



Estimación de la generación de rechazos en las plantas de clasificación de residuos de envases en España

Autor: Antonio Gallardo Izquierdo

Institución: Universitat Jaume I

Otros autores: Natalia Edo Alcón (Universidad Jaume I); Jesús Mengual Cuquerella (Universidad Politécnica de Valencia)

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 como el PET, PEAD, brik o plástico mezcla. 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 rechazos de este tipo de plantas. Se ha realizado un análisis físico-químico de varias muestras y se ha determinado cuál es su potencial de valorización en procesos industriales donde pueden ser aprovechados, y con ello alcanzar el vertido cero.

Palabras claves: Residuos de envases, combustible sólidos recuperado, planta de selección de envases.

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 (Gallardo et al. 2009). 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). A lo largo de los últimos años, 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 los sistema de recogida más consolidados: vidrio y papel-cartón, el porcentaje de separación en origen, considerando un mismo radio de acción, ha aumentado notablemente gracias a la mayor participación 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 brik). Esta peculiaridad afecta tanto al grado de participación ciudadana en la recogida selectiva, como en 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.

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 RS 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, de la existencia de zonas turísticas, del clima, etc.

Existen numerosos estudios que analizan la generación y la composición de 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).

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 21%, plástico con 10,6%, vidrio con el 7% y los metales con 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 composición 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 cuales 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 sea brik. Por tanto, del estudio se deduce que el 16%, en peso, del total de los RU se pueden considerar envases (plástico: 10,6%, briks:1,3%, y metales: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.

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 |

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 (amarillo). A finales de 2010, en España se contaba con 94 plantas, de las cuales 43 disponían de sistemas de detección automática de materiales como el PET, PEAD, 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 el número de estas plantas 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; 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: fracción 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 tipos de 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 que es una mezcla de impropios que acompañan a los envases y de envases que se escapan del 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.

Tabla 2. Número de plantas de selección de envases

| CCAA | Nº PSE manual | Nº PSE automática | Total PSE |
|------------------------|---------------|-------------------|-----------|
| ANDALUCIA | 13 | 6 | 19 |
| ARAGON | - | 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 LEON | 8 | 4 | 12 |
| CATALUÑA | 5 | 7 | 12 |
| COM. VALENCIANA | 2 | 3 | 5 |
| EXTREMADURA | 5 | 2 | 7 |
| GALICIA | 2 | 1 | 3 |
| LA RIOJA | - | 1 | 1 |
| COM. MADRID | 2 | 4 | 6 |
| COM. FORAL DE NAVARRA | 1 | 3 | 4 |
| PAIS VASCO | - | 4 | 4 |
| REG. MURCIA | 2 | 1 | 3 |
| TOTALES | 51 | 43 | 94 |

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 general de materia en una planta se muestra en la siguiente figura.

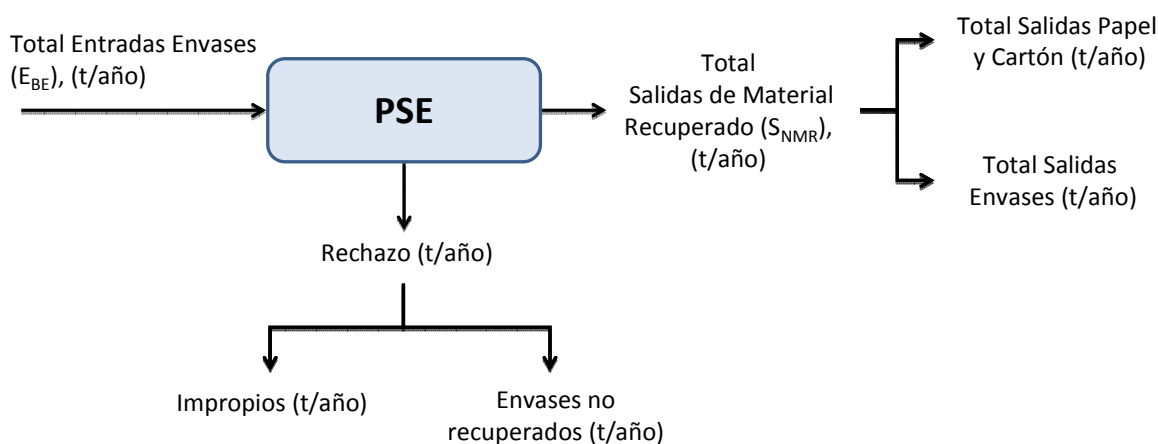


Figura 1. Esquema del balance de materia en una planta de selección de envases

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. 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.

