

Análisis del rendimiento de las plantas de clasificación de residuos de envases en España: Valorización de sus rechazos

¹ Antonio Gallardo Izquierdo, ¹ Natalia Edo Alcón, ² Jesús Megual Cuquerella, ³ Pablo Pascual Vinuesa

¹ Dpto. Ingeniería Mecánica y Construcción, ² Dpto. Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.

¹ Universitat Jaume I, ² Universidad Politécnica de Valencia, ³ Reciclados Palancia Belcaire S.L.

RESUMEN

Las plantas de selección de envases son instalaciones destinadas a la separación y clasificación de los materiales que componen los residuos de envases, procedentes del contenedor de recogida selectiva de envases. A finales del año 2010, en España existían 94 plantas de selección de este tipo, de las cuales, 43 disponían de sistemas de detección automática de materiales. Una parte de todo el material que entra en las plantas se convierte en rechazo, formado por impropios, material que no debería depositarse en el contenedor, y por otros materiales que siendo envases, por cualquier motivo no se han podido seleccionar.

En este trabajo se ha realizado una búsqueda bibliográfica intensa y se han estimado los porcentajes, cantidades y composición de los materiales que entran y salen de estas plantas, haciendo especial énfasis en la corriente de rechazos. Se ha realizado un análisis físico-químico de varias muestras de rechazos y se ha determinado cuál es su potencial de valorización desde el punto de vista energético.



1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, España ha ido incrementando la generación de residuos urbanos (RU), debido al incremento poblacional, crecimiento industrial y la mejora del nivel de vida de sus ciudadanos. Según el Instituto Nacional de Estadística (INE), la generación en el año 2009 fue de 24.758.113 t, suponiendo una tasa de 529,63 kg por habitante y año, o lo que es lo

mismo, 1,45 kg de residuos urbanos por habitante y día.

La Ley 11/97, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases, incorpora en el ámbito español la obligatoriedad de recuperar parte de los residuos de envases puestos en el mercado, para que sean reciclados e incorporados a los sistemas productivos. Estos porcentajes han sido incrementados por el Real Decreto 252/2006, de 3 de marzo, por el que se revisan los



objetivos de reciclado y valorización establecidos en la Ley 11/1997. Los nuevos límites establecen que, por ejemplo, se tengan que reciclar el 22,5% de los envases de plástico o el 50% de los de metales puestos en el mercado. Por otro lado, la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados establece que la recogida de los RU debe ser separada, con el objetivo de recuperar aquellos materiales que establece la ley de envases.

Para lograr alcanzar dichos porcentajes de recuperación de envases, en la mayoría de municipios se han ido estableciendo de forma progresiva diferentes sistemas de recogida selectiva. En función del grado de separación en origen y de la distancia al ciudadano, se pueden encontrar en la actualidad hasta ocho sistemas diferentes (Gallardo et al., 2012a). Desde que en los años 80 se ubicaron los primeros contenedores de recogida de vidrio y papel-cartón, la evolución de los sistemas no ha parado. Se puede afirmar que en la recogida más consolidada: vidrio y papel-cartón, el porcentaje de separación en origen, considerando un mismo radio de acción, ha aumentado notablemente gracias a la mayor par-

ticipación ciudadana, tal y como se demuestra en un trabajo de investigación en el que se compararon datos de 1998 y 2007 (Gallardo et al., 2012b).

El principal objetivo de la recogida selectiva es separar la mayor cantidad de materiales con el mayor grado de calidad posible, para su posterior valorización mediante reciclado, reutilización o cualquier otro proceso. Un caso particular es la recogida de residuos de envases, cuya implantación fue posterior y tiene la peculiaridad de que se recogen conjuntamente envases de diferentes materiales (mayormente metal, plástico y briq). Esta peculiaridad afecta tanto al grado de participación ciudadana, como a la fase de procesado de los residuos en las plantas de selección de envases (PSE).

Este trabajo se centra en analizar el procesado de los residuos de envases en las PSE desde el punto de vista del máximo aprovechamiento de los residuos que llegan a dichas plantas, pero centrándose en el material que sale en forma de rechazo y que podría ser utilizado como Combustible Sólido Recuperado (CSR) por su alto contenido en materiales combustibles. La utilización de este tipo de resi-

duos como combustible alternativo en las instalaciones intensivas en consumo de energía, como son las centrales térmicas, hornos industriales y, sobretodo cementeras, es un uso perfectamente contrastado (Berganza. 2012).

