

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Licenciado en Ciencias Ambientales



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA

“Posibles alternativas de tratamiento para la valorización y aprovechamiento energético del rechazo de las Plantas de Selección de Envases Ligeros”

TRABAJO FINAL DE CARRERA

Autora:
Natalia Edo Alcón

Director:
Jesús Mengual Cuquerella

Codirector empresa:
Antonio Gallardo

GANDIA, 2012

INDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	5
1.1.1. Los residuos sólidos.....	5
1.1.2. Características de los residuos sólidos urbanos.....	7
1.1.3. La gestión de los residuos sólidos urbanos.....	11
1.1.4. Instalaciones de gestión de residuos.....	12
1.2. LA RECOGIDA SELECTIVA.....	14
1.2.1. La prerrecojida.....	14
1.2.2. La recojida.....	17
1.3. LOS RESIDUOS DE ENVASES.....	19
1.3.1. La recuperación de los residuos de envases.....	20
1.3.2. Las plantas de selección de envases.....	22
2. ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE RECHAZOS EN PLANTAS DE SELECCIÓN DE ENVASES EN ESPAÑA.....	29
2.1. OBJETIVO.....	29
2.2. METODOLOGÍA.....	29
2.2.1. Información necesaria.....	29
2.2.2. Búsqueda de información.....	31
2.2.3. Tratamiento de datos.....	32
2.2.4. Índices de Recogida.....	33
2.3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	34
2.3.1. Generación de Residuos Urbanos en España y sus CCAA.....	34
2.3.2. Composición media de los Residuos Urbanos en España y sus CCAA.....	35
2.3.3. Plantas de selección de envases ligeros en España y tipologías.....	37

2.3.4.	Balance de masas de las plantas de selección de envases y estimación de la generación de rechazos en España.....	43
2.3.5.	Conclusiones finales.....	53
3.	CARACTERIZACION DEL RECHAZO DE LAS PLANTAS DE SELECCIÓN DE ENVASES..	54
3.1.	OBJETIVO.....	54
3.2.	METODOLOGÍA.....	54
3.2.1.	Composición física del rechazo de las plantas de selección de envases.....	55
3.2.2.	Contenido en Humedad.....	58
3.2.3.	Poder Calorífico.....	60
3.2.4.	Determinación del contenido en Carbono y Azufre.....	64
3.2.5.	Determinación del contenido en Cloro.....	66
3.2.6.	Determinación del contenido en Mercurio.....	69
3.2.7.	Toma de muestras.....	71
3.3.	RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	72
3.3.1.	Composición física del rechazo de las plantas de selección de envases.....	72
3.3.2.	Contenido en Humedad.....	74
3.3.3.	Poder Calorífico.....	75
3.3.4.	Contenido en Carbono y Azufre.....	77
3.3.5.	Contenido en Cloro y Mercurio.....	78
3.3.6.	Clasificación del rechazo de las plantas de selección de envases según el estandar CEN/TS 15359:2006, PARA CSR.....	79
3.3.7.	Conclusiones finales.....	81
4.	ALTERNATIVAS DE VALORIZACIÓN ENERGETICA DEL COMBUSTIBLE DERIVADO DE LOS RECHAZOS DE PLANTAS DE SELECCIÓN DE ENVASES.....	83
4.1.	OBJETIVO.....	83
4.2.	MARCO LEGAL DE LA VALORIZACIÓN ENERGETICA DE RESIDUOS.....	83
4.3.	DIVERSAS UTILIZACIONES DE LOS COMBUSTIBLES DERIVADOS DE RSU EN EUROPA Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA INCINERACIÓN DE RSU.....	86
4.3.1.	Combustibles derivados de RSU.....	86

4.3.2.	Situación actual de la incineración de RSU.....	88
4.4.	EL USO DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS DERIVADOS DE RESIDUOS EN ESPAÑA Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA INCINERACIÓN DE RSU.....	89
4.4.1.	Combustibles derivados de RSU.....	89
4.4.2.	Situación actual de la incineración de RSU.....	90
4.5.	EFFECTOS DE LA UTILIZACIÓN DE COMBUSTIBLES DERIVADOS DE RSU.....	90
4.5.1.	Efectos de la sustitución de combustibles derivados de RSU.....	91
4.5.2.	Efectos en las emisiones atmosféricas.....	92
4.6.	CONCLUSIONES FINALES.....	93
5.	BIBLIOGRAFÍA	95
6.	ANEXOS	106
	ANEXO 1.....	106
	ANEXO 2.....	110
	ANEXO 3.....	114

1. INTRODUCCIÓN

La gran cantidad de residuos sólidos generados en los países desarrollados y el problema que esto supone desde los puntos de vista económico, de salud pública y medioambiente, han hecho que en los últimos años se intensifique la investigación encaminada a la reducción, reutilización y reciclaje de los residuos generados en la industria, agricultura, ganadería o núcleos urbanos.

Dentro de los residuos, los urbanos han empezado a suscitar gran interés debido a su elevado aumento y a la dificultad de encontrar nuevos lugares donde depositarlos. Por otra parte, el riesgo que supone para la salud y el medioambiente la falta de un tratamiento adecuado y el posible aprovechamiento de algunos de sus componentes, hace que se este planteando nuevos métodos de gestión.

En la actualidad, se entiende por gestión el conjunto de operaciones encaminadas a dar a los residuos sólidos urbanos (RSU) generados en una determinada zona, el tratamiento global más adecuado, desde los puntos de vista ingenieril, económico, medioambiental y sanitario, de acuerdo con las características de los mismo y recursos disponibles.

El importante crecimiento de los núcleos urbanos, junto con el desarrollo industrial y la concentración agraria y ganadera en determinadas zonas, han conducido a la producción y acumulación de grandes cantidades de residuos y subproductos. El medio ambiente ha respondido con una notable capacidad de regeneración que hasta hace poco nunca se había cuestionado, pero que en la actualidad nadie duda que es limitada.

Por otro lado, el desaprovechamiento de los residuos supone una pérdida importante de energía en nuestro ecosistema, por lo que una buena gestión y aprovechamiento puede ser una buena forma de evitar la degradación del medioambiente y de recuperar recursos.

Los RSU tienen una especial importancia, el aumento de su volumen, su alto poder contaminante y su valor económico potencial, han hecho que se cambien los objetivos tradicionales de gestión. La legislación española pasó de una regulación cuyo objetivo era dar el mejor tratamiento a los residuos, a una nueva política dirigida a reducir, reutilizar, reciclar y valorizar una cantidad determinada de los mismos, con el propósito de reducir el impacto sobre el medio ambiente. En este sentido la recogida selectiva de residuos se convierte en uno de los principales pilares de esta gestión.

El objetivo de la recogida selectiva es el de separar la mayor cantidad de materiales en origen, para su posterior valorización mediante el reciclaje u otro procedimiento. La recogida selectiva se puede dividir en dos fases: la prerrecorrida y la recogida. La primera comprende el procesamiento de los residuos en origen hasta su depósito en los puntos de recogida. Y la recogida comprende las actividades de traslado de los residuos hasta aquellos lugares donde serán procesados y tratados.

1.1 LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

1.1.1 LOS RESIDUOS SÓLIDOS

La palabra residuo es ampliamente utilizada en multitud de contextos y el significado de la misma parece evidente, no obstante el establecer una definición concreta de lo que debe ser considerado como residuo resulta tremendamente complejo.

En el marco económico, la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) define a los residuos como “aquellos materiales generados en las actividades de producción, transformación y consumo, que no alcanzan ningún valor comercial en el contexto donde son producidos”. La carencia de este valor puede deberse tanto a la falta de tecnología adecuada para su aprovechamiento, como a la inexistencia de un mercado para los productos recuperados. En esta definición se asocia el concepto de residuo con la inexistencia de aprovechamiento económico.

La unión europea en su directiva 2008/98/CEE sobre residuos, especifica que se tratará como residuo “cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse”. En este caso se asocia el concepto de residuo con una obligación legal.

En cuanto a la legislación española, la ley 22/2011 de residuos proporciona la siguiente definición: “cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseche o tenga intención o la obligación de desechar”.

Una definición genérica, que pueda servir para entender su significado fuera de toda norma o reglamento, sería la de que un Residuo Sólido es todo material o producto generado en las actividades de producción, transformación y consumo, que no tiene valor comercial en las condiciones particulares de tiempo y lugar en el que se ha producido, y del cual se desprenda su poseedor o tenga obligación de desprenderse.

La falta de valor económico de los residuos puede deberse, tanto a la inexistencia de una tecnología adecuada para su reciclaje y aprovechamiento, como a la dificultad en la comercialización de los materiales recuperados, bien por su elevado coste, por la inexistencia de mercados cercanos o por su baja calidad.

Tanto si se aprovechan como si no, es preciso proceder a un adecuado tratamiento y eliminación de los residuos, por razones de salud pública, medioambientales, para evitar ocupaciones innecesarias de espacio, o simplemente, por motivaciones estéticas.

1.1.1.1 Clasificación de los residuos

La clasificación de los residuos se puede hacer atendiendo a distintos criterios: según el sector productivo (primario, secundario y terciario), por la naturaleza de su origen (agrícolas, ganaderos, mineros, industriales, etc.), por su composición (orgánicos, inertes, fermentables, etc.), tipo de materiales (plásticos, papel – cartón, vidrio, ect.), carácter peligroso, tipo de tratamiento, etc.

La clasificación más común se hace en función de su origen y el sector de producción, obteniéndose los siguientes tipos de residuos (MIE, 1981) (MAPFRE, 1994):

SECTOR PRIMARIO:

- Residuos ganaderos: Son todos aquellos producidos por la cría y manipulación del ganado. Se pueden clasificar en dos grupos:
 - o Residuos procedentes de la cría de ganado.
 - o Residuos procedentes de mataderos industriales.
- Residuos agrícolas: Son aquellos residuos no aprovechables en las zonas donde son generados. Se pueden clasificar en dos categorías:
 - o Residuos directos, procedentes de la cosecha y poda
 - o Residuos indirectos, formados por restos de abonos, fertilizantes, fungicidas, etc., así como sus envases y embalajes.
- Residuos forestales: Formados por restos de madera procedentes de la poda y entresaca, que hay que retirar en las explotaciones forestales para evitar incendios y plagas.
- Residuos mineros: Son aquellos materiales no aprovechables que se forman en las extracciones mineras o de canteras.

SECTOR SECUNDARIO:

- Residuos industriales: Son todos aquellos materiales resultantes de un proceso de fabricación, transformación, consumo o limpieza generados por una actividad industrial cuyo productor o poseedor los destina al abandono. Se clasifican en tres categorías:
 - o Residuos inertes
 - o Residuos asimilables a urbanos
 - o Residuos peligrosos

SECTOR TERCIARIO:

- Residuos sólidos Urbanos (RSU): Son aquellas sustancias y objetos generados por cualquier actividad dentro de los núcleos urbanos o su área de influencia. Esto implica que son algo más que los generados en el ámbito doméstico, ya que se contemplan otras actividades generadoras de residuos dentro del ámbito urbano.

Otra clasificación muy útil para la gestión de los residuos es la que se realiza en función del carácter peligroso de los residuos:

- Residuos inertes: No experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas, por lo que no implican riesgos para el medio ambiente, excepto los

derivados de las cantidades en las que se generan. Están constituidos por chatarras, escorias, escombros, cenizas, arenas, etc.

- Residuos asimilables a urbanos: Por su naturaleza o composición pueden asimilarse a RSU, permitiendo ser gestionados y tratados conjuntamente. Son generados fuera del ámbito urbanos en actividades auxiliares de la industria, como oficinas, comedores, limpieza, etc. Están constituidos por papel, cartón, plásticos, textiles, restos orgánicos, metales, ect.
- Residuos peligrosos: Son aquellos materiales sólidos, líquidos, pastosos o gaseosos (contenidos en recipientes) que llevan en su composición alguna de las sustancias que figuran en la normativa de aplicación, en cantidades o concentraciones tales que representen un riesgo para la salud humana, el medio ambiente y los recursos naturales. También se consideran residuos peligrosos los envases o recipientes que han contenido sustancias peligrosas.
- Residuos radiactivos: Se considera radiactivo cualquier material que contiene o está contaminado con radionúclidos en concentraciones superiores a las establecidas por las autoridades competentes. En España la gestión de estos residuos recae en el Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

1.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Como ya se ha dicho, los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son aquellas sustancias y objetos de los cuales su poseedor se desprenda o tenga la obligación de desprenderse dentro del ámbito urbano. En España la Ley 10/1998 de Residuos (actualmente derogada por la Ley 22/2011 de Residuos), definía Residuos Urbanos o Municipales como “los generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como todos aquellos que no tengan la calificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en los anteriores lugares o actividades. Tendrán también la consideración de residuos urbanos los siguientes: residuos procedentes de limpieza viaria, zonas verdes, áreas recreativas y playas; Animales muertos, muebles, enseres y vehículos abandonados; Residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliaria”.

1.1.2.1 Tipos de Residuos Sólidos Urbanos

Los RSU presentan características diferentes dependiendo del origen de su generación dentro del núcleo urbano. Por lo tanto una de las principales clasificaciones se hace en función de su origen, obteniéndose los siguientes tipos (Tchobanoglous et al, 1994; Otero del Peral, 1996):

- Residuos domésticos o domiciliarios (RD): proceden de las distintas actividades desarrolladas en la vivienda.
- Residuos comerciales y de servicios: formados por aquellos residuos producidos en las actividades de los diferentes circuitos de distribución de bienes de consumo y servicios.

- Residuos voluminosos: de origen domestico y comercial que por su tamaño, forma, volumen o peso son difíciles de transportar por los servicios de recogida convencionales.
- Residuos de construcción y demolición: Son residuos inertes que proceden de trabajos de obras y reparaciones de poca importancia pero frecuentes.
- Residuos de servicios municipales: provienen de la limpieza de calles, derrames de cubos de basura, papeleras, jardinería pública, etc. así como animales muertos o vehículos abandonados.
- Residuos de plantas de tratamiento: procedentes de la potabilización y depuración de aguas y cenizas de incineración.
- Residuos institucionales: Aquellos generados en las instituciones publicas como escuelas, ayuntamientos, universidades, institutos y cualquier edificio público.
- Residuos industriales asimilables a urbanos (RIAU): tienen la misma composición que los RSU pero provienen de la industria.
- Residuos hospitalarios: se consideran así a todos aquellos residuos generados en cualquier establecimiento o servicio en el que se desarrollen actividades de atención a la salud humana.
- Residuos agrícolas y ganaderos: se consideran solo aquellos residuos que se producen en zonas clasificadas como urbanas o urbanizables con arreglo a la ley de suelos.

1.1.2.2 La generación

El estudio de las cantidades generadas y recogidas de residuos de una determinada población o región, es el punto de partida de la gestión de los RSU. Desde mediados del siglo XX hasta la actualidad, el incremento en la generación de residuos ha sido una tónica general de las grandes ciudades en los países desarrollados. El desenfrenado consumismo y la doctrina del “usar y tirar” han provocado el incremento del volumen de basuras generadas por los ciudadanos. Esto ha provocado un verdadero problema a la hora de gestionar y eliminar dichos residuos (Figura 1.1).

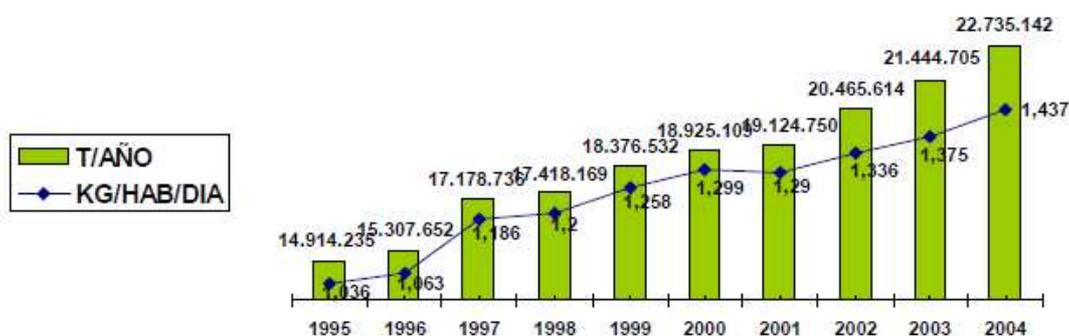


Figura 1.1 Evolución de la generación de RSU en España. FUENTE: PNIR (2007-2015)

Este gran incremento de la generación de residuos ha sido debido a los siguientes parámetros:

- El incremento absoluto de la población. Produciéndose además un despoblamiento de las zonas rurales y una aumento de la población en las ciudades.
- Uso generalizado de envases. La sociedad moderna promueve un gran cuidado de la apariencia exterior de los productos. Por tanto cada producto puede estar cubierto por varios envoltorios.
- Temprana obsolescencia de los productos de uso común. El consumismo hace que determinados productos queden “pasados de moda” y se conviertan en residuo.
- Aumento de la calidad de vida. Nos permite el acceso a un mayor número de artículos.
- Perdida de mentalidad recicladora. La cultura del “usar y tirar” ha propiciado el abandono de la reutilización de envases.

Además la cantidad de residuos generados y la composición de dichos residuos no es constante a lo largo de todo el año, depende de:

- La época del año: por lo general en verano se encuentra en los residuos una mayor cantidad de materia orgánica.
- Modo de vida de la población: En las ciudades normalmente no hay tanto tiempo para cocinar por lo que el consumo de alimentos preparados y precocinados es mayor, generándose una mayor cantidad de envases.
- El clima: en climas calidos hay un mayor consumo de vegetales frescos que en los fríos.
- Área geográfica: depende de los gustos gastronómicos de cada área o región.
- Nivel de renta de la población: a mayor renta, mayor cantidad de alimentos más elaborados y por lo tanto mayor cantidad de envases.
- Movimiento de la población en periodos vacacionales: hay zonas donde la población se duplica o triplica en épocas vacacionales, aumentando la generación de residuos.
- Tipo de población: en zonas rurales se produce una menor cantidad de embalajes de los alimentos y la materia orgánica se emplea como alimento para los animales o como fertilizante.
- Tipo de vivienda: en zonas de chalets se recoge una mayor cantidad de residuos de jardinería.

1.1.2.3 La composición

Además de las cantidades generados de residuos es necesario conocer su composición. La composición física es el término utilizado para describir los componentes individuales que constituyen los RSU y su distribución relativa normalmente basada en porcentajes en peso.

La alta variedad de fuentes de generación de residuos hace que los residuos tengan una composición muy variada y heterogénea. La información sobre la composición de los RSU es importante para evaluar las necesidades de equipo, los sistemas de tratamiento y los planes de gestión.

La composición de los residuos, como se ha dicho anteriormente, depende básicamente de los siguientes factores:

- Modo y nivel de vida de la población: el consumo de alimentos ya preparados hace que aumente la cantidad de envases y embalajes, pero por otra parte se produce la disminución de restos vegetales, carnes y grasas cuando se emplean como alimento animal o fertilizante orgánico.
- Actividad de la población y características: en áreas rurales se observa un predominio de productos fermentables. En núcleos urbanos hay un aumento en la cantidad de envases y embalajes, así como en las zonas de servicios.
- Climatología de la zona y estacionalidad: los residuos recogidos en verano presentan mayor cantidad de materia orgánica, mientras que las cenizas y escorias procedentes de las calefacciones aumentan en invierno. El contenido en humedad es mayor en las estaciones lluviosas.

A continuación se muestran, en las tablas 1.1, la composición general de los residuos urbanos en países desarrollados y en países en vías de desarrollo, donde se puede observar las diferencias en la composición de manera que, a medida que asciende el nivel de vida, desciende el porcentaje de residuos orgánicos, aumentando el papel, los plásticos, los metales y el vidrio.

Tabla 1.1 Fracciones de los RSU en países desarrollados y países en vías de desarrollo.
FUENTE: (Seoánez. 1999)

Componente	Países desarrollados	Países en desarrollo
Metales	3,60 – 8,00	0,70 – 1,60
Vidrio	6,50 – 16,70	1,00 – 3,80
Tierra y cenizas	0,20 – 5,00	6,00 – 16,00
Papel	14,00 – 32,00	2,60 – 5,00
Cartón	5,00 – 10,00	1,00 – 1,80
Madera	0,20 – 1,20	0,10 – 1,00
Plásticos	10,00 – 16,00	3,80 – 7,40
Gomas y cueros	0,30 – 1,20	0,20 – 1,40
Textiles	3,25 – 6,50	2,00 – 4,10
Materia orgánica	40,00 – 55,00	58,00 – 80,20

1.1.3 LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

En la actualidad, se entiende por gestión de residuos sólidos urbanos al conjunto de operaciones encaminadas a dar a los RSU generados en una determinada zona el tratamiento global más adecuado, desde los puntos de vista ingenieril, económico, medioambiental y sanitario, de acuerdo con las características de los mismos y los recursos disponibles.

En el marco español, la Ley 22/2011 de Residuos define la Gestión como “la recogida, el transporte y tratamiento de los residuos, incluida la vigilancia de estas operaciones, así como el mantenimiento posterior al cierre de los vertederos, incluidas las actuaciones realizadas en calidad de negociante o agente”.

La gestión de los RSU actualmente es muy compleja y laboriosa, por la cantidad y naturaleza de los residuos, por las limitaciones económicas, por la incorporación de nuevas tecnologías, etc. En España la orientación ha pasado de las técnicas de descontaminación (“después de...”) a la reducción en origen, tratando y gestionando de forma integrada, la practica totalidad de los residuos, coordinando todas las administraciones afectadas (Comunitaria, Estatal, Autonómica, Provincial y Local) y jerarquizando la gestión: reducción en origen, reutilización, reciclado, valorización y eliminación segura. De este modo, una gestión eficaz pasa por la reducción en la producción de residuos y por la optimización de todas las operaciones intermedias que constituyen dicha gestión.

La gestión de los RSU se puede considerar como un sistema, es decir, un conjunto de elementos interrelacionados entre sí en un entorno determinado. Estos elementos actúan unidos dentro del sistema para lograr un objetivo: la gestión óptima de los RSU.

Los elementos o subsistemas que forman el sistema de gestión son todas aquellas actividades asociadas a la gestión. Se pueden dividir en seis elementos funcionales relacionados como indica la figura 1.2 (Tchobanoglous et al., 1994):

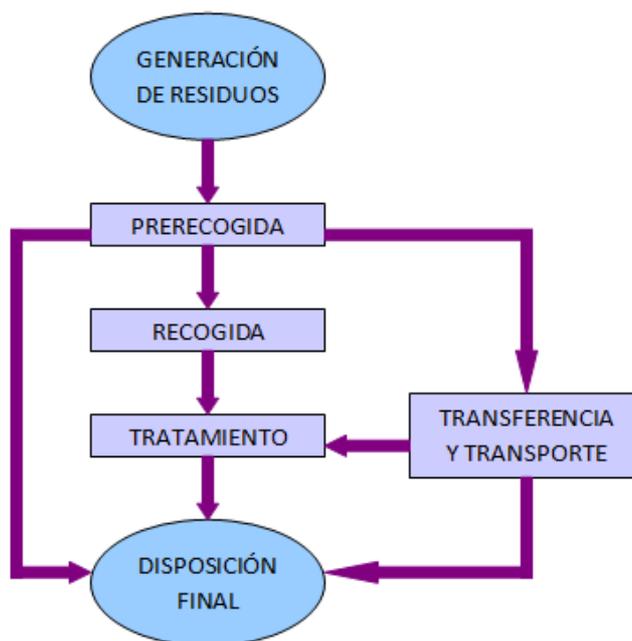


Figura 1.2 Esquema general del sistema de gestión de RSU. FUENTE: (Gallardo. 2000)

- Generación de residuos: En esta etapa se conoce el problema de la gestión analizando y estudiando las cantidades generadas, la composición, las variaciones temporales, etc. Con estos datos se podrá afrontar el diseño de las etapas posteriores.
- Prerrecolecta: Supone las actividades de separación, almacenamiento y procesamiento en origen hasta que los residuos son depositados en el punto de recogida. Es la gestión realizada por el generador de residuos y es importante a la hora de establecer unas mínimas condiciones de facilidad en la recogida y condiciones higiénico – sanitarias.
- Recogida: Comprende las labores de carga y transporte de los residuos desde las áreas de aportación hasta la estación de transferencia, vertedero o lugar de tratamiento.
- Transferencia y transporte: Es la actividad por medio de la cual los residuos se alejan de la zona de generación. Comprende la transferencia desde la zona de recogida hasta la estación de transferencia donde se trasladan a otro camión de mayor capacidad que realiza el transporte, normalmente más largo, hasta el lugar de eliminación.
- Tratamiento: Comprende los procesos de separación, procesado y transformación de los residuos. La separación y procesado de los residuos se realiza en instalaciones de recuperación de materiales, donde los residuos llegan en masa o separados en origen. Allí pasan por una serie de procesos: separación de voluminosos, separación manual o automática de componentes, separación mecánica y empaquetado, obteniéndose una corriente de productos destinada al mercado de subproductos y otra de rechazo destinado a vertedero o tratamiento térmico. Los procesos de transformación se emplean para reducir el volumen y el peso de los residuos y para obtener productos y energía. Los más extendidos son el compostaje, la incineración, la pirolisis o la gasificación.
- Evacuación: Es el destino final de los residuos o rechazos de instalaciones de transformación y procesado, normalmente vertederos controlados.

1.1.4 INSTALACIONES DE GESTIÓN DE RESIDUOS

Las instalaciones que pueden intervenir en el proceso de gestión de residuos son muy diversas, a continuación se describen las más habituales:

Vertederos controlados

Son las instalaciones físicas utilizadas para la evacuación, en los suelos de la superficie de la tierra, de los rechazos procedentes de los residuos. La filosofía de este sistema consiste en enterrar el máximo volumen de residuos en un espacio mínimo. Se denomina vertedero controlado a la instalación ingenieril para la evacuación de residuos, diseñada y explotada para minimizar los impactos ambientales y sobre la salud humana. Las ventajas que ofrecen los vertederos controlados frente a otro tipo de tratamiento son: capacidad para absorber variaciones en el volumen de residuos generados, es un sistema económico y el terreno del vertedero es regenerable y recuperable. La principal desventaja es la elección de un terreno adecuado para su ubicación.

Plantas de Compostaje

El compostaje es un proceso de descomposición biológica de la materia orgánica contenida en los residuos que tiene como objetivo su transformación en un producto orgánico utilizable para la mejora de suelos en agricultura, denominado compost. Este proceso requiere la separación previa de materiales no orgánicos de los residuos, y la posterior fermentación de la materia orgánica. La fermentación puede tener lugar al aire libre o acelerada en digestores. Las ventajas propias de este tipo de plantas son las siguientes: su instalación requiere poco espacio, permite la recuperación de residuos y un aprovechamiento racional de la materia orgánica de los mismos, reduce en un 30% el volumen inicial de residuos a verter y por último, la venta del compost puede compensar parte de los gastos de inversión en la instalación. Como inconvenientes destacar el alto coste de instalación y explotación de estas plantas y la aceptación moderada que tiene el compost en el mercado.

Plantas de incineración

La incineración es un proceso de combustión controlada que transforma los residuos en materiales inertes (cenizas) y gases. Se realiza una reducción en peso del 70% y en volumen del 80 – 90 % de los residuos. Aunque la tecnología de incineración ha avanzado mucho en los últimos años, el control de la contaminación todavía sigue siendo una preocupación importante a la hora de optar por esa tecnología. Para su localización no se necesita una superficie muy extensa, pero su localización sigue siendo problemática.

Plantas de recuperación energética

Se trata de plantas de incineración donde se aprovecha la generación de energía en forma de calor que tiene lugar en el proceso de combustión de los residuos. Los factores que condicionan la implantación de este sistema de incineración son tres: volumen de residuos a incinerar, poder calorífico de los mismos y costes de inversión y gastos de explotación.