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

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

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

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

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

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 en la totalidad de los RU. El Rg indica el porcentaje, en peso, de materiales seleccionados respecto al total entrantes a la planta. El Ri 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 y rendimientos).

Por otra parte, ECOEMBES también proporciona datos, por municipio, sobre la recogida selectiva de envases. Entre ellos, el porcentaje de elementos propios que se depositan en los contenedores.

En total se consultaron 119 web 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 tuvo que calcular 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, se tuvo que buscar información en un gran número de fuentes. Con ello se pudo estimar 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.

Finalmente, a partir de los datos de generación y composición de los RS se pueden conocer las cantidades de envases generados (tabla 3).

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. En la Comunidad de Madrid no se han contabilizado los envases generados en la ciudad de Madrid, ya que no se tiene este dato, por lo que cabría suponer que dicha Comunidad tendrá mejores resultados que los indicados en la tabla 3.

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 |
| PRINCIPADO 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 |
| CASTILLA LA MANCHA | 1.150.673 | 184.614 | 17.922 | 1,56 | 9,71 | 92,59 |
| CASTILLA Y LEON | 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 |
| COM. 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 |
| COM. MADRID ⁶ | 3.580.451 | 574.448 | 61.911 | 1,73 | 10,78 | 93,50 |
| COM. 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.

Así pues, como se ve en la tabla anterior, 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 otros tipos de 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. El GS en España para el contenedor de envases ligeros es del 12,76 %, con un 24% de impropios en el propio contenedor (ver tabla 4), con lo que todavía queda margen de mejora en la recogida de este tipo de residuo. Caben destacar aquellas CC.AA. donde el GS es mayor, y por lo tanto tiene un mayor rendimiento, siendo Navarra con un 27,24% la más alta, seguida de Cataluña (19,34), La Rioja (18,43%) y el País Vasco (15,62%).

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 envases. Así pues, se define como rechazo de las PSE a la fracción conformada por los materiales impropios que entran en las mismas (papel/cartón, juguetes, materiales de plástico, etc.) junto con los envases que no son recuperados debido a que se escapan del sistema de separación.

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

Se han obtenido datos suficientes par calcular los rendimientos, global y de envases (Rg y Renv), de las plantas 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 de las PSE está en un 57,67 %, por lo que de todo el material entrante en las instalaciones, algo más de la mitad 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 18,32% 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 apreciablemente significativa.

En cuanto al porcentaje de materiales impropios que entran en planta, las comunidades con valores más bajos son La Rioja y el País Vasco.

Tabla 4. Índices de recogida y porcentajes de residuos que entran en las PSE

| CCAA | Entradas en Contenedor | | REDIMIENTO GLOBAL PSE (%) | RENDIMIENTO ENVASES (%) | RECHAZO (%) | ENVASES NO RECUPERADOS (%) |
|------------------------|------------------------|-------------|---------------------------|-------------------------|-------------|----------------------------|
| | IMPROPIOS (%) | PROPIOS (%) | | | | |
| ANDALUCIA | 23,25 | 76,75 | 59,60 | 76,36 | 40,40 | 17,15 |
| ARAGON* | 17,71 | 82,29 | 65,75 | 79,90 | 34,25 | 16,54 |
| PRINCIPADO 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 |
| CASTILLA LA MANCHA | 23,62 | 76,38 | 64,68 | 84,69 | 35,32 | 11,70 |
| CASTILLA Y LEON | 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 |
| COM. 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 |
| COM. MADRID* | 39,67 | 60,33 | 53,46 | 86,65 | 46,54 | 6,87 |
| NAVARRA* | 15,95 | 84,05 | 58,08 | 53,48 | 41,92 | 25,97 |
| PAIS 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

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 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, como se ha dicho anteriormente, 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 INGRES 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 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.