2 COMPOSICIÓN MEDIA DE LOS RESIDUOS URBANOS

El conocimiento de la composición de los RU es imprescindible para poder establecer ratios de rendimiento. La composición, es decir los componentes individuales que forman los residuos y su distribución relativa (normalmente definida en porcentaje en peso), depende de un gran número de factores, como son el nivel de vida de las personas, la estación del año, el modo de vida de la población, la existencia de zonas turísticas, el clima, etc. Existen numerosos estudios que analizan la generación y la composición de





Tabla 1. Porcentajes de papel-cartón y brik en la composición de los RU

	Componente	% RU	Relación Brik/ Papel-Cartón
Andalucía (Plan Director Territorial de Gestión de RU de Andalucía, 1999)	Papel/cartón	20	0,050
	Brik	1	
Principado de Asturias (Plan Estratégico de Gestión de RU del Principado de Asturias, 2001- 2005)	Papel/cartón	26,10	0,043
	Brik	1,11	
Canarias (Plan Integrado de Residuos de Canarias, 2000-2006)	Papel/cartón	17,56	0,081
	Brik	1,42	
Cantabria (Plan Sectorial de Residuos Municipales de Cantabria, 2009-2013)	Papel/cartón	25,24	0,041
	Brik	1,04	
Com. Valenciana (Plan Integral de Residuos de La Com. Valenciana, 2010)	Papel/cartón	19,0	0,079
	Brik	1,5	
Extremadura (Plan Integral de Residuos de Extremadura, 2009-2015)	Papel/cartón	18,07	0,092
	Brik	1,66	
País Vasco (Directrices para la Planificación y Gestión de RU en la CAPV, 2008)	Papel/cartón	27,99	0,065
	Brik	1,83	
RELACIÓN MEDIA DE BRIKS/PAPEL-CARTÓN			0,064

los RU en función de factores socio-económicos, demográficos y logísticos (Abu-Qdais et al., 1997; Daskalopoulos, et al. 1998; Beigl, et al. 2008; Thanh, et al. 2010) y que son de gran ayuda a la hora de planificar la gestión en una determinada zona geográfica.

En España se dispone de la composición media ponderada dada por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente para el año 2004 (PNIR 2007-2015). La fracción de materia orgánica biodegradable (restos de comida, jardinería, etc.) supone el 44%, seguido del papel/cartón con el 21%, plástico con el 10,6%, vidrio con el 7% y los metales con un 4,1%.

La fracción de residuos de envases está formada por materiales de plástico, cartón de bebidas (brik) y metales. En los datos publicados por el Ministerio, el brik está incluido en la fracción de papel/cartón, por lo que no se tiene conocimiento de cuál es su porcentaje. Por ello, se realizó un primer trabajo para conocer dicho porcentaje. Se hizo una búsqueda bibliográfica de datos de compo-

sición de residuos en España en los que apareciera la fracción de brik, obteniendo información de algunas Comunidades Autónomas (CC.AA.). En la tabla 1 se puede observar cuáles son los datos obtenidos sobre porcentajes de papel/cartón y brik, y la relación entre ambos. De aquí se puede obtener que el 6% del papel/cartón es brik. Por tanto, del estudio



se deduce que el 16%, en peso, del total de los RU se pueden considerar envases (plástico: 10,6%, brik: 1,3%, y metal: 4,1%). Este es el potencial de materiales que se pueden recoger selectivamente en el contenedor de envases y, por tanto, la materia prima que podrá llegar a las PSE.

3 PLANTAS DE SELECCIÓN DE ENVASES

Las plantas de selección de envases son aquellas instalaciones donde se procesan los residuos que se recogen en el contenedor de envases (en muchas ciudades aparecen con distintivo amarillo). A finales del año 2010, en España se contaba con 94 plantas, de las cuales 43 disponían de sistemas de detección automática de materiales como el PET, PEAD, PP, PVC, film, plástico mezcla y brik. Algunas de las plantas que no utilizan sistemas de detección automática están en proceso de automatización, por lo que se espera que en un futuro su número aumente.

Una PSE automática funciona del siguiente modo. Los residuos procedentes de la recogida selectiva de envases son depositados en la playa de descarga y de ahí pasan al abridor de bolsas, cuya su función es abrir y vaciar las bolsas para que los residuos queden libres. Seguidamente el material pasa por un triaje primario, donde manualmente se separan los residuos voluminosos (sábanas de plástico film, telas, palos, embalaje de cartón, etc.) que podrían perjudicar a los procesos posteriores. Tras esta primera selección, el material se introduce en el separador balístico, que clasifica los envases en función de su densidad en: frac-



ción de finos (partículas con un tamaño inferior a 80 mm., formadas principalmente por materia orgánica, chapas y pequeños envases), fracción ligera o planar (plástico film y papel/cartón) y fracción pesada o rodante (botellería, envases de brik, latas y otros objetos similares). Esta última fracción es la que se somete a los procesos de clasificación y selección automática, obteniéndose: metal, brik, aluminio, PEAD, PET, PP y plástico mezcla. Para ello, el material se somete a una cascada de procesos: separadores electromagnéticos, separadores balísticos, ciclones, corrientes de Foucault y separadores ópticos. En esta etapa los operarios solo realizan un control de calidad.


Las PSE manuales se diferencian de las anteriores en que las fracciones ligera y pesada pasan a una cabina acondicionada, donde un conjunto de operarios realizan una selección manual de los distintos materiales. En el proceso también se utilizan equipo electromagnéticos y corrientes de Foucault para la separación de férricos y aluminio.