Estaciones de transferencia

En estas plantas tiene lugar la transferencia de los residuos desde contenedores o cajas de vehículos de recogida relativamente pequeños a vehículos de transporte de mayor capacidad. Serán estos vehículos más grandes los que transporten los residuos a distancias más largas, hasta el destino siguiente en el proceso de gestión de estos residuos. Estas operaciones de transferencia se hacen necesarias cuando las distancias de transporte a centros de procesamiento o a las zonas de evacuación disponibles, se incrementan tanto que el transporte directo ya no es económicamente factible.

Plantas de recuperación de materiales

En estas instalaciones se lleva a cabo la separación y procesamiento adicional de residuos que han sido separados en origen, así como la separación de residuos no seleccionados normalmente. A partir de esta separación. Se recuperará una parte de los residuos que puede estar destinada a diferentes fines: reutilización directa, materias primas para la fabricación y reprocesamiento, materia prima para la elaboración de productos por

conversión biológica y química, fuente de combustible, restauración de terreno con residuos de demolición limpios o procesados.

1.2 LA RECOGIDA SELECTIVA

La separación de materiales como papel, cartón, vidrio, metal, materia orgánica, etc. en el punto de generación es una de las formas más eficaces de recuperación para su posterior valorización mediante reciclado, reutilización o cualquier otro proceso, por lo tanto, el principal objetivo de la recogida selectiva es separar la mayor cantidad de materiales con el mayor grado de calidad posible. Para ello es imprescindible contar dentro del sistema de gestión con un modelo adecuado de recogida selectiva en origen (Gallardo. 2000).

Dentro del sistema integral de gestión de RSU, la recogida selectiva vendrá definida por la prerrecojida, la recogida y la relación entre ambos elementos funcionales, por lo que será necesario estudiar las relaciones entre ambas actividades para obtener unos residuos que se pueden reciclar o aprovechar posteriormente.

La ley 22/2011 de Residuos, define recogida selectiva o separada como “la recogida en la que un flujo de residuos se mantiene por separado, según su tipo y naturaleza, para facilitar un tratamiento específico”. En función del grado de recuperación en origen y la calidad de materiales que se quiera alcanzar, se elegirá uno u otro sistema de recogida.

La recogida selectiva se puede dividir en dos fases claramente diferenciadas: la prerrecojida y la recogida. La primera comprende el procesamiento de los residuos en origen (en casa) hasta su depósito en los puntos de recogida. La segunda, la recogida y el transporte de los residuos seleccionados a las estaciones de transferencia o a las plantas de selección, recuperación y reciclado.

1.2.1 LA PRERRECOGIDA

La prerrecojida comprende las actividades de manipulación, procesado y almacenamiento de los RSU hasta que son depositados en los puntos de recogida. Una vez depositados y almacenados en diferentes tipos de contenedores, los residuos serán recogidos por los servicios de recogida y llevados a la siguiente instalación del sistema de gestión.

La prerrecojida influye significativamente en la calidad de los materiales recuperados, cuestión a tener en cuenta a la hora de obtener subproductos que puedan ser comercializados y aprovechables.

1.2.1.1 Separación de los residuos en origen

La mayor parte de los métodos de valorización, como el reciclado o la incineración, requieren de la separación en origen de los residuos en diferentes fracciones, para alcanzar los

mínimos de calidad y rentabilidad exigidos en dichos procesos. Los factores que influyen en la determinación del grado de fraccionamiento son:

- Composición. En los RSU existen dos fracciones claramente diferenciadas, el material fermentable y el resto, formado principalmente por envases. Si se desea la recuperación de materiales para su reciclado es fundamental que se separen al menos estas dos fracciones.
- Método de valorización. Dependiendo del método de valorización aplicado a los residuos, la separación en origen se deberá realizar de diferentes modos.
- Facilidad en la separación. La eficiencia del fraccionamiento en origen vendrá dado por la habilidad de los usuarios en la selección y la motivación que tengan. A mayor fraccionamiento, la separación se complica y la motivación disminuye.
- Restricciones de la legislación. La legislación puede imponer un grado de fraccionamiento, un grado de recuperación o un tipo de tratamiento determinado.
- Exigencias del mercado. La selección de los materiales depende en gran medida del mercado, que cada vez demanda una mayor calidad de los materiales (Noehammer et al., 1997). En función del precio de los subproductos en el mercado se puede elegir el tipo de fraccionamiento.

Existe un amplio abanico de fraccionamiento, pudiendo ir desde el grado cero (recogida en masa), hasta un alto grado de separación específica por materiales, figura 1.3.

Sin fraccionar	Totales 		
Dos fracciones: Material fermentable y Resto	Fermentables 	Resto 	
Tres fracciones: Material fermentable, Materiales ligeros y Resto	Fermentables 	Resto 	Ligeros 
Separación específica: Materiales específicos y Resto	Resto 	Específicos 	

Figura 1.3 Grados de fraccionamiento en origen. FUENTE: (Gallardo. 2000)

En un extremo se encontraría la prerrecogida en masa o “todo en uno”, que es la alternativa más cómoda desde el punto de vista del ciudadano. La labor de separación y recuperación corresponde al agente gestor, siendo más costosa y con un grado muy bajo de recuperación de materiales. En el otro extremo estaría la recogida con fraccionamiento específico (papel, vidrio, envases, pilas, ect.). En este caso, la labor de separación corresponde

en mayor grado a los ciudadanos, obteniéndose unos materiales de elevada calidad y con un mayor valor añadido.

1.2.1.2 Tipos de depósitos o contenedores

Los contenedores para la recogida selectiva tienen diversas formas y están concebidos para recibir exclusivamente un solo tipo de material. Las zonas donde se instalan varios tipos de contenedores para diferentes materiales se denominan “área de aportación”.



Figura 1.4 Área de aportación con contenedores para recogida de envases, papel – cartón, vidrio y aceite usado. (Mora de Rubielos)

La forma y el color de los contenedores instalados en las vías públicas varían de unas ciudades a otras e incluso dentro de una misma ciudad varían de unas zonas a otras en función de sus características, adaptándose a la fisonomía de la ciudad. Por ese motivo no es extraño encontrar contenedores diferentes, tanto para la recogida en masa como para la recogida selectiva. En algunas ciudades se han instalado contenedores soterrados, dejando en la superficie un buzón por donde depositar los residuos, estos sistemas se implantan en aquellos lugares donde el impacto visual del contenedor es muy alto o para aprovechar espacio.



Figura 1.5 Contenedores soterrados para envases, papel – cartón, vidrio, FORM (materia orgánica) y resto (Vilanova del Camí)

1.2.2 LA RECOGIDA

La recogida es el elemento de gestión que incluye las actividades de traslado de los residuos del lugar donde son depositados por los ciudadanos hasta el camión de recogida, carga al camión, transporte a los puntos de transferencia o de tratamiento y por último descarga de los residuos en dicho lugar. La recogida de los residuos supone la mayor parte de los costes globales de la gestión de los mismos.

Al igual que sucedía con la prerrecorrida, también existen diferentes tipos de recogida. Incluso dentro de una misma población, sobre todo en las grandes urbes, la recogida se puede llevar a cabo de formas diferentes en unas zonas u otras de la ciudad. Los tipos de recogida se pueden clasificar en función del tipo de prerrecogida o en función del grado de fraccionamiento en origen.

Recogida en función de la prerrecogida

Una vez el ciudadano deposita los residuos en el punto de depósito, entra en función la fase de recogida. Cuanto menor sea la distancia recorrida por los ciudadanos mayor será la distancia recorrida por los agentes recolectores. En función de esa distancia, la recogida se puede dividir en:

- Recogida puerta a puerta: los operarios van puerta a puerta recogiendo los residuos. Los residuos pueden presentarse en bolsas, cubos o en pequeños contenedores con ruedas.
- Recogida por contenedor: en este caso la recogida se hace en grandes contenedores. El vaciado de los contenedores es mecánico y los operarios sólo tienen que acercar el contenedor al camión y engancharlo al sistema de descarga. La recogida es mucho más rápida y los costes se reducen considerablemente.
- Recogida en áreas de aportación: la recogida se hace en grandes contenedores, de entre 2,5 y 3 m³, dependiendo del material que se trate. Los operarios de recogida no transportan el contenedor, se limitan a engancharlo al camión para ser vaciado.
- Recogida por llamada previa: este tipo de recogida consiste en ir hasta el lugar de generación a recoger el residuo previo encargo del generador. Se utiliza para la recogida de residuos de baja e imprevisible frecuencia de recogida, como los voluminosos, contenedores de pilas, tubos fluorescentes, etc.

Recogida en función del grado de fraccionamiento

Se distinguen claramente dos tipos de recogida:

- Recogida en masa: los residuos se recogen todos juntos y se vacían a un mismo camión.
- Recogida selectiva: el camión recoge un único material (vidrio o papel – cartón) o una mezcla determinada de materiales (envases).

1.2.2.1 Sistemas de carga y transporte de residuos

En los últimos años se han utilizado una amplia variedad de sistemas y equipamientos para la recogida de RSU. Estos sistemas se pueden clasificar desde varios puntos de vista, tales como el modo de operación, el equipamiento utilizado y los tipos de residuos recogidos. Según su modo de operación se puede clasificar en dos categorías, sistemas de caja fija y sistemas de grandes contenedores.

Sistemas de caja fija

En estos sistemas los camiones llevan una caja fija donde se vacían los contenedores. Éstos se quedan en el punto de recogida, excepto en aquellos casos que son transportados hasta la vivienda. Los sistemas varían según el tipo y cantidad de residuos a recoger, pudiéndose encontrar los siguientes:

- Vehículos de carga mecánica. Por razones económicas, casi todos los vehículos de recogida son de caja cerrada compactadora. La capacidad de la caja varía entre 7 y 25 m³, con una carga que dependiendo de la compactación puede llegar a las 20 tn, con unos índices de compactación de hasta 6:1. Los contenedores son enganchados al sistema de descarga por los operarios y son descargados mecánicamente, pudiendo ser vaciados por la parte trasera, lateral o delantera del vehículo. Los vehículos de descarga lateral y delantera utilizan dispositivos robotizados para la carga y descarga de los contenedores, de modo que solo es necesaria una persona para la operación. En la recogida selectiva se suelen utilizar cajas compartimentadas, esta puede ser horizontal o vertical, con tabiques de separación móviles para amoldarse a la cantidad recogida de cada fracción. Por último están los camiones pluma. Estos sistemas se sirven de una grúa o pluma para la descarga de grandes contenedores en la caja abierta del camión. Se utilizan en la recogida de vidrio, papel – cartón y envases.
- Vehículos de carga manual. Se utilizan para la recogida de residuos domésticos y de la calle. Para la recogida de residuos domésticos se utilizan cajas compactadoras. El rango de capacidades y pesos es el mismo que en el caso anterior. Se suelen utilizar en zonas de baja densidad de población y en aquellos lugares donde no pueden acceder los camiones mecanizados, también en la recogida de voluminosos. Es el tipo de recogida que más mano de obra necesita.



Figura 1.6 Camión compactador de carga mecánica trasera y de carga mecánica lateral.

Sistemas de grandes contenedores

En estos sistemas se dejan grandes contenedores en el punto de generación y una vez llenos son cargados a los camiones y llevados al punto de descarga. Estos sistemas son idóneos para la recogida de residuos procedentes de centros con una alta tasa de generación, donde son necesarios contenedores relativamente grandes. Esto permite reducir el tiempo de manipulación y la acumulación de numerosos contenedores de tamaño inferior. Otra ventaja es su flexibilidad, ya que existe una amplia gama de tamaños y tipos de contenedores. Hay tres clases principales de sistemas de contenedor:

- Camión elevador. Es utilizado por pequeñas empresas para la recogida de residuos voluminosos, chatarra, escombros, etc.
- Camión volquete. Son ideales para la recogida de todo tipo de desechos. Normalmente recogen contenedores situados en mercados, hospitales o estaciones de transferencia.
- Contenedor remolque. En estos casos el contenedor es el remolque del camión. Se aplica en la recogida de residuos especialmente pesados como arena, madera, metal o chatarra.

Las necesidades de personal son bajas, normalmente se utiliza un operario por camión.

1.3 LOS RESIDUOS DE ENVASES

En el marco español, la Ley 11/1997 de Envases y Residuos de envases, define Envase como “todo producto fabricado con materiales de cualquier naturaleza y que se utilice para contener, proteger, manipular, distribuir y presentar mercancías, desde materias primas hasta artículos acabados, en cualquier fase de la cadena de fabricación, distribución y consumo. Se consideran también envases todos los artículos desechables utilizados con este mismo fin”. Dentro de esta definición, están incluidas las bolsas de un solo uso entregadas o adquiridas en los comercios para el transporte de la mercancía por el consumidor o usuario final, y los artículos desechables que se utilicen con el mismo fin que los envases, como por ejemplo las bandejas, platos, vasos y cualquier otro artículo desechable que se emplee, principalmente en hostelería y restauración, para suministrar el producto y permitir o facilitar su consumo directo o utilización.

Esta misma Ley también define Residuos de envases como “todo envase o material de envase del cual se desprenda su poseedor o tenga la obligación de desprenderse en virtud de las disposiciones en vigor”

Dentro de los residuos de envases, los principales materiales que encontramos son, los plásticos, los metales, papel- cartón y los elementos multiproducto (envases en cuya composición interviene diversos materiales: catón, plástico, metales, etc.) que principalmente son los tetrabriks.

Así pues, diariamente generamos grandes cantidades de residuos de envases y gran parte de ellos pueden valorizarse de alguna forma, ya sea reciclando los materiales que las

componen o recuperando parte de la energía que contienen. Para ello es necesario recoger de forma separada los mismos mediante las técnicas explicadas anteriormente y llevar a cabo posteriormente su recuperación.

1.3.1 LA RECUPERACIÓN DE LOS RESIDUOS DE ENVASES

Existen dos soluciones generales para cuando un producto se convierte en residuo, una es tirarlo a un vertedero y otra es recuperarlo. Los envases no se degradan en el medioambiente como la basura ecológica, por lo que la primera opción no parece medioambientalmente aceptable. Si, en cambio la recuperación.

La recuperación es un amplio concepto que engloba en si a otros dos: la reutilización y el reciclaje. El que más interés acapara, tanto ecológicamente como económicamente, es el primero de ellos ya que requiere mínimos recursos y el menor desgaste del valor del producto. Sin embargo, la normativa legal, la salubridad y la degradación del envase no siempre posibilitan recurrir a la reutilización, con lo cual la única alternativa posible es el reciclaje. Con el cual se consigue disminuir la cantidad de residuos y el consumo de materias primas.

Así pues, a grandes rasgos, la recuperación y reciclaje de los envases comienza una vez que hemos depositado nuestros envases en el contenedor adecuado, a continuación son recogidos y trasladados a las plantas de selección de envases (PSE) y posteriormente a los recicladores que transformarán los materiales de los envases en nueva materia prima, cerrando con ello en ciclo de los envases, dando una nueva vida a los materiales y evitando que terminen en los vertederos.

1.3.1.1 La recogida de los envases

Una vez que los productos han sido consumidos y el envase deja de cumplir la misión para la que fue creado, como se ha dicho anteriormente, éste se convierte en residuo y es en este momento cuando hay que recuperarlo para hacer posible su reciclado.

Para ello se lleva a cabo la recogida selectiva de envases, basada en recuperar las diferentes fracciones de envases de forma separada del resto de residuos, para poderlos reciclar. A tal efecto los ayuntamientos facilitan a la población contenedores amarillos y azules para que podamos depositar respectivamente los envases ligeros (envases de plástico, latas y briks) y envases de cartón y papel.

Existen dos modelos genéricos de sistemas de recogida selectiva de residuos de envases en lo que se refiere a la disposición de los contenedores.

Recogida selectiva en áreas e aportación

En este tipo de recogida generalmente se utilizan contenedores de gran capacidad, tipo iglú o carga lateral, que disponen de unas bocas adaptadas para introducir los residuos en la parte superior.

Los contenedores de recogida de envases ligeros, destinados al depósito de envases de plástico, latas y envases tipo brik, de color amarillo, se colocan junto con el contenedor azul donde se depositan los envases de cartón y papel, y el iglú de color verde para el vidrio. Estos suelen colocarse en plazas o lugares espaciosos.

En este sistema, el ciudadano separa los materiales en su casa (separación en origen) y los deposita en los contenedores más cercanos a su domicilio. El material que se recoge en los contenedores mediante este sistema suele ser de buena calidad, ya que por su simplicidad dificulta que se produzcan errores a la hora de depositar los residuos.

Recogida selectiva mediante contenedor en acera

En este caso, los contenedores suelen ser de menor tamaño que los anteriores, de tipo carga trasera y ocasionalmente de carga lateral. Se sitúan junto con los contenedores de basura tradicionales o de basura en masa, cerca de las viviendas de los ciudadanos.

Este sistema ofrece una mayor comodidad a los ciudadanos, por su proximidad, lo que asegura una alta participación, aunque existe mayor probabilidad de que el índice de “impropios” o materiales que no corresponden al contenedor sea mayor que en las áreas de aportación.

Es importante decidir que sistema de recogida implantar, ya que condiciona el resto de operaciones que integran un programa de reciclado: clasificación, recuperación y, en su caso, reciclaje final.

Actualmente, la distribución de los sistemas de recogida implantados en los cerca de 45 millones de habitantes que tiene España, en términos de población, es la siguiente:

Tabla 1.2 Sistemas de recogida implantados en España, distribución por población, 2010.

FUENTE: ECOEMBES

IGLÚ	CARGA LATERAL	CARGA TRASERA	NEUMÁTICA	BOLSEO	SOTERRADOS
33,2%	32,9%	27,0%	0,6%	0,7%	5,6%

1.3.1.2 El reciclaje de los envases

Para poder reciclar los envases de los productos que consumimos habitualmente, primero hay que separarlos en grupos según la naturaleza del material del que estén hechos y luego depositarlos en los contenedores de recogida selectiva instalados en las calles de los municipios, es decir, hay que llevar a cabo una separación en origen de los mismos como se ha comentado en epígrafes anteriores.

Así, los envases de cartón y papel procedentes del contenedor azul van directamente a los recuperadores y recicladores, que con ellos y tras una clasificación en función de las calidades y posterior reciclaje, producirán nuevo cartón y papel.

En el caso de los envases ligeros del contenedor amarillo, donde encontramos con tres grupos muy distintos de envases: envases de plástico, envases metálicos y tetrabriks. Antes de enviarlos a sus respectivos recicladores hay que proceder a una segunda separación, para lo cual deben pasar por las plantas de selección de envases (PSE).

En las plantas de selección, de las que hay más de 90 repartidas por toda la geografía española, se separan los envases ligeros procedentes del contenedor amarillo en al menos, las siguientes fracciones: de los metales, acero y aluminio, de los plásticos, PET, Polietileno de alta densidad y Plástico mezcla, y finalmente los tetrabriks.

Una vez convenientemente separados, cada fracción se dirige a su correspondiente reciclador el cual se encargará de transformarlos en nueva materia prima, con la que fabricar nuevos envases o cualquier otro producto en el que se utilicen estos materiales, como por ejemplo piezas de automóvil, tuberías, fibras textiles, etc. Los metales irán a acerías o a fundiciones de aluminio dependiendo de que los envases sean de acero o aluminio. Los diferentes plásticos, PET, Polietileno de Alta Densidad o Plástico mezcla, irán en fracciones diferentes y por separado a su reciclador y lo mismo pasará con el brik.

1.3.2 LAS PLANTAS DE SELECCIÓN DE ENVASES

Las Plantas Selección o Clasificación de Envases son un tipo de instalación de gestión de RSU, más concretamente de gestión de residuos de envases. Este tipo de instalaciones tienen como objetivo recuperar de aquellas fracciones reciclables que forman parte de los envases recogidos selectivamente (papel cartón, plásticos, metales) para su posterior reciclado o valorización.

La clasificación es el primer tratamiento que deben sufrir los residuos para facilitar su recuperación ya que la correcta separación de los materiales permite un mayor y más rentable aprovechamiento de los mismos. Esta clasificación puede hacerse por medios automáticos, manuales o mediante una combinación de ambas, así pues, se pueden distinguir principalmente dos tipos de plantas de selección de envases:

- *Plantas de selección de envases automáticas*, donde se seleccionan los distintos tipos de envases, de plástico principalmente, mediante sistemas de infrarrojos. Los operarios realizan solo un control de calidad posterior.
- *Plantas de selección de envases manuales*, los operarios realizan una selección manual de los distintos tipos de envases.

A continuación se explica al funcionamiento general para cada uno de los tipos de plantas de selección de envases, el tercer tipo, el mixto tendrá un funcionamiento consistente en una combinación de ambos procesos.

1.3.2.1 Plantas de selección de envases automáticas

Para explicar el funcionamiento de este tipo de instalaciones se ha tomado como ejemplo el funcionamiento de la Planta de selección de envases de Montalbán, Córdoba.

Siendo el proceso que se lleva a cabo en esta instalación similar al que se lleva en otras plantas de selección de envases de España.

En este tipo de instalaciones, los residuos de envases procedentes de la recogida selectiva son depositados por los camiones recolectores en la playa de descarga. A continuación se traslada el producto hasta el abridor de bolsas, su función es vaciar y abrir las bolsas con el fin de que los residuos queden libres y preparados para las siguientes fases.



Figura 1.7 Descarga de un camión en la playa de descarga

El material pasa por la cabina de triaje primario. Aquí, se separan manualmente los objetos voluminosos, es decir, aquellos residuos que por su tamaño y/ o naturaleza no deben continuar sobre la cinta de selección ya que perjudicarían a los procesos posteriores: sábanas de plástico film, telas, palos, etc. Tras esta primera selección, el material se introduce en el separador balístico, que clasifica los envases en función de su densidad. Realizando tres separaciones:

- Los Materiales finos: pequeñas partículas con un tamaño inferior a 80 mm. formadas principalmente por materia orgánica, chapas y pequeños envases. Esta fracción es conducida a rechazo, pasando antes por un imán para la recuperación de materiales férricos.
- La Fracción Ligera o Planar compuesta principalmente por residuos de plástico film y papel-cartón. Esta línea puede cuenta con una boca de aspiración destinada a recuperar el film, separándose por un lado el film (PEBD) y por otro el papel-cartón. Los materiales recuperados se prensan para su posterior reciclaje.
- Fracción pesada o rodante: Tercera fracción procedente del separador balístico. Se trata mayoritariamente de botellería, envases de briks, latas y otros objetos de similares.



Figura 1.8 Separador balístico

Es esta última fracción, la pesada o rodante, la que se somete a los procesos de clasificación o selección automática. Obteniendo de este proceso:

- Acero
- Envases tipo tetrabriks
- Aluminio
- Polietileno de alta densidad (PEAD)
- PET
- Plástico Mezcla

Para ello, el material se somete a una cascada de automatismos:

Selección De Materiales Férricos: Los residuos objeto de clasificación se transportan hacia un imán tipo overband para la selección de envases férricos. Los metales ya prensados se almacenan para su traslado a las empresas recicladoras.



Figura 1.9 Imán tipo overband

Aspiración De Materiales Ligeros: El proceso continúa con la aspiración de los materiales ligeros que haya arrastrado el separador balístico, su eliminación va a impedir

interferencias en la clasificación de los rodantes. Los materiales aspirados pueden ser reconducidos a la fracción ligera para la recuperación del film.

Clasificación Automática De Los Rodantes: Esta fases se realiza mediante una cascada de separadores ópticos.

- 1er Separador Óptico: plásticos y no plásticos:

Los separadores ópticos clasifican los materiales mediante el escaneo de los objetos. Una vez reconocidos, se genera automáticamente la maniobra de impulsión gracias a un chorro de aire comprimido que “dispara” el envase hacia el colector correcto. Un primer colector recoge los envase plásticos y el resto de materiales no impulsados, los no plásticos, son recogidos en un segundo colector. Así pues, los materiales plásticos pasan a un segundo separador óptico, y por otro lado, los no plásticos alimentan al tercer separador óptico.

- 2º Separador óptico: Separación del Polietileno de alta densidad, Pet y plástico mezcla

La primera fracción a seleccionar es el PET, que es el componente mayoritario y la segunda válvula separa el Polietileno. La fracción compuesta por otros plásticos se deposita por gravedad sobre la cinta de triaje, donde manualmente se separa el plástico mezcla para su recuperación.

- 3er Separador óptico: Tetrabrik y envases no plásticos

Este separador trata de separar el tetrabrik del resto de materiales rodantes no plásticos. Consta también de dos válvulas de soplado, una para el tetrabrik y otra para los envases plásticos que por error no hayan sido seleccionados previamente. Así, se consiguen recircular los plásticos evitando que vayan a rechazo. Se posibilita su recuperación y aumenta la efectividad de la planta.



Figura 1.10 Separadores ópticos

La fracción resultante, se compone principalmente por rechazo y latas de aluminio. Esta fracción pasa por una cinta de triaje que posibilita el control final de rechazo. Finalmente este material pasa por el separador de inducción que selecciona el aluminio y permite su recuperación.

Todos los subproductos recuperados van siendo depositados sobre los silos de almacenamiento. Tras ser prensados se preparan para enviarlos a las diferentes plantas recicladoras.

1.3.2.2 Plantas de selección de envases manuales

En este caso para explicar el funcionamiento de este tipo de instalaciones, será la Planta de selección de envases ligeros de Celra (Girona) la que nos sirva como ejemplo.

El proceso de clasificación en esta instalación, como en el anterior, se inicia con la llegada a planta de los camiones de recogida selectiva de envases que una vez pesados vierten su contenido en la playa de descarga. De hay los residuos de envases son trasladados al abre bolsas, donde en el caso que los envases hayan sido depositados en bolsas de plástico cerradas, son liberados para su selección.

En el paso siguiente, los envases entran en un tromel con dos luces de malla diferentes, donde se separan los envases en tres fracciones diferentes para facilitar su selección posterior:

- La fracción fina o el primer hundido: formada por materia orgánica, pequeños envases, tapones, y chapas metálicas. Que tras pasar por un imán se convierte en rechazo.
- La fracción media o segundo hundido: compuesta por envases mayoritariamente como botellas, latas, tetrabriks, etc.
- La fracción grande: objetos voluminosos y grandes envases como pueden ser garrafas de agua.



Figura 1.11 Tromel

Estas dos últimas fracciones son las que pasan al punto de clasificación ubicado en el interior de una cabina insonorizada. En la cabina de triaje se separan de forma manual los distintos envases obteniéndose las siguientes fracciones:

- Polietileno de alta densidad (PEAD)
- PET
- Plástico mezcla
- Tetrabrik
- Polietileno de baja densidad (PEBD) o film
- Aluminio
- Acero



Figura 1.12 Cabina de selección manual

Bajo la cabina de selección hay silos a los que los seleccionadores arrojan los productos (las cuatro fracciones primeras) a través de tolvinos. En los silos donde se depositan botellas, existen mecanismos pincha botellas para facilitar su prensado posterior.

Por otro lado, tanto en la entrada como en la salida de la cabina están instalados dos separadores neumáticos para la recuperación del polietileno de baja densidad, es decir, plástico film.

En el extremo final de la cabina sobre las cintas de clasificación existen separadores magnéticos con los que se recuperan materiales férricos. Estos productos, especialmente latas de acero, son conducidos mediante una cinta transportadora a la prensa de férricos. Otra cinta transportadora que conduce el material restante pasa por un equipo de corrientes de Foucault con el que se recuperan los materiales de aluminio que se depositan en un contenedor y posteriormente se prensan para su transporte.

El flujo que continúa en la cinta transportadora tras superar las diferentes etapas de selección es considerado como rechazo del proceso junto con el primer hundido del tromel y que posteriormente serán trasladados a un vertedero controlado.

