

El combustible sólido recuperado: Producción y marco regulador

Antonio Gallardo Izquierdo¹, Natalia Edo-Alcón¹, Fernando Albarrán Vargas Zúñiga²

¹INGRES | www.ingres.uji.es • ²RECIPLASA | www.reciplasa.es

En los diferentes modelos de plantas de tratamiento de residuos domiciliarios, además de recuperar materiales destinados al reciclaje, se generan unos rechazos que no tiene utilidad y que generalmente se destina a vertedero. Sin embargo, poseen un contenido energético elevado debido a que están formados por una mezcla de materiales combustibles. La principal alternativa para la valorización de los rechazos es su conversión en un combustible sólido recuperado (CSR), con ello se lograría reducir el volumen de residuos enviados a vertedero y proporcionar combustibles alternativos para las indus-

trias que hacen un uso intensivo de energía no renovable.

En este artículo se presenta el marco normativo y legal de los CSR en España y se compara con el de otros países europeos. En este sentido, se analizarán los parámetros de calidad exigidos hoy en día a nivel europeo. Además, también se analizan los posibles usos del CSR y su posibilidad de considerarlos como un subproducto en lugar de residuo.

INTRODUCCIÓN

En el marco de la estrategia Europa 2020, se pretende generar un crecimiento inteligente, sostenible e integra-

dor mediante un uso eficaz de los recursos. En diciembre de 2015 la Comisión Europea adoptó un ambicioso nuevo paquete para impulsar la transición de Europa hacia una economía circular que impulse la competitividad mundial, fomente el crecimiento económico sostenible y cree nuevos puestos de trabajo. Las acciones propuestas contribuirán a «cerrar el círculo» de los ciclos de vida de los productos a través de un mayor reciclado y reutilización, y aportarán beneficios tanto al medio ambiente como a la economía.

Dentro de este contexto, los residuos domiciliarios (RD) que no se pueden reutilizar o reciclar, pueden convertir-



CSR (Foto: Franssons Recycling)

se en Combustibles Sólidos Recuperados (CSR). Intentar dar un uso posterior al CSR reduciría la cantidad de residuos enviada a los vertederos al tiempo que serviría de sustituto de otros combustibles fósiles. En Europa, desde hace tiempo varios países empezaron a producir y a regular el uso de estos combustibles. Asimismo, como consecuencia del aumento de su uso en más países, la Unión Europea ha publicado unos estándares de calidad del CSR para crear un lenguaje común entre los productores.

Por otro lado, el desarrollo de la sociedad ha venido acompañado de un gran consumo de energía y del uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) para satisfacer sus necesidades. Además, en los últimos años ha entrado en juego una nueva variable: el cambio climático derivado de las emisiones de gases de efecto invernadero. Por lo que, con el objetivo de reducir el efecto negativo del uso de estos combustibles, ha sido necesario el desarrollo de nuevas medidas desde el punto de vista energético y medioambiental, entre las que se incluye el uso de fuentes de energías renovables alternativas. En este sentido, el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables, aprobado en 2011 (PER 2011-2020) contempla los RD como fuente de energía renovable. Por todo ello, su transformación en un combustible alternativo supone una serie de ventajas medioambientales y económicas que hacen más atractiva la posibilidad de llevar a cabo su valorización energética (Ghani et al. 2009)

En este artículo se presenta el estudio del marco normativo y legal de los CSR en España y Europa, realizado por el grupo de investigación INGRES y la Cátedra RECIPLASA de Gestión de Residuos, ambos de la Universitat Jaume I. Su objetivo es analizar el estado actual de esta alternativa de valorización de los rechazos de plantas de tratamiento mecánico-biológico y la posibilidad de

