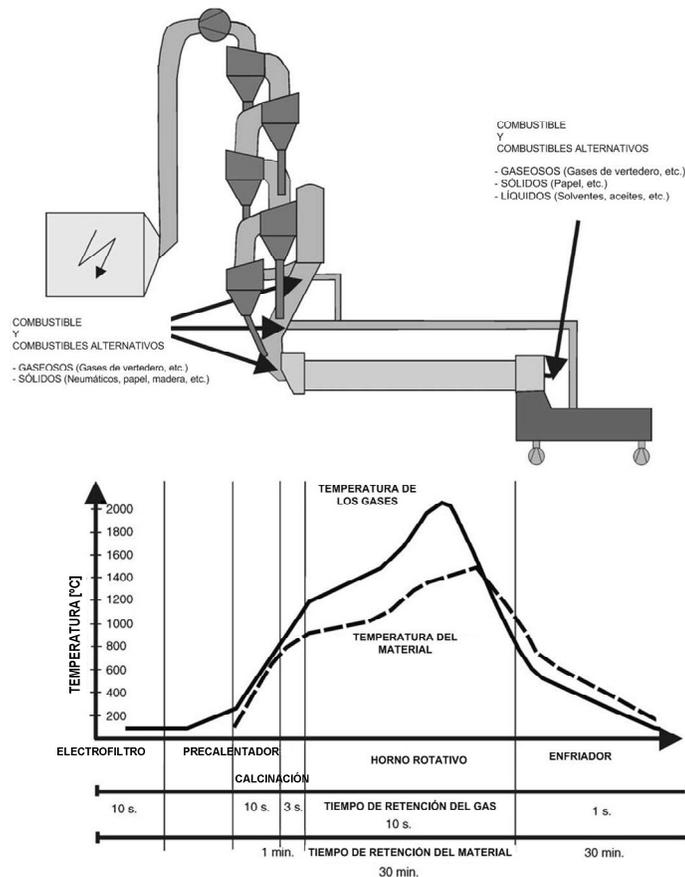


Figura 7: Diagrama de las temperaturas de los gases y materiales en el horno de cemento [11].

El proceso de formación de clínker requiere que el material mantenga una temperatura de 1.400 °C a 1.500 °C, lo que supone una temperatura de llama de 2.000 °C. El aire primario, junto con el combustible, es inyectado por la parte inferior del horno y el aire secundario se incorpora mediante unos ventiladores de tiro forzado en la parte superior del mismo.

Desde la zona de combustión, los gases atraviesan el horno a contracorriente al avance del crudo, de este modo, se aumenta la eficiencia energética del proceso. Los gases, antes de ser expulsados a la atmósfera, pasan por un sistema de limpieza de partículas (precipitadores electrostáticos o filtros de mangas). Actualmente, el consumo energético por kg de clínker producido se encuentra entre las 700 y 900 kcal/kg (electricidad y transporte no incluidos).

El empleo de combustibles alternativos es una práctica asentada en la mayoría de los países desarrollados, destacan por el nivel de sustitución con residuos: Suiza, Holanda, Austria, Francia, Bélgica, Alemania y Japón. En la figura 8 se observa la evolución de la valorización energética en la industria cementera española:

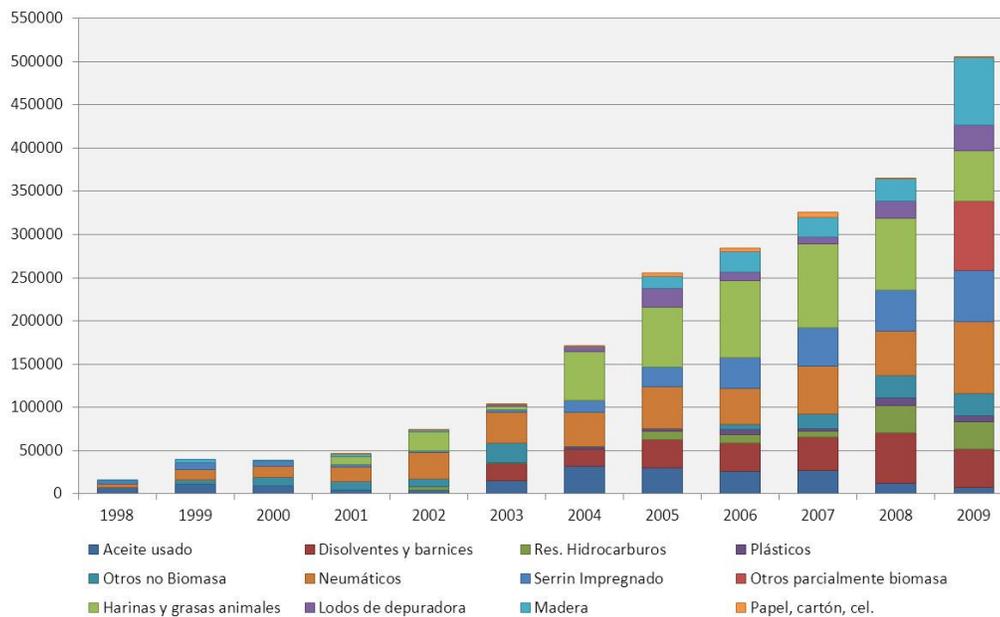


Figura 8: Utilización de combustibles alternativos en toneladas en las cementeras españolas [8].

3.6 Normativa

En España el marco legal general sobre los residuos es la **Ley 10/98 de residuos**. Establece fomentar la jerarquía de residuos mencionada en párrafos anteriores. Además, define la valorización como todo procedimiento que permita el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos. En este sentido, la **Orden Ministerial MAM/304/2002** por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos, indica que la valorización incluye el uso principal como combustible, por ejemplo en hornos de cemento, y no así la incineración sin recuperación de energía.

La ley exige que la valorización de residuos cuente con una autorización autonómica y que el Gobierno juntamente con las comunidades autónomas, establezcan los requisitos de las plantas, procesos y productos de la valorización (se tienen en cuenta las exigencias de calidad y la tecnología a emplearse para preservar la salud humana y el medio ambiente).

Por otra parte, los poseedores de residuos están obligados a gestionarlos por sí mismos o entregarlos a un gestor para su valorización o eliminación.

La utilización de residuos como combustible alternativo en los hornos de clínker es una actividad que se encuentra recogida en el **Real Decreto 653/2003, sobre incineración de residuos**. En él se establecen las condicionantes ambientales con el objetivo de limitar o impedir los efectos negativos para el medio ambiente y los riesgos para la salud humana.

En Aragón, el **Plan Integral de Residuos – G.I.R.A. (2009 – 2015)** no hace referencia explícita a la valorización energética de residuos en instalaciones de producción de cemento, como opción para el tratamiento de residuos.

3.7 Caso de estudio: Ecovertedero de Zaragoza

El Centro de Reciclaje Zaragoza o “Ecovertedero” presta servicio a más de 750.000 habitantes correspondientes al municipio de Zaragoza más 61 municipios de otras comarcas. De acuerdo con lo establecido en el Plan de Gestión Integral de los Residuos de Aragón (G.I.R.A. 2009-2015), los municipios atendidos pertenecen a la denominada Agrupación 6 que corresponde a las comarcas de Campo de Belchite, Ribera Baja del Ebro y Zaragoza [4].

El Ecovertedero tiene una capacidad de procesar 450.000 toneladas al año de RSU y más de 15.000 toneladas de envases (provenientes de los contenedores verdes y amarillos de la ciudad). Del total de RSU que llegan a la planta de tratamiento se puede obtener alrededor de 27.500 toneladas de materiales recuperados, asimismo, la planta de biometanización es capaz de producir 10 millones de metros cúbicos de biogás y 20.000 toneladas de compost al año. Posterior a la producción de compost proveniente de la biometanización, al vertedero de rechazos se envía alrededor del 45% de todos los residuos que llegan al centro de reciclaje, lo que representa 202.500 toneladas anuales [3].

En el apartado 3.1 se clasificaron los rechazos procedentes de las operaciones más importantes de la planta de tratamiento mecánico – biológico de RSU del ayuntamiento de Vitoria – Gasteiz. Dada la similitud con la planta de tratamiento del Ecovertedero de Zaragoza dichas fracciones pueden considerarse semejantes entre ambas instalaciones. En la Tabla 1 y Tabla 2 se presentan las composiciones cuantitativas y cualitativas de las fracciones mencionadas [1].

Tabla 1: Composición cuantitativa de los rechazos obtenidos del MBT de RSU [1].