Los productos recuperados acumulados en todas las tolvas bajo la plataforma principal son conducidos de forma automática hasta la prensa enfardadora que recibe de forma alternativa los diferentes materiales. Allí los distintos materiales son prensados y embalados separadamente para ser retirados por los recicladores.



Figura 1.13 Prensa de subproductos

2. ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE RECHAZOS EN PLANTAS DE SELECCIÓN DE ENVASES EN ESPAÑA.

2.1 OBJETIVO:

El objetivo de este capítulo es llegar a cuantificar la cantidad de envases que entran en las instalaciones de recuperación de materiales o plantas de clasificación de envases ligeros en el ámbito nacional. Además se pretende determinar, que porcentaje de estos envases no son recuperados, y por lo tanto son susceptibles de valorizar de alguna forma, ya que principalmente su destino es el vertedero.

2.2 METODOLOGÍA:

Para llegar al objetivo y conocer estos datos se ha seguido una serie de pasos, que se resumen en los siguientes puntos:

- Establecer cuál va ser la información que se necesita “a priori” para llegar a cumplir el objetivo de estimar cual es la generación de rechazos en las plantas de clasificación de envases en España.
- Búsqueda bibliográfica de la información necesaria para poder llegar a conocer cuáles son las entradas a las plantas de clasificación de envases y su rendimiento. Además de posibles estudios que hayan sido publicados anteriormente y que estén relacionados.
- Procesado y tratamiento de datos para la obtención de los resultados.
- Calculo de los índices de recogida, con los que podremos conocer los rendimientos globales del sistema de recogida selectiva de envases.

2.2.1 INFORMACIÓN NECESARIA

El primer paso que se ha de dar para llegar a estimar el rechazo que se genera en las plantas de selección de envases, es definir qué información se necesita para ello. A continuación, en la tabla 2.1 se expone un listado resumen de todos los datos y la información necesaria “a priori”.

Tabla 2.1 Resumen de la información necesaria.

INFORMACIÓN NECESARÍA	
Numero de PSE existentes en España	
Tipologías de las PSE existentes	
Localización de las PSE existentes	
Balance de materia de cada una de las PSE (Figura 2.1.)	Entrada Bruta de envases en la PSE (E_{BE}), t/año
	Salida Neta de Material Recuperado en la PSE (S_{NMR}), t/año
	Rechazo producido en la PSE, t/año
Rendimiento de las PSE	
Porcentaje de elementos propios ¹ que entran en las PSE	
Porcentaje de elementos improprios ² que entran en las PSE	
Municipios que depositan sus residuos de envases en cada una de las PSE	
Existencia de flujos intercomunitarios de residuos de envases entre las CCAA	
Generación de RSU en España y sus CCAA	
Generación de residuos de envases en España y sus CCAA	
Composición de las RSU, especialmente de las fracciones que conforman los envases	

En la tabla anterior, 2.1, sobre la información encasaría, se consideran material recuperados los envases que se recuperan en las plantas de selección de envases junto con el papel y cartón que en algunas de ellas también se recupera.

Un balance de materia general para las PSE, sería el mostrado a continuación, en el se ven todas las corrientes básicas que entran y salen de las plantas de selección y cuyos valores interesa conocer.

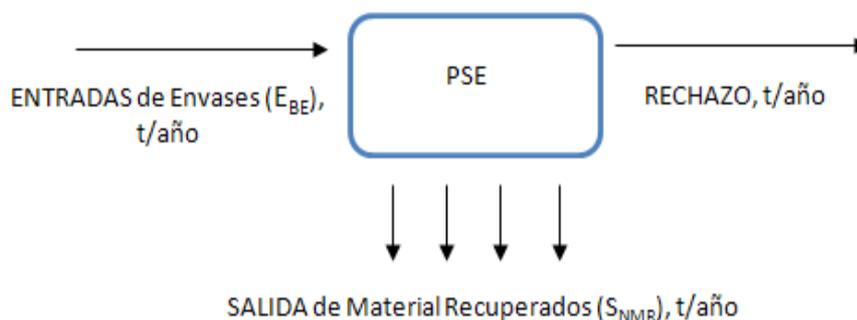


Figura 2.1 Balance de materia general de PSE

¹ Entendiendo como porcentaje de propios: porcentaje sobre el total de material depositado en los contenedores específicos, que corresponde a envases plásticos, envases metálicos y cartón para bebidas. Es un indicador de la “pureza” del material recogido. Definición dada por ECOEMBES.

² Porcentaje de materiales que no corresponde a envases de plástico, metálicos o brik pero que sí que son depositados en los contenedores amarillos y por lo tanto entran en las PSE, como son: textiles, juguetes, plásticos film, zapatos, etc.

Por otro lado también se tiene que establecer cuál va a ser el año de referencia para el estudio, en este caso se define el año 2010 como el año de referencia.

2.2.2 BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

Para encontrar toda esta información se podrían seguir dos caminos. Por un lado llevar a cabo encuestas a todas las plantas de selección de envases españolas en las que mediante las preguntas a realizar se llegaran a conocer todos los datos necesarios. El otro camino a seguir sería realizar una intensa búsqueda bibliográfica en Internet, para en distintas webs encontrar toda esta información.

Para este estudio se vio que la mejor opción era la búsqueda bibliográfica en la red, ya que se observó que existían distintas webs, como la del Ministerio de Medioambiente, consejerías y gobiernos autonómicos, consorcios de residuos, ECOEMBES, etc., podían ofrecer la información necesaria. Además, las encuestas son un procedimiento que supone una gran inversión de tiempo y conllevan la dificultad adicional de que las diferentes instituciones, empresas, ayuntamientos, etc. que se consulten no estén dispuestas a proporcionarnos la información.

Así pues, en la Anexo 1, se expone un listado de todas las webs visitadas para conseguir toda la información y llegar a estimar la producción de rechazo, objetivo de este punto del estudio.

En primer lugar se buscó la información a través del Ministerio de Medio Ambiente y del Instituto Nacional de Estadística. Obteniendo de estas fuentes los datos globales necesarios, tanto de cantidad como de composición, de los RSU a nivel nacional como autonómico. Parte de esta información también ha sido recogida a partir de los diferentes Gobiernos de las Comunidades Autónomas, ya que son estas las que tienen la competencia respecto a la gestión de los residuos.

A la hora de obtener la información sobre cada una de las plantas existentes en nuestro territorio y sus balances de materia debemos acudir a la “Información a los Ciudadanos” proporcionada por ECOEMBES, entidad encargada del Sistema Integrado de Gestión (SIG) implantado en España. A través de ECOEMBES se conoció el número de plantas existentes en España, así como su distribución dentro de las Comunidades Autónomas. Por otro lado también proporciona información sobre el balance de materia de cada una de las plantas, facilitando los datos de las entradas, salidas, rendimientos y rechazos de las mismas, para distintos años.

Por otra parte ECOEMBES también proporciona información sobre la recogida selectiva de envases ligeros por municipios. Encontrando dentro de este apartado, entre otros datos, el porcentaje de elementos propios que se depositan en los contenedores de cada uno de los municipios españoles.

Llegados a este punto, conociendo cuales son los municipios que llevan sus residuos de envases a cada una de las plantas, se puede llegar a estimar cuál es el porcentaje de impropios que entran en cada una de ellas. Y a partir de este dato calcular qué parte del rechazo que

generan son impropios y qué parte son envases no recuperados y que son susceptibles de valorizar de alguna manera, en el caso de este estudio, energéticamente.

Para conocer cuál es el área de influencia de cada una de las plantas de clasificación de envases, es decir, que municipios tratan sus residuos de envases en ellas, hay que acudir ya a información más específica de cada una de las plantas. Para ello, se busco información en las distintas diputaciones, ayuntamientos, mancomunidades o consorcios de residuos a las que pertenece cada una de las plantas. También se recurrió a información más técnica procedente de las revistas Infoenviro Residuos (Revista Técnica sobre la Industria Medioambiental) y Retema (Revista Técnica del Medio Ambiente), encontrando, además, en estas fuentes información sobre el funcionamiento de cada planta y el tipo de tecnología que utilizan en sus procesos de selección.

2.2.3 TRATAMIENTO DE DATOS

Una vez obtenida ya toda la información necesaria, se paso al proceso de tratamiento de datos. Mediante el procesado de los mismos se puede llegar a estimar cual es la generación de rechazos en las plantas de clasificación de envases, además de conocer que parte de este rechazo son envases no recuperados y que parte son elementos impropios.

Para poder ha llegar a calcular esto, partimos de los datos del balance de materia de cada una de las plantas, del porcentaje de propios encontrados en los contenedores de recogida de envases ligeros de los municipios de España y por ultimo de cuáles son los municipios que llevan sus envases ligeros recogidos selectivamente a cada una de las plantas.

Partiendo del rendimiento de cada una de las plantas se puede obtener cual es el porcentaje de los residuos que procesan que no son entregados a recuperadores o recicladores, y que en la mayoría de los casos van a parar a vertedero, es decir que porcentaje de rechazo tienen.

Conociendo los municipios del área de influencia de cada planta y el porcentaje de propios encontrados en sus contenedores, se puede estimar del porcentaje de impropios que entran en cada una de las plantas. Siendo:

$$\% \text{ impropios} = 100 - \% \text{ de propios}$$

Ecuación 2.1

Para llevar a cabo esta estimación, se recurrió a una media ponderada del porcentaje de elementos propios encontrados en los contenedores de los diez municipios de mayor población que llevan sus envases a cada planta. Y utilizando la ecuación anterior, ecuación 2.1 se obtiene cual es el porcentaje de impropios entrantes en cada caso.

Finalmente conocido este dato ya se puede obtener que parte del rechazo está compuesto por residuos impropios y que parte del rechazo son envases ligeros no recuperados, ya que:

% Envases no recuperados = % de rechazo de planta - % de improprios

Ecuación 2.2

Además, con los datos obtenidos, se puede conocer qué porcentaje de materiales reciclables se han recogido correctamente con la ayuda de dos índices de recogida de envases, el Grado de Separación y el Grado de Recuperación de envases. A continuación se explica en que consisten cada uno de ellos.

2.2.4 ÍNDICES DE RECOGIDA

Estos índices son un instrumento mediante el cual podemos evaluar el rendimiento y la eficacia de los sistemas de recogida selectiva implantados. Permiten también obtener información sobre la cantidad de residuos de envases que se recuperan, frente a la cantidad potencial de materiales reciclables presentes en los RSU.

Grado de Separación de envases:

Hace referencia a la cantidad, en peso, de envases en bruto desviados a las plantas de selección de envases en relación a la cantidad de ese material en los RSU.

$$GS = \frac{\text{Peso del material reciclable bruto recogido}}{\text{Peso de material reciclable (envases) en los RSU}} = \frac{Q_{\text{Envases Bruto}}}{Q_{\text{Envases Generados}}}$$

Ecuación 2.3

Grado de Recuperación de envases:

Es una relación entre la cantidad, en peso, de los envases netos separados en las plantas de selección de envases y la cantidad total de envases en los RSU.

$$GS = \frac{\text{Peso total de reciclables limpios}}{\text{Peso de material reciclable (envases) en los RSU}} = \frac{Q_{\text{Envases Netos}}}{Q_{\text{Envases Generados}}}$$

Ecuación 2.4

2.3 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

2.3.1 GENERACIÓN DE RESIDUOS URBANOS EN ESPAÑA Y SUS COMUNIDADES AUTÓNOMAS

En los últimos 10 años, la generación de residuos en España ha ido en aumento debido al incremento poblacional que hemos sufrido, unido a una mejora del nivel de vida. El desenfadado consumismo y la doctrina del “usar y tirar” han provocado también que las tasas de generación de residuos hayan aumentado considerablemente.

El Instituto Nacional de Estadística (INE) se encarga de recopilar información de España y las Comunidades Autónomas que la forman sobre numerosas temáticas; entre ellas temas medioambientales, como la generación de residuos sólidos urbanos.

En la tabla 2.2 se dan los datos de generación de residuos urbanos totales para España, así como para cada una de las Comunidades Autónomas para el año 2009. Los datos se han obtenido de las encuestas realizadas por el INE para el año 2009, último año disponible.

Tabla 2.2 Generación de RSU en España. FUENTE: INE

CCAA	Total RSU generados (tn)	Tasa de generación de Residuos (Kg/hab. Año) ¹
Andalucía	4.465.170	537,78
Aragón	729.387	542,10
Principado de Asturias	562.082	517,91
Islas Baleares	613.827	560,35
Canarias	1.151.349	547,22
Cantabria	345.953	587,12
Castilla La Mancha	1.150.673	552,86
Castilla y León	1.580.738	616,63
Cataluña	3.825.799	511,78
Comunidad Valenciana	2.341.810	459,66
Extremadura	485.200	440,13
Galicia	1.285.605	459,79
La Rioja	159.498	495,79
Comunidad de Madrid	3.580.451	560,59
Comunidad Foral de Navarra	418.018	662,91
País Vasco	1.238.766	570,29
Región de Murcia	749.284	517,99
TOTAL ESPAÑA	24.758.113	529,63

¹ Para calcularlo se ha utilizado las cifras de población proporcionadas por el INE, en concretos las del Padrón municipal del año 2009.

Como se observa en la tabla, la media española de generación de RSU per cápita para el año 2009 se sitúa en 530 kg por habitante y año. Lo que supone que al día en España se generan 1,45 kilogramos de RSU por habitante.

Las mayores tasas de generación de RSU se dan en la Comunidad Foral de Navarra, seguido por Castilla y León. En el otro extremo esta Extremadura como la comunidad donde menos residuos se generan per cápita, seguida por la Comunidad Valenciana.

2.3.2 COMPOSICIÓN MEDIA DE LOS RESIDUOS URBANOS EN ESPAÑA

Además de las cantidades de residuos urbanos generados, también es importante conocer la composición de los mismos. La composición física es el término utilizado para describir los componentes individuales que constituyen los RSU y su distribución relativa, normalmente definida en porcentajes por peso.

La composición de los residuos sólidos depende en gran medida del nivel de vida, de la estación del año en la que nos encontremos, del modo de vida de la población, de la existencia de zonas turísticas, del clima y del día de la semana (López Garrido et al. 1975; Tchobanoglous et al. 1994).

También existe una diferencia importante en la composición de los residuos urbanos en función del desarrollo del país o de la zona, observándose mayor cantidad de plástico, vidrio y papel/ cartón y menor de materia orgánica a media que el nivel de desarrollo es mayor (Seoánez, 1998).

Por otro lado, es destacable la diferencia que podemos encontrar en función de la zona geográfica, por la influencia del clima y las costumbres alimentarias. Principalmente la cantidad de materia orgánica es la que más varía entre zonas del norte y zonas más mediterráneas.

A nivel español disponemos de la composición media ponderada dada por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente para el año 2004 (PNIR 2007 – 2015), tabla 2.3:

Tabla 2.3 Composición media de RSU en España. FUENTE: MAGRAMA, PNIR 2007 - 2015

Componente	Composición media (%)
Materia Orgánica	44,0
Papel - Cartón	21,0
Plástico	10,6
Vidrio	7,0
Metales férricos	3,4
Metales no férricos	0,7
Maderas	1,0
Otros	12,3
Total	100,0

Hay tener en cuenta que dentro del porcentaje de papel/cartón de la tabla 2.3, se encuentran contabilizados los envases briks, que también son envases y que interesa conocer

por separado ya que a la hora de calcular la cantidad de material reciclable que encontramos en los RSU se tiene que tener en cuenta.

El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente no proporciona qué porcentaje del papel/cartón corresponde a envases briks, pero se puede hacer una estimación a partir de los datos de composición proporcionados por algunos gobiernos autonómicos. Tras la revisión de los datos de composición de todas las CCAA, se ha encontrado que algunas de las Comunidades si que proporcionaban este dato. A continuación en la tabla 2.4, se expone los datos proporcionados por estas CCAA, así como la relación que existe entre el porcentaje de papel/cartón y el porcentaje de briks para cada una de ellas. Para más información consultar el Anexo 2, donde se encuentran las composiciones completas de cada una de las CCAA consultadas.

Tabla 2.4 Estimación del porcentaje de envases briks en la fracción papel/cartón

	Componente	% RSU	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 PARA ESPAÑA			0,064

A partir de los datos proporcionados por estas siete Comunidades Autónomas, podemos conocer como es la relación entre el porcentaje de papel/cartón y el porcentaje de briks existentes en los RSU de las mismas.

La media de estos valores la se puede tomar como valor estimado para España, siendo en este caso la relación entre el porcentaje de papel/cartón y el porcentaje de envases briks de 0,064. O lo que es lo mismo, algo más de una quinceava parte del papel/cartón encontrado en los RSU corresponden a envases briks.

Así pues, tras realizar la estimación de que porcentaje de la fracción papel/cartón corresponde a los envases briks, la composición media para España de los RSU seria la que se muestra a continuación, en la tabla 2.5:

Tabla 2.5 Composición media de RSU en España, teniendo en cuenta los Briks.

Componente	Composición media (%)
Materia Orgánica	44,0
Papel - Cartón	19,7
Plástico	10,6
Vidrio	7,0
Briks	1,3
Metales férricos	3,4
Metales no férricos	0,7
Maderas	1,0
Otros	12,3
Total	100,0

En base a esta composición final y según la ley de envases, el 42,7% de los RSU se pueden considerar material potencialmente reciclable. Este material está conformado por las fracciones de papel/cartón (19,7%), vidrio (7%) y envases (16%).

Dentro de este estudio, el material reciclable que interesan son los envases, siendo componentes que conforman esta fracción: plástico (10,6%), briks (1,3%), metales férricos (3,4%) y metales no férricos (0,7%). Estos materiales son los que se recogen en los contenedores amarillos de la recogida selectiva y por tanto la materia prima que entra en las plantas de selección de envases.

2.3.3 PLANTAS DE SELECCIÓN DE ENVASES LIGEROS EN ESPAÑA Y TIPOLOGÍAS

Las plantas de selección de envases (PSE) son aquellas instalaciones a las que se trasladan los envases ligeros procedentes del contenedor amarillo para su posterior clasificación por materiales. A finales de 2010, España contaba con 94 plantas de selección de envases ligeros, de las cuales, 43 disponían de sistemas de detección automática de materiales como el PET, PEAD, Film, Plástico Mezcla y Cartón para Bebidas.

Algunas de las plantas que no utilizan sistemas de detección automática, estas en proceso de automatización actualmente, por lo que se espera que en un futuro el número de plantas que utilizan este tipo de tecnología en España vaya en aumento.

La distribución de las plantas de selección de envases (PSE) a nivel de Comunidades Autónomas en España es el siguiente:

ANDALUCIA:

- PSE Manuales:
 - Planta de recuperación y compostaje de Albox (Albox)
 - Planta selección de envases ligeros Las Calandrinias (Jerez de la Frontera)
 - Centro medioambiental Sur de Europa (Los Barrios)
 - Centro medioambiental Campiña 2000, planta de recuperación y compostaje (Marchena)
 - Centro medioambiental Matagrande (Estepa)
 - Centro medioambiental Costa del Sol (Casares)
 - Centro medioambiental Loma de Manzaneres (Alhendín), en proceso de automatización
 - Planta de selección de envases ligeros de Ibros (Ibros)
 - Planta de selección de envases ligeros de Cueva de los Medina (Almería), en proceso de automatización
 - Planta selección envases ligeros de Huelva (Huelva)
 - Centro medioambiental de Valsequillo (Antequera)
 - Planta de recuperación y compostaje de Gador (Gador)
 - Centro medioambiental Los Ruices (Málaga)

- PSE Automáticas:
 - Centro medioambiental de Montalbán (Montalbán)
 - Planta selección envases ligeros El Barrero (Utrera)
 - Centro de tratamiento Montemarta – Conica (Alcalá del Guadaíra)
 - Planta de selección de envases ligeros de Trigueros (Trigueros)
 - Centro medioambiental La Vega (Alcalá del Río)
 - Centro de recepción y reciclaje del Puerto de Santa María (Puerto de Santa María)

ARAGÓN:

- PSE Automáticas:
 - Complejo para el tratamiento de RU de Zaragoza (Zaragoza)
 - Planta de selección de envases ligeros de Huesca (Huesca)

PRINCIPADO DE ASTURIAS:

- PSE Automáticas:
 - Planta de selección de envases ligeros del Consorcio para la Gestión de Residuos de Asturias (Serín)

ISLAS BALEARES:

- PSE Manuales:
 - Planta de selección de envases ligeros de Menorca (Mahón)

- PSE Automáticas:
 - Planta de selección de envases ligeros de Mallorca (Marachí)

CANARIAS:

- PSE Manuales:
 - Complejo medioambiental El Zurita (Fuerteventura)
 - Complejo medioambiental de Tenerife (Arico)
 - Complejo medioambiental Salto del Negro (Las Palmas de Gran Canaria)
- PSE Automáticas:
 - Complejo medioambiental Zonzamas (Lanzarote)

CANTABRIA:

- PSE Manuales:
 - Centro de recuperación y reciclaje de Candina (Santander)
 - Centro de recuperación y reciclaje El Mazo (Torrelavega)

CASTILLA LA MANCHA:

- PSE Manuales:
 - Centro de tratamiento de RU de Monte Grajas (Hellín)
 - Centro de tratamiento de RU de Talavera (Talavera de la Reina)
 - Centro de tratamiento de RU de Cuenca (Cuenca)
 - Centro de tratamiento de RU de Guadalajara (Torija)
 - Centro de tratamiento de RU de Ciudad Real (Almagro)
- PSE Automáticas:
 - Centro de tratamiento de RU de Albacete (Albacete)
 - Centro de tratamiento de RU de Alcázar de San Juan (Alcázar de San Juan)

CASTILLA Y LEÓN:

- PSE Manuales:
 - Centro de tratamiento de RU de Valladolid (Valladolid)
 - Centro de tratamiento de RU de la provincia de Palencia (Palencia)
 - Centro de tratamiento de RU Ávila Norte (Urraca Miguel)
 - Planta de selección de envases de León (León)
 - Planta de selección de envases de Ponferrada (Ponferrada)
 - Centro de tratamiento de RU de Burgos (Burgos)
 - Centro de tratamiento de RU Ávila Sur (Arenas de San Pedro)
 - Planta de selección de envases de Villamayor (Salamanca)
- PSE Automáticas:
 - Centro de tratamiento de RU de Zamora (Zamora)

- Centro de tratamiento de RU y de envases de Abajas (Abajas)
- Centro de tratamiento de RU Los Huertos (Segovia)
- Centro de tratamiento de RU de Golmayo (Soria)

CATALUÑA:

- PSE Manuales:
 - Planta de selección de residuos inorgánicos Molins de Rei (Molins de Rei), en proceso de automatización
 - Planta de selección de envases de Vilafranca de Penedés (Vilafranca de Penedés)
 - Planta de selección y reciclaje de envases ligeros de Berga (Berga)
 - Planta de selección de envases ligeros y de papel y cartón de Malla (Malla)
 - Planta de selección de envases ligeros de Celra (Celra)
- PSE Automáticas:
 - Centro de tratamiento de RU Gavà – Viladecans y Gavà 2 (Gavà)
 - Ecoparque 2 de Montcada i Reixac (Barberà del Vallès)
 - Centro integral de tratamiento de RU Can Mata (Hostalets de Pierola)
 - Centro de tratamiento de RU Les Valls (Santa María de Palautordera)
 - Planta de selección de envases ligeros de Llangostera (Llangostera)
 - Planta de selección de envases ligeros de Constantí (Constantí)
 - Planta de selección de multiproductos y transferencia de RU de Osona (Vic)

COMUNIDAD VALENCIANA:

- PSE Manuales:
 - Planta de selección de envases ligeros de Alzira (Alzira)
 - Planta de RSU del Baix Vinalopó (Elche)
- PSE Automáticas:
 - Planta de selección de envases ligeros de Picassent (Picassent)
 - Planta de selección de envases ligeros de Castellón (Castellón de la Plana)
 - Planta de selección de envases ligeros de Benidorm (Benidorm), en proceso de remodelación

EXTREMADURA:

- PSE Manuales:
 - Ecoparque Navalmoral de la Mata (Navalmoral de la Mata)
 - Ecoparque Talarrubias (Talarrubias)
 - Ecoparque Badajoz (Badajoz)
 - Ecoparque Mérida (Mérida)
 - Ecoparque Mirabel (Mirabel)
- PSE Automáticas:
 - Ecoparque Villanueva de la Serena (Villanueva de la Serena)
 - Ecoparque Cáceres (Cáceres)

GALICIA:

- PSE Manual:
 - Complejo medioambiental de Nostián (A Coruña), planta de clasificación de residuos “todo en uno”
 - Complejo medioambiental Serra do Barbanza (Lousame), planta de clasificación de residuos “todo en uno”
- PSE Automáticas:
 - Complejo medioambiental de Cerceda (Cerceda)

LA RIOJA:

- PSE Automáticas:
 - Ecoparque la Rioja (Logroño)

COMUNIDAD DE MADRID:

- PSE Manuales:
 - Planta de selección de envases ligeros de Fuenlabrada (Fuenlabrada)
 - Centro Las Dehesas, planta de selección de envases ligeros (Madrid)
- PSE Automáticas:
 - Planta de selección de envases ligeros de Colmenar Viejo (Colmenar Viejo)
 - Planta de selección de envases ligeros de Nueva Rendija (San Fernando de Henares)
 - Planta de selección de envases ligeros de Pinto (Pinto)
 - Centro La Paloma, planta de selección de envases ligeros (Madrid)

COMUNIDAD FORAL DE NAVARRA:

- PSE Manuales:
 - Centro de tratamiento de RU de Góngora (Aranguren)
- PSE Automáticas:
 - Planta de selección de envases ligeros El Culebrete (Tudela)
 - Planta de selección de envases de Peralta (Peralta)
 - Planta de reciclaje y compostaje de Carcar (Carcar)

PAIS VASCO:

- PSE Automáticas:
 - Planta de selección de envases ligeros de Júndiz (Júzdin)
 - Planta de selección de envases ligeros de Amorebieta (Amorebieta)
 - Planta de selección de envases de Urnieta (Urnieta)
 - Planta de selección de envases de Legazpi (Legazpi)

REGIÓN DE MURCIA:

- PSE Manuales:
 - Planta de reciclaje y compostaje de Ulea (Ulea)
 - Centro de gestión de residuos de Lorca (Lorca)

- PSE Automáticas:
 - Planta de selección de envases de Murcia (Murcia)

Los datos más actuales y completos sobre el balance de materia de cada una de las plantas disponibles en ECOEMBES son los del año 2010, pero no todas las plantas de selección de envases habían cargado los datos de ese año. En este estudio finalmente disponemos de los datos para el 2010 de 85 de las 94 plantas existentes en España, faltando información de 9 de ellas, expuestas en la tabla 2.6 Para estas plantas se han tomado los datos de otros años que si que estaban disponibles.

Tabla 2.6 Plantas de selección de las que no se disponen datos, o de las que se han cogido los datos de otros años por no disponer de los del 2010.