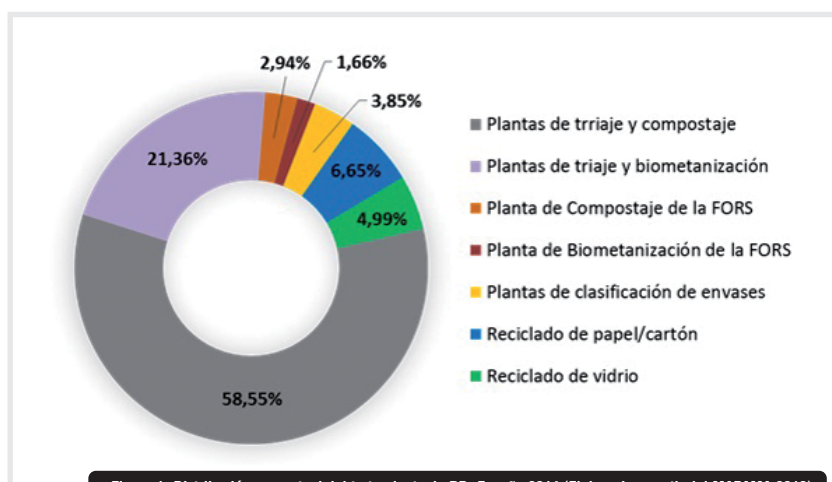


Figura 1. Distribución porcentual del tratamiento de RD, España 2014 (Elaborado a partir del MAPAMA 2016)

que pueda ser un subproducto en lugar de residuo.

GENERACIÓN DE RECHAZOS

En España, la cantidad de RD generados en el año 2014 fue de 21,3 Mt, de las cuales 17,5 Mt corresponde a RD mezclados y el resto a RD recogidos selectivamente, resultando una ta-

sa de generación total de 1,26 kg/hab·día (Instituto Nacional de Estadística). Desde el punto de vista del tratamiento dado a los RD, un 68,91% fue enviado a diferentes instalaciones de tratamiento mecánico y/o biológico, un 5,41% fue incinerado directamente y un 25,68% se depositó en vertedero sin ser sometidos a ningún tratamiento (MAPAMA 2016). En la figura 1 se muestra el porcentaje de los residuos tratados en cada tipo de instalación.

El tratamiento más extendido para los RD es el tratamiento mecánico-biológico (TMB) en las plantas de triaje y compostaje (PTC) y en las de triaje y biometanización (PTB) (Figura 1), el cual tiene como finalidad la bioestabilización de la materia orgánica presente en los RD mezclados y la recuperación de distintos materiales para su posterior reciclaje. Como resultado de este tratamiento se obtienen un flujo de materiales recuperados (vidrio, plásticos, metales, papel y cartón, etc.), un flujo de material bioestabilizado y varias corrientes de rechazo.

En cuanto al tratamiento de los RD recogidos selectivamente, las principales instalaciones son: las plantas de compostaje o biometanización de la fracción orgánica recogida selectivamente (FORs), y las plantas de clasificación de envases. Actualmente, el TMB de la



Tabla 1. Plantas de tratamiento de RD y generación de rechazo, España 2014 (Elaborado a partir del MAPAMA 2016)

	Nº de plantas	Rechazo respecto a las entradas (%)	Rechazo respecto al total generado (%)
PTC	74	62,39	67,13
PTB	22	73,79	28,97
PCFO	40	28,36	1,53
PBFO	5	39,37	1,20
PCE	92	16,40 ¹	1,16
TOTAL	233		100

¹ Dato obtenido del Informe anual 2015 de ECOEMBES (2016)

FORS en plantas de compostaje (PCFO) o biometanización (PBFO) es un proceso poco extendido. Sin embargo, una de las acciones del Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR 2016-2022) para incrementar el reciclado es la implantación de la recogida separada de biorresiduos y la construcción de nuevas instalaciones para su tratamiento. En estas instalaciones se obtiene un flujo de compost y varias corrien-

tes de rechazo. Respecto a las plantas de clasificación de envases (PCE), su objetivo es clasificar y separar con el mayor grado de calidad posible los diferentes materiales reciclables, mediante procesos mecánicos, neumáticos, electromagnéticos y ópticos. Como resultados se obtienen varios flujos de materiales para su reciclaje y una corriente de rechazo formada por impropios y envases no recuperados.