Material	Voluminoso [%]	Clasificación y triaje [%]	Trómel afino [%]
Materia orgánica	2,0	3,6	26,5
Papel - cartón	1,6	22,6	5,4
Celulosa sanitaria	0,2	11,3	1,4
Plásticos	14,4	25,9	34,0
Brick	0,06	3,0	
Madera	12,5	3,8	0,0
Cueros y textiles	50,0	15,9	4,1
Cauchos y gomas	1,6	0,1	0,0
Vidrio	0,2	0,0	10,1
Metales férricos		3,1	1,6
Metales no férricos	1,5	0,4	1,1
Peligrosos del hogar	0,0	0,1	0,2
Voluminosos ⁽¹⁾	7,6	0,9	0,0
Inertes	3,4	0,9	5,2
Otros	5,0	8,3	10,4

¹Pertenecientes al registro de aparatos eléctricos y electrónicos.

Tabla 2: Composición cualitativa de los rechazos obtenidos del MBT de RSU [1].

	Voluminoso	Clasificación y triaje	Trómel afino
Densidad aparente [kg/m ³]	70	60	285
Humedad [%]	20,8	48,0	13,25
PCI (valor medio) [Kcal/kg]	4.125	3.900	4.120
C [%]	44,5	40,0	36,6
Cloro [ppm]	1.950	7.500	1.710
Hg [mg/kg] ms	0,13	0,14	0,70
Cd [mg/kg] ms	<0,1	0,2	1,0
Pb [mg/kg] ms	20	23	44,5

Como se mencionó anteriormente los procesos necesarios para elaborar CDR/CSR, a partir de las fracciones de rechazo, están orientados para adaptar dichas fracciones a los usos previstos corrigiendo los parámetros de calidad en cada caso (Figura 5).

Haciendo referencia a las fracciones expuestas, se pueden hacer las siguientes consideraciones:

- La fracción de voluminosos es parcialmente recuperable para la producción de CDR/CSR. Únicamente se pueden aprovechar la fracción que contiene madera, plástico y textiles, previo un proceso de selección y triaje.
- La fracción obtenida de la clasificación y triaje se puede emplear en su totalidad para la producción de CDR/CSR. Debido a su alta humedad, heterogeneidad y contenido de impuros, requiere de un tratamiento intenso de adecuación a los requerimientos finales del combustible.
- La fracción resultante del trómel posee ventajas para su tratamiento debido a su tamaño de partícula y su baja humedad, por cuanto requiere de un proceso menos riguroso de tratamiento para la producción de CDR/CSR.

3.8 Aspectos técnicos y ambientales de la valorización energética de CDR/CSR en hornos de clínker de cemento

Para la valorización energética en hornos de cemento, los combustibles alternativos obtenidos de RSU, deben ser examinados teniendo en cuenta las siguientes propiedades [11], [5]:

- Estado físico del combustible
- Toxicidad (compuestos orgánicos, metales pesados)
- Composición en elementos problemáticos para la corrosión y escoriación (Na, K, Cl, S) y contenido de cenizas
- Contenido de volátiles
- Poder calorífico

- Propiedades físicas (tamaño de partícula, densidad, homogeneidad)
- Propiedades de molienda
- Contenido de humedad

Se debe tener en cuenta la calidad química del combustible de acuerdo a los estándares Europeos y los criterios EURITS para la protección del medio ambiente. Además, el poder calorífico debe ser estable para tener un adecuado control del suministro de energía al horno. El objetivo es mantener una composición homogénea y un tamaño de partícula que permita un transporte estable y un flujo constante en la planta de cemento. La Asociación Europea responsable de la Incineración y el Tratamiento de Residuos Especiales (EURITS), ha publicado la siguiente Tabla de criterios para la co-incineración de residuos en plantas cementeras como combustible alternativo:

Tabla 3: Criterios de EURITS para la co-combustión de residuos en hornos de cemento [1].

Parámetro	Unidad	Valor
Poder calorífico	MJ/kg	5
Cl	%	0,5
S	%	0,4
Br / I	%	0,01
N	%	0,7
F	%	0,1
Be	mg/kg	1
Hg / Ti	mg/kg	2
As, Se (Te), Cd, Sb	mg/kg	10
Mo	mg/kg	20
V, Cr, Co, Ni, Cu, Pb, Mn, Sn	mg/kg	200
Zn	mg/kg	500
Contenido de ceniza (excl. Ca, Al, Fe, Si)	%	5

Desde el punto de vista medio ambiental, el proceso de fabricación de clínker no genera residuos ni vertidos de agua. Las emisiones a la atmósfera provienen del proceso de combustión dentro del horno de cemento y tienen su origen en las reacciones químicas y físicas de la calcinación de las materias primas. El paso de los gases de combustión por los ciclones, donde transmiten parte de su calor a la harina cruda descarbonatada, produce un efecto de lavado de gases.