Finalmente, en ambos esquemas de funcionamiento se obtiene una corriente de materiales recuperados, con un valor económico, y un rechazo formado por una mezcla de impropios que aparecen en el contenedor y envases que escapan al proceso de selección.

Se ha realizado una búsqueda intensa de todas las PSE que operan en España. En la tabla 2 se presentan los resultados a nivel de CC.AA. Dicha información se ha obtenido a partir de las páginas *web* de todas las CC.AA. Se puede observar que casi la mitad de las mismas son plantas automáticas.


FRANSSONS | *Since 1945*
Recycling machines

Desde 2008: Más de **40 referencias** en España



Fabricante de trituradores
» **RESIDUOS PELIGROSOS**
» **RECICLAJE**
» **BIOMASA**
» **CSR**

FRANSSONS MAQUINAS DE RECICLAJE SL
C/PLATINO 4 POLIGONO INDUSTRIAL SUR
COLMENAR VIEJO (MADRID)
WWW.FRANSSONS.COM
TL+34 918 469 000

 **Financiación**
» Cofinanciamos tu Franssons.
» Condiciones UNICAS.
» Ventajas fiscales.

Consúltanos: info@franssons-finance.com



Tabla 2. Número de plantas de selección de envases

CCAA	Nº PSE manual	Nº PSE automática	Total PSE
Andalucía	13	6	19
Aragón	-	2	2
Principado de Asturias	-	1	1
Islas Baleares	1	1	2
Canarias	3	1	4
Cantabria	2	-	2
Castilla La Mancha	5	2	7
Castilla y León	8	4	12
Cataluña	5	7	12
Comunidad Valenciana	2	3	5
Extremadura	5	2	7
Galicia	2	1	3
La Rioja	-	1	1
Comunidad de Madrid	2	4	6
C. Foral de Navarra	1	3	4
País Vasco	-	4	4
Región de Murcia	2	1	3
Totales	51	43	94

Los rendimientos de la recogida selectiva y de la PSE se puede evaluar con los siguientes indicadores: El Grado de Separación (GS_i), el Rendimiento Global de la planta (R_g) y el Rendimiento de Recuperación de Materiales (R_i). A continuación se da su definición.

$$GS_i = \frac{\text{Peso del material bruto } i \text{ recogido}}{\text{Peso de material } i \text{ en los RU}} * 100$$

$$R_g = \frac{\text{Peso de los materiales seleccionados}}{\text{Peso del material total entrante en la planta}} * 100$$

$$R_i = \frac{\text{Peso material } i \text{ limpio seleccionado}}{\text{Peso de material } i \text{ entrante en la planta}} * 100$$

Siendo i : plástico, brik, papel-cartón, etc.

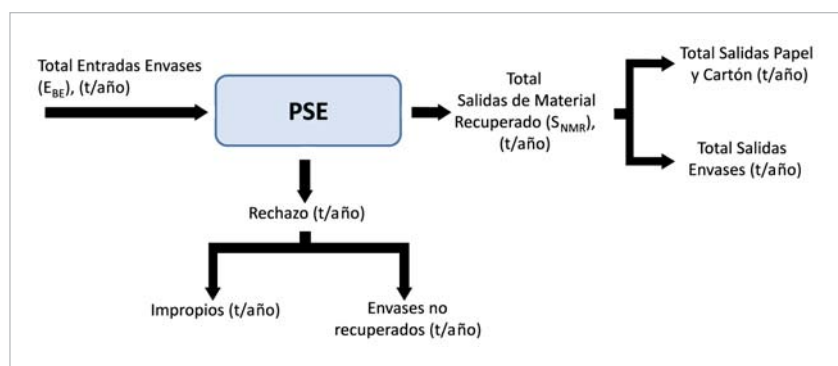


Figura 1. Esquema del balance de materia en una planta de selección de envases

4 ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS FLUJOS DE RESIDUOS EN LAS PSE

Localizadas todas las PSE que existen en España, el siguiente objetivo fue determinar los flujos de materiales de entrada y salida en cada una de ellas, y a partir de ahí establecer una serie de ratios de eficiencia. El balance de materia en una planta se muestra en la Figura 1. La entrada la constituyen los residuos procedentes de la recogida de envases y las

salidas los subproductos recuperados (plástico, brik, metales y papel/cartón) y los rechazos. En el balance se han omitido las emisiones gaseosas y las aguas residuales.

No en todas las plantas analizadas se separa el papel/cartón, en aquellas que no se hace, éste forma parte del rechazo. Los rechazos son una mezcla de materiales impropios (aquellos que no deberían ser depositados en el contenedor) y envases que, por diferentes motivos, no son recuperados.