La problemática de estas plantas radica en la gran cantidad de rechazo generado en el proceso. Esto se debe a la heterogeneidad del material entrante (Colomer & Gallardo 2007; Soto & De la Vega Martín 2011), ya que junto con los residuos solicitados entran materiales impropios que acaban en el rechazo, cuyo destino principal es el vertedero (de Araújo Morais et al. 2008), suponiendo en España el 33,77% de los residuos generados y el 56,11% del material entrante a los vertederos. (MAPAMA 2016). En la tabla 1 se presentan el número de plantas de tratamiento de RD existentes en España en el año 2014, el porcentaje de rechazo generado en cada una de ellas respecto a las entradas de material y el reparto porcentual respecto al total de rechazo generado.

Como se observa en la Tabla 1, en España, las plantas de TMB de los RD mezclados son las que mayor cantidad de rechazo generan respecto a las entradas de material, con un 62,39% para las PTC y un 73,79% para las PBC. Además, en estas instalaciones se produce el 96,11% del total de rechazo generado. Respecto al número de plantas, las PCE son las mayoritarias (92 plantas), en ellas únicamente el 16,40% de los RD entrantes acaban como rechazo, suponiendo tan solo un 1,16% del reparto porcentual. En segunda posición se encuentran las PTC con 74 instalaciones, produciéndose en ellas más de dos tercios del total de rechazos generados (67,13%). Además, el número de plantas de tratamiento ha ido aumentando año tras año debido principalmente al desarrollo legislativo del Real Decreto 252/2006, por el que se establecen objetivos más exigentes de recuperación de materiales.

Los rechazos poseen un contenido energético elevado debido a su alto porcentaje en papel/cartón, plástico y madera (Di Lonardo et al. 2012), especialmente cuando los RD de entrada a la planta tienen un alto poder calorífico (Bessi et al. 2016), por lo que pueden

Figura 2: CSR triturado



ser aprovechados energéticamente utilizando diferentes técnicas como son: incineración, co-incineración, gasificación, pirólisis o gasificación mediante plasma (Gómez-Barea 2015).

COMBUSTIBLE SÓLIDO RECUPERADO

Así pues, una de las principales alternativas para la valorización de los rechazos es su conversión en un combustible sólido recuperado (CSR). La normativa europea define CSR como aquellos combustibles producidos a partir de residuos no peligrosos, tras su adecuado tratamiento, y que cumplen los requisitos de clasificación y especificaciones establecidas en la norma CEN/TS 15359 (2012), Tabla 2. Para su fabricación es necesario la eliminación del material no combustible, trituración (Figura 2); secado y, en algunos casos, pelletización (Nasrullah et al. 2015), Figura 3. Por otro lado, aquellos combustibles que no cumplan los estándares fijados en esta norma serán considerados como Combustibles Derivados de Residuos (CDR).

ESTÁNDARES DE CALIDAD DE LOS CSR

Los CSR son combustibles muy heterogéneos y sus características físicas y químicas pueden ser muy variadas, dependiendo principalmente del residuo y del tratamiento utilizado para su producción. En Europa, este combustible está sujeto a unos parámetros específicos de calidad y debe cumplir una serie de estándares que aseguren la protección del medio ambiente, de los equipos utilizados para su consumo y la calidad del producto final, si existe (como por ejemplo el cemento). Además, el contenido energético y mineral debe ser lo suficientemente estable en el tiempo y la forma física debe asegurar una manipulación, almacenamiento y alimentación higiénica y segura. A nivel europeo, esta estandarización ha



EFICIENTE. COMPACTO. EXCEPCIONAL.

You name it,
we solve it!