Tabla 5. Caracterización química de la fracción combustible del rechazo

| PARAMETRO | 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

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 clasificación, 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.

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

| PARAMETRO | UNIDADES | CLASES | | | | | FRACCIÓN COMBUSTIBLE SECA DEL RECHAZO DE PSE |
|-----------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| PCI | MJ/Kg | ≥ 25 | ≥ 20 | ≥ 15 | ≥ 10 | ≥ 3 | 21,07 |
| COLORO | % | ≤ 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 |

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; CI 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 el material analizado está base seca y que no existe una gran diferencia en la composición de los residuos en 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 que recuperan y no recuperan el papel/cartón.

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 material combustible, que supone un flujo de 196.360 t/año. 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. Las opciones de utilización y valorización energética del CSR procedente de RU (CSR-RU) que están siendo aplicadas o podrían serlo en el futuro son:

- Valorización en planta con un mecanismo integrado de conversión térmica, que puede incluir incineración en parrilla o en lecho fluidizado, gasificación o pirolisis.
- Valorización en planta externa que emplee incineración en parrilla o en lecho fluidizado, gasificación o pirolisis.

- Co-incineración en hornos de carbón.
- Co-incineración en hornos de cemento.
- Co-gasificación con carbón o biomasa.

Actualmente, en Europa la industria cementera es la principal consumidora final de este combustible. En la figura 2 se pueden observar los países que más valorizan este tipo de residuo.

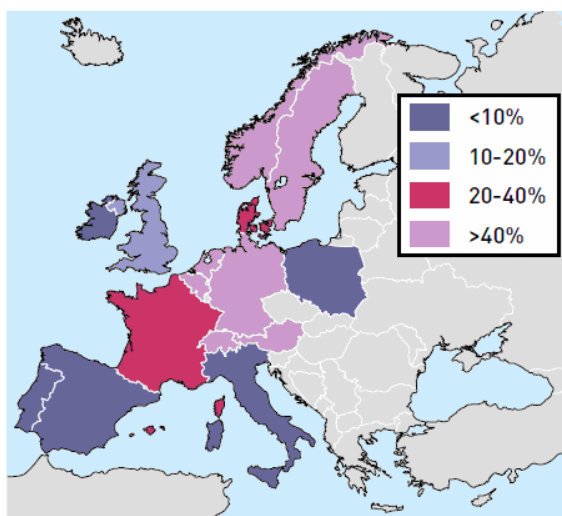


Figura 2. Uso de CSR-RU en cementeras en la UE (% sustitución térmica), datos del 2002 al 2005. Fuente: OFICEMEN

En España, 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 de clinker.

Desde el punto de vista económico, el objetivo buscado por los consumidores de CSR es la sustitución de los costosos combustibles fósiles convencionales (carbón, fuel oil, gas natural). El valor equivalente de producción de energía de los CSR se puede calcular de acuerdo con la eficacia energética de las instalaciones de valorización. Si se toma como ejemplo el CSR analizado (fracción combustible seca del rechazo), y como unidad funcional de cálculo una tonelada (1 t), según sus características físicas y químicas, puede equipararse energéticamente a:

- Generación de 1800 kWh de electricidad en una central térmica de lignito, sustituyendo 1523 kg de lignito.

- Generación 1800 kWh de electricidad en una central térmica de antracita, sustituyendo 533 kg de antracita.

(Los valores de intercambio de energía se han escogido para una central térmica típica y equivalente a 11 MJ/kWh)

Por otro lado, el aprovechamiento del rechazo aumentaría el rendimiento global de las PSE, ya que una parte de lo que actualmente se elimina en vertedero sería aprovechado y vendido como un subproducto. Además del beneficio económico que reportaría su venta, el ahorro en vertedero sería otro activo a cuantificar.

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

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 | IDAE (Guía técnica; Procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas, 2007) |
| 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 | |
| Fracción combustible seca del Rechazo de PSE estudiado | 5.057 | propia |

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 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; Cl3; 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>

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.

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*, Nº 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/lstPublicaciones.asp?id_cat=38>

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 characteritic in Mekong Delta city, Vietnam”. *Journal of Environmental Management*. Vol. 91(11). 2010. pp. 2307–2321.