PLANTA	DATOS BALANCE MATERIA	DATOS IMPROPIOS
Planta de selección de residuos inorgánicos Molins de Rei	-	-
Planta de selección de envases ligeros y de papel y cartón de Malla	-	-
Planta de selección de multiproductos y transferencia de RU de Osona	Datos 2009	Datos 2009
Planta de selección de envases ligeros de Benidorm	Datos 2008	Datos 2008
Complejo medioambiental de Nostián	Datos de entrada de residuos procedentes del contenedor resto	-
Complejo medioambiental Serra do Barbanza	Datos de entrada de residuos procedentes del contenedor resto	-
Centro Las Dehesas	-	-
Centro La Paloma	-	-
Planta de reciclaje y compostaje de Carcar	Datos 2008	-

2.3.4 BALANCE DE MASAS DE LAS PLANTAS DE SELECCIÓN DE ENVASES Y ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE RECHAZOS EN ESPAÑA

El balance de materia general o “tipo” para cada una de las plantas que podemos obtener a partir de los datos que proporciona ECOEMBES es el siguiente:

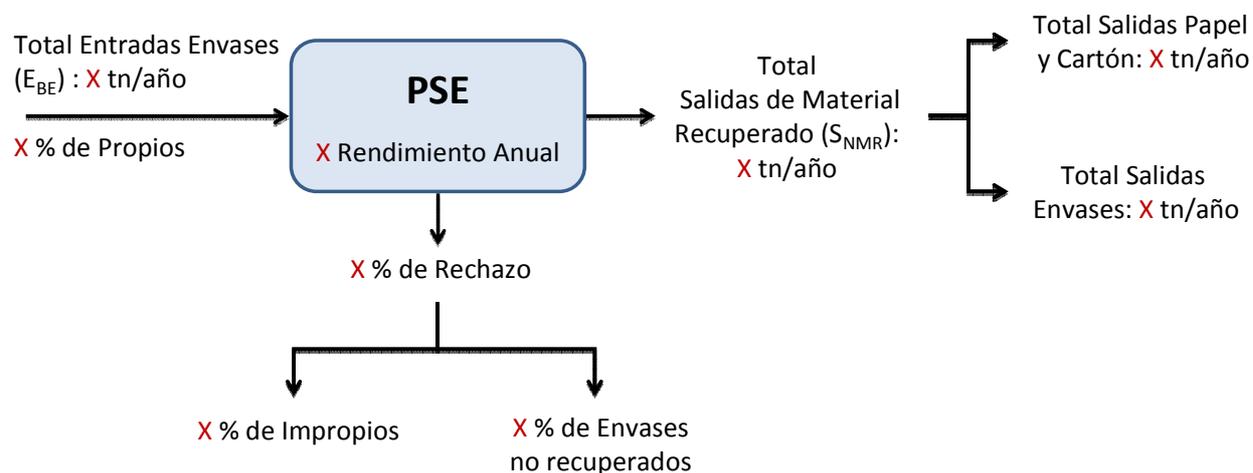


Figura 2.2 Balance de materia “tipo” para las plantas de selección de envases

En el Anexo 3 se muestra una tabla con los valores que toman cada uno de los flujos de este balance (y que en la figura 2.2 están representados con un “X”) para cada una de las plantas de selección de envases ligeros existentes en España.

A partir de los datos de cada uno de los balances de materia se puede estimar cual es la generación de rechazos, tanto a nivel nacional como a nivel de cada una de la Comunidades Autónomas españolas, así como que porcentaje de estos rechazos son impropios y que porcentaje son envases no recuperados. Para el caso de las ciudades autónomas españolas, Ceuta y Melilla, ECOEMBES no proporciona datos para ellas.

En este punto se debe hacer hincapié en la existencia de flujo de residuos de envases entre algunas comunidades autónomas, que hacen que los resultados para algunas de las comunidades se vean distorsionados. Teniendo en cuenta residuos de envases por exceso para algunas comunidades (en el caso que sea una comunidad autónoma receptora de residuos de envases) o por defecto para otras (en el caso de que sea una comunidad autónoma que envía residuos de envases a otra).

Estos flujos de residuos de envases intercomunitarios se producen entre Aragón, que envía residuos de envases procedentes de muchas de sus comarcas, a otras comunidades autónomas como Cataluña, Navarra y la Comunidad Valenciana. Y entre el País Vasco, que envía residuos de envases de una de sus comarcas a la planta de selección de envases de La Rioja.

Las comarcas de Aragón que actúan como emisoras de residuos y las plantas receptoras de los mismos son las siguientes:

- Planta de selección de envases ligeros de Constantí (Cataluña), recibe los residuos de las comarcas de: Sobrarbe, Ribagorza, Somontano de Barbastro, Cinca Medio, La Litera, Bajo Cinca, Bajo Aragón – Caspe, Bajo Martín y Matarraña.
- Planta de selección de envases ligeros El Culebrete (Navarra), recibe los residuos de las comarcas de: Cinco Villas, Tarazona y El Moncayo, Campo de Borja, Ribera Alta del Ebro, Aranda, Valdejalón, Comarca de Calatayud, Campo de Daroca, parte de la Comarca de Zaragoza, Andorra – Sierra de Arcos y Jiloca.
- Planta de selección de envases ligeros de Castellón (Comunidad Valenciana), recibe los residuos de las comarcas de: Bajo Aragón, Cuencas Mineras, Comarca de Teruel, Maestrazgo, Sierra de Albarracín y Gudar – Javalambre.

En el caso del País Vasco el flujo de residuos es el siguiente:

- Ecoparque La Rioja (La Rioja), recibe los residuos de envases de la comarca Cuadrilla de Laguardia-Rioja Alavesa.

A continuación se exponen los resultados obtenidos, tanto a nivel nacional como autonómico. Para obtener estos resultados se han ponderado los resultados obtenidos en las plantas de selección de envases de cada Comunidad Autónoma en función de los kilogramos de entrada de residuos de envases en cada una de ellas.

2.3.4.1 Balances de materia

A continuación, se muestran los valores que toman los flujos de materiales en el balance de materia para todas las Comunidades Autónomas y para la totalidad de España. Estos datos se han obtenido a partir de los balances de materia de las PSE proporcionados por ECOEMBES para el año 2010 (a excepción de algunas plantas cuyos datos eran de otros años o no estaban disponibles).

Como se puede observar en la tabla 2.7, las Comunidades Autónomas donde mayor cantidad de residuos de envases entran a las plantas de selección (Entrada bruta de envases, E_{BE}) son: Cataluña (23,42%), Andalucía (16,57%) y seguidamente la Comunidad de Madrid (12,21%); coincidiendo con las comunidades con mayor población. Hay que tener en cuenta que en las entradas de la Comunidad de Madrid no se contabilizan los envases generados en Madrid capital, ya que no se tiene este dato, por lo que cabría suponer que la Comunidad de Madrid aporta un porcentaje mayor de residuos de envases en relación al total español.

En el otro extremo encontramos las Comunidades que menor aportación hacen respecto al total de España: La Rioja con un 0,93% y Cantabria con un 0,99%, coincidiendo también con las Comunidades de menor población de España.

En cuanto a la cantidad de material recuperado (Salida Neta de Material Recuperado, S_{NMR}), se puede ver también en la tabla 2.7, que tanto las Comunidades que se encuentran a la cabeza en cantidad de material recuperado, como las que se encuentran a la cola, son las mismas que en el caso de las entradas a planta. Para poder comparar de una forma más exacta estos valores se ha calculado la cantidad de materiales recuperados, en relación al número de habitantes de cada CCAA, siendo la media para España los 6,22 Kg/hab. año. Por encima de esta media tan solo encontramos 7 de las 17 CCAA que conforman España, destacando Navarra con sus 13,86 Kg/hab. año, siendo este valor el doble que la media española. Le siguen las comunidades de La Rioja y País Vasco con unos 10,68 y 10,01 Kg/hab. año, como las comunidades con una mayor cantidad de materiales recuperados en las Plantas de selección de envases por habitante.

Las comunidades donde menor cantidad de materiales se recuperan son Galicia (3,71 kg/hab. año), Canarias (3,83 Kg/hab. año) y Castilla y León (4,17 kg/hab. año).

Tabla 2.7 Balances de materias de las PSE por Comunidades Autónomas. FUENTE: ECOEMBES

CCAA	E_{BE} (tn/año)	% ENTRADAS sobre el total de España	S_{NMR} (tn/año)	SALIDAS ENVASES (tn/año)	SALIDAS PAPEL/CARTON (tn/año)	S_{NMR} (Kg/hab * . año)
ANDALUCIA	83.992	16,57	50.060	49.226	835	6,03
ARAGON ¹	12.195	2,41	8.018	8.018	0	5,96
PRINCIPADO DE ASTURIAS	10.284	2,03	7.043	6.871	172	6,49
ISLAS BALEARES	14.427	2,85	7.246	7.246	0	6,61
CANARIAS	13.635	2,69	8.051	8.051	0	3,83
CANTABRIA	5.037	0,99	3.450	3.236	214	5,86
CASTILLA LA MANCHA	17.922	3,53	11.593	11.593	0	5,57
CASTILLA Y LEON	19.889	3,92	10.700	10.661	39	4,17
CATALUÑA ²	118.732	23,42	63.723	63.609	114	8,52
COM. VALENCIANA ³	50.271	9,92	31.741	31.741	0	6,23
EXTREMADURA	10.331	2,04	4.932	4.932	0	4,47
GALICIA ⁴	21.054	4,15	10.373	10.373	0	3,71
LA RIOJA ⁵	4.717	0,93	3.437	3.437	0	10,68
COM. MADRID ⁶	61.911	12,21	33.098	32.366	732	5,18
COM. FORAL DE NAVARRA ⁷	18.267	3,60	8.737	8.211	526	13,86
PAIS VASCO ⁸	31.050	6,12	21.753	21.668	86	10,01
REG. MURCIA	13.286	2,62	6.573	6.387	186	4,54
ESPAÑA	507.001	100	290.528	287.625	2.903	6,22

* Para calcularlo se ha utilizado las cifras de población del Padrón municipal del año 2009 (INE).

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.

Por otro lado, también cabe destacar que en algunas de las Plantas de selección de envases de algunas Comunidades Autónomas, a parte de los envases propiamente dichos, también se recupera parte del papel/cartón (tabla 2.7). Este debería depositarse en el contenedor azul, y según la definición de ECOEMBES son materiales impropios que entran en las plantas de selección de envases.

A nivel de España, de todo el material recuperado en las plantas de selección de envases, casi el 1% corresponde a papel/cartón.

Por otro lado se puede estimar, a partir de los datos de generación y composición de los RSU, que en España se generan 4.866.455 tn/año de papel/cartón, por lo que las 2.903 tn/año de papel/cartón que se recuperan en las Plantas de Selección de envases supone un 0,06% del que debería recuperarse en las instalaciones de recuperación de este material.

2.3.4.2 Índices de recogida y porcentaje de RSU que entran en las PSE.

A partir de los balances de materia y los datos de generación expuestos anteriormente, se puede conocer qué porcentaje de los RSU entran en las instalaciones de recuperación de materiales o plantas de selección de envases.

Por otro lado, teniendo en cuenta la composición proporcionada por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente, donde los residuos de envases suponen un 16 %, se puede calcular qué cantidad de envases se generan potencialmente en España, así como, qué porcentaje de estos envases potenciales generados son separados (GS, Ecuación 2.3) y entran en este tipo de instalaciones y que porcentaje de los envases potenciales generados son recuperados (GR, Ecuación 2.4) y entregados a recuperadores o recicladores.

Tanto el GS, como el GR son índices de recogida. Como se ha explicado en la metodología, estos índices son un instrumento mediante el cual podemos evaluar el rendimiento y la eficacia de los sistemas de recogida selectiva implantados. Además, permiten también obtener información sobre la cantidad de residuos de envases que se recuperan, frente a la cantidad potencial de materiales reciclables presentes en los RSU.

En la tabla 2.8 se presentan los resultados obtenidos a partir de los balances de materia y los datos de composición y de generación de España y sus Comunidades. Hay que tener en cuenta que estos resultados también se ven afectados por las observaciones de la tabla de los balances de materia (tabla 2.7), las comunidades afectadas por los mismos están marcadas con un asterisco.

Tabla 2.8 Índices de Recogida y % de RSU que entran el PSE

CCAA	RSU GENERADOS (tn/año)	ENV. POTENCIALES GENERADOS Q _{EG} (tn/año)	% RSU ENTRAN A PSE	GS	GR	% Envases entrantes en otras instalaciones de gestión
ANDALUCIA	4.465.170	716.392	1,88	11,72	6,99	88,28
ARAGON*	729.387	117.023	1,67	10,42	6,85	89,58
PRINCIPADO DE ASTURIAS	562.082	90.180	1,83	11,40	7,81	88,60
ISLAS BALEARES	613.827	98.482	2,35	14,65	7,36	85,35
CANARIAS	1.151.349	184.722	1,18	7,38	4,36	92,62
CANTABRIA	345.953	55.505	1,46	9,08	6,22	90,92
CASTILLA LA MANCHA	1.150.673	184.614	1,56	9,71	6,28	90,29
CASTILLA Y LEON	1.580.738	253.614	1,26	7,84	4,22	92,16
CATALUÑA*	3.825.799	613.811	3,10	19,34	10,38	80,66
COM. VALENCIANA*	2.341.810	375.720	2,15	13,38	8,45	86,62
EXTREMADURA	485.200	77.845	2,13	13,27	6,34	86,73
GALICIA *	1.285.605	206.262	1,64	10,21	5,03	89,79
LA RIOJA*	159.498	25.590	2,96	18,43	13,43	81,57
COM. MADRID*	3.580.451	574.448	1,73	10,78	5,76	89,22
NAVARRA*	418.018	67.067	4,37	27,24	13,03	72,76
PAIS VASCO*	1.238.766	198.748	2,51	15,62	10,95	84,38
REG. MURCIA	749.284	120.215	1,77	11,05	5,47	88,95
ESPAÑA	24.758.113	3.972.192	2,05	12,76	7,31	87,24

Así pues, como se ve en la tabla anterior (tabla 2.8), de todos los RSU generados en España, solo un 2,05% entran en las instalaciones de recuperación de materiales o plantas de selección de envases. Si se tiene en cuenta la composición proporcionada por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente, donde los envases suponen un 16 %, se puede decir que hay una gran cantidad de residuos de envases que no se están tratando en este tipo de instalaciones. Es decir, que no son separados en origen y por lo tanto no son recogidos selectivamente. Sin embargo sí que se tratan en otras instalaciones de gestión de RSU, como las Plantas de Compostaje y en las Plantas de Recuperación y Compostaje, donde actualmente se recuperan gran cantidad de materiales que aun hoy en día van al contenedor resto.

Otra forma de hacerse una idea de cuál es la eficacia del sistema de recogida selectiva implantado en la actualidad, es decir en qué medida se separan los residuos de envases en origen, es a partir de uno de los índices de recogida calculados: el Grado de Separación.

Este índice relaciona las entradas de residuos de envases en las PSE con los residuos de envases que se generan potencialmente (calculado a partir de los datos de composición y generación para España y sus Comunidades Autónomas); es decir, que porcentaje de los residuos generados potencialmente entran en las PSE para su recuperación.

El valor de este índice para España es del 12,76%, lo que significa que de todos los residuos de envases generados en España solo un 12,76% son separados en origen y por lo tanto tratados en las instalaciones de recuperación de materiales. El resto, un 87,24% son tratados en otro tipos de instalaciones de gestión de residuos ya que se depositan en el contenedor resto, o simplemente llevados a vertedero.

% de Envases que entran a PSE en España

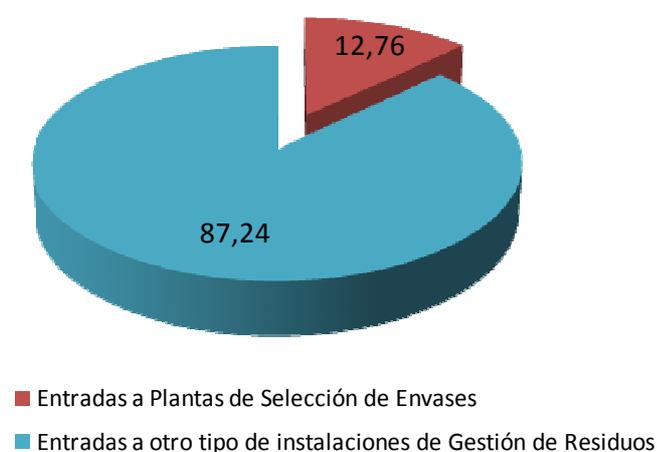


Figura 2.3 % Residuos de envases que entran en PSE en España

En base a estos datos, se puede decir que existe una gran cantidad de residuos de envases que no entran en las plantas de selección de envases españolas, alrededor de un 87% (figura 2.3). Esto nos da una idea de la gran cantidad de envases de residuos que actualmente no son gestionados o son gestionados en otro tipo de instalaciones. Una parte de estos residuos de envases que no se gestionan correctamente tienen como destino el vertedero, sin embargo, si se trataran en las instalaciones adecuadas se podrían recuperar los materiales que están contenidos en la misma.

Por todo esto, se puede decir que la eficacia del sistema de recogida selectiva implantado en España no es muy elevada, ya que hay gran cantidad de envases que no entran en las plantas donde se recuperan este tipo de materiales.

Por encima de este valor nacional hay que destacar las Comunidades de Navarra, donde el Grado de Separación es más del doble (27,24 %), Cataluña donde el Grado de Separación alcanza un valor de 19,34 % y La Rioja con un 18,43 %, como las Comunidades Autónomas donde la separación en origen de los residuos de envases es mayor.

Por debajo de la media nacional se encuentran las comunidades de Canarias con un grado de separación del 7,38 %, Castilla León con un 7,84 % y Cantabria con un 9,08 %, como las comunidades donde la separación de los residuos de envases en origen se menor.

Desde el punto de vista del Grado de Recuperación se pueden sacar otras conclusiones, como conocer cuál es el rendimiento global de las plantas de selección españolas, es decir, conocer de todos los residuos de envases generados potencialmente en España que porcentaje son recuperados en las PSE y por lo tanto son entregados a recuperadores y recicladores. Puesto que este índice relaciona las salidas de residuos de envases en las PSE con los residuos de envases que se generan potencialmente.

El Grado de Recuperación para España es del 7,31 %, o lo que es lo mismo el rendimiento global del sistema de gestión de envases implantado actualmente en España es del 7,31 %. Lo que quiere decir, que de todos los envases generados en España, solo una pequeña parte (7,31%) se recuperan para su reciclaje en las PSE. Un 5,45% de los envases generados salen como rechazo de estas plantas y no son recuperados. El 87,24% restante, no entran en las PSE pero una parte de ellos se recuperan en otros tipos de plantas como se ha dicho anteriormente.

% de Envases que se recuperan en PSE en España

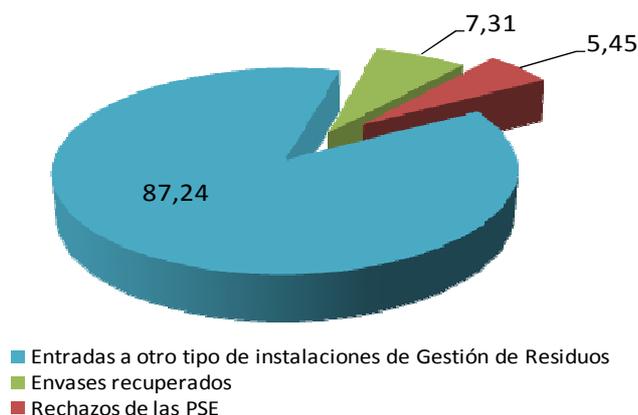


Figura 2.4 % Residuos de envases se recuperan en PSE en España

Como se observa en la figura 2.4, en España existe una gran cantidad de residuos de envases que no se recuperan en las plantas de selección de envases, en torno a un 92%, si se tienen en cuenta los residuos de envases que no entran en las instalaciones de recuperación de materiales y los rechazos de las mismas. Pudiendo decir que, a nivel nacional, una gran cantidad de envases de residuos que actualmente no son recuperados y que, por lo tanto, son susceptibles de valorizar de alguna otra forma, como se intentará hacer en este estudio.

Así pues, finalmente decir que el rendimiento de la recogida selectiva de envases que actualmente está funcionando en España es muy bajo, ya que la mayoría de los envases va a parar al contenedor resto. Por lo que habría que llevar a cabo ciertas mejoras para que la recogida de envases fuera mayor. O incluso buscar nuevas vías de aprovechamiento o

valorización para todos aquellos residuos de envases que en este momento no se están recuperando.

Caber destacar aquellas Comunidades donde se recuperan una mayor cantidad de residuos de envases, y por lo tanto tiene un mayor rendimiento, siendo casi el doble que la media nacional en La Rioja (13,43%) y Navarra (13,03%), y un poco por debajo de ellas el País Vasco con un 10,95% y Cataluña con un 10,30%.

A la cola en cuanto a material recuperado esta Castilla y León con un 4,22% y a las Islas Canarias con un 4,36%.

2.3.4.3 Rendimientos de las PSE, rechazos, impropios y fracción no recuperada

Finalmente en este punto se va a hablar de cuál es el rendimiento de las plantas de selección de envases españolas, a nivel de cada una de la Comunidades Autónomas y a nivel nacional, **dando una idea del potencial que tienen los rechazos de estas instalaciones de gestión de residuos para su valorización**, en el caso de este estudio, una valorización energética.

A continuación, en la tabla 2.9, se expone cuál es el rendimiento de las PSE y que porcentajes de rechazos totales generan, tanto por Comunidades Autónomas como para la totalidad de España. Estos datos se han obtenido a partir de los balances de materia proporcionados por ECOEMBES para el 2010.

Además, gracias a los datos obtenidos también en ECOEMBES del porcentaje de propios en los contenedores amarillos de los municipios españoles, se calculará que parte de ese rechazo está conformado por envases no recuperados y que parte está conformado por elementos impropios.

Así pues, se define como rechazo de las PSE a la fracción conformada por los materiales impropios que entran en las mismas junto con los envases que no son recuperados y que se escapan del sistema de separación.

Como en el punto anterior hay que tener en cuenta que estos resultados también se ven afectados por las observaciones de la tabla de los balances de materia (tabla 2.7), las comunidades afectadas por los mismos están marcadas con un asterisco.

Tabla 2.9 Rendimientos, rechazos, fracción no recuperada e impropios de las PSE. FUENTE: ECOEMBES

CCAA	Entradas en Contenedor		REDIMIENTO ANUAL PSE (%)	RECHAZO (%)	ENVASES NO RECUPERADOS (%)
	IMPROPIOS (%)	PROPIOS (%)			
ANDALUCIA	23,25	76,75	59,60	40,40	17,15
ARAGON*	17,71	82,29	65,75	34,25	16,54
PRINCIPADO DE ASTURIAS	25,79	74,21	68,48	31,52	5,73
ISLAS BALEARES	19,77	80,23	50,23	49,77	30,00
CANARIAS	17,98	82,02	59,05	40,95	22,97
CANTABRIA	25,26	74,74	68,50	31,50	6,24
CASTILLA LA MANCHA	23,62	76,38	64,68	35,32	11,70
CASTILLA Y LEON	28,65	71,35	53,80	46,20	17,54
CATALUÑA*	23,52	76,48	53,67	46,33	22,81
COM. VALENCIANA*	18,34	81,66	63,14	36,86	18,52
EXTREMADURA	40,98	59,02	47,74	52,26	11,28
GALICIA *	25,72	74,28	49,27	50,73	25,01
LA RIOJA*	9,49	90,51	72,87	27,13	17,64
COM. MADRID*	39,67	60,33	53,46	46,54	6,87
NAVARRA*	15,95	84,05	58,08	41,92	25,97
PAIS VASCO*	11,81	88,19	70,06	29,94	18,14
REG. MURCIA	18,59	81,41	49,47	50,53	31,93
ESPAÑA	24,00	76,00	57,67	42,33	18,32

A nivel nacional, el rendimiento medio de las PSE está en un 57,67 %, por lo de todo el material entrante en las instalaciones de recuperación de materiales 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 % de impropios y un 18,32 % de envases no recuperados.

Salidas de la Plantas de Selección de Envases en España

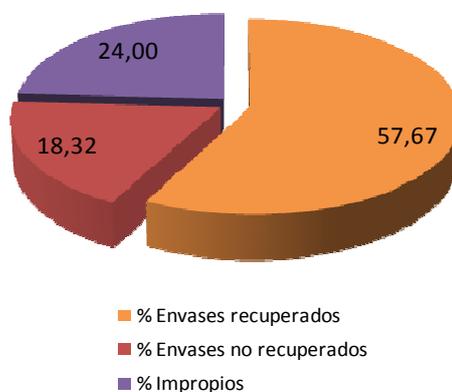


Figura 2.5 % Residuos de envases se recuperan en PSE en España

Este 18,32% de envases no recuperados son mayoritariamente, entre otros, plásticos con un alto poder calorífico y que son susceptibles de valorizar energéticamente para producir energía. Además parte del 24 % del material que forman los impropios, a pesar de no ser plástico, también son materiales que tienen un elevado poder calorífico y que se podrían aprovechar también para la producción de energía, consiguiendo así, minimizar el volumen de residuos que entra a vertedero y por otro lado producir energía con la incineración de los mismos. Esto supondría que el rendimiento global del sistema de gestión de residuos de envases aumentara, ya que una parte de lo que actualmente se elimina en vertedero sería aprovechado.

A continuación se valora como son los rendimientos en las distintas Comunidades Autónomas, así como su producción de rechazos.

Las plantas de selección de envases con mayores rendimientos las se encuentran en La Rioja y el País Vasco, con rendimientos de por encima del 70.

Las comunidades donde se generan una mayor cantidad de rechazos, y que por lo tanto tiene los rendimientos más bajos son Extremadura con una producción de rechazos del 52,26% del material que entra en planta, seguida por Galicia con un 50,73% y la Región de Murcia con un 50,53% de generación de rechazo.

En cuanto al porcentaje de materiales impropios³ que entran en planta y que luego pasan a formar parte del rechazo, son las comunidades de Extremadura y Madrid las que cuentan con una mayor proporción de impropios en su rechazo con valores del 40,98% y 39,67% respectivamente. Esto supone que de todo el material que entra en las instalaciones de recuperación de materiales de estas Autonomías, alrededor de un 40% son materiales que no deberían encontrarse allí y que han sido depositados equivocadamente en los contenedores de envases.

En el otro extremo están las comunidades donde menor cantidad de impropios encontramos, siendo de nuevo La Rioja y el País Vasco las comunidades que, además de tener los rendimientos más altos, tienen menor porcentaje de impropios en sus entradas a planta, un 9,49 % y un 11,81 % respectivamente.

Por último se analizará que cantidad de residuos de envases entran en las instalaciones para la recuperación de los mismos pero que finalmente acaban en el rechazo, es decir, que porcentaje de envases se “escapan” y no se recuperan.

A la cabeza encontramos a la Región de Murcia con un 31,93 % de envases no recuperados y las Islas Baleares con un 30%, casi el doble que la media española. Estos envases, como se ha dicho anteriormente, se podrían valorizar energéticamente, ya que en su mayor parte son materiales con un alto poder calorífico.

³ Porcentaje de materiales que no corresponde a envases de plástico, metálicos o brik pero que sí que son depositados en los contenedores amarillos y por lo tanto entran en las PSE. Como por ejemplo: textil, juguetes, plástico film, etc.

Por otro lado, son el Principado de Asturias (5,73%) y Cantabria (6,24%) donde la cantidad de envases no recuperados es menor.

2.3.5 CONCLUSIONES FINALES

Una vez conocidos todos los datos, se puede estimar que en España se generan alrededor de 214.614 tn/año de rechazo en plantas de selección de envases, ya que de las entradas totales a las PSE (507.001 toneladas), un 42,33% se convierten en rechazo de las mismas. Del total del rechazo, 92.883 tn/año, un 18,32 %, corresponden a envases no recuperados y 121.680 tn/año a materiales impropios, un 24 %. Lo que supone que un 0,86 % de todos los RSU generados en España se convierten en rechazo de las PSE, siendo un 0,37 % elementos impropios y un 0,49 % envases no recuperados.

En la actualidad esas cantidades de rechazo van a parar a los vertederos. Si queremos minimizar las entradas a vertederos y acercarnos al vertido cero, se debe encontrar otras vías de valorización para estos rechazos. En el caso de este estudio se propondrá una valorización energética de los mismos.

Para ello, tras llevar a cabo esta estimación para cuantificar el rechazo que se genera, el siguiente paso en este estudio es conocer las características físico – químicas de este rechazo de las PSE, es decir, caracterizarlo y evaluar la riqueza o potencial del mismo en cuanto a la valorización energética. Este paso es el que se abordará en el siguiente capítulo.