En el caso de la recogida selectiva de residuos de envases, el GS indica el porcentaje, en peso, de material recogido en el contenedor de envases (material bruto), respecto a los residuos de envases contenidos en los RU. El R_g indica el porcentaje, en peso, de materiales seleccionados respecto al total entrantes a la planta. El R_i indica el porcentaje, en peso, de un material i seleccionado y clasificado respecto al total de material i entrante a la planta.

Para obtener y analizar los rendimientos se necesitan datos de todos estos flujos, y para todas las plantas. La información se puede conseguir por dos caminos. Por un lado se pueden llevar a cabo encuestas a todas las PSE y, por otro, realizar una intensa búsqueda bibliográfica en revistas técnicas e Internet. Para el presente estudio se vio que la mejor opción era la segunda, puesto que se observó que existía un gran número de webs y revistas técnicas donde



se podía recopilar la información necesaria.

En primer lugar se buscó información sobre generación y composición de RU en el Ministerio de Medio Ambiente, Instituto Nacional de Estadística y CC.AA., obteniendo datos por CC.AA. La información referente a las PSE y sus balances de materia se obtuvo de la agencia ECOEMBES. Así se conoció el número de plantas, su distribución dentro de las CC.AA. y los balances de materia de cada una de las plantas (las entradas, salidas). Por otra parte, ECOEMBES también proporciona datos, por municipio, sobre la recogida selectiva de envases. Entre ellos, el porcentaje de materiales propios que se depositan en los contenedores.

En total se consultaron 119 webs de diferentes administraciones y empresas: Ministerios, Consejerías, Consorcios, Mancomunidades, Ayuntamientos, Agencias, revistas y empresas.

La composición de los rechazos de las PSE es un dato que no se pudo encontrar directamente, de forma que se calculó a partir de los datos de la recogida selectiva de cada municipio. Para ello se tuvo que averiguar qué municipios aportan materiales en cada planta. Este trabajo fue muy laborioso, ya que se tuvo que consultar un gran número de fuentes. Con todo ello se estimó cual es el porcentaje de impropios que entran en cada PSE y así la composición de los rechazos: porcentaje de impropios y de envases no recuperados.

Con toda esta información ya se pueden estimar el rendimiento de la recogida de residuos de envases. En la tabla 3 se presentan los resultados obtenidos para todas las CC.AA. A partir de los datos de



Tecnología y maquinaria de elevación y transporte.

Cada vez más personas llevan su negocio a lo más alto.

Disponemos de una amplia gama de grúas normalizadas, grúas especiales, pórticos, polipastos, carros y transbordadores.

Si por el contrario, lo que buscas es algo muy especial, también contamos con todo un equipo listo para desarrollar cualquier pedido "a medida".

Damos respuesta a las necesidades más habituales en las condiciones de calidad y precio más competitivas.

Lleva tu negocio a lo más alto.

LOOK UP
WWW.JASOINDUSTRIAL.COM



generación y con la composición media determinada en el punto dos, se han calculado las cantidades de los envases generados. En la columna cinco aparece el porcentaje de los RU que entran en las PSE. En la Comunidad de Madrid no se han contabilizado los envases generados en la ciudad de Madrid, ya que no se dispone de este dato, por lo que cabría suponer que dicha Comunidad tendrá mejores resultados que los indicados en la tabla 3.

Así pues, como se ve en la tabla 3, de la totalidad de los RU generados en España en 2010, un 2,05% son recogidos en el contenedor de envases y transportados a las PSE, lo que supone 507.001 t. El porcentaje medio de impropios en este contenedor es del 24% (ver tabla 4), por tanto a las PSE entran 385.321 t de residuos de envases, esto es, el 9,70% del total de los residuos de envases generados. El resto, el 90,30%, es llevado y recuperado en otras instalaciones, tales como Plantas de Compostaje y Plantas de Recuperación y Compostaje. Esto supone que todavía hay una gran cantidad de residuos de envases que actualmente no son gestionados directamente por las PSE.

La estimación del grado de separación (GS) aporta información sobre cuál es el rendimiento global de los sistemas de recogida selectiva. La tabla 3 indica que el GS medio para el contenedor de envases es del 12,76 %, con un contenido de impropios del 24% (ver tabla 4). Por tanto, todavía queda margen de mejora en la recogida de este tipo de residuo. Caben destacar aquellas CC.AA. donde el GS es mayor, siendo Navarra con un 27,24% la más alta, seguida de Cataluña (19,34%), La Rioja (18,43%) y el País Vasco (15,62%).