TRITURACIÓN – TRANSPORTE – CRIBADO

Tecnología de reprocesamiento para
óptimos resultados en:



Residuos de
producción



Residuos
post-consumo



Desechos
residuales

Vecoplan AG | Vor der Bitz 10 | 56470 Bad Marienberg | Germany | Phone: +49 2661 62 67-0
welcome@vecoplan.com | www.vecoplan.com



Figura 3. CSR Pelletizado

sido llevada a cabo por el Comité Europeo de Estandarización mediante el paquete de normas elaboradas por el comité técnico CEN/TC 343 - Solid Recovered Fuels. Estas normas establecen, por un lado, los métodos a seguir para la determinación de diferentes parámetros que permiten caracterizar los CSR. Por otro, definen aquellos parámetros que son importantes para la calidad de los mismos. En este sentido, la norma CET/TS 15359 (2012): “Combustibles sólidos recuperados: especificaciones y clases”, propone un sistema de clasificación de la calidad de los CSR basado en los valores límite de tres parámetros: el poder calorífico inferior (PCI), como parámetro económico; el contenido en cloro, como parámetro técnico, y el contenido en mercurio, como parámetro medioambiental.

Cada uno de estos parámetros se divide en cinco clases con sus correspondientes valores límite (Tabla 2) y se le asigna un número del 1 al 5 en función del valor obtenido para el mismo. La combinación de estos números constituye el código de clase. Aquellos materiales a los cuales no se les pueda

asignar un código de clase, no serán considerados como CSR.

Algunos países como Alemania, Italia, Finlandia, Austria o Suiza han definido sus propios estándares de calidad para los CSR. Además, estos estándares pueden variar en función del tipo de instalación donde pueden ser utilizados (hornos de cemento, centrales eléctricas o instalaciones de co-incineración). Las normas para cada uno de estos países son:

- Finlandia: SFS 5875 Solid Recovered Fuel - Quality Control System
- Italia: UNI 9903 Non mineral refuse derived fuels RDF.

- Alemania: RAL-GZ 724 Quality Assurance of Solid Recovered Fuels.
- Austria: BMLFUW (2008a) Richtlinie für Ersatzbrennstoffe [Guideline for Waste Fuels] y BMLFUW (2010) Verordnung über die Verbrennung von Abfällen Abfallverbrennungsverordnung – AVV [Waste Incineration Directive].
- Suiza: BUWAL (2005) Richtlinie zur Entsorgung von Abfällen in Zementwerken [Guideline for the disposal of waste in cement plants].

En España existen unas características mínimas que los CSR han de cumplir para poder ser valorizados en empresas cementeras, las cuales están establecidas en las Autorizaciones Ambientales Integradas de cada instalación (CEMA 2016).

MARCO LEGAL

En la Lista Europea de Residuos (LER), los CSR reciben el código 191210: Residuos combustibles (combustible derivado de desperdicios) (Decisión de la Comisión: 2014/955/UE). Por tanto, la legislación aplicable a los CSR es la misma que se aplica a los residuos:

- Directiva 2008/98/CE de 19 de noviembre, sobre los residuos.
- Directiva 2010/75/UE, de 24 de noviembre, sobre las emisiones industriales.
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación

Tabla 2. Parámetros del sistema de clasificación del CSR, UNE-EN 15359:2012

Características de clasificación	Medida estadística	Unidad	Clases				
			1	2	3	4	5
PCI	Media	MJ/kg	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3
Cl	Media	%	≤ 0,2	≤ 0,6	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 3
Hg	Mediana	mg/MJ	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,08	≤ 0,15	≤ 0,50
	Percentil 80	mg/MJ	≤ 0,04	≤ 0,06	≤ 0,16	≤ 0,30	≤ 1,00

- Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002.
- Ley 5/2013, de 11 de junio, por la que se modifican la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación y la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados

Derivado de esta legislación, destacan los siguientes aspectos:

- Los CSR en ningún caso pierden su condición de residuo. Así pues, los titulares de actividades en cuyo proceso se utilicen estos combustibles tienen que adquirir la condición de gestores de residuos, estando sometidos a la autorización por parte de la Administración competente de la Comunidad Autónoma.
- Su utilización como combustible alternativo está sometido al Reglamento de emisiones industriales. El cual establece unos valores límites de emisión específicos para las instalaciones de incineración y co-incineración de residuos.
- En el caso de que la instalación de incineración o co-incineración se encuentre sometida a la normativa de prevención y control integrados de la contaminación, su régimen de autorizaciones ambientales se regulariza a través de la Autorización Ambiental Integrada. Esta determina tanto las características de los materiales a incinerar o co-incinerar, así como los límites de emisión, los cuales se adoptan teniendo en cuenta las Mejores Tecnologías Disponibles para el sector de actividad, así como las características del ámbito geográfico en el que se ubica la instalación.

Además, cabe destacar que dentro del BREF sobre el tratamiento de residuos (Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para el sector del tratamiento de residuos), existe un apartado dedicado a la prepa-

Tabla 3. Producción estimada y uso final de los CSR en Europa (ERFO, 2012)

País	Produc. CSR		Uso final (kt/año)					
	Nº inst.	(kt/año)	Hornos de cemento	Centrales de carbón	Plantas de gasificación	Plantas de cogeneración	Incinerad. de RSU	Export.
Austria		580	230	0	0	250		100
Bélgica	8	465	150					-
Finlandia]	>30	700	60		35	450	300	
Francia	10	200	100			100		-50
Alemania	>100	6.150	1900	750		3.500		0
Irlanda		200						10
Italia		830	150					0
Holanda	>5	120	30	0	0	40	10	
Polonia		590	850		0			
España	7	224	224					0
Suecia		280	60			430		-210
Reino Unido	14	765	200					70
Total	>175	11.104	3.694	750	35	4.770	310	

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

ración de combustible residual sólido mediante tratamiento mecánico (y biológico) a partir de residuos sólidos no peligrosos. Dentro de este apartado está incluida la producción de CSR a partir de rechazos del tratamiento de RD.

Finalmente, el traslado de CSR está regulado en la UE por el Reglamento CE 1013/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo de 14 de junio de 2006 relativo a los traslados de residuos; y en España por Real Decreto 180/2015, de 13 de marzo, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado.

PRODUCCIÓN Y USO DEL CSR

En la Unión Europea, los últimos datos recogidos por la European Recovered Fuel Organisation (ERFO) sobre cantidades totales de CSR producidos a partir de RD son del año 2010, y se estima en 11 Mt. Este combustible es utilizado principalmente en instalaciones de

generación de energía, en plantas de cogeneración, hornos de cemento y en procesos demandantes de calor, suponiendo un ahorro de energía primaria (ERFO 2012). Además, debido a que los CSR tienen un contenido en material biodegradable elevado (50-60%) (Grau y Farré 2011), su valorización contribuye a la reducción de emisiones de CO₂, ya que el dióxido de carbono liberado por la combustión de la fracción biodegradable no contabiliza en el cómputo de emisiones (Directiva 2003/87/CE). En la Tabla 3 se muestra la producción estimada y el uso final de los CSR en el año 2010 en algunos países de la Unión Europea.

Como se observa en la Tabla 3, Alemania es el mayor productor de CSR con más de la mitad de la producción europea, le siguen Italia, Austria y Polonia. En la mayoría de los países los CSR son utilizados en los hornos de cemento (salvo para Alemania donde se destinan principalmente a plantas de cogeneración), puesto que las característi-



Enerfuel (Foto: Cemex)

cas del proceso productivo del cemento permite la valorización de los mismos utilizándolos como sustitutos de los combustibles fósiles tradicionales.