3. CARACTERIZACIÓN DEL RECHAZO DE LAS PLANTAS DE SELECCIÓN DE ENVASES

3.1 OBJETIVO

Este capítulo del estudio tiene como objetivo conocer las características físico – químicas del rechazo de las plantas de selección de envases y evaluar la riqueza o potencial de este rechazo para su valorización energética. Entre estas características, se quiere conocer en mayor medida, su poder calorífico y la cantidad de Cl y Hg que encontramos en el mismo, ya que con estos datos se podrá clasificar este rechazo como un combustible sólido recuperado y dar un paso más hacia su posible valorización energética.

3.2 METODOLOGÍA

Para llevar a cabo la caracterización de este rechazo se han cogido muestras del rechazo de una Planta de Selección de Envases del entorno de la Comunidad Valenciana. Por motivos de confidencialidad no es posible conocer el nombre, ni ubicación de la misma.

Esta planta de selección de envases aportó al menos una muestra semanalmente e incluso algunas semanas más de una, desde el 19 de abril del 2010 al 10 de julio de 2012, siendo el total de muestras analizadas a lo largo de todo el estudio 17.

Sobre estas muestras se llevo a cabo diferentes tipos de análisis con el fin de, como se ha dicho anteriormente, conocer las características físico – químicas de este rechazo. Las características que analizadas en estas muestras son las siguientes:

- Composición física del rechazo
- Contenido en humedad tanto del rechazo, como de las diferentes fracciones que lo componen.
- Determinación del poder calorífico superior e inferior. Para llegar a conocerlo también se llevo a cabo un análisis elemental del hidrogeno que contiene este rechazo.
- Determinación del contenido en Carbono y Azufre
- Determinación del contenido en Cloro
- Determinación del contenido en Mercurio

En los siguientes apartados del capítulo se desglosan como se han llevado a cabo cada uno de estos análisis.

3.2.1 COMPOSICION FISICA DE RECHAZO DEL LAS PSE

La composición física es el término utilizado para describir los componentes individuales que constituyen un determinado residuo sólido y su distribución relativa, normalmente basada en porcentajes en peso. En este caso es importante conocer esta información para decidir que sistema de recuperación de energía sería el más viable.

Con el análisis de la composición se pretende conocer que materiales componen el rechazo de las plantas de selección de envases. Para ello se cogieron tres de las muestras recibidas de la PSE y se separo en una mesa los diferentes tipos de materiales que forman el rechazo, por categorías y subcategorías.



Figuras 3.1 Clasificación del rechazo de las PSE

Al finalizar la separación se pesaron por separado y se calculó su porcentaje en peso en húmedo. Una vez conocida la composición en húmedo, para conocer la composición del este rechazo en seco, se calculo el contenido en humedad de cada una de las fracciones, y se volvió a calcular el porcentaje en peso en seco.

El contenido en humedad de cada fracción se calcula llevando a cabo el mismo procedimiento que se utiliza para calcular el contenido en humedad de las muestras, y que esta explicado en el siguiente punto de este capítulo (3.2.2 Contenido en humedad).



Figura 3.2 Secado en estufa de las diferentes fracciones para conocer su contenido en humedad

Debido a que hay fracciones que pueden tener un mayor contenido en humedad es necesario conocer ambas composiciones, tanto en húmedo como en seco, para ver si esta diferencia es significativa.

Los materiales y aparatos utilizados para llevar a cabo la caracterización fueron los siguientes:

- Mesa de trabajo
- Bandejas de aluminio de diferentes tamaños
- Imanes
- Pinzas
- Guantes anticorte
- Balanza de 0 a 2 Kg.
- Guantes de látex
- Mascarilla

A continuación, en la tabla 3.1 se explican las diferentes categorías y subcategorías que se han utilizado para la clasificación del rechazo de las plantas de selección de envases.

Tabla 3.1 Descripción de las categorías y subcategorías en las que se ha dividido el rechazo de las PSE

CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Papel / Cartón		Cartón grueso, cartón fino, papel Kraft o papel normal. Tanto sucio como limpio.	
Madera		Fragmentos de madera o restos de poda.	
Textil y Celulosa sanitaria		Fragmentos de material textil, así como de celulosa sanitaria (servilletas, pañuelos, paquetes de niños, etc.).	

Mat. Orgánica		Restos de comida principalmente.	
Metales	Férricos	Latas férricas o de latón u otros compuestos férricos.	
	No Férricos	Latas de aluminio u otros compuestos no férricos	
Plásticos	Film	PEBD (Plásticos con el numero 4): bolsas de la compra, bolsas de basura, bolsas de envolver y plástico film.	
	Rígido	PET (nº 1): Botellas de agua, aceite, refrescos, etc. PEAD (nº 2): Botellas de productos de limpieza, leche, etc. PVC (nº 3): Recipientes domésticos y para alimentos. PP (nº 5): Cajas para botellas y tapones. PS no expandido (nº 6): Vasos, platos y bandejas para alimentos como yogures, natillas, etc.	
	Caucho y Goma	Guantes de látex, gomas elásticas, suelas de zapatos, trozos de ruedas, etc.	
	Esponja	Trozos de esponjas aislantes, goma espuma, esponjas de colchón, etc.	

	Corcho	PS expandido: Corcho blanco, bandejas para alimentos, etc.	
Multiproducto		Cartones para bebidas, tetrabriks, plásticos recubiertos de aluminio, etc.	

3.2.2 CONTENIDO EN HUMEDAD

El contenido en humedad del rechazo de las PSE, así como de las diferentes fracciones de la composición física del mismo, indica el porcentaje (en peso) de agua y materia seca por el que esta compuesto. El contenido en humedad se puede expresar de dos formas diferentes:

- **Humedad del rechazo en base húmeda (h_{bh}):** relación porcentual, en peso, del agua respecto a la materia húmeda. Viene dada por la siguientes expresión:

$$h_{bh} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} * 100$$

Ecuación 3.1

- **Humedad del rechazo en base seca (h_{bs}):** relación porcentual, en peso, desagua respecto a la materia seca. Viene dada por la fórmula:

$$h_{bs} = \frac{m_2 - m_3}{m_3 - m_1} * 100$$

Ecuación 3.2

Donde:

m_1 : masa de la bandeja vacía (g)

m_2 : masa de la bandeja y la muestra antes de secado (g)

m_3 : masa de la bandeja y la muestra después del secado (g)

El contenido en humedad de el rechazo de las PSE puede variar en función de una serie de factores, entre los que se puede destacar: la composición, época del año, climatología de la región de donde proceda, entre otros.

Conocer el dato de humedad del rechazo es importante a la hora de llevar a cabo su eliminación, ya que es fundamental para estimar el flujo de lixiviados que produciría si se llevara a vertedero. Y en el caso de llevar a cabo un tratamiento térmico, como se pretende en este estudio, es importante para conocer el poder calorífico del mismo.

En este estudio se determinó la humedad aplicando el método de gravimetría indirecta, que consiste básicamente en pesar una muestra, ponerla a secar en una estufa a 105 °C durante aproximadamente 3 horas y una vez fría pesarla de nuevo. Por la diferencia de peso se obtiene el porcentaje de humedad (Ecuaciones 3.1 y 3.2). Esta operación se llevó a cabo tanto para cada una de las muestras del rechazo de la PSE en sí, como para cada una de las categorías en las que se ha dividido el rechazo en la composición física para conocer la composición en base seca.

Los resultados solo se han expresado como contenido en humedad en base húmeda, ya que es esta la forma más utilizada para la expresión de los mismos.

Para llevar a cabo este análisis se han seguido los procedimientos definidos en las siguientes Normas UNE:

- UNE 32 – 002 Combustibles minerales sólidos. Determinación de la humedad de la muestra para análisis.
- UNE – EN 15414-3 Combustibles sólidos recuperados. Determinación del contenido en humedad por el método de secado en estufa. Parte 3: Humedad de la muestra para análisis general.

Los materiales y aparatos utilizados en el análisis del contenido de humedad del rechazo de las PSE fueron los siguientes:

- Estufa
- Balanza de precisión
- Porta muestras, bandejas de porcelana y bandejas de aluminio
- Desecador
- Guantes de látex y mascarilla



Figura 3.3 Estufa utilizada en el laboratorio

En el caso del análisis del contenido de humedad en el la muestras de rechazo, la etapa previa de obtención de la muestra alícuota es muy importante para obtener unos datos representativos, debido a que la muestra puede ser muy heterogénea. Al final de la metodología se expone como se ha llevado a cabo la toma de las muestras, tanto para el análisis del contenido de humedad como para todos los otros parámetros analizados (véase 3.2.7).

3.2.3 PODER CALORIFICO

Conocer el poder calorífico o contenido energético del rechazo de las PSE es imprescindible para evaluar la viabilidad de su valorización energética y el rendimiento que tendría una instalación de valorización energética de este rechazo, como puede ser un horno incinerador con recuperación de energía.

El poder calorífico de un combustible es la energía liberada por unidad de peso o volumen del mismo por combustión con oxígeno, para los combustibles sólidos se expresa en Kcal. por Kg.

En los combustibles que contienen hidrogeno, como es el caso del rechazo analizado, hemos de diferenciar dos conceptos diferentes:

- Poder Calorífico Superior (PCS)
- Poder Calorífico Inferior (PCI)

Esto se debe a que en estos tipos de combustibles que contienen hidrogeno, la combustión del hidrogeno produce vapor de agua. Al efectuar la determinación en una bomba calorimétrica, los gases de combustión se enfrían hasta las condiciones iniciales, y por tanto, el vapor da agua formado se condensa desprendiendo calor. El calor total contabilizado en la bomba, es tanto el calor del combustible como el calor de condensación del vapor de agua formado en la combustión. La suma de estos dos valores es el PCS.

En la utilización habitual de los combustibles, los productos de combustión no pueden ser enfriados hasta las condiciones ambientales y por ello no es factible el aprovechamiento del calor de condensación del vapor de agua formado. Por tanto, se define el PCI como el calor que se desarrolla en el proceso asumiendo que los productos de combustión se encuentran en estado gaseoso y que el calor de condensación del vapor de agua formado no está disponible.

Así pues, el PCI siempre es inferior al PCS y es el valor que normalmente se usa en los cálculos energéticos.

En este estudio se ha procedido a obtener el poder calorífico del rechazo de las plantas de selección de envases utilizando una bomba calorimétrica. Para ello se utilizaron los siguientes materiales y aparatos:

- Bomba calorimétrica
- Pinzas soporte
- Sistema de llenado de O₂
- Sistema de control de la operación de análisis
- Unidad de aforo del agua del calorímetro
- Prensa para pastillas
- Sistema de control de la temperatura del agua (unidades de refrigeración y calefacción)
- Impresora
- Balanza analítica
- Molino de cuchillas
- Hilo de ignición

Antes de comenzar el análisis hemos de obtener una muestra alícuota adecuada para la determinación del PCS. Para ello, se cogieron las muestras secadas a estufa con las que se determino el contenido en humedad y se trituraron en un molino de cuchillas con una malla de 1 mm. Obteniendo unas muestras con una granulometría adecuada para transformarlas en pastillas y para que su combustión sea total.

El método de la bomba calorimétrica utilizado, de una forma simplificada, consiste en comprimir la muestra de análisis en una prensa para que adquiera la forma de una pequeña pastilla. Esta pastilla se introduce en la bomba calorimétrica junto con el hilo de ignición, una vez cerrada la bomba se procede a la carga de oxígeno de la misma a 30 atmósferas.

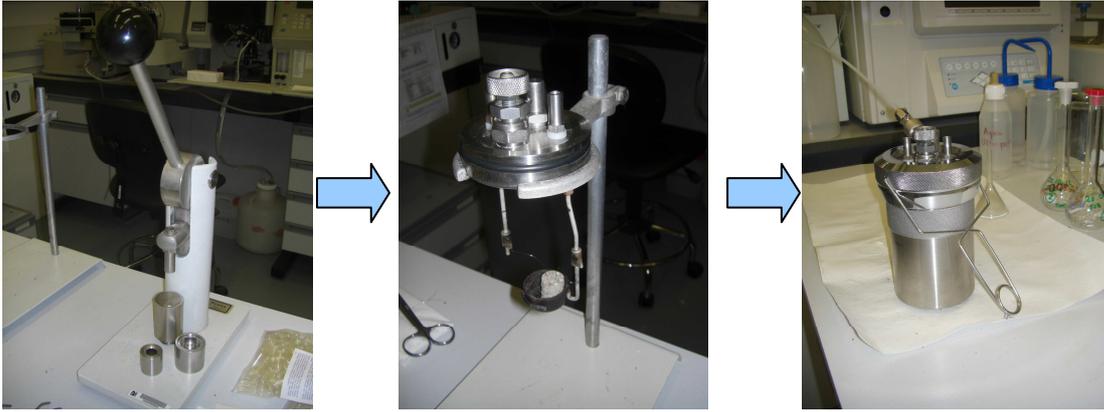


Figura 3.4 Prensa pastillas (izquierda), pastilla con el hilo de ignición (centro) y llenado de la bomba con O₂ (derecha)

La bomba, ya cargada, se sumerge en un baño de agua donde estabiliza su temperatura, se identifica la muestra en el procesador y se introduce su peso. Finalmente se provoca la ignición y una vez acabada el aparato indica los resultados.



Figura 3.5 Bomba calorimétrica sumergida (izquierda) y calorímetro isoperibólico (derecha)

Las Normas UNE que se aplican a combustibles minerales sólidos y que se han seguido para llevar a cabo el procedimiento son las enumeradas a continuación:

- UNE 32 – 006. Combustibles minerales sólidos. Poder calorífico mediante determinación en calorímetro automático
- UNE 32 – 105. Combustibles minerales sólidos. Determinación del poder calorífico superior por el método de la bomba calorimétrica

3.2.3.1 Determinación de PCS

La determinación del PCS consiste en quemar en atmosfera de oxígeno en una bomba calorimétrica en condiciones normalizadas una masa determinada de combustible liberándose una cantidad de calor. El PCS se calcula a partir del aumento de temperatura en el agua del vaso calorimétrico y teniendo en cuenta la capacidad calorífica efectiva media del sistema (bomba, agua y agitador), también llamada energía equivalente (EE).

A la hora de su determinación se han de tener en cuenta una serie de factores:

- Calor de ignición: calor desprendido por el hilo de ignición que se descontara del calor total emitido.
- Correcciones termoquímicas: aumento de calor debido a la formación de ácido sulfúrico y ácido nítrico que se descontara.
- Correcciones por el material de ayuda a la ignición: se descontara el aumento de calor debido a la combustión de este material en el caso que se haya utilizado.

El cálculo del PCS real de la muestra quemada se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$PCS = \frac{EE * \Delta T - e_1 - e_2 - e_3 - e_4}{m}$$

Ecuación 3.3

Donde:

EE: energía equivalente del calorímetro (cal/°C)*

ΔT: incremento de temperatura del agua del calorímetro (°C)

e₁: corrección por el calor de combustión del hilo de ignición (cal)

e₂: corrección por la formación de ácido sulfúrico (cal)

e₃: corrección por la formación de ácido nítrico (cal)

e₄: Corrección por calor de combustión del material de ayuda añadido (cal)

m: masa de la muestra (g)

*Nota: La energía equivalente es propia de cada calorímetro y se define como la energía necesaria para elevar su temperatura un grado.

3.2.3.2 Determinación de PCI

El PCI se obtiene por cálculo a partir del PCS determinado sobre la muestra analizada. El cálculo del PCI exige el conocimiento del porcentaje de humedad y el contenido en hidrogeno de la muestra analizada.

El contenido en humedad lo conocemos, ya que es uno de los parámetros analizados en el laboratorio. Pero para poder conocer el contenido en hidrogeno de las muestras de rechazo analizadas se ha de llevar a cabo un análisis elemental. Este análisis se realizo en los

Servicios Centrales de la Universidad Jaume I de Castellón, ya que en el laboratorio no era posible realizarlo.

Para ello se llevaron a analizar dos de las muestras de rechazo de PSE, y a partir de los resultados del análisis elemental de estas muestras, obteniendo un valor medio del porcentaje de hidrogeno presente en el rechazo de las PSE. Este valor es el que se tomó como constante e igual para todas las muestras caracterizadas en este estudio a la hora del cálculo del PCI.

Tabla 3.2 Análisis elemental de H

Muestra	Repetición	% H	% H medio
16001	1	6,312	8,619
	2	9,831	
	3	8,087	
17002	1	8,789	
	2	10,469	
	3	8,227	

Así pues, el cálculo del PCI se puede obtener a partir de la siguiente expresión:

$$PCI = (PCS - 206 * H) * \frac{100 - h_T}{100 - h} - 23 * h_T$$

Ecuación 3.4

Donde:

PCI: poder calorífico inferior (cal/g)

PCS: poder calorífico superior de la muestra (cal/g)

H: porcentaje de hidrógeno total de la muestra de análisis

h_T: contenido en humedad en porcentaje del combustible que se tiene en cuenta para el cálculo

h: porcentaje de humedad de la muestra de análisis (en el caso que la muestra de análisis esté completamente seca, como es el caso de este estudio, h=0)

3.2.4 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN CARBONO Y CARBONO

En los tratamientos de conversión térmica o valorización energética es de especial interés determinar la cantidad de azufre que contienen los RSU a tratar, ya que la combustión de residuos o cualquier otro material con azufre forma dióxido de azufre. El dióxido de azufre es un gas que afecta al sistema respiratorio, y que a altas concentraciones puede causar enfermedades o la muerte de personas afectadas por problemas pulmonares como personas con asma. Por otro lado, también es uno de los gases responsables de la lluvia ácida que tiene grandes efectos adversos sobre la vegetación, ecosistemas acuáticos (acidificación), materiales y salud humana.

En relación a este estudio la determinación del contenido en carbono no es tan importante, ya que el rechazo de las PSE no se va a someter a ningún proceso de transformación biológica. En este tipo de procesos si que es muy importante conocer en contenido en carbono debido a que es la fuente principal de energía y de síntesis de tejido celular para muchos microorganismos, concretamente los organismos heterótrofos que efectúan la descomposición aerobia. Además, para controlar el proceso de descomposición microbiana y la maduración del compost, es fundamental conocer la relación C/N.

El motivo de determinar ambos elementos en este estudio es que en el Laboratorio de Residuos de la UJI, donde se realizó toda la parte experimental, se dispone de un Analizador de C-S que determina ambos elementos a partir de la combustión de una única muestra.

3.2.4.1 Analizador de C-S

El analizador de C-S utilizado es un equipo computerizado, diseñado para medir carbono y azufre tanto en compuestos orgánicos como inorgánicos. El proceso tiene una duración de 90 segundos y una vez finalizada la detección el programa expresa los resultados en % y en ppm, teniendo en cuenta la humedad de la muestra.

El ciclo de análisis se compone de tres fases:

Fase de quemado

La muestra es pesada y puesta en una navicilla cerámica. Esta se introduce al horno de resistencias horizontal, donde se expone a una atmósfera pura de oxígeno y a una temperatura de 1350°C, consiguiéndose la combustión completa de la muestra. En el proceso de combustión se oxida todo el carbono y el azufre, pasando a CO₂ y SO₂.

En muestras que contienen elementos plásticos, como es el caso de este estudio, hay que añadir COM-AID (alúmina) para que la combustión sea más lenta y se eviten daños en el analizador.

Limpieza de los gases:

A la salida del horno se sitúa una trampa de perclorato de magnesio anhidro que retiene el agua que se ha formado en la combustión de la muestra. Los gases son arrastrados hacia dos células de infrarrojos selectivos para la determinación de la concentración de ambos compuestos.

Análisis de los gases de combustión:

La concentración de ambos gases se mide mediante espectrometría infrarroja, proceso que consiste en proyectar sobre la muestra un haz de radiación infrarroja y medir la absorbancia de la misma, ya que la absorbancia es directamente proporcional a la longitud de la trayectoria a través de la disolución y a la concentración de la especie (Ley de Beer).

Para medir este fenómeno se utilizan instrumentos espectroscópicos que siguen este esquema:

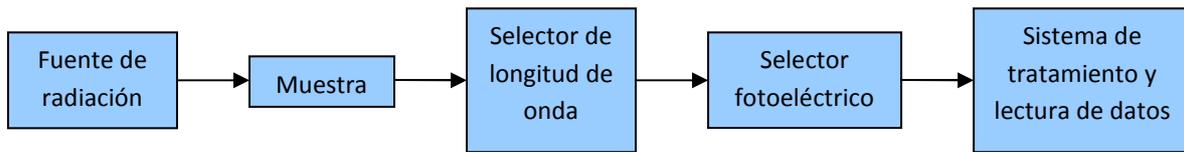


Figura 3.6 Esquema del instrumento de análisis de los gases de combustión

Las muestras utilizadas para la determinación de carbono y azufre mediante este analizador son de la misma naturaleza que las utilizadas para determinar el poder calorífico, se trata de muestras secas y trituradas en el molino de cuchillas con una malla de 1 mm.

Los materiales y aparatos necesarios para la determinación de ambos elementos se exponen a continuación:

- Analizador de C-S
- Balanza analítica
- Pinza
- Guantes de amiento
- Lanza
- Placa aislante
- Desecador
- Navecillas cerámicas



Figura 3.7 Analizador C-S

3.2.5 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN CLORO

Como en el caso del azufre, también es muy importante determinar el cloro existente en los RSU que se van a someter a tratamientos de conversión térmica, ya que el cloro presente en los mismos es capaz de crear compuestos muy contaminantes y peligrosos, cuando se somete a altas temperaturas.

Las dioxinas y los furanos son dos de estos compuestos clorados que se pueden llegar a producir y que tienen una elevada toxicidad, además son muy persistentes, se bioacumulan en los tejidos grasos de los organismos y biomagnifican (aumentan su concentración a lo largo de la cadena trófica). Sus efectos más peligrosos son a largo plazo, entre los que se encuentran: cáncer, daños neurológicos, deterioro del sistema reproductivo y disminución de la respuesta inmune.

Estos compuestos se generan durante la combustión de compuestos organoclorados y normalmente su formación se relaciona con la incineración de RSU (principal fuente de emisión a la atmósfera). Esto se debe a la presencia de cloro en los residuos, tales como el PVC u otros compuestos clorados que contienen los plásticos. El rechazo analizado es de PSE, por lo que es de esperar que tenga una gran cantidad de plásticos, de ahí la importancia de determinar el cloro que este contiene.

Además, el cloro también está relacionado con la destrucción de la capa de ozono. Por todo ello es muy importante conocer la cantidad de cloro que contienen los RSU que se van a valorizar energéticamente.

El método utilizado en este estudio para la determinación del Cl en el rechazo de las PSE, consiste en un procedimiento de combustión con oxígeno seguida por la captura de este cloro en una solución de absorción y su posterior determinación mediante la técnica del electrodo selectivo o específico.

Las muestras utilizadas las mismas que se han utilizado a lo largo de todo el estudio, se trata de muestras secas de rechazo trituradas a un tamaño de 1mm. A efectos del método, la cantidad de muestra a analizar fue de como máximo de un gramo.

Así pues, la determinación del cloro se divide en dos etapas:

Oxidación de la muestra mediante la combustión en una bomba que contiene oxígeno bajo presión:

En este estudio se utilizó la bomba calorimétrica utilizada para determinar el poder calorífico, ya que las características de la misma eran las adecuadas, realizando el proceso a la vez que se determinó el PCS. Y por tanto, utilizando la combustión en la bomba de una sola pastilla de muestra para determinar ambos parámetros. Para ello simplemente se tomó la precaución de esperar 10 minutos una vez obtenidos los resultados del PCS para asegurarnos de que todo el cloro quedaba atrapado en la disolución absorbente.

Así pues, cuando se produce la combustión de la muestra en la bomba calorimétrica, lo que ocurre es que el cloro presente en la misma se convierte en cloruro. Este se absorbe y disuelve en los 10 ml de solución absorbente de KOH 0,2 M introducidos en la bomba, donde queda atrapado. Esta disolución una vez acabado el proceso al abrir la bomba se recuperó y se llevó a un matraz aforado de 100ml utilizando agua ultrapura (sin cloro que pueda interferir), posteriormente se sobre ella se determinó la cantidad de cloro presente mediante el electrodo selectivo.



Figura 3.8 Disoluciones de KOH y cloruros preparadas para su análisis

Análisis del contenido en cloro mediante el método del electrodo selectivo (método potenciométrico):

La determinación del ión cloruro por este método, está basada en la comparación del potencial producido por el electrodo indicador de cloruro (electrodo selectivo) en la disolución problema, con los potenciales obtenidos al sumergir el mismo electrodo en diferentes disoluciones patrón, comparando estos valores mediante una curva de calibrado.

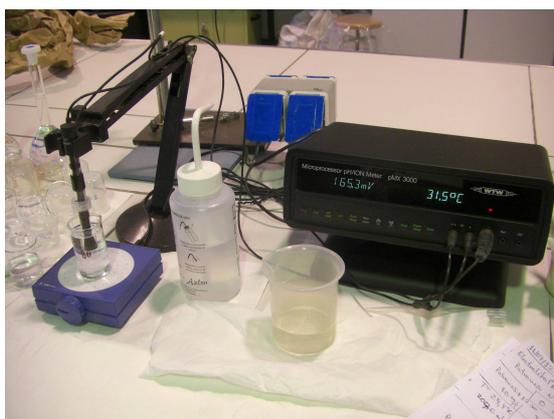


Figura 3.9 Potenciómetro y electrodo selectivo

La ecuación de la recta de calibrado obtenida es la siguiente:

$$y = d * \lg \rho + e$$

Ecuación 3.5

Donde:

y: Señal potenciométrica del electrodo selectivo (mV)

ρ : Concentración másica de cloro (mg/L)

d: ordenada en el origen de la función de calibrado

e: pendiente de la curva de calibrado logarítmica

Calculándose a partir de la siguiente ecuación el contenido en cloro presente en la muestra analizada en mg/L:

$$\rho = 10^{(y-e)/d}$$

Ecuación 3.6

Como las masas de las muestras analizadas son conocidas, los resultados se darán en porcentaje de cloro contenido en los rechazos de las PSE, ya que es la forma más utilizada para la expresión de los mismos.

Para llevar a cabo esta determinación se han seguido principalmente dos Normas UNE:

- UNE 32 – 15408. Combustibles sólidos recuperados. Métodos para la determinación del contenido en azufre (S), cloro (Cl), flúor (F) y Bromo (Br).
- UNE EN ISO – 15682. Calidad de agua. Determinación de cloruro por análisis en flujo (FIA y CFA) y detección fotométrica o potenciométrica.

Los materiales y aparatos necesarios para realizar esta determinación son los expuestos seguidamente:

- Potenciómetro
- Electrodo específico de cloruro
- Agitador magnético
- Bomba calorimétrica
- Balanza analítica
- Matraces aforados y vasos de precipitado
- Pipeta

3.2.6 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO EN MERCURIO

El mercurio es un metal pesado altamente contaminante y muy peligroso, por ello, al igual que ocurre con el cloro, es fundamental conocer los valores de este metal que encontramos en los RSU, o en este caso, en el rechazo que se está estudiando y que se van a ser sometidos a procesos de conversión térmica, pudiéndose emitir a la atmósfera compuestos mercuriales muy tóxicos en estos procesos.

En los procesos de combustión, si el material quemado contiene mercurio, se origina la emisión a la atmósfera de mercurio metálico gaseoso. Este mercurio entra en los seres vivos a través de la respiración, bioacumulándose y pudiendo dar origen con el tiempo a una enfermedad neurodegenerativa llamada mercurialismo.

Pero el mayor efecto de la contaminación por mercurio es el que ocurre cuando este se deposita desde la atmósfera en los ecosistemas acuáticos, donde si se dan las condiciones adecuadas se puede transformar en una forma de mercurio altamente tóxica, denominada metilmercurio, debido a la acción microbiana. Este compuesto es un compuesto neurotóxico (es capaz de atravesar la barrera hematoencefálica produciendo daños cerebrales irreversibles, afectando en mayor manera a fetos y niños), que se bioacumula y biomagnifica.