Tabla 3. Índices de recogida y porcentajes de residuos que entran en las PSE

CCAA	RU Generados (t/año)	Env. Potenciales Generados Q _{EG} (t/año)	Entrada Bruta Env. PSE (t/año)	% RU Entran a PSE	GS	% Env. entrantes en otras instalaciones
Andalucía	4.465.170	716.392	83.992	1,88	11,72	91,00
Aragón ¹	729.387	117.023	12.195	1,67	10,42	91,42
Princip. de Asturias	562.082	90.180	10.284	1,83	11,40	91,54
Islas Baleares	613.827	98.482	14.427	2,35	14,65	88,25
Canarias	1.151.349	184.722	13.635	1,18	7,38	93,95
Cantabria	345.953	55.505	5.037	1,46	9,08	93,22
Castillas La Mancha	1.150.673	184.614	17.922	1,56	9,71	92,59
Castilla y León	1.580.738	253.614	19.889	1,26	7,84	94,40
Cataluña ²	3.825.799	613.811	118.732	3,10	19,34	85,21
C. Valenciana ³	2.341.810	375.720	50.271	2,15	13,38	89,07
Extremadura	485.200	77.845	10.331	2,13	13,27	92,17
Galicia ⁴	1.285.605	206.262	21.054	1,64	10,21	92,42
La Rioja ⁵	159.498	25.590	4.717	2,96	18,43	83,32
C. Madrid ⁶	3.580.451	574.448	61.911	1,73	10,78	93,50
C. Foral de Navarra ⁷	418.018	67.067	18.267	4,37	27,24	77,11
País Vasco ⁸	1.238.766	198.748	31.050	2,51	15,62	86,22
Reg. Murcia	749.284	120.215	13.286	1,77	11,05	91,00
ESPAÑA	24.758.113	3.972.192	507.001	2,05	12,76	90,30

OBSERVACIONES:

¹ Manda parte de sus residuos de envases a otras CCAA (Cataluña, Com. Valenciana y Navarra).

² Recibe parte de los residuos de envases de Aragón, además los datos para la PSE de Osona son del 2009 y no se dispone de datos para las plantas de Molins de Rei y la de Malla.

³ Recibe parte de los residuos de envases de Aragón. Para la PSE de Benidorm, los datos disponibles son del 2008.

⁴ Solo se han tenido en cuenta los datos de la única PSE existente en Galicia, ya que las otras dos plantas donde se recuperan materiales reciben los residuos del contenedor resto o "todo en uno" y los datos no son comparables con el resto.

⁵ Recibe parte de los residuos de envases del País Vasco.

⁶ Faltan los datos de las PSE de Las Dehesas y La Paloma, en las cuales se tratan los residuos de envases de Madrid capital (generadora de la mayor parte de los residuos de envases de la Com. de Madrid). De ahí que las entradas sean mucho menores de las que deberían ser.

⁷ Recibe parte de los residuos de envases de Aragón. Para la planta del Carcar los datos disponibles son del 2008 y no se dispone del % de impropios que llegan a la misma.

⁸ Manda parte de sus residuos de envases a La Rioja.

5 ESTIMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL FLUJO DE RECHAZOS

Como ya se ha dicho, en las PSE no todo el material que entra son residuos de envases y tampoco se recupera la totalidad de los mismos. Así pues, existe un material llamado "rechazo" formado por estos materiales y que en su ma-



yor parte se destina a vertedero. El porcentaje total de rechazos generados en las PSE es del 42,33% (tabla 4), esto supone que se han generado en 2010 una cantidad de 214.842 t.

En este trabajo se han obtenido datos suficientes par calcular los rendimientos, global y de envases (Rg y Renv), de las PSE en todas la CC.AA., y a partir de ahí el nacional. En la tabla 4 se presentan los resultados para el año 2010.

A nivel nacional, el Rg del total las PSE está en un 57,67 %, por lo que de todo el material entrante en las instalaciones, casi un 60% es material que se recupera y se entrega a recicladores. El 42,33% restante se convierte en rechazo, conformado por un 24,00% de impropios y un 18,33% de envases no recuperados del total de entradas a PSE. Esta última fracción está formada mayoritariamente por plástico film, con un alto poder calorífico y que es susceptible de valorizarse energéticamente. Además, alrededor de un 85% de los impropios también son materiales que tienen un elevado poder calorífico y que se podrían aprovechar (según empresas consultadas del sector).

Respecto al rendimiento en la separación de envases (Renv), el índice es muy elevado, con un valor del 74,65%. Las PSE con mayores rendimientos se encuentran en Asturias, Comunidad de Madrid y Cantabria, con valores superiores al 85%. Se ha hecho un análisis para determinar si el factor “automatización de la planta” influye en el Renv; el resultado ha sido que en las manuales el Renv medio es de 74,70% y en las automáticas el 75,97%, con lo que la diferencia no es significativa.