La co-combustión de CDR/CSR en los hornos de clínker no debe perjudicar el comportamiento ambiental de la instalación, dificultar la operación del proceso, ni afectar la calidad del cemento. En general, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones [2], [7]:

- Se requiere que los gases de combustión permanezcan más de 2 segundos por encima de 850°C, o por encima de 1.100 °C en presencia de cloro, para evitar la formación de dioxinas y furanos. Por las características de la combustión, en el

horno de clínker se duplican las temperaturas necesarias para la destrucción de estos compuestos, y los gases tienen tiempos de residencia relativamente largos (Figura 7).

- Respecto al cloro, estudios realizados por diferentes organismos han demostrado que se debe limitar su presencia en el combustible (por debajo del 1% en peso), ya que puede producir problemas de pegaduras y atascos en los ciclones.
- La fracción inorgánica y los metales pesados se combinan con el clínker de cemento incorporándose a su estructura mineralógica. De este modo quedan fijados químicamente y reducen el potencial de lixiviación de metales pesados al medio acuoso.
- Los metales más volátiles (Hg, Tl), en cierta medida, escapan a la acción del horno y pueden ser emitidos parcialmente a la atmósfera. Por tanto, su contenido en el combustible debe estar sujeto a limitación y control.

Desde el punto de vista medioambiental las emisiones de CO₂ tienen una importancia significativa. Su reducción representa un aspecto clave en el uso de combustibles alternativos dentro de los compromisos adoptados por los estados Europeos para cumplir el protocolo de Kioto. Si bien el ahorro de emisiones es evidente cuando se usan residuos de biomasa, también es posible reducirlas con el empleo de otro tipo de residuos. La siguiente figura muestra claramente lo mencionado:

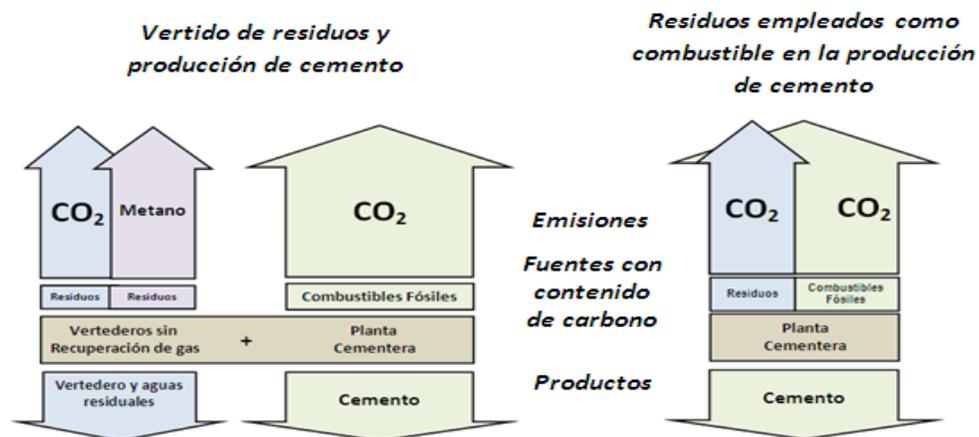


Figura 9: Reducción de las emisiones globales con la valorización.

Para cuantificar dichos ahorros es necesario hacer un estudio de análisis de Ciclo de Vida que incluya las operaciones realizadas para el tratamiento de los residuos. Tomando como referencia el estudio realizado por Genon y Brizio [9], el uso de CDR en el horno de clínker de cemento indica ser positivo. La combustión de CDR en el horno permite una reducción de alrededor de 1,61 kg CO₂/kg CDR empleado comparando con el uso de combustibles tradicionales, en este caso el carbón.

4 Conclusiones

En el desarrollo del presente artículo, se ha mencionado que el rendimiento de una planta de producción de CDR/CSR varía entre un 28,5% a un 49% del total de rechazos obtenidos en la planta de MBT. Teniendo en cuenta un rendimiento del 49% que se obtiene en la planta de tratamiento de Vitoria – Gasteiz, se puede estimar que la cantidad potencial de CDR/CSR en el Ecovertedero de Zaragoza es de aproximadamente 99.225 Mg/año.

En términos de PCI, se estima que debido al mayor porcentaje de la fracción de rechazo procedente de la clasificación y triaje, seguido de la fracción procedente del trómel, el PCI esperado se situará en torno a las 4.000 kcal/kg correspondiente a 16,74 MJ/kg.