Debido a todo esto, y como se ha dicho anteriormente, es muy importante conocer el contenido en mercurio de la muestra, puesto que se va a valorizar energéticamente y por tanto se podría llegar a emitir grandes cantidades de mercurio a la atmósfera.

Para ello se analizará en mercurio presente en cada una de las fracciones obtenidas en la composición física del rechazo. Siendo el contenido total en mercurio la suma ponderada de todas las concentraciones obtenidas para cada fracción. Para llevar a cabo esta determinación se utilizó un Analizador Avanzado de Mercurio, el AMA – 254 de LECO, propiedad del laboratorio de residuos de la UJI y ubicado en los servicios centrales de la misma universidad.



Figura 3.10 Analizador de mercurio

Este analizador es un espectrómetro de absorción atómica diseñada para la determinación de mercurio en muestras sólidas y líquidas sin necesidad de tratamientos químicos previos.

El proceso que lleva a cabo para determinar la cantidad de mercurio en la muestra comienza con la introducción de una navicilla con un peso conocido de muestra en el tubo de descomposición. Aquí, con el calentamiento del horno de descomposición hasta una temperatura suficiente para descomponer cualquier forma de mercurio, la muestra es previamente secada y después se descompone térmicamente o arde. Los productos en los que se descompone la muestra son arrastrados por el oxígeno portador, pasando por un catalizador donde se retienen algunas interferencias, a un amalgamador de mercurio donde se produce el atrapamiento selectivo del mercurio. El resto sigue a través de la zona de medida hasta el exterior del instrumento.

Una vez finalizada la descomposición de la muestra y estabilizada la temperatura del amalgamador, el contenido de mercurio atrapado es medido. El mercurio es liberado del amalgamador mediante un rápido calentamiento del mismo. El gas portador arrastra el

mercurio liberado a las cubetas de medición, donde mediante una lámpara de mercurio como fuente de luz, con un filtro existente delante del detector que aísla la línea espectral en 253,65 nm, se determina la concentración de mercurio en la muestra. Los datos medidos finalmente son transmitidos a un PC, convirtiéndolos en señales fáciles de manejar, (ppm o nanogramos).

Como en el caso del carbono y el azufre, junto a la muestra en la navecilla se ha de colocar un poco de alúmina ya que se trata de determinar plástico evitando así que se quemem muy rápido y que se formen humos negros que interfieren en la medida.

Los materiales y aparatos utilizados para determinar el mercurio fueron:

- Analizador de mercurio
- Campana extractora
- Balanza analítica
- Pinzas y espátulas

3.2.7 TOMA DE MUESTRAS

Para analizar todos los parámetros y propiedades necesarios para el estudio descritas anteriormente, se debe obtener una muestra representativa del rechazo de las PSE de forma que la muestra que se va a analizar proporcione datos extrapolables a toda la población.

Para ello se siguió el “muestreo por cuarteo”. Este método consiste en mezclar bien la muestra y esparcirla en forma de círculo. El círculo se divide en cuatro partes, de las cuales se escogen las dos opuestas y se vuelven a esparcir en un círculo, quedando la mitad que se vuelve a cuartear. Así sucesivamente hasta obtener la cantidad de muestra alícuota requerida, sobre la que se llevara a cabo los análisis pertinentes.

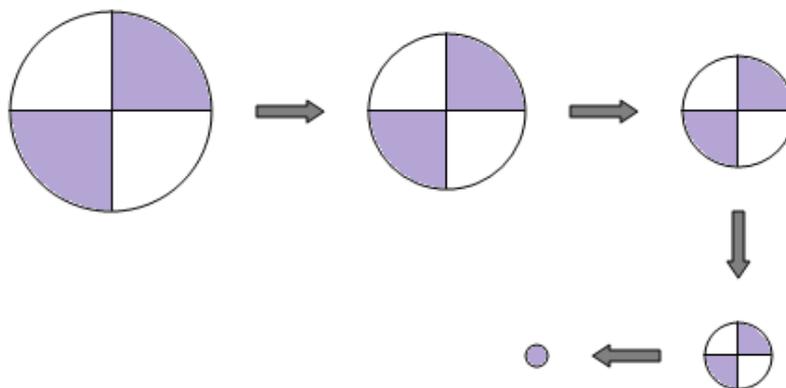


Figura 3.11 Representación gráfica del muestreo por cuarteo



Figura 3.12 Muestreo por cuarteo llevado a cabo en el laboratorio

3.3 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

3.3.1 COMPOSICION FISICA DEL RECHAZO DE LAS PSE

Para conocer la composición física del rechazo de las plantas de se caracterizó, como se ha explicado en la metodología, tres muestras diferentes de las que semanalmente se recibían desde la planta de selección de envases.

La composición en porcentaje en peso obtenida para estas muestras analizadas, tanto en base húmeda como en base seca, se muestra a continuación en la tabla 3.3 y 3.4, respectivamente.

Tabla 3.3 Composición física en base húmeda

FRACCIÓN	COMPOSICIÓN (% PESO)			MEDIA	MAX.	MIN.	DESVIACIÓN ESTANDAR
	Muestra 19007	Muestra 21010	Muestra 22011				
Papel/ Cartón	43,98	43,50	36,64	41,37	43,98	36,64	4,11
Textil/ Celulosa	20,25	19,83	26,50	22,19	26,50	19,83	3,74
Plástico film	24,32	23,33	18,86	22,17	24,32	18,86	2,91
Plástico rígido	6,47	8,26	9,28	8,00	9,28	6,47	1,42
Multiproducto	1,54	1,69	3,56	2,26	3,56	1,54	1,12
Madera	1,56	1,26	0,76	1,19	1,56	0,76	0,40
Mat. Orgánica	0,24	0,97	1,89	1,03	1,89	0,24	0,83
Corcho	0,64	0,55	0,84	0,67	0,84	0,55	0,15
Caucho/ Goma	0,57	0,10	0,35	0,34	0,57	0,10	0,24
Espanja	0,18	0,30	0,27	0,25	0,30	0,18	0,06
Metales férricos	0,08	0,01	0,97	0,36	0,97	0,01	0,53
Metales no férricos	0,16	0,22	0,09	0,16	0,22	0,09	0,06

Tabla 3.4 Composición física en base seca

FRACCIÓN	COMPOSICIÓN (% PESO)			MEDIA	MAX.	MIN.	DESVIACIÓN ESTANDAR
	Muestra 19007	Muestra 21010	Muestra 22011				
Papel/ Cartón	40,77	41,59	34,21	38,86	41,59	34,21	4,04
Textil/ Celulosa	19,82	19,80	26,11	21,91	26,11	19,80	3,64
Plástico film	26,85	24,68	20,47	24,00	26,85	20,47	3,24
Plástico rígido	7,25	8,88	10,20	8,78	10,20	7,25	1,48
Multiproducto	1,69	1,77	3,65	2,37	3,65	1,69	1,11
Madera	1,60	1,23	0,77	1,20	1,60	0,77	0,41
Mat. Orgánica	0,20	0,81	1,83	0,95	1,83	0,20	0,82
Corcho	0,71	0,58	0,92	0,73	0,92	0,58	0,17
Caucho/ Goma	0,63	0,10	0,38	0,37	0,63	0,10	0,27
Esponja	0,21	0,32	0,29	0,27	0,32	0,21	0,06
Metales férricos	0,09	0,02	1,06	0,39	1,06	0,02	0,58
Metales no férricos	0,18	0,24	0,10	0,17	0,24	0,10	0,07

COMPOSICION MEDIA (EN BASE HUMEDA) DEL RECHAZO (%)

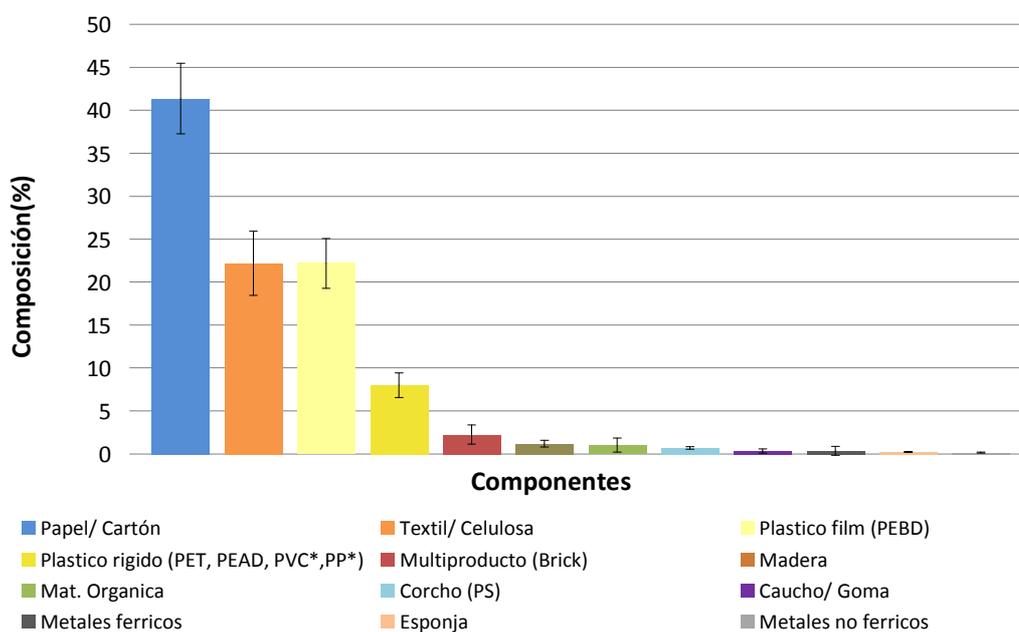


Figura 3.1 Composición física en base húmeda

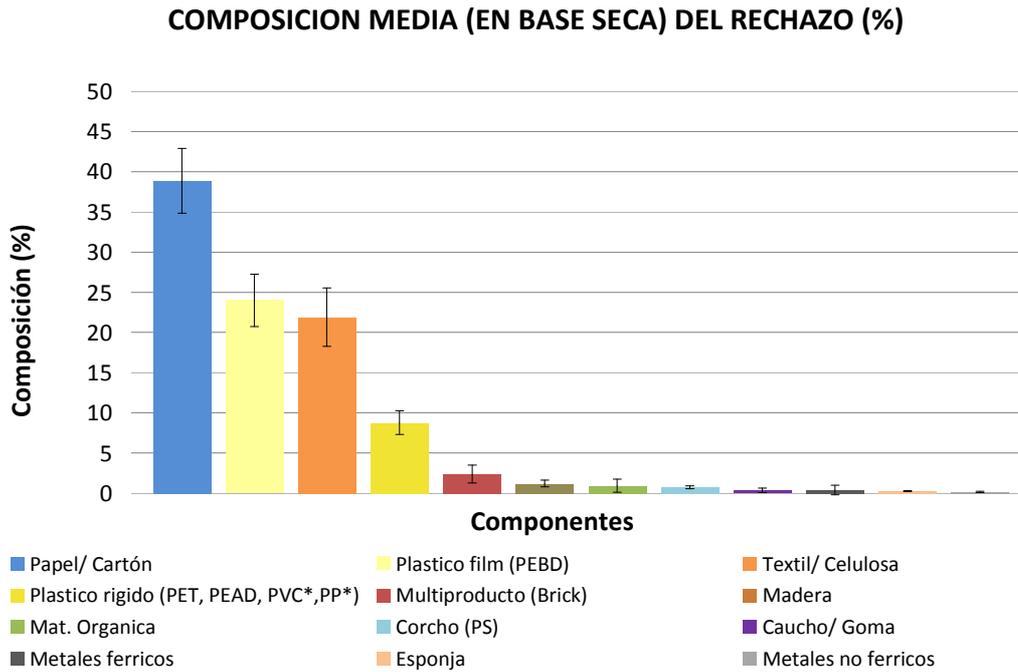


Figura 3.2 Composición física en base seca

Como se ve en las figuras 3.1 y 3.2, en ambas composiciones tanto en húmedo como en seco las fracciones mayoritarias son las mismas, el papel y cartón principalmente (41%), junto con el plástico film (22%) y los materiales textiles (22%). Se trata pues de tres fracciones que no corresponden a envases, por lo tanto es de esperar que sean las que conformen la mayor parte del rechazo de las plantas de envases. Pero que aun así tienen un elevado poder calorífico, como se vera en el punto correspondiente al análisis del mismo, y que por tanto su valorización energética puede ser positiva.

Las fracciones minoritarias son las fracciones metálicas, junto con las fracciones de caucho y esponja. Todas ellas están por debajo de 0,4%.

La única diferencia significativa que encontramos entre ambas composiciones, es que el textil al contener mayor humedad que el plástico film, en la composición en seco ocupa el tercer lugar en vez del segundo en las fracciones mayoritarias.

3.3.2 CONTENIDO EN HUMEDAD

En este estudio se ha analizado la humedad (en base húmeda) de 17 muestras de rechazo procedentes de una planta de selección de envases. Para ello, se ha seguido el procedimiento anteriormente explicado (véase 3.2.3) y se ha utilizando las ecuaciones 3.1 para llegar a la obtención de los resultados expuestos en la tabla 3.5. Siendo el contenido en humedad medio para el rechazo de la PSE analizada del 21,06%. Posteriormente este dato será necesario para conocer cual es su PCI, permitiendo clasificar este rechazo como CSR.

Tabla 3.5 Contenido en humedad

MUESTRA	HUMEDAD MEDIA bh (%)
RPB12/16001	24,18
RPB12/17002	18,56
RPB12/17003	18,20
RPB12/17004	26,06
RPB12/17005	25,21
RPB12/18006	22,86
RPB12/19007	20,00
RPB12/19008	18,43
RPB12/20009	13,73
RPB12/21010	18,56
RPB12/22011	20,24
RPB12/23012	22,16
RPB12/24013	19,48
RPB12/25014	21,69
RPB12/26015	21,72
RPB12/27016	20,33
RPB12/28017	26,63
RECHAZO PSE	21,06

3.3.3 PODER CALORIFICO

En este estudio, donde se esta evaluando si es posible llevar a cabo el aprovechamiento energético del rechazo de las PSE, es imprescindible conocer cual es el poder calorífico del este rechazo que se va a valorar energéticamente. Para ello se realizo, en el laboratorio, la determinación del Poder Calorífico Superior para cada una de las 17 muestras de rechazo enviadas semanalmente por la plantad de selección de envases, calculado posteriormente con los datos de humedad y contenido en hidrogeno su Poder Calorífico Inferior, los resultados obtenidos los se observan en la tabla 3.

Tabla 3.6 PCS y PCI de los rechazos

MUESTRA	PCS medio (Kcal/Kg)	PCI medio (Kcal/Kg)
RPB12/16001	5468,28	3691,21
RPB12/17002	6017,11	4452,55
RPB12/17003	6658,61	4999,41
RPB12/17004	5078,93	3298,17
RPB12/17005	3767,39	2361,50
RPB12/18006	6017,28	4188,55
RPB12/19007	4631,69	3255,76
RPB12/19008	5267,39	3848,99
RPB12/20009	5927,61	4672,03
RPB12/21010	5568,18	4086,94
RPB12/22011	4959,59	3505,88
RPB12/23012	5106,05	3522,25
RPB12/24013	5811,81	4230,73
RPB12/25014	6407,99	4566,38
RPB12/26015	4992,50	3456,38
RPB12/27016	5744,17	4126,38
RPB12/28017	5752,41	3762,63
RECHAZO PSE	5481,00	3883,87

Como se ve en la tabla, el rechazo estudiado tiene un Poder Calorífico Superior de 5481 Kcal por Kg de residuo incinerado y un Poder Calorífico Inferior de 3883,87 Kcal/Kg.

Teniendo en cuenta que el rango de poder calorífico de los residuos sólidos que son transportados a las incineradoras oscila entre 1500 – 2000 Kcal/Kg de residuo, podemos decir que el rechazo de PSE analizado tiene un poder calorífico muy superior a los residuos que normalmente se incineran y que por tanto su valorización energética sería viable y un buen tratamiento para el mismo. Al quemarse producirían una gran cantidad de energía que puede, y de hecho debería ser utilizada y gestionada correctamente.

Además, como es el caso, cuando el poder calorífico de los residuos incinerados se sitúa por encima de 2000 Kcal/Kg el proceso comienza a ser rentable energéticamente.

Por otro lado, en este estudio también se ha determinado el poder calorífico de cada una de las fracciones en las que se divide el rechazo según su composición física (salvo las fracciones metálicas y la de multiproducto debido a que contienen metales). Conociendo así cuales son las fracciones que aporta un mayor poder calorífico y que, por tanto, son las que en mayor proporción interesa que estén contenidas en el mismo, tabla 3.7.

Tabla 3.7 PCS y PCS de las fracciones

FRACCIÓN	PCS medio (Kcal/Kg)	PCI* medio (Kcal/Kg)
Papel/ Cartón	3648,56	2658,00
Textil/ Celulosa	4885,68	3929,34
Plástico film	8957,99	8344,57
Plástico rígido	7655,12	7182,55
Madera	4205,66	3393,09
Mat. Orgánica	4104,82	2810,47
Corcho	8865,39	8303,37
Caucho/ Goma	4469,20	3931,22
Esponja	6567,87	6057,29

*NOTA: Los valores de PCI son una estimación, ya que no se dispone del dato de contenido en hidrogeno de cada fracción y por lo tanto se ha utilizado el contenido medio de hidrogeno del rechazo de las PSE.

Como se puede ver en la composición física, las fracciones mayoritarias en el rechazo son papel/ cartón, textil y plástico film, estas fracciones tienen un poder calorífico de 2658, 3929 y 8345 Kcal/Kg respectivamente, todos estos valores por encima de las 2000 Kcal/Kg necesarias para que la incineración sea rentable y viable, en especial el plástico film.

3.3.4 CONTENIDO EN CARBONO Y AZUFRE

Conocer, sobretodo, el contenido azufre es importante ya que este compuesto es el responsable de que en la incineración del rechazo se forme uno de los principales contaminantes atmosféricos, el dióxido de azufre, como se ha comentado anteriormente.

En el caso de estudio conocer el contenido de carbono no es tan importante, ya que el rechazo no se va a someter a un tratamiento biológico, pero como el analizador es común para ambos elementos ya ha llevado a cabo también su determinación, obteniendo estos resultados:

Tabla 3.8 Contenido en S y C

Análisis	% S	% S medio	% C	% C medio
1	0,142	0,147	70,345	65,419
2	0,167		61,795	
3	0,152		63,820	
4	0,140		67,383	
5	0,134		63,752	

Como se observa en la tabla 3.8 el contenido medio de azufre en el rechazo de la PSE es de 0,147 %, por lo que se puede decir que desde el punto de vista de la contaminación por SO₂, la combustión de este rechazo es mucho mejor que la combustión de carbón, ya que el carbón suele contener entre un 0,8 y 1% de azufre.

3.3.5 CONTENIDO EN CLORO Y MERCURIO

Tanto el cloro como el mercurio son dos elementos muy contaminantes, y que además si se presentan en RSU que se van a incinerar, como se ha explicado en la metodología, pueden llegar a formar compuestos muy tóxicos y peligrosos incluso para la salud humana. Por todo ello es muy importante controlar y determinar que cantidad de estos compuestos contiene el rechazo de las PSE.

3.3.5.1 Cloro

A continuación se exponen los resultados obtenidos en el laboratorio, en las 10 muestras analizadas para la determinación del cloro, obteniendo un valor medio para el rechazo de las plantas de selección de envases un valor de 0,92 % de cloro.

Tabla 3.9 Contenido medio en Cl del rechazo de PSE

MUESTRA	% Cl
RPB12/19008	0,68
RPB12/20009	0,77
RPB12/21010	0,35
RPB12/22011	1,23
RPB12/23012	0,66
RPB12/24013	0,92
RPB12/25014	1,35
RPB12/26015	0,95
RPB12/27016	1,36
RPB12/28017	0,88
RECHAZO PSE	0,92

Además del contenido en cloro para el rechazo en general, también se determinó el contenido en cloro para cada una de las fracciones obtenidas en la composición física, tabla 3.10. Esto permite conocer cuáles son las fracciones que aportan mayor cantidad de cloro, y que por tanto sería interesante que estuvieran presentes en menor porcentaje que el resto.

Tabla 3.10 Contenido medio en Cl de las fracciones del rechazo

FRACCIÓN	% Cl
Papel/ Cartón	0,246
Textil/ Celulosa	0,600
Plástico film	0,674
Plástico rígido	2,656
Madera	0,366
Mat. Orgánica	0,843
Corcho	0,863
Caucho/ Goma	2,457
Esponja	0,490

Como se ve en la tabla la fracción con mayor porcentaje en cloro es la de los plásticos rígidos con un 2,656 %, esto es lo que cabría esperar, ya que es en esta fracción donde se encuentra incluido el PVC que contiene una gran cantidad de cloro. Esta fracción es la responsable, principalmente, del contenido en cloro del rechazo, ya que es la cuarta fracción mayoritaria (un 8 % del porcentaje en peso).

Además cabe destacar que el valor más bajo de cloro lo se encuentra en el papel y cartón, un 0,246 %, coincidiendo con la fracción con mayor porcentaje en peso del rechazo, un 41%.

3.3.5.2 Mercurio

A la hora de conocer el contenido medio en el rechazo de mercurio, se analizó el mercurio existente en cada una de las fracciones obtenidas en la composición, siendo el contenido total de mercurio la suma ponderada de todas las concentraciones obtenidas para cada fracción, tabla 3.11:

Tabla 3.11 Contenido medio en Hg del las fracciones y del rechazo de la PSE

FRACCIÓN	Hg (ppm)	Composición (%)
Papel/ Cartón	0,054	38,86
Textil/ Celulosa	0,080	21,91
Plástico film	0,044	24,00
Plástico rígido	0,012	8,78
Madera	0,023	1,20
Mat. Orgánica	0,020	0,95
Corcho	0,034	0,73
Caucho/ Goma	0,064	0,37
Espanja	0,177	0,27
Rechazo PSE	0,052	100,00

Como se observa el contenido más alto en mercurio se encuentra en la esponja, 0,177 ppm, mientras que los más bajos se encuentran en el plástico rígido, 0,012 ppm. El contenido medio para el rechazo es de 0,052 ppm, un valor muy parecido a la fracción mayoritaria que es el papel y cartón (0,054 ppm). Este valor es el que en el próximo punto se utilizará para clasificar el rechazo como un CDR, junto con los valores de PCI y contenido en cloro.

3.3.6 CLASIFICACIÓN DEL RECHAZO DE LAS PSE COMO CSR SEGÚN EL ESTANDAR CEN/TS 15359:2006, PARA CSR.

Los combustibles sólidos recuperados (CSR) son combustibles producidos a partir de residuos sólidos municipales (RSM) que son triturados y tratados. Los CSR están compuestos principalmente por porciones orgánicas de RSM, como el papel, productos textiles y madera, sin embargo, una proporción significativa de los CSR incluye plásticos mezclados. Por todo ello

se pueden asemejar bastante al rechazo de las Plantas de selección de envases, pudiendo utilizar el estándar de clasificación de los CSR para clasificar el rechazo analizado y poder determinar si sería un buen combustible.

La transformación de residuos en combustibles derivados de residuos o combustibles sólidos recuperados atiende a dos propósitos: reducir el volumen de residuos en vertederos y, de esta manera, solucionar problemas del sector de residuos, y proporcionar combustibles alternativos a las industrias que hacen uso intensivo de energía. Los CSR son utilizados en la recuperación de energía en hornos de cemento, centrales eléctricas y calderas industriales como sustitutos de los combustibles fósiles.

Estos dos propósitos son los mismos que se intentan cumplir con la realización de este estudio, reducir el volumen de rechazo de las PSE que va a vertedero y proporcionar una alternativa de tratamiento para este rechazo con la valorización y aprovechamiento energético del mismo. Los CSR ya han demostrado que son unos sustitutos eficaces de los combustibles fósiles, por lo que el rechazo de las plantas de selección de envases, cuyas características son muy parecidas a los de estos, también lo podrían ser.

Por otro lado, las características físicas y químicas de los CSR son muy variables y dependen principalmente del residuo y el tratamiento aplicado. Por lo que este tipo de combustibles tiene que estar sujeto a unos parámetros específicos de calidad. Es decir, la calidad química y física del combustible debe cumplir las especificaciones o estándares que aseguren una protección medioambiental, una protección del horno del proceso y la calidad del producto (si existe, como es el caso del cemento).

Además, el contenido energético y mineral debe ser suficientemente estable, para permitir la alimentación óptima del horno y la forma física debe asegurar una manipulación, almacenamiento y alimentación higiénica y segura.

En este sentido, el Comité Europeo de Normalización (CEN) ha creado el estándar CEN 15359: *Solid recovered fuels – Specifications and classes*, este estándar tiene como 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 el se prescribe un modelo de especificación y un sistema de clasificación para los CSR en el cual el parámetro económico es el valor calorífico neto (PCI), el parámetro técnico es el contenido de cloro y el parámetro ambiental es el contenido de mercurio. Estos parámetros dan una idea inmediata pero simplificada de cómo es el combustible en cuestión.

Este estándar es el que se va a utilizar para la clasificación del rechazo de la PSE caracterizado, cuyas características son similares a las de un CSR, determinando así que clase de CSR sería rechazo caracterizado.

Cada parámetro se divide en 5 clases con sus valores límite, tabla 3.12. Al combustible clasificado se le asignará un número de clase de 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 una de las propiedades obligatorias que hay que especificar según el estándar de CEN a la hora de

caracterizar un CSR, junto con su origen, forma de la partícula (pellets, briquetas, etc.), tamaño de partículas, contenido de cenizas, contenido de humedad, el poder calorífico neto y propiedades químicas.

Tabla 3.12 Parámetros para la clasificación del CSR. FUENTE: CEN/TS 15359:2006

PARAMETRO	UNIDADES	CLASES					RECHAZO PSE
		1	2	3	4	5	
PCI	MJ/Kg	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3	16,28
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

Siguiendo el estándar proporcionado por el Comité Europeo de Normalización, el rechazo de la planta de selección estudiado, posee el siguiente código de clasificación:

RECHAZO PSE: PCI 3; Cl 3; Hg 1.

3.3.7 CONCLUSIONES FINALES

Después del análisis detallado de las características físicas y químicas del rechazo de la planta de selección de envases estudiada podemos obtener una serie de conclusiones generales.

Desde el punto de vista del poder calorífico del rechazo, se podría decir que se trata de un buen combustible, ya que su PCI es de 3888,87 Kcal/Kg. La antracita, que es el mejor carbón tiene 6.700 Kcal/Kg y el lignito, de peor calidad, 2.177 Kcal/Kg. Pero cabe destacar que para conseguir un mejor combustible sería necesario eliminar parte de la humedad que tiene este rechazo.

El bajo contenido en azufre del rechazo, 0,147 %, hace pensar que desde el punto de vista de la contaminación de SO₂, el material es mucho mejor que cualquier carbón (los carbones de mejor calidad varían entre 0,8 y 1%). Por lo que para un mismo carbón con el mismo PCI, el impacto sobre el medio ambiente será menor.

En relación al contenido del cloro, 0,92%, no supera el valor límite de un 1% establecido por las cementeras en España (CEMEX), pero es un valor muy cercano. Por lo que habría que intentar minimizar el contenido del cloro en el mismo, minimizando la presencia en el rechazo de las fracciones o tipos de plásticos, como puede ser el PVC, que tiene un gran contenido en cloro, o minimizar también la presencia de caucho.

Por otro lado el contenido en mercurio es muy bajo, 0,052 ppm, por lo que no cabría esperar problemas desde el punto de vista de la contaminación atmosférica de compuestos mercuriales.