En Europa, de las 250 plantas de Clinker existentes, más de 160 emplean residuos como combustibles. Además, la sustitución de combustibles fósiles en cementeras por combustibles derivados de residuos aumenta cada año, situándose la media europea en un 39% y la española en un 23,4% (OFICEMEN 2015).

En España, el sector cementero, siguiendo el ejemplo de otros países europeos, también ha incrementado el uso de combustibles alternativos en sus hornos. En el año 2014 se utilizaron alrededor de 728 kt de combustibles alternativos, que supusieron el 23,2% del consumo energético de las cementeras, de ellas aproximadamente 275 kt fueron combustibles derivados de los residuos (CEMA 2016).

CSR COMERCIALES

Existen empresas dedicadas a la fabricación de CSR que han registrado sus propias marcas. La empresa alemana REMONDIS tiene patentadas dos marcas: BPG® y SBS®. El BPG® es un CSR producido a partir de residuos especiales, mientras que el SBS® está producido a partir de las fracciones de elevado poder calorífico de los residuos municipales (Glorius 2009).

En Reino Unido, la empresa CEMEX ha registrado una marca comercial de CSR denominada ClimaFuel®. Este CSR se produce a partir de residuos domésticos y comerciales y tiene un poder calorífico de 17 a 22 MJ/kg, un contenido en humedad inferior al 15 % y un contenido de cloro inferior al 1 %. Asimismo, en España, también ha desarrollado la marca Enerfuel®, cuyas características son: humedad inferior al 20 %, tamaño de hasta 4 cm y una composición de 35 % plásticos, 30 % papel y cartón, 20 % madera, 15 % textil (Puig et al. 2012).

CESE DE LA CLASIFICACIÓN DE RESIDUO DEL CSR

La desclasificación del CSR como residuo, bajo ciertas exigencias de cali-

dad y uso, abriría el camino a una utilización mayor como combustible, tanto en los actuales sectores de consumo como en otros nuevos (sectores de fabricación de ladrillos o atomizadoras de arcillas).

En Italia, el Decreto Ministerial 22 (2013) introdujo los criterios de fin de residuo (EoW, siglas en inglés) para calificar al CSR como combustible (Di Lonardo et. al 2016). La ley establece que no todas las 125 clases de CSR (según norma EN15359 (2011)) son adecuadas para clasificar un CSR como combustible, sino sólo las combinaciones siguientes: 1, 2 o 3 para PCI, 1, 2, o 3 para el Cl y 1 o 2 para el Hg. Además, se fijan los valores límites máximos de los metales pesados indicados por la norma EN 15359

Tabla 4. Características físico-químicas de los CSR (Decreto Ministerial italiano 22 (2013))

Características de especificación			
Parámetro	Medida estadística	Unidad de medida	Valor límite
Parámetros físicos			
Cenizas	Media	% s.s	(véase nota 1)
Humedad	Media	% t.q.	(véase nota 1)
Parámetros químicos			
Antimonio (Sb)	Mediana	Mg/kg s.s.	50
Arsénico (As)	Mediana	Mg/kg s.s.	5
Cadmio (Cd)	Mediana	Mg/kg s.s.	4
Cromo (Cr)	Mediana	Mg/kg s.s.	100
Cobalto (Co)	Mediana	Mg/kg s.s.	18
Magnesio (Mn)	Mediana	Mg/kg s.s.	250
Níquel (Ni)	Mediana	Mg/kg s.s.	30
Plomo (Pb)	Mediana	Mg/kg s.s.	240
Cobre (Cu)	Mediana	Mg/kg s.s.	500
Talio (Tl)	Mediana	Mg/kg s.s.	5
Vanadio (V)	Mediana	Mg/kg s.s.	10
s.s.: materia seca; t.q.: materia húmeda			
Nota: (1) No hay valores límite de las cenizas y humedad. Los valores límite son acordados entre productor y consumidor			

(2011) a los indicados en la Tabla 4. Finalmente, el decreto también establece que el uso del CSR como combustible sólo se permite para la combustión en plantas de cemento y en centrales térmicas con una capacidad superior a 50 MW. Para los CSR que presentan códigos de clase que no cumplen con los criterios de EoW, se consideran residuo y los usuarios son plantas de energía e instalaciones de combustión autorizadas para la valoración de residuos.