En cuanto al porcentaje de materiales impropios que entran en

Tabla 4. Rendimientos de las PSE

CCAA	Composición contenedor		Rendimiento Global PSE (%)	Rendimiento Envases (%)	Rechazo (%)	Envases no recuperados (%)
	Impropios (%)	Propios (%)				
Andalucía	23,25	76,75	59,60	76,36	40,40	17,15
Aragón*	17,71	82,29	65,75	79,90	34,25	16,54
Princip. de Asturias	25,79	74,21	68,48	90,03	31,52	5,73
Islas Baleares	19,77	80,23	50,23	62,60	49,77	30,00
Canarias	17,98	82,02	59,05	71,99	40,95	22,97
Cantabria	25,26	74,74	68,50	85,95	31,50	6,24
Castillas La Mancha	23,62	76,38	64,68	84,69	35,32	11,70
Castilla y León	28,65	71,35	53,80	75,13	46,20	17,54
Cataluña*	23,52	76,48	53,67	70,05	46,33	22,81
C. Valenciana*	18,34	81,66	63,14	77,32	36,86	18,52
Extremadura	40,98	59,02	47,74	80,88	52,26	11,28
Galicia*	25,72	74,28	49,27	66,33	50,73	25,01
La Rioja*	9,49	90,51	72,87	80,51	27,13	17,64
C. Madrid*	39,67	60,33	53,46	86,65	46,54	6,87
C. Foral de Navarra*	15,95	84,05	58,08	53,48	41,92	25,97
País Vasco*	11,81	88,19	70,06	79,12	29,94	18,14
Reg. Murcia	18,59	81,41	49,47	59,05	50,53	31,93
ESPAÑA	24,00	76,00	57,67	74,65	42,33	18,32

* son las mismas observaciones que en la tabla 3

planta, las comunidades con valores más bajos son La Rioja y el País Vasco.

Por último, se han analizado las cantidades de residuos de envases que entran en las instalaciones pero que finalmente acaban en el rechazo. Los mayores valores se presentan en la Región de Murcia con un 31,93% de envases no recuperados y las Islas Baleares con un 30,00%, casi el doble que la media. Estos envases también se podrían valorizar energéticamente, ya que en su mayor parte son materiales con un alto poder calorífico.

El segundo aspecto analizado en este punto es la caracterización de los rechazos. Ha consistido en conocer su composición física y sus propiedades químicas más importantes. Para ello se han consultado a empresas del sector y se han realizado análisis físico-químicos en el laboratorio de IN-

GRES Ingeniería de Residuos, de la Universitat Jaume I.

Respecto a la composición física del rechazo, desde el punto de vista de la valorización energética se necesitan conocer los porcentajes de la fracción combustible y la no combustible. Según la información aportada por diferentes





Tabla 5. Caracterización química de la fracción combustible del rechazo

Parámetro	Unidades	Rechazo PSE
Humedad	%	21,06
PCI	kcal/kg (smh)	3.883,87
PCI	MJ/kg (smh)	16,28
PCI	kcal/kg (sms)	5.057,48
PCI	MJ/kg (sms)	21,07
S	% (sms)	0,147
Cenizas	% (sms)	7,24
Cl	% (sms)	0,92
Hg	ppm (sms)	0,052

sms: sobre materia seca; smh: sobre materia húmeda

fuentes, el 15% de los impropios (no del rechazo) es material no combustible.

En cuanto a la fracción combustible del rechazo, se disponía de un número importante de muestras, de las que se determinaron algunas de sus propiedades químicas más importantes. En la tabla 5 se pueden ver los resultados obtenidos.

Si se considera la utilización de la fracción combustible del rechazo como un combustible sólidos recuperado (CSR), con los parámetros obtenidos se puede clasificar el

material teniendo en cuenta la Norma CEN 15359 (Solid recovered fuels—Specifications and classes). Esta norma tiene por objetivo servir como herramienta para permitir una negociación eficaz para los CSR en el mercado de los combustibles, promoviendo su aceptación y aumentando la confianza del público. En ella se prescribe un modelo de especificación y un sistema de clasificación para los CSR en el cual el parámetro económico es el poder calorífica inferior (PCI), el parámetro técnico es el contenido en cloro y el parámetro ambiental es el contenido en mercurio. Estos parámetros dan una idea inmediata pero simplificada de cómo es el combustible.

Cada parámetro se divide en 5 clases con sus valores límite (tabla 6). Al combustible clasificado se le asigna un número de clase, del 1 al 5, para cada parámetro. Una combinación de los números constituye el código de clase. Los parámetros son de igual importancia y por lo tanto no hay ninguna clasifi-

cación, solo se determina el código. Este código es obligatorio en la descripción del CSR. Adicionalmente también se pueden especificar otras propiedades como la forma de la partícula (pellets, briquetas, etc.), tamaño de partículas, contenido de cenizas, contenido de humedad y metales.

De acuerdo con la norma CEN 15359, la fracción combustible seca del rechazo analizado posee el siguiente código:

Fracción combustible seca del rechazo de PSE: PCI 2; Cl 3; Hg 1

El código asignado a la muestra analizada no es representativo del CSR que se podría generar en todas las PSE de España. Para ello sería necesario tener una muestra representativa de los rechazos de las 94 plantas. Sin embargo, considerando que el material analizado está en base seca y que no existe una gran diferencia en la composición de los residuos que van a las PSE de todo el territorio, cabría esperar que las características de los CSR de cada una de las plantas no fuesen muy distintas. La mayor variación podría estar entre las manuales y automáticas y entre las que recuperan y no recuperan el papel/cartón.