En general, el rechazo de las plantas de selección de envases tiene las características óptimas para ser procesada y convertida en combustible derivado de residuo sólido urbano

(CSR), que se puede utilizar en procesos industriales de combustión o para la generación de energía con la incineración de los mismos.

Los resultados obtenidos en el presente estudio son representativos de la estación primaveral únicamente, ya que es en solo esta estación cuando se han recibido las muestras de rechazo. Sería conveniente ampliar el estudio a las otras estaciones del año, ya que las características de los rechazos y sus posibilidades de valorización pueden variar notablemente.

Así pues, el siguiente punto de este estudio sería pues determinar las posibles alternativas para la valorización energética del combustible derivado de los rechazos de la plantas de selección de envases.

4. ALTERNATIVAS DE VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DEL COMBUSTIBLE DERIVADO DE LOS RECHAZOS DE PLANTAS DE SELECCIÓN DE ENVASES.

4.1 OBJETIVO:

El objetivo de este último capítulo es conocer que ventajas económicas y medioambientales supone la valorización energética del rechazo de las plantas de selección de envases.

Para ello se cuenta con un estudio realizado anteriormente por la Universidad Jaume I, donde se analizó la fabricación de combustible derivado de RSU a partir del rechazo de la Planta de Reciclaje y Compostaje (PRC) de Onda (Castellón), con unas características muy similares al rechazo de la PSE analizado en este estudio.

4.2 MARCO LEGAL DE LA VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS

El marco legal general sobre los residuos es la Ley 22/2011, de residuos y suelos contaminados. Esta Ley tiene por objeto regular la gestión de los residuos impulsando medidas que prevengan su generación y mitiguen los impactos adversos sobre la salud humana y el medio ambiente asociados a su generación y gestión, mejorando la eficiencia en el uso de los recursos.

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

La Ley exige que la valorización de residuos cuente con una autorización autonómica y que el Gobierno y, en su caso las comunidades autónomas, establezcan los requisitos de las plantas, procesos y productos de la valorización, con especificación de las exigencias de calidad y las tecnologías a emplear para preservar la salud humana y el medio ambiente.

Otras normas legales que afectan al marco de uso de residuos como combustible son:

Ley 16/2002 sobre Prevención y Control integrados de la contaminación.

Esta ley exige que las instalaciones que valoricen energéticamente residuos no peligrosos con una capacidad de más de 500 t/d cuenten con una Autorización Ambiental Integrada antes del 31 de octubre de 2007 ó cuando realicen una modificación sustancial para el medio ambiente en sus instalaciones.

Real Decreto 653/2003 sobre Incineración de Residuos.

La transposición de la Directiva 76/2000/EC al ordenamiento jurídico español se ha hecho mediante el Real Decreto 653/2003 sobre incineración de residuos.

La Directiva 76/2000 de incineración de residuos propone un enfoque integrador sobre los efectos ambientales y sobre los distintos tipos de residuos; y actualiza las exigencias de la Directiva Marco de Residuos, que exige a los Estados miembros tomar las medidas necesarias para garantizar que los residuos se valorizarán o eliminarán sin poner en peligro la salud humana ni perjudicar el medio ambiente.

Con el conocimiento actual y las mejores técnicas disponibles, y aplicando el principio de precaución, la directiva establece los límites de emisión y otros condicionantes ambientales que deben cumplir las instalaciones donde se realice un tratamiento térmico de residuos, para lograr un elevado grado de protección del medio ambiente y la salud de las personas. La distinción entre residuos peligrosos o no peligrosos de la legislación anterior marcará una diferencia entre algunas condiciones de operación y control, pero no será relevante a la hora de limitar las emisiones, lo cual se hará a partir de ahora de un modo igualmente exigente.

Plan Nacional de Residuos Sólidos Urbanos (2007 - 2015)

Este plan pretende incrementar la prevención, recogida selectiva, reutilización, reciclado y valorización de los RSU. Los objetivos de este plan para la valoración energética de la fracción resto de los RSU son: para la incineración con recuperación de energía de un 6% para el final del 2012, y para la valorización energética mediante otras tecnologías de un 4% para finales del 2012. Contabilizándose solo como valorizados energéticamente los RU no reutilizables ni reciclables y siempre que se alcancen unos rendimientos energéticos mínimos.

Plan de Acción de las Energías Renovables de España (2011 - 2020)

Ese plan fue aprobado el 30 de junio de 2010 y cubre el periodo 2011-2020. El documento presenta los esfuerzos de diversos organismos públicos para la creación de una estrategia de cumplimiento de los objetivos del Protocolo de Kyoto, alcanzando en el 2020, un mínimo del 20% de suministro del consumo energético a partir de fuentes de energía renovables. Todos los sectores tradicionales de recursos energéticos renovables están cubiertos (eólicos, solar PV, solar térmico y termo-eléctrico, hidráulicos, biomasa, biocombustibles y valorización de RSU).

Ley de Envases y Residuos de Envases

Como es obvio, las formas de vida de las sociedades modernas, aún aplicando medidas preventivas, hacen inevitable que se generen residuos de envases. En este punto la Ley 11/1997 de Envases y Residuos de Envases establece que un porcentaje determinado de estos residuos de envases deben de retirarse del flujo de residuos eliminados en vertederos, con la

finalidad de dirigirlos hacia opciones de gestión ambientalmente más correctas, como el reciclado y la valorización.

Dentro del Plan Nacional de Residuos Urbanos, el Programa Nacional de Residuos de Envases y Envases Usados impone la valorización de un 90% como mínimo en el año 2012, primando las políticas de recuperación, reutilización y reciclaje y completando las diferencias mediante otras alternativas de valorización (incineración con recuperación energética).

Protocolo de Kyoto y Asignación de Derechos de Emisión.

Según la Ley 1/2005 por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, las instalaciones contempladas bajo su ámbito de aplicación deberá contar con autorización de emisión de gases de efecto invernadero expedida en favor de su titular. Los permisos no son transferibles y son privativos de cada instalación, y en ellos se fijan los requisitos de seguimiento y notificación de las emisiones y la obligación de presentar anualmente derechos de emisión equivalentes a las emisiones totales de la instalación en dicho año. Por el contrario, el derecho de emisión es transferible y se define como el derecho a emitir una tonelada equivalente de dióxido de carbono en un periodo determinado. Los titulares de las instalaciones deberán solicitar al Ministerio de Medio Ambiente la asignación de derechos de emisión para el periodo de vigencia del Plan Nacional de asignación.

El titular de la instalación remitirá un informe de emisiones de cada año, el cual será verificado por los organismos de verificación acreditados. En el ANEXO IV de este Real Decreto Ley se especifica que los cálculos para el seguimiento de las emisiones se llevarán a cabo utilizando la fórmula siguiente:

$$\text{Emisiones} = \text{Datos de la actividad} \times \text{factor de emisión} \times \text{factor de oxidación}$$

El factor de emisión de la biomasa será cero, por lo que la utilización de combustibles que contengan biomasa permite descontar las emisiones correspondientes de las asignadas para la empresa.

El Acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba la asignación individual de derechos de emisión puntualiza que:

“En relación con las centrales que utilizan como combustible residuos, se han analizado con detalle las características de estos combustibles y su implicación en la Directiva de Comercio de Emisiones resultando la no afección de esta, por lo que no se le han asignado derechos.”

4.3 DIVERSAS UTILIZACIONES DE LOS COMBUSTIBLES DERIVADOS DE RSU EN EUROPA Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA INCINERACIÓN DE RSU

4.3.1 COMBUSTIBLES DERIVADOS DE RSU

En la Unión Europea se estima que las cantidades totales de combustibles alternativos producidos a partir de RSU suman alrededor de 4 - 5 millones de toneladas anuales (European Recovered Fuel Organisation (ERFO), 2005). Esta capacidad de producción de Combustibles Derivados de RSU (CDRSU) esta viéndose incrementada en numerosos países con la construcción de nuevas plantas de tratamiento mecánico-biológico.

Estos combustibles, con un porcentaje que puede alcanzar un contenido del 50-60% en material biodegradable, pueden contribuir considerablemente a la reducción de emisiones de CO₂ al considerarse la parte biodegradable como fuente de energía renovable. Además, la industria y el sector energético están cada vez más interesados en la posibilidad de utilización de un combustible sustitutivo más económico y con unas calidades específicas y homogéneas.

A continuación se exponen opciones de utilización y valorización energética de CDRSU están siendo aplicadas o podrían serlo en el futuro:

- Valorización en planta en 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 camas fluidizadas, gasificación o pirolisis.
- Coincineración en hornos de carbón
- Coincineración en hornos de cemento
- Cogasificación con carbón o biomasa

Actualmente, la industria cementera es el principal consumidor final de este combustible.

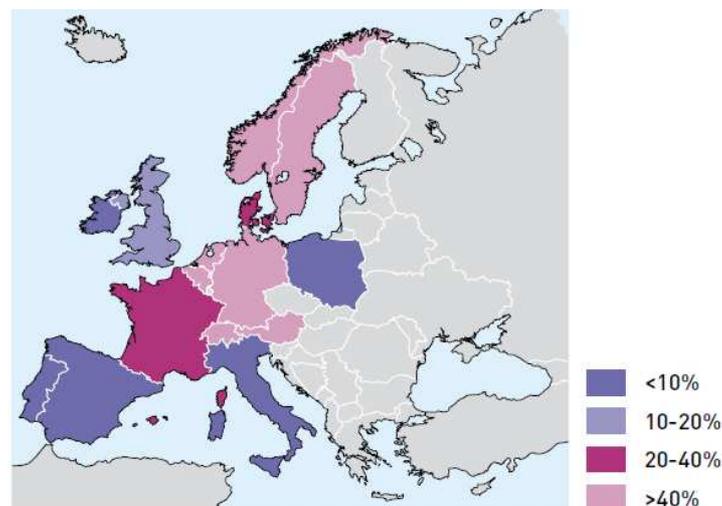


Figura 4.1 Uso de CDRSU en cementeras en la UE (% sustitución térmica), datos del 2002 al 2005. FUENTE: OFICEMEN

En la siguiente tabla y gráficos se indica la producción estimada de cada país y su uso final en el año 2005:

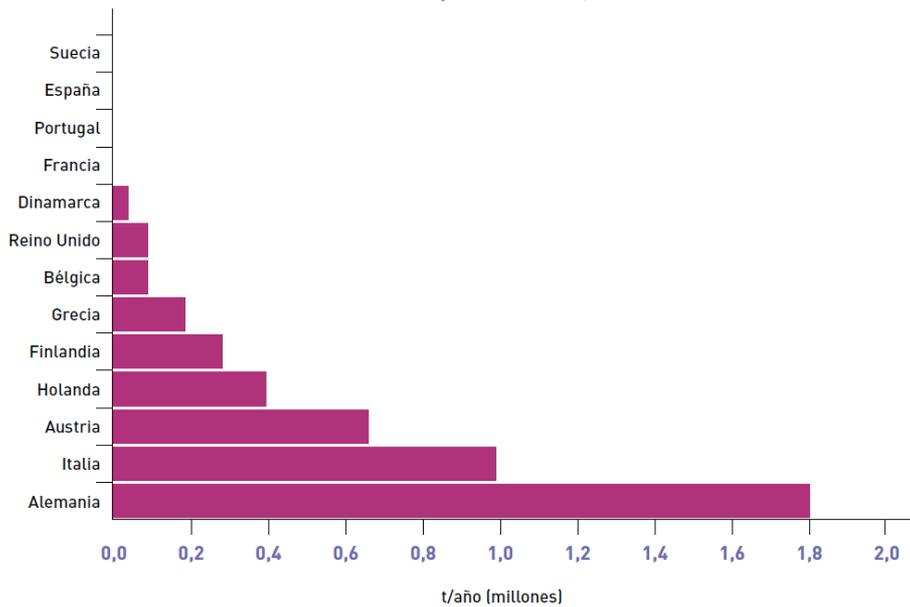


Figura 4.2 Producción de CDR/CSR en los países de la UE, 2005. FUENTE: ERFO

Tabla 4.1 Producción estimada de CDR en los países de la UE en 2005 y su uso final. FUENTE: ERFO

PAISES	Nº de plantas prod. CDR	Prod. CDR (x10 ³ tn/a)	USOS (x10 ³ tn/a)					
			Plantas de cemento	Centrales de carbón	Plantas de cogeneración	Incinerad. RSU	Altos hornos	Export.
Austria	13	680	150	0	510	20	220	80-100
Bélgica	5	100	100					
Dinamarca	1	12						0
Finlandia	21	300			300			0
Francia	0	0	50					- 50
Alemania (2005)	>30	1.800	1.340	300	200			50-100
Alemania (2006)	>35	2.400	1.500	600	300			50-100
Grecia	9	200	200					0
Italia	49	1.000	180	50	40	400		0
Holanda	8	300-400	0	0	0	0	0	300-400
Portugal	3							0
España	0	0						0
Suecia	12				1.300			
Reino Unido	4	100	100					0
TOTAL	>155	4.000 – 5.000	3.620	950	2.650	420	220	

Nota: En la tabla anterior, el CDR/CSR comprende las siguientes fracciones: combustible de las fracciones con alto poder calorífico del RSU en masa, mezcla de residuos comerciales y de residuos específicos.

4.3.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA INCINERACIÓN DE RSU

En relación a la Incineración exclusiva de RSU, en Europa la cantidad de residuos que son tratados por la incineración y utilizados en la producción de energía está creciendo constantemente.

Pero de todos modos, tal y como se puede apreciar en la tabla 4.2, la cantidad de residuos incinerados es muy dispar entre los diferentes países europeos. Mientras algunos de ellos practican la incineración a gran escala y la promueven con sus políticas de gestión y tratamiento de residuos, como es el case de Alemania, Suecia, Suiza, Holanda, etc., otros países utilizan mayoritariamente el vertedero como destino de los rechazos, como es el caso de Finlandia, Gran Bretaña, u otros países como Grecia o Irlanda, que no practican la incineración. Como se ve también en la misma tabla, el número total de plantas incineradoras para el 2007 en la Unión Europea era de 433, a la cabeza se encuentra Francia con 130, seguida por Alemania con 67 e Italia con 51.

Tabla 4.2 RSU tratados en plantas incineradoras y número de plantas en la Unión Europea, para el 2007. FUENTE: CEWEP

PAISES	RSU tratados 2007 (tn)	RSU tratados por habitante (tn/hab.)*	Nº de Plantas incineradoras
Austria	1.030.603	0,12	8
Bélgica	1.036.705	0,10	16
Rep. Checa	420.580	0,04	3
Dinamarca (2006)	1.006.161	0,18	29
Finlandia	**	0,00	1
Francia	11.081.692	0,17	130
Alemania	17.800.000	0,22	67
Gran Bretaña	150.000	0,002	20
Hungría	389.457	0,04	1
Italia	2.989.713	0,05	51
Holanda	5.543.469	0,34	11
Noruega	922.000	0,20	20
Portugal	1.019.484	0,10	3
España	1.792.737	0,04	10
Suecia	4.470.690	0,49	30
Suiza	3.580.000	0,47	29
Luxemburgo	100.000	0,2	1
Polonia	50.000	0,001	1
Eslovaquia	200.000***	0,04	2
TOTAL	53.583.291	0,12	433

Notas:

*Población promedio 2007, en base a Eurostat

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

*** Incluye coincineración en hornos de cemento

4.4 EL USO DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS DERIVADOS DE RESIDUOS EN ESPAÑA Y SITUACIÓN ACTUAL DE LA INCINERACIÓN DE RSU

4.4.1 COMBUSTIBLES DERIVADOS DE RSU

En España se vienen utilizando combustibles secundarios o alternativos desde hace ya unos años en las industrias del cemento, tabla 4.3.

Tabla 4.3 Toneladas de combustibles derivados de residuos utilizadas en la industria cementera en España. FUENTE: OFICEMEN 2012

COMBUSTIBLE	2006	2007	2008	2009	2010
Aceite usado	26.019	26.812	12.735	7.483	30.340
Disolventes y barnices	32.676	39.057	57.812	44.374	28.762
Res. Hidrocarburos	10.259	6.493	31.290	2.451	23.127
Plásticos	5.141	3.026	9.187	7.570	28.086
Otro no biomasa	6.240	16.600	25.625	25.625	10.125
Neumáticos	42.006	56.048	51.431	82.385	115.499
Serrín Impregnado	35.644	44.427	47.510	60.003	69.382
Otros parcialmente biomasa				79.718	79.718
Harinas y grasas animales	88.908	97.053	82.973	58.606	45.778
Lodos de depuradora	9.670	7.130	19.933	29.831	38.118
Madera	23.517	23.536	26.107	77.494	96.836
Papel, cartón y celulosa	4.016	5.942	750	575	74

Siguiendo el ejemplo de otros países europeos y los principios de gestión de los residuos, el sector cementero español está incrementando el uso combustibles alternativos, habiendo utilizada en el año 2010 unas 608.000 toneladas de residuos como combustibles, que supusieron el 16% del consumo térmico de los hornos de clínker. El ahorro energético alcanzado fue de unas 300.000 toneladas equivalentes de petróleo, que representa el consumo anual de 430.000 hogares.

Según el estudio «Reciclado y Valorización de Residuos en la Industria Cementera en España» elaborado por el Institut Cerdá para la Fundación Laboral del Cemento y el Medio Ambiente (FUNDACIÓN CEMA), de las 38 fábricas integrales de cemento existentes en nuestro país EN EL 2008, 28 están autorizadas a valorizar residuos energéticamente.

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 orientadas a prevenir el vertido y aprovechar la capacidad de tratamiento de las fábricas de cemento.

4.4.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA INCINERACIÓN DE RSU

En cuanto a la incineración propiamente dicha para la generación de energía, en la actualidad solo un pequeño porcentaje de RSU son gestionados y tratados de esta manera. En el 2010 en España, la generación de energía eléctrica a partir de residuos se llevaba a cabo en 10 instalaciones, tabla 4.4.

Tabla 4.4 Instalaciones de incineración de RSU en España, 2010. FUENTE: PNIR (2007-2015)

INSTALACIÓN	Cantidad de RSU tratada (tn/año)	Tipo de horno
Meruelo (Cantabria)	64.018	Parrilla de rodillos
Girona (Cataluña)	699.170	Parrilla Martin
San Adriá de Besós (Cataluña)		Parrilla deslizante (von roll)
Mataró (Cataluña)		Parrilla de rodillos
Tarragona (Cataluña)		Parrilla de rodillos
Mallorca (Balears)	323.866	Lecho fluidizado burbujeante
Madrid (Madrid)	241.000	Lecho fluido circulante
La Coruña (Galicia)	533.452	Parrilla de dientes
Melilla (Melilla)	36.000	Parrilla deslizante (Martin)
Bilbao (País Vasco)	240.000	
TOTAL	2.024.586	

Como se puede ver, la capacidad instalada de incineración de poco más de 2.000.000 de t de RSU/año, un valor muy bajo comparado con otros países de la Unión Europea.

Estudios contratados por IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), apuntan a que una capacidad instalada de incineración razonable, que permitiera poder equiparar nuestro modelo de gestión de residuos con el modelo de los países de la UE más avanzados en la materia, sería de alrededor del triple de la actual. Con una capacidad de incineración de esa índole, la generación de electricidad renovable a partir de RSU podría rondar los 2.200 GWh.

4.5 EFECTOS DE LA UTILIZACIÓN DE COMBUSTIBLES DERIVADOS DE RSU

Desde el punto de vista económico, el objetivo buscado por los usuarios de combustibles derivados de residuos es la sustitución de los costosos combustibles convencionales fósiles (carbón, fuel oil, gas natural) por los CDR, mucho más económicos. Por otro lado, desde el punto de vista ecológico, esta sustitución permite además ahorrar recursos naturales y emisiones atmosféricas de contaminantes en la preparación y combustión de los combustibles.

Como se ha explicado anteriormente para poder desarrollar este punto se utilizará un estudio realizado anteriormente por la Universidad Jaume I, donde se analizó la fabricación de combustible derivado de RSU a partir del rechazo de la Planta de Reciclaje y Compostaje (PRC) de Onda (Castellón), con unas características muy similares al rechazo que caracterizado. A continuación se expone una comparativa de los valores que toman cada uno de los parámetros analizados para ambos rechazos, tabla 4.5:

Tabla 4.5 Características de los rechazos de la planta de Onda, como la del estudio.

PARAMETRO	CDRSU Onda	CDRSU Estudio
Humedad (%)	34,46	21,06
PCI (Kcal./Kg)	4463,9	3883,9
S (%)	0,09	0,15
C (%)	47,99	65,42
N (%)	0,79	
Cl (%)		0,92
Hg (%)	72,80	0,052

Como se ve, los valores aunque difieren un poco los se tomarán como similares, para poder estimar que efectos tendría la utilización del rechazo de las plantas de selección de envases como combustibles.

4.5.1 EFECTOS DE LA SUSTITUCIÓN DE COMBUSTIBLES DERIVADOS DE RSU

Desde el punto de vista económico, el valor equivalente de producción de energía de 1 t de CDRSU (producido a partir del rechazo de la PRC de Onda, similar al rechazo de las PSE estudiado), se puede calcular de acuerdo con la eficacia energética de las instalaciones de valorización, y por lo tanto puede equipararse energéticamente a:

- La generación de 1.800 kWh de electricidad en una central térmica de lignito, sustituyendo 2.000 Kg de lignito.
- Generación de 1.800 kWh de electricidad en una central térmica de antracita, sustituyendo 700 Kg de antracita.
- Suministro de calor para producir alrededor de 5.000 kg de clínquer en una planta cementera, sustituyendo 700 Kg de antracita.

Notas:

Los valores de intercambio de energía se han escogido para una central térmica típica y equivalen a 11 MJ/kWh.

El consumo energético típico en el horno de clínquer se sitúa entre 3.000 y 5.500 MJ/t de clínquer.

Como se ha dicho anteriormente como las características de ambos rechazos son similares, se va a suponer que los resultados obtenidos para el rechazo de Onda serán los mismos que los que se obtendrían para el rechazo de la PSE estudiada, ya que se estimar que ambos rechazos son iguales. En este caso debido a que el PCI del rechazo de la PSE estudiada es menor se puede suponer que la energía generada por el rechazo estudiado será un poco menos a la generada por el rechazo de la Planta de Onda, pudiendo estimar que se encontraría alrededor de los 1500 Kwh producidos por tonelada de rechazo.

4.5.2 EFECTOS EN LAS EMISIONES ATMOSFERICAS

Desde el punto de vista medioambiental, el control de las emisiones de gases de combustión es un factor muy importante a la hora de valorizar energéticamente los CDRSU, estando estas emisiones reguladas por el RD 653/2003. El procesamiento térmico aplicado para esta valorización tiene características variables según el equipamiento de combustión utilizado y las características de la industria valorizadora.

En el estudio llevado a cabo por la UJI, se estimaron las emisiones producidas por la combustión de rechazo de la planta de Onda. Los cálculos teóricos del volumen y composición de los gases de combustión se han realizado con el supuesto de combustión en condiciones estequiométricas, aunque dada la naturaleza heterogénea del material es muy difícil incinerarlo con cantidades estequiométricas de aire.

La tabla 4.6 muestra una comparación de los gases de combustión resultantes de la combustión estequiométrica de 100 kg de antracita, de lignito y del CDRSU de Onda. En este punto de nuevo se supone que los resultados para de CDRSU de Onda serán los mismos que se obtendrían para el rechazo de las plantas de selección de envases o por lo menos muy parecidos.

Tabla 4.6 Comparación de la composición de los gases de combustión de 100 kg de antracita, lignito y CDRSU de Onda. FUENTE: *Aprovechamiento de la fracción mezcla de la planta de reciclaje y compostaje de residuos sólidos urbanos de Onda (Castellón)*, M.D. Bovea et al.

Gases de Combustión	Antracita	Lignito	CDRSU Onda
	VOLUMEN (Nm ³ /100 kg)	VOLUMEN (Nm ³ /100 kg)	VOLUMEN (Nm ³ /100 kg)
CO ₂	149,6	75,0	102,6
H ₂ O	42,4	82,4	67,9
SO ₂	0,5	0,7	0,07
N ₂	613,7	315,0	428,3
CAUDAL TOTAL	806,2	473,1	598,8

Como se puede ver en la tabla, las emisiones atmosféricas del CDRSU para la mayoría de los gases de combustión es muy parecida a la de los dos tipos de carbón, situándose entre medio de ambos.

Pero es importante destacar el caso de SO₂, un contaminante atmosférico muy importante, ya que las emisiones de este gas en la combustión del CDRSU son entre diez y siete veces menores que en la del lignito y de la antracita. Así pues, se puede señalar que desde el punto de vista de la contaminación por SO₂, es decir, desde el punto de vista ambiental, la combustión de este rechazo es mucho mejor que la combustión de cualquiera tipo de carbón, ya que la contaminación atmosférica por SO₂ sería muchísimo menor que la que se produciría con la utilización de carbón.

Por otro lado, como se ha descrito anteriormente, el Protocolo de Kyoto obliga a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero como es el CO₂. Para cumplir con los límites de emisión impuestos por el Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión, las industrias deben calcular estas emisiones de acuerdo con la Ley 1/2005. En este cálculo no se contabilizan las emisiones producidas por la combustión de biomasa, por lo que el caudal estimado en la tabla 4.5.2 para los gases de efecto invernadero (CO₂) se verían modificados en el caso del CDRSU ya que a estos si que se les aplica una reducción por la biomasa, mientras que a los carbones no.

Conociendo esto, se podría decir que el contenido en biomasa del CDRSU repercute positivamente en el cálculo de las emisiones de CO₂ con arreglo a la Ley 1/2005. Cuando este material se utiliza como combustible se estima que las emisiones efectivas de CO₂ se reducen en un 15% respecto a la situación anterior, en la que no se descontaba la biomasa. Así pues, comparando con la antracita, las emisiones efectivas de gases de efecto invernadero producidas por la combustión del CDRSU son de alrededor de un 20% inferiores. Otro punto a favor para los combustibles derivados de residuos desde el punto de vista ambiental.

4.6 CONCLUSIONES FINALES

La legislación europea en materia de energía y de gestión de residuos da un impulso al uso de los combustibles basados en residuos no peligrosos. Estos combustibles, con un contenido considerable de biomasa, pueden contribuir considerablemente a la reducción de las emisiones de CO₂ y SO₂ y al incremento del uso de las energías renovables. Además, debido a la liberalización del mercado de la energía y a la necesidad de reducir costes, la industria se interesa cada vez más por estos combustibles.

Por estas razones, la transformación del rechazo de las plantas de selección de envases en combustible derivado de residuos sólidos urbanos puede suscitar gran interés tanto desde el punto de vista económico como el ambiental. Se trataría de un combustible con un poder calorífico aceptable para la utilización en instalaciones exclusivas de valorización energética de residuos (incineradoras de RSU), en centrales térmicas, en plantas de calefacción urbanas y en procesos industriales como molinos de papel o hornos de cemento, y que contiene una concentración de azufre entre diez y siete veces menor que el carbón, además de minimizar las emisiones efectivas de CO₂.

Por ultimo se va realizar una simulación final, que puede ayudar a comprender cuanta sería la energía que se podría llegar a producir con la combustión del rechazo de las plantas de selección de envases en una central térmica.

Como se ha estimado anteriormente en España al año se generan 214.563 toneladas de rechazo en las Plantas de selección de envases. Tras la caracterización del rechazo de una de estas plantas se estimar que por cada tonelada de este rechazo de podría generar 1.800 KWh de energía eléctrica por lo que se puede hacer el siguiente supuesto:

- Rechazo de PSE generado al año: **214.614 tn/año**
- Energía total producida por 1 tn de rechazo en una central térmica de lignito: **1.800 KWh**
- Energía que necesita una persona al año (2005): **5.721 Kwh./hab.** FUENTE: UNESA, (Asociación Española Industria Eléctrica)
- **Número de personas abastecidas anualmente con la combustión del rechazo de PSE: 67.524 personas**

Así pues, con la energía eléctrica generada a partir de la combustión en una central térmica de todo el rechazo de las plantas de selección de envases que se genera en España, se podría abastecer a 67.524 personas durante todo un año, o lo que es lo mismo, se podría suministrar a una ciudad como Sagunto (65.595 habitantes)toda la energía eléctrica que necesita en un año.