Por su parte, Austria, en su Ordenanza de Incineración de Residuos (AAV) (BMLFUW 2010), establece especificaciones para la EoW de los combustibles derivados de residuos en general (Tabla 5), así como para los producidos a partir de madera; quedando exclui-

dos los residuos peligrosos y los desechos médicos. Además, la valorización energética de los combustibles que cumplen las especificaciones de EoW se limita a instalaciones de incineración con una potencia térmica nominal $\geq 50\text{kW}$ y un valor límite de emisiones para partículas y polvo de 20 mg/m^3 , así como a instalaciones comprendidas en el ámbito de la AAV.

CONCLUSIONES

Uno de los principales problemas de las plantas de tratamiento de RD es la gran cantidad de rechazo generado en el proceso. Sin embargo, estos materiales, que actualmente se destinan a vertedero, tienen un gran potencial para su conversión en CSR.

La transformación de los rechazos en un CSR ayudaría al cumplimiento de los objetivos de la estrategia Europa 2020, contribuyendo a cerrar el ciclo de vida de los productos con todos los beneficios ambientales y económicos que esto conlleva, además de reducir la cantidad de residuos enviada a vertedero y servir como sustituto de los combustibles fósiles.

En la Unión Europea existe una normativa que regula la calidad del CSR y que es de aplicación en todos los países miembros, lo que contribuye a armonizar su mercado. Sin embargo, algunos países disponen de estándares propios, que en la mayoría de los casos aparecieron antes que el europeo.

La producción de este combustible ha ido en aumento en los últimos años y es-



PLANTAS GRANULADORAS PARA RESIDUOS Y PRODUCTOS DE RECICLAJE



AMANDUS KAHL Ibérica, S.L.
C/Poeta José Hierro, 1 oficina 24
28320 Pinto (Madrid)
España

T +34 91 52 71 53 1
F +34 91 53 04 36 0
kahliberica@akahl.es
akahl.es
akahl.de/es

Desmenuzamiento de neumáticos (NFU), basuras domésticas y granulación de lodos de clarificación, desperdicios de madera, biomasa y desechos plásticos

Tabla 5. Valores límite para la EoW de los combustibles derivados de residuos en Austria (BMLFUW 2010)

Parámetro	Límite (mg/MJ)	
	Media	Percentil 80
Sb	0,5	0,75
As	0,8	1,2
Pb	4	6
Cd	0,05	0,075
Cr	1,4	2,1
Co	0,7	1,05
Ni	1,6	2,4
Hg	0,02	0,03
Cl	100	150
Azufre (S)	200	300

to ha contribuido a que aparezcan marcas comerciales. Los países con mayores producciones son Alemania, Italia y Reino Unido. El destino son las plantas de producción de energía y, principalmente, las empresas cementeras.

Finalmente, algunos países ya dispone de legislación para descatalogar del CSR como residuo y considerarlo, bajo ciertas condiciones, como combustible. Este hecho, sin duda, incentivará su producción y comercialización.

BIBLIOGRAFÍA

AENOR (2012). UNE-EN 15359:2012: Combustibles Sólidos Recuperados: especificaciones y clases. Madrid. AENOR.

BREF (2006). Prevención y control integrados de la contaminación. Documento de referencia sobre las mejores técnicas disponibles para el sector del tratamiento de residuos. European Commission, IPPC Bureau. Seville, August 2006.

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. (2008) Richtlinie für Ersatzbrennstoffe [Guideline for Waste Fuels]. Vienna, Austria: BMLFUW.

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. (2010). Verordnung über die Verbrennung von Abfällen Abfallverbren-

nungsverordnung – AVV [Waste Incineration Ordinance]. Vienna, Austria: BMLFUW.