Finalmente, si se compara el poder energético del CSR obtenido del rechazo analizado con otros combustibles (tabla 7), se puede asimilar a la biomasa e incluso a algún tipo de carbón.

6 APROVECHAMIENTO DE LOS RECHAZOS

Como conclusión al estudio, se puede estimar que de las 507.001 t de residuos que entraron a las PSE en el año 2010, 214.613 t se convirtieron en rechazos (el 42,33%). De esta cantidad, el 91,49% es mate-



Tabla 6. Parámetros de clasificación del CSR. Fuente: CEN/TS 15359:2006

Parámetro	Unidades	Clases					Fracción combustible seca del rechazo de PSE
		1	2	3	4	5	
PCI	MJ/Kg	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3	21,07
Cloro	%	≤ 0,2	≤ 0,6	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 3	0,92
Mercurio	mg/MJ	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,08	≤ 0,15	≤ 0,50	0,0032



rial combustible, que supone un flujo de 196.360 t/año. Destinar este material combustible a vertedero no es una opción de gestión sostenible, ya que se desaprovecha el potencial intrínseco del mismo perdiéndose su valor energético (Martín, 2012). Dicho material puede ser aprovechado convirtiéndolo en un CSR, consiguiendo así minimizar el volumen de residuos que entra a vertederos.

En la Unión Europea se estima que las cantidades totales de CSR producidos a partir de RU suman alrededor de 4-5 millones de toneladas anuales (Grau y Farré, 2011). Esta capacidad de producción esta viéndose incrementada en numerosos países con la construcción de nuevas plantas de tratamiento mecánico-biológico.



La industria y el sector energético están cada vez más interesados en la posibilidad de la utilización de un combustible sustitutivo más económico y con unas calidades específicas y homogéneas, como puede ser el CSR derivado de los rechazos de las PSE. En la

actualidad ya existen instalaciones dedicadas a la producción de CSR, como la Planta de CSR de la Zona Franca (Barcelona), una de las más modernas de Europa (Vidal. 2012), o Parques Tecnológicos, como el de Valdemingómez (Madrid), donde se aprovecha energéticamente el CSR producido a partir de los rechazos generados en las plantas de tratamiento de residuos del mismo Parque Tecnológico (Parque Tecnológico Valdemingómez, Ayto. de Madrid. 2012). Sin embargo, la sustitución de combustibles fósiles por residuos, aunque va aumentando cada año, resulta todavía escasa en comparación con otros países de nuestro entorno donde los sistemas de gestión de los residuos llevan décadas orientados a prevenir el vertido y aprovechar la capacidad de tratamiento.

En la industria del cemento se vienen utilizando combustibles secundarios o alternativos desde hace unos años (OFICEMEN 2012). Siguiendo el ejemplo de otros países europeos, el sector cementero está incrementando el uso de combustibles alternativos, habiendo utilizado en el año 2010 unas 608.000 t de residuos como combustibles, que supusieron el 16% del consumo térmico de los hornos

Tabla 7. PCI de diferentes combustibles

Combustible	PCI (kcal/kg)	Fuente
Gas natural	11.627	INVENTARIO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO DE ESPAÑA AÑOS 1990-2008 (Ministerio Medio Ambiente, Medio Rural y Marino)
Fuelóleo	9.597	
Gasóleo	10.127	
GLP (Gas Licuado de Petróleo) genérico	10.868	
Propano	11.035	
Butano	10.696	
Gas de refinería	11.536	
Antracita	7.228	
Carbón coquizable	6.783	
Coque	7.237	
Coque de petróleo	7.763	
Carbón Nacional	4.899	
Carbón de importación	6.099	
Queroseno	10.368	
Madera seca	4.539	
Madera húmeda	3.440	Masecor S.L., biomasa energética
Astilla de madera	3.600 – 4.000	
Serrín	4.000 – 4.500	
Cáscara de almendra	3.500 – 4.000	
Astilla de madera reciclada	3.000 – 3.500	
Hueso de aceituna	4.000 – 4.500	
Biomasa foresta	4.000 – 4.500	
Biomasa poda urbana	4.000 – 4.300	Propia
Fracción combustible seca del Rechazo de PSE estudiado	5.057	



de clinker. Cabe destacar la utilización de este combustible alternativo por parte de la empresa CEMEX España, en algunas de sus plantas integrales de cemento como son la de Alcanar (Tarragona), Alicante, Buñol (Valencia) y Lloseta (Mallorca) (Berganza. 2012). Así como su utilización también por parte de otras empresas cementeras como: Grupo Holcim, Lafarge y Grupo Cementos Portland (Berganza et al. 2012).

7 CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se ha realizado un análisis de la situación actual de la gestión de los residuos de envases recogidos de forma separada. Para ello se han consultado más de cien fuentes de información. Una primera conclusión ha sido que existe una gran dispersión en cuanto a datos referidos a la generación y gestión de los residuos urbanos.