Existe un potencial energético en el Ecovertedero de $16,6 \times 10^8$ MJ/año, contenido en el CDR/CSR que puede ser producido a partir de la “fracción resto” que se despilfarra en el vertedero. Si comparamos esa cantidad de energía en toneladas de coque de petróleo (PCI = 32,5 GJ/Mg), corresponde a 51.108,51 Mg/año. En término de emisiones de CO₂, teniendo en cuenta la reducción de 1,61 kg CO₂/kg CDR empleado comparado con el carbón, se evitarían un estimado de 159.752 MgCO₂/año.

5 Aportaciones en materia de sostenibilidad

El presente proyecto muestra que la “fracción resto” del Ecovertedero de Zaragoza posee características óptimas para ser procesada y convertida en CDR/CSR para su valorización energética en el horno de clínker de Morata de Jalón, por cuanto presenta una solución eficaz al problema de los impactos que dichos residuos generan al medio ambiente con su disposición en vertedero.

Se demuestra que la valorización energética es una forma sostenible de aprovechar los recursos energéticos contenidos en los residuos que de otra manera serían despilfarrados mediante el depósito en el Ecovertedero, convirtiéndose en un foco de contaminación a largo plazo y obligando a recurrir a los combustibles fósiles como fuente de energía. Esta visión forma parte de la Ecología Industrial.

Cabe señalar que el presente proyecto además de denotar el inmenso potencial de reducción de espacio en vertedero, la reducción de emisiones debidas a su explotación y el aprovechamiento de recursos, se enfoca dentro de un modelo de metabolismo circular, en el cual con el aprovechamiento de los residuos, que actualmente se depositan en vertedero, se busca la optimización del ciclo de materiales.

Por último se desea resaltar que la producción de CDR/CSR debe situarse como un componente estratégico en las políticas de gestión integrada de los residuos, además de formar parte de la estrategia energética y de lucha contra el cambio climático.

Agradecimientos

El autor del presente proyecto agradece a la División de Eficiencia Energética de la Fundación CIRCE y la Cátedra CEMEX de Sostenibilidad, en especial a Aitana Sáez de Guinoa y Alfonso Aranda. A mis padres y hermanos por todo su apoyo. Gracias también a mis compañeros de despacho en CIRCE y a mis amigos de la Fundación Carolina.

Referencias

- [1] Alonso A. *Estudio de viabilidad de una planta de producción de CSR en el ayuntamiento de Vitoria - Gasteiz*. Departamento de Medio Ambiente y Sostenibilidad Ayuntamiento de Vitoria – Gasteiz, 2009
- [2] Alternative Fuels. Tunisia: Waste management and the cement industry. Global Cement Magazine – April Edition, 2008
- [3] Centro de Reciclaje Zaragoza <http://www.zaragozarecicla.org/principal.htm> (Accedido en Julio de 2009)
- [4] Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático. Plan de Gestión Integral de Residuos de Aragón 2009 - 2015. Gobierno de Aragón, Departamento de Medio Ambiente, 2009
- [5] Elías X. Tratamiento y valorización energética de residuos. Díaz de Santos. Primera Edición. 2005
- [6] Fundación Laboral del Cemento y el Medio Ambiente. Valorización de residuos en la industria cementera Europea: estudio comparado, 2006
- [7] Fundación Laboral del Cemento y el Medio Ambiente. Reciclado y valorización de residuos en la industria cementera en España, 2006
- [8] Gaminde N. Combustibles Sólidos Recuperados en cementeras en España. 2009
- [9] Genon G. Perspectives and limits for cement kilns as a destination for RDF, Science Direct Waste Management 28 (2008) 2375-2385
- [10] Guijarro C. Nuevas tecnologías para valorización de las fracciones combustibles procedentes de los rechazos de las plantas de residuos municipales. SUFI, 2009
- [11] Mokrzycki E., Uliasz-Bochenczyk A., Alternative fuels for the cement industry, Applied Energy 74 (2003) 95 – 100
- [12] Nithikul J. Potential of Refuse Derived Fuel production from Bangkok Municipal Solid Waste, Thailand, Asian Institute of Technology School of Environment, Resources and Development, 2007
- [13] Papageorgiou A. et al. Assessment of the greenhouse effect impact of technologies used for energy recovery from municipal waste: A case for England, Journal of Environmental Management (2009) 1 – 14