BUWAL (ed.) (2005) Richtlinie zur Entsorgung von Abfällen in Zementwerken [Guideline for the disposal of waste in cement plants],BUWAL, 2. aktualisierte Auflage, Bern 2005.

Colomer, F.J. & Gallardo, A., 2007. Tratamiento y gestión de residuos sólidos, Editorial Universidad Politécnica de Valencia.

de Araújo Morais, J. et al., 2008. Mass balance to assess the efficiency of a mechanical-biological treatment. Waste Management, 28(10), pp.1791–1800.

Di Lonardo, M.C. et al., 2016. The application of SRF vs. RDF classification and specifications to the material flows of two mechanical-biological treatment plants of Rome: Comparison and implications. Waste Management, 47, pp.195–205.

Di Lonardo, M.C., Lombardi, F. & Gavasci, R., 2012. Characterization of MBT plants input and outputs: A review. Reviews in Environmental Science and Biotechnology, 11(4), pp.353–363.

ECOEMBES (2016). Informe anual 2015: informe y cuentas. Madrid

ERFO. (2012). European Recovered Fuel Organization. Facts and Figures about SRF. Bruxelles.

Fundación Laboral del Cemento y Medio Ambiente (CEMA), 2016. Fundación Laboral del Cemento y el Medio Ambiente. Cuaderno Técnico: Reciclado y valorización de residuos en la industria cementera en España (actualización 2014), Madrid.

Ghani, W.A.W.A.K. et al., 2009. Co-combustion of agricultural residues with coal in a fluidized bed combustor. Waste management (New York, N.Y.), 29(2), pp.767–73.

Glorius, T. (2009) Conference “Solid Recovered Fuels (SRF) – A sustainable option for Spain”, Madrid, 17.11.2009.

Gómez-Barea A (2015). Alternativas para el aprovechamiento energético de residuos sólidos urbanos. RETEMA, 187, pp 34-42.

Grau, A & Farré, O. (2011). Situación y potencial de valorización energética directa de residuos. Estudio Técnico PER 2011–2020. IDAE. Madrid.

Instituto Nacional de Estadística (INE), 2014. Estadísticas sobre recogida y tratamiento de residuos. Residuos urbanos: Serie 2010-2014.

Italian Ministerial Decree, 2013. Regolamento recante disciplina della cessazione della qualifica di rifiuto di determinate tipologie di combustibili solidi secondari (CSS), ai sensi dell’articolo 184-ter, comma 2, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, e successive modificazioni (in Italian). Italian Ministerial Decree 24 February 2013, nr 22, published on Gazzetta Ufficiale 14 March 2013, nr 62.

MAPAMA, 2016. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, Anuario de Estadística 2015. Madrid.

Nasrullah, M., Vainikka, P., Hannula, J., & Hurme, M. (2015). Elemental balance of SRF production process: Solid recovered fuel produced from commercial and industrial waste. Fuel, 145, 1–11.

OFICEMEN. Agrupación de fabricantes de cemento de España (2015). Anuario del sector cementero español 2015. Madrid.

Puig, I., Jofra, M. & Calaf, M. (2012). Análisis económico-ambiental de la utilización de combustibles derivados de los residuos (CDR) en España. Greenpeace.

RAL-GZ 724 (2012). Sekundärbrennstoffe – Gütesicherung. Deutsches Institut F. Gütesicherung und K Publications.

SFS 5875 (2000) Solid Recovered Fuel - Quality Control System. Finnish Standards Association.

Soto, M. & De la Vega Martín, A., 2011. Tratamiento de residuos sólidos urbanos, La coruña: Universidad de La Coruña, Servicio de Publicaciones.

UNI 9903-1. (2004). Combustibili solidi non minerali ricavati da rifiuti (RDF) – Specifiche e classificazione (in Italian), Italian National Agency for Standardization (UNI), Milano, IT.