En España, en el año 2010 existían 94 plantas de selección de envases, que se pueden clasificar en dos grupos: automatizadas y manuales. En ellas se procesan 3,9 millones de toneladas de residuos

procedentes de la recogida del contenedor de envases. En total se desvía a estas plantas el 9,70% de los residuos de envases generados en las poblaciones españolas. El resto es llevado y recuperado en otro tipo de plantas.

El flujo de salida de las PSE está compuesto por un conjunto de subproductos destinados al reciclaje y con un valor económico, que supone el 57,67% del material entrante, y por un rechazo (42,33% restante) que mayoritariamente se deposita en vertedero. En cuanto a los residuos de envases, el rendimiento de la recuperación en las PSE es del 74,65%, muy elevado. No se ha detectado una diferencia significativa entre las plantas automáticas y manuales.

Para conocer con mayor profundidad la composición de los rechazos y con ello buscar una posible valorización de los mismos, se determinaron las propiedades físicas y químicas de un número determinado de muestras. Si bien dichas muestras no son representativas de las 94 plantas, se considera que los resultados obtenidos pueden servir de orientación al resto de plantas.

El total de rechazos producidos en el año 2010 fue de 214.613 t (peso que equivale a la producción anual de RU de 500.000 personas). Considerando los resultados obtenidos de los análisis de los rechazos, y tomándolos como representativos, se puede estimar que el 91,49% del rechazo es material combustible, que puede ser aprovechado como tal. En cuanto a sus propiedades químicas, la fracción combustible seca se puede clasificar como un CSR del tipo PCI 2; CI 3; Hg 1. Por su PCI se asemeja a la biomasa que actualmente se utiliza como combustible, e incluso a algún tipo de carbón.

REFERENCIAS

- Abu-Qdais, H. A., Hamoda, M. F., Newham, J. "Analysis of residential solid waste at generation sites". *Waste Management & Research*. Vol.15. 1997. pp. 395-406.
- Beigl, P., Wassermann, G., Schneider, F., Salhofer, S. "Forecasting municipal solid waste generation in major European cities". 2004. (27 de septiembre de 2008) <http://www.ieemss.org>
- Berganza, C. (2012). "ERNEFUEL: La energía del futuro, la energía infinita". *RETEMA, Revista Técnica del Medio Ambiente*. N° 157. pp. 32-39.
- Berganza, C.; Almandez, J.; Gerúndez, P.; Orbis. E. y San Félix, C. (2012). "El uso de Combustibles Derivados de Residuos en cementeras". *RETEMA, Revista Técnica del Medio Ambiente*. N° 160. pp. 17-26.
- Daskalopoulos, E., Badr, O., Probert, S. D. "Municipal solid waste: a prediction methodology for the generation rate and composition in the European Union countries and the United States of America". *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 24(1). 1998. pp. 155-166.
- Dir. Gral. Parque Tecnológico Valde-mingómez, Ayto. Madrid. (2012) "Aprovechamiento energético de CDR en el Parque Tecnológico de Valde-mingómez (Ayuntamiento de Madrid)" *RETEMA, Revista Técnica de Medio Ambiente*. N° 160. pp. 44-48.
- Gallardo A.; Bovea, M.D.; Colomer, F.J.; Carlos, M. y Prades, M. (2009). Estudio de los modelos de recogida selectiva de residuos urbanos implantados en ciudades españolas. Análisis de su eficiencia. *InfoEnviro*, N° 45, pp 67-74.
- Gallardo, A.; Prades M.; Bovea, M.D.; Colomer F.J. (2012a). Analysis of collection systems for sorted household waste in Spain. *Waste Management*, N 32, pp 1623-1633.
- Gallardo, A.; Prades M.; Bovea, M.D.; Colomer F.J. (2012b). Evolution of sorted waste collection: a case study of spanish cities. *Waste Management & Research*, N° 30(8), pp 859-863.
- Grau, A; Farré, O. (2011). Situación y potencial de valorización energética directa de residuos. Estudio Técnico PER 2011-2020. IDAE (11 de septiembre de 2012). IDEA <http://www.oficemen.com/IstPublicaciones.asp?id_cat=38>
- Martín, A. (2012). "Como aprovechar todo el valor de los residuos plásticos. El sector de los plásticos: un pilar fundamental de la economía europea". *RETEMA, Revista Técnica del Medio Ambiente*. N° 158. pp. 46-50.
- OFICEMEN (2012). Uso eficiente de recursos, recuperación de combustibles. (25 de agosto de 2012) <http://www.oficemen.com/reportajePag.asp?id_rep=1112>
- Thanh, N., Matsui, Y., Fujiwara, T. "Household solid waste generation and characteristic in Mekong Delta city, Vietnam". *Journal of Environmental Management*. Vol. 91(11). 2010. pp. 2307-2321.
- Vidal, J. (2012). "Planta de CSR de Zona Franca (Barcelona)". *RETEMA, Revista Técnica de Medio Ambiente*. N° 158. pp. 9-17.