5. BIBLIOGRAFÍA

- ABONOS ORGANICOS DE SEVILLA S.A. <aborgase.com/nct_conica.html> (21 de marzo de 2012)
- AENOR (1995). Combustibles minerales sólidos. Determinación del poder calorífico superior por el método de la bomba calorimétrica. UNE 32 105. Madrid: AENOR.
- AENOR (2002). Calidad del agua. Determinación de cloruro por análisis de flujo (FIA y CFA) y detección fotométrica o potenciométrica. UNE-EN ISO 15682. Madrid: AENOR.
- AENOR (2011). Combustibles sólidos recuperados. Determinación del contenido en humedad por el método del secado en estufa. Parte 3: Humedad en la muestra para análisis general. UNE-EN 15414-3. Madrid: AENOR.
- AENOR (2011). Combustibles sólidos recuperados. Métodos para la determinación del contenido en azufre (S), cloro (Cl), flúor (F) y bromo (Br). UNE-EN 15408. Madrid: AENOR.
- AGENCIA DE RESIDUOS DE CATALUÑA. <www20.gencat.cat/portal/site/arc/> (2 de mayo de 2012)
- AGUAS DE JEREZ. <www.aguasdejerez.com> (21 de marzo de 2012).
- AGUAS Y SERVICIOS DEL CAMPO DE GIBRALTAR S.A. <www.arcgisa.com> (22 de marzo de 2012)
- AREA METROPOLITANA DE BARCELONA. <www.amb.cat> (18 de abril de 2012)
- ASOCIACIÓN CATALANA DE INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS ESPECIALES. <www.acitre.org/Vertederos-controlados-Cespa.html> (23 de abril de 2012)
- AYUNTAMIENTO DE A CORUÑA, Medioambiente. <www.coruña.es/medioambiente/> (18 de mayo de 2012)
- AYUNTAMIENTO DE BENIDORM. <portal.benidorm.org/benidorm/opencms/site/web/> (8 de mayo de 2012)
- AYUNTAMIENTO DE BURGOS. <www.aytoburgos.es> (17 de abril de 2012)
- AYUNTAMIENTO DE CHIPIONA, Medio ambiente. <aytochipiona.es> (21 de marzo de 2012)
- AYUNTAMIENTO DE HELLÍN. <www.hellin.org/gestionresiduosurbanos.htm> (3 de abril de 2012)
- AYUNTAMIENTO DE LEÓN. <www.aytuleon.es> (16 de abril de 2012)
- AYUNTAMIENTO DE MADRID. <www.madrid.es> (22 de mayo de 2012)
- AYUNTAMIENTO DE RUBÍ. <www.rubi.cat> (3 de mayo de 2012)

AYUNTAMIENTO DE ZARAGOZA, Medio ambiente. < www.zaragoza.es/ciudad/limpia/> (29 de marzo de 2012)

AYUNTAMIENTO DEL PUERTO DE SANTA MARIA, MEDIOAMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. <www.elpuertosostenible.es> (28 de marzo de 2012)

AYUNTAMIENTO DE MOLINS DE REI. <molinsderei.cat> (19 de abril de 2012)

BIZKAIKO ZABOR BERZIKLATEGIA. <www.bzb.es> (24 de mayo de 2012)

BOVEA, M.D., GALLARDO, A., BELTRÁN, M. Y OCHERA, L. (2000). Aprovechamiento de la fracción mezcla de la planta de reciclaje y compostaje de residuos sólidos urbanos de Onda (Castellón). Parte II: Viabilidad de la utilización de la fracción mezcla residual como combustible. Trabajo de investigación. Grupo de investigación INGRES, Universidad Jaume I. Castellón.

CABILDO DE FUERTEVENTURA. <www.cabildofuer.es> (2 de abril de 2012)

CABILDO DE LANZAROTE. <www.cabildodelanzarote.com> (2 de abril de 2012)

CABILDO DE TENERIFE, Plan de Residuos de Tenerife. <www.reste.es> (2 de abril de 2012)

CEN (Comité europeo de normalización) (2006). Soil recovered fuels. Specifications and classes. CET/TS 15359. Bruselas: CEN.

CENTRO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE VALLADOLID. <www.ctrvalladolid.com> (16 de abril de 2012)

CESPA. <www.cespa.es> (20 de abril de 2012)

COGERSA, Gobierno del principado de Asturias. <www.cogersa.es> (29 de marzo de 2012)

COLOMER, F.J y GALLARDO, A. (2007). Tratamiento y gestión de residuos sólidos. Valencia: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.

COMARCA CAMPO DE BELCHITE. <www.campodebelchite.com>(29 de marzo de 2012)

COMARCA CAMPO DE CARIÑENA. <www.campodecarinena.org> (29 de marzo de 2012)

COMARCA RIBERA BAJA DEL EBRO. <www.riberabaja.es> (29 de marzo de 2012)

COMARCA VALLE DE TIETAR <www.valletietar.com> (18 de abril de 2012)

COMPLEJO PARA EL TRATAMIENTO DE RU DE ZARAGOZA. <www.zaragozarecicla.org> (29 de marzo de 2012)

CONSEJERIA DE AGRICULTURA, DESARROLLO RURAL, MEDIOAMBIENTE Y ENERGÍA. GOBIERNO DE EXTREMADURA. <www.extremambiente.es> (9 de mayo de 2012)

CONSELL COMARCAL DE BERGUEDÀ. <www.bergurda.cat> (24 de abril de 2012)

CONSELL DE IVISSA. <www.conselldeivissa.es> (30 de marzo de 2012)

CONSORCIO AS MARIÑAS. <www.consortioam.org> (18 de mayo de 2012)

CONSORCIO BAIX VINALOPO. <www.colorcomunicacion.com/webs/consorciobaixvinalopo/> (8 de mayo de 2012)

CONSORCIO COMARCAL DE L'ANOIA. <www.anoia.cat> (24 de abril de 2012)

CONSORCIO DE BAGES PARA LA GESTION DE RESIDUOS. <www.consorcidelbages.cat> (24 de abril de 2012)

CONSORCIO DE MEDIAMBIENTE DE LA DIPUTACION PROVINCIAL DE CUENCA. <www.consorma.es> (3 de abril de 2012)

CONSORCIO DE MEDIOAMBIENTE DE LA DIPUTACION DE SEGOVIA. <www.dipsegovia.es/index.php/contenido/consorcio_medioambiente> (18 de abril de 2012)

CONSORCIO DE MEDIOAMBIENTE ESTEPA-SIERRA SUR- PEÑON. <www.consorestepa.com> (26 de marzo de 2012)

CONSORCIO DE RESIDUOS URBANOS Y ENERGÍA DE MENORCA. <www.riemenorca.org> (2 de abril de 2012)

CONSORCIO DE RSU DE PA PROVINCIA DE CIUDAD REAL. <www.rsuciudadreal.es> (4 de abril de 2012)

CONSORCIO DEL SECTO II DE LA PROVINCIA DE ALMERIA PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS. <www.consortio2.almeria.es> (27 de marzo de 2012)

CONSORCIO PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS, REGIÓN DE MURCIA. <caamext.carm.es/cogersol/index.php?id=1&no_cache=1> (24 de mayo de 2012)

CONSORCIO PROVINCIAL DE RSU DE GRANADA. <www.resurgranada.es> (27 de marzo de 2012)

CONSORCIO RSU MALAGA. <www.consorciorsumalaga.com> (28 de marzo de 2012)

CONTAINERS DEL BERGUEDÀ S.L. <www.containersbergueda.com> (24 de abril de 2012)

COSELL COMARCAL DE OSONA. <www.ccosona.es> (3 de mayo de 2012)

COSELLERIA DE INFRAESTRUCTURAS, TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE DE LA COMUNIDAD VALENCIANA. <www.cma.gva.es> (4 de mayo de 2012)

DIPUTACIÓN DE ALAVA. <www.alava.net> (24 de mayo de 2012)

DIPUTACIÓN DE ALBACETE. <www.dipualba.es> (3 de abril de 2012)

DIPUTACIÓN DE ALMERÍA. Consorcio Almazora-Levante para la recogida y tratamiento de RSU. <www.dipalme.org> (20 de marzo de 2012).

DIPUTACIÓN DE LEÓN. <www.dipuleon.es> (16 de abril de 2012)

DIPUTACIÓN DE PALENCIA. <www.dip-palencia.es> (4 de abril de 2012)

DIPUTACIÓN DE ZAMORA. <www.diputaciondezamora.es> (4 de abril de 2012)

DIPUTACIÓN FORAL DE BIZKAIA. <garbiker.bizkaia.net> (24 de mayo de 2012)

DIPUTACIÓN FORAL DE GUIPUZKUA, Medioambiente. <www4.gipuzkoa.net/MedioAmbiente/gipuzkoaingurumena/es/home.asp> (24 de mayo de 2012)

DIRECTIVA 2008/98/CEE (2008) del Parlamento Europeo y de Consejo, de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. (DOCE nº L 312/3 de 22/11/2008).

DIRECTRICES PARA LA PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN DE RU EN LA CAPV (2008). Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca.

ECOEMBES. Información a los Ciudadanos. <sistemas.ecoembes.com/Ecoembes.SGR.InformeACiudadanos.WebUI/IndiceInformes.aspx> (25 de mayo de 2012).

ECOEMBES. Información sobre el Sistema de Gestión de los residuos de envases <www.ecoembes.com> (2 de septiembre de 2012).

ECOPARQUE DE LA RIOJA. <www.ecoparquedelarioja.es> (21 de mayo de 2012)

EOEMBES (2010). Informe anual 2010 [En línea]. Disponible en Internet: <<http://www.ecoembes.com/es/sobre-ecoembes/Paginas/memoria-anual.aspx>> (13 de marzo de 2012)

EPREMASA. Empresa Provincial de Residuos y Medio ambiente S.A., Diputación de Córdoba. <www.epremasa.es> (20 de marzo de 2012).

FENERCOM, (Fundación de Energía de la Comunidad de Madrid) (2010). Guía de valoración energética de residuos. Recuperado de <http://www.oficemen.com/lstPublicaciones.asp?id_cat=38>

GALLARDO, A. (2000). Metodología para el diseño de redes de recogida selectiva deRSU utilizando sistemas de información geográfica. Creación de una base de datos aplicable a España. Tesis (Doctor en Ingeniería Industrial). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.

GALLARDO, A. (2002). Análisis de residuos sólidos. Castelló de la Plana: Publicaciones de la Universitat Jaume I.

GESTIÓN DE RESIDUOS HUESCA S.A. <www.grhuesca.es> (29 de marzo de 2012)(

GESTIÓN MEDIAMBIENTAL DE LA COSTA DEL SOL. <medioambiental.mancomunidad.org/index.php> (27 de marzo de 2012)

GESTION Y DESARROLLO DEL MEDIOAMBIENTE DE MADRID. <www.gedesma.es> (22 de mayo de 2012)

GESTIÓN Y EXPLOPACIÓN DE SERVICIOS EXTREJEMEÑOS S.A.U. <www.gespesa.es> (9 de mayo de 2012)

GIAHSA. Empresa de La Mancomunidad de Servicios de la Provincia de Huelva. <www.giahsa.com> (22 de marzo de 2012)

GOBIERNO DE CANARIAS. <www.gobiernodecanarias.org> (2 de abril de 2012)

GOBIERNO DE LA RIOJA. <www.larioja.org> (21 de mayo de 2012)

GRIÑO ECOLOGIC. <www.grinyo.com> (3 de mayo de 2012)

GRUPO VAERSA. <www.vaersa.com> (4 de mayo de 2012)

IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) (2011). Situación y potencial de valorización energética directa de residuos. Estudio Técnico PER 2011-2020. Recuperado de <http://www.oficemen.com/1stPublicaciones.asp?id_cat=38>

INE. Instituto Nacional de Estadística. <www.ine.es> (20 de marzo de 2012).

INFOENVIRO WASTE (Ed.) (2008). Mejora y automatización del proceso de tratamiento en la planta de RSU del Complejo Ambiental “La Vega”. Infoenviro Octubre 2008, pp. 19-33.

INFOENVIRO WASTE (Ed.) (2006). Planta de valorización y transferencia de residuos de la comarca de Osona, Vic (Barcelona). Infoenviro Septiembre 2006, pp. 41-49.

INFOENVIRO WASTE (Ed.) (2008). Nuevas instalaciones para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos. Infoenviro Noviembre – Diciembre 2008, pp.67-68

INFOENVIRO WASTE (Ed.) (2009). Planta para elaboración de combustible derivado de residuos plásticos en la fábrica de Castillejo de CEMEX España. Infoenviro Julio/Agosto 2009, pp. 43-50.

INFOENVIRO WASTE (Ed.) (2010). Ampliación de la planta de selección de envases de Els Hostalets de Pierola (Barcelona). Infoenviro Mayo 2010, pp. 63-71.

INFOENVIRO. Reviste técnica sobre la industria ambiental. <www.infoenviro.es> (26 de marzo de 2012).

JUNTA DE ANDALUCIA. Consejería de Agricultura, Pesca y MA. <www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/> (20 de marzo de 2012).

LECO (1999). Manual de SC-144DR: Dual range sulfur and carbon análisis sistem. (s.l.): LECO Corporation.

LECO (s.f.). Manual de AMA-254: Analizador de mercurio. (s.l.): LECO Corporation.

LEY 1/2005, de 9 de marzo, por el que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. (BOE nº 59 de 10/03/2005).

LEY 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. (BOE nº 96, de 22/04/1998).

LEY 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. (BOE nº 157, de 2/07/2002).

LEY 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. (BOE nº 181, de 29/07/2011).

LIMPASAM. Ayuntamiento de Sevilla. <www.limpasam.se> (21 de marzo de 2012)

LIMPIEZA MUNICIPAL MURCIA. <www.limusa.es> (25 de mayo de 2012)

LOPEZ GARRIDO, J., VIDAL, F.M. Y PEREIRA, J. (1975). Basura Urbana: recogida, eliminación y reciclaje. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, S.A.

MAGRAM. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. <www.magrama.gob.es> (20 de marzo de 2012).

MANCOMUNIDAD DE SAKANA. <www.sakana-mank.com> (23 de mayo de 2012)

MANCOMUNIDAD UROLA COSTA. <www.urolakosta.org> (24 de mayo de 2012)

MANCOMUNIDAD DE LA COSTA DEL SOL OCCIDENTAL. <www.mancomuniada.org> (27 de marzo de 2012)

MANCOMUNIDAD DE MUNICIPIOS DEL BAJO GUADALQUIVIR. <www.bajoguadalquivir.org> (21 de marzo de 2012)

MANCOMUNIDAD BARRANCO DE LAS CINCO VILLAS. <www.sendascincovillas.eu> (18 de abril de 2012)

MANCOMUNIDAD COMARCAL DE DEBABARRENA. <debabarrena.net>

MANCOMUNIDAD DE BORTZIRIAK – CINCO VILLAS PARA LA GESTION DE RSU. <www.bortziriakzabor.com> (22 de mayo de 2012)

MANCOMUNIDAD DE LA COMARCA DE PAMPLONA. <www.mcp.es> (22 de mayo de 2012)

MANCOMUNIDAD DE MAIRAGA. <www.mairaga.es> (22 de mayo de 2012)

MANCOMUNIDAD DE MONTEJURRA. <www.montejurra.com> (23 de mayo de 2012)

MANCOMUNIDAD DE MUNICIPIOS DE LA JANDA. <www.comarcalajanda.org> (28 de marzo de 2012)

MANCOMUNIDAD DE MUNICIPIOS DEL CAMPO DE GIBRALTAR. <www.mancomunidadcg.es> (22 de marzo de 2012)

MANCOMUNIDAD DE MUNICIPIOS DEL PENEDEÈS – GARRAF. <www.mancomunitat.cat> (23 de abril de 2012)

MANCOMUNIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS LA RIBERA. <www.mancoribera.com> (22 de mayo de 2012)

MANCOMUNIDAD DE SAN MARKO. <sanmarko.net> (24 de mayo de 2012)

MANCOMUNIDAD DE SASIETA. <www.sasieta.net> (24 de mayo de 2012)

MANCOMUNIDAD DE SERVICIOS COMSERMANCHA. <comsermancha.es> (3 de abril de 2012)

MANCOMUNIDAD DE SERVICIOS DE LA VEGA. <www.lavegamancomunidad.es> (26 de marzo de 2012).

MANCOMUNIDAD DE SERVICIOS DE UROLA MEDIO. <www.urolaerdia.org> (24 de mayo de 2012)

MANCOMUNIDAD DE SERVIDIOS DE LA PROVINCIA DE HUELVA. <www.mashuelva.com> (22 de marzo de 2012)

MANCOMUNIDAD DE TOLOSALDEA. <www.tolosaldea.org> (24 de mayo de 2012)

MANCOMUNIDAD DE TXINGUDI. <www.txinzer.com> (24 de mayo de 2012)

MANCOMUNIDAD DE VALDIZARBE. <www.mancomunidadvaldizarbe.com> (23 de mayo de 2012)

MANCOMUNIDAD DEL ALTO DEBA. <www.debagoiena.com> (24 de mayo de 2012)

MANCOMUNIDAD DEL BAJO GALLEGO. <www.mancomunidadbajogallego.es> (29 de marzo de 2012)

MANCOMUNIDAD ECOALCORE. <www.ecoalcores.es> (21 de marzo de 2012)

MANCOMUNIDAD GUADALQUIVIR. <manguadalquivir.com> (21 de marzo de 2012)

MANCOMUNIDAD INTERMUNICIPAL CAMPIÑA 2000. <www.xn-ampia2000x9a.es/opencms/opencms/campina2000/quienessomos/index.html> (22 de marzo de 2012)

MANCOMUNIDAD INTERMUNICIPAL DEL CARDENER. <www.mintercar.org> (24 de abril de 2012)

MANCOMUNIDAD LA PLANA. <www.mancoplana.cat> (27 de abril de 2012)

MAPFRE (1994). Implicación ambiental de la incineración de residuos urbanos, hospitalarios e industriales. Madrid: Fundación MAPFRE.

MASIAS RECYCLING. <masiasrecycling.com> (3 de mayo de 2012)

- MEDIOAMBIENTE, AGUA, RESIDUOS Y ENERGÍA DE CANTABRIA S.A. <www.mare.es> (2 de abril de 2012)
- MIE (Ministerio de Industria y Energía) (1981). Residuos Sólidos Urbanos en España. Madrid: Dirección General de Innovación Industrial y Tecnológica.
- MORENO, J., PÉREZ, M.D., MORAL, R., PÉREZ, A. y PAREDES, C. (2003). Cloruros, método de electrodo específico. En Manual de técnicas de laboratorio para el análisis de aguas, suelos, residuos orgánicos y plantas (pp. 35 – 38). Elche: Universidad Miguel Hernández.
- MURCIA LIMPIA, Ayuntamiento de Murcia. <www.murcialimpia.com> (25 de mayo de 2012)
- NOEHAMMER, H.C. and BYER, F.R. (1997). Effect of design variables on participation in residential curbside recycling programs. Waste Management & Research. V 15, pags. 407-427.
- NORMAS CEN PARA LOS CDR. < <http://www.betalabservices.com/espanol/carbono-renovable/combustibles-derivados-de-residuos.html>> (6 de septiembre de 2012)
- OFICEMEN, AGRUPACIÓN DE FABRICANTES DE CEMENTO EN ESPAÑA. <http://www.oficemen.com/!stIPubli.asp?id_cat=31> (7 de septiembre de 2012)
- OTERO DEL PERAL, L.R. (1996). Guía profesional para la gestión ecológica de los residuos sólidos urbanos. Madrid: La Casa de la Ecología S.L.
- PLAN DE ACCIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES DE ESPAÑA (2011 - 2020). Aprobado mediante Acuerdo del Consejo de Ministros del 30 de junio de 2010.
- PLAN DE GESTIÓN DE RESIDUOS URBANOS DE CASTILLA-LA MANCHA (2009 – 2019). Gobierno de Castilla – La Mancha. Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente.
- PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DE ARAGÓN (2009-2015). Gobierno de Aragón. Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente.
- PLAN DIRECTOR TERRITORIAL DE GESTIÓN DE RESIDUOS URBANOS DE ANDALUCIA (1999). Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente.
- PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN DE RESIDUOS URBANOS DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS (2001-2005). Gobierno del principado de Asturias. Consejería de Fomento, Ordenación del Territorio y Medio Ambiente.
- PLAN INTEGRAL DE RESIDUIS DE CANARIAS (2000-2006). Gobierno de Canarias. Consejería de Política Territorial y Medio Ambiente.
- PLAN INTEGRAL DE RESIDUOS DE EXTREMADURA (2009-2015). Junta de Extremadura. Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente.

PLAN INTEGRAL DE RESIDUOS DE LA COM. VALENCIANA (2010). Generalitat Valenciana. Conselleria de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda.

PLAN NACIONAL INTEGRADO DE RESIDUOS (2007-2015). Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental.

PLAN SECTORIAL DE RESIDUOS MUNICIPALES DE CANTABRIA (2009-2013). Gobierno de Cantabria. Consejería de Medio Ambiente.

PLAN TERRITORIAL SECTORIAL DE INFRAESTRUCTURAS DE GESTIÓN DE RESIDUOS MUNICIPALES DE CATALUÑA. (2010). Generalitat de Catalunya. Departamento de Medio Ambiente y vivienda.

RD 252/2006, de 3 de marzo, por el que se revisan los objetivos de reciclado y valorización establecidos en la Ley 11/1997, de 24 de abril, de Envases y Residuos de Envases, y por el que se modifica el Reglamento para su ejecución, aprobado por el Real Decreto 782/1998 (BOE nº 54 de 04/03/2006).

RD 653/2003 relativo a la Incineración de Residuos. (BOE nº 142 de 14/06/2003).

RECICLAME. <www.reciclame.info> (21 de mayo de 2012)

RECUPERACIÓN MARCEL NAVARRO I FILLS. <www.recuperacionsnavarro.com> (2 de mayo de 2012)

RED DE CONTROS DE INFORMACIÓN DE RESIDUOS DE LA COMUNIDAD DE MADRID. <www.rcir.es> (22 de mayo de 2012)

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS JAEN S.A. <www.resurjaen.com> (27 de marzo de 2012)

RETEMA (Ed.) (2007). Complejo para Tratamiento de Residuos Urbanos de Zaragoza. Retema Noviembre – Diciembre 2007, pp. 8-19.

RETEMA (Ed.) (2008). Planta de Selección de Envases de Constantí (Tarragona). Retema Marzo – Abril 2008, pp. 32-43.

RETEMA (Ed.) (2009). Planta de compostaje de Abajas (Burgos). Retema Marzo – Abril 2009, pp. 72-84.

RETEMA. Revista Técnica del Medioambiente. <www.retema.es> (26 de marzo de 2012).

SAEMA EMPLEO S.L.U. <www.saema.es> (2 de abril de 2012)

SEOÁNEZ, M. (1999) Ingeniería del Medio Ambiente aplicada al medio natural continental. Madrid: Mundi-Prensa.

SERVICIO DE LIMPIEZA INTEGRAL MALAGA III S.A. <www.limasa3.es> (28 de marzo de 2012)

SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE GALICIA. <www.siam.medioambiente.xunta.es> (18 de mayo de 2012)

SISTEMA DE INFORMACIÓN DE RESIDUOS DE GALICIA. <www.sirga.medioambiente.xunta.es>
(18 de mayo de 2012)

SOCIEDAD GALLEGA DE MEIOAMBIENTE. <www.sogama.es> (21 de mayo de 2012)

TCHOBANOGLIOUS, G; THEISEN, H; VIGIL, S. (1994). Gestión integral de residuos sólidos.
Madrid etc.: McGraw-Hill/Interamericana de España.

TIRGI. <www.tirgi.com/instalacions.htm> (2 de mayo de 2012)

TIRME, Parque de Tecnologías Ambientales de Mallorca. <www.tirme.com> (30 de marzo de 2012)

UNESA, ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA INDUSTRIA ELECTRICA.
<http://www.unesa.net/unesa/unesa/electricidad/ficha2_9.html#> (7 de septiembre de 2012)

6. ANEXOS

ANEXO 1: Listado de paginas webs consultadas para estimar la producción de rechazo de las Plantas de selección de envases.

- ABONOS ORGANICOS DE SEVILLA S.A. <aborgase.com/nct_conica.html> (21 de marzo de 2012)
- AGENCIA DE RESIDUSO DE CATALUÑA. <www20.gencat.cat/portal/site/arc/> (2 de mayo de 2012)
- AGUAS DE JEREZ. <www.aguasdejerez.com> (21 de marzo de 2012).
- AGUAS Y SERVICIOS DEL CAMPO DE GIBRALTAR S.A. <www.arcgisa.com> (22 de marzo de 2012)
- AREA METROPOLITANA DE BARCELONA. <www.amb.cat> (18 de abril de 2012)
- ASOCIACIÓN CATALANA DE INSTALACIONES DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS ESPECIALES. <www.acitre.org/Vertederos-controlados-Cespa.html> (23 de abril de 2012)
- AYUNTAMIENTO DE A CORUÑA, Medioambiente. <www.coruña.es/medioambiente/> (18 de mayo de 2012)
- AYUNTAMIENTO DE BENIDORM. <portal.benidorm.org/benidorm/opencms/site/web/> (8 de mayo de 2012)
- AYUNTAMIENTO DE BURGOS. <www.aytoburgos.es> (17 e abril de 2012)
- AYUNTAMIENTO DE CHIPIONA, Medio ambiente. <aytochipiona.es> (21 de marzo de 2012)
- AYUNTAMIENTO DE HELLÍN. <www.hellin.org/gestionresiduosurbanos.htm> (3 de abril de 2012)
- AYUNTAMIENTO DE LEÓN. <www.aytuleon.es> (16 de abril de 2012)
- AYUNTAMIENTO DE MADRID. <www.madrid.es> (22 de mayo de 2012)
- AYUNTAMIENTO DE RUBÍ. <www.rubi.cat> (3 de mayo de 2012)
- AYUNTAMIENTO DE ZARAGOZA, Medio ambiente. < www.zaragoza.es/ciudad/limpia/> (29 de marzo de 2012)
- AYUNTAMIENTO DEL PUERTO DE SANTA MARIA, MEDIOAMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. <www.elpuertosostenible.es> (28 de marzo de 2012)
- AYUNTAMIENTO DE MOLINS DE REI. <molinsderei.cat> (19 de abril de 2012)
- BIZKAIKO ZABOR BERZIKLATEGIA. <www.bzb.es> (24 de mayo de 2012)
- CABILDO DE FUERTEVENTURA. <www.cabildofuer.es> (2 de abril de 2012)
- CABILDO DE LANZAROTE. <www.cabildodelanzarote.com> (2 de abril de 2012)
- CABILDO DE TENERIFE, Plan de Residuos de Tenerife. <www.reste.es> (2 de abril de 2012)
- CENTRO DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS DE VALLADOLID. <www.ctrvalladolid.com> (16 de abril de 2012)
- CESPA. <www.cespa.es> (20 de abril de 2012)
- COGERSA, Gobierno del principado de Asturias. <www.cogersa.es> (29 de marzo de 2012)
- COMARCA CAMPO DE BELCHITE. <www.campodebelchite.com>(29 de marzo de 2012)
- COMARCA CAMPO DE CARIÑENA. <www.campodecarinena.org> (29 de marzo de 2012)
- COMARCA RIBERA BAJA DEL EBRO. <www.riberabaja.es> (29 de marzo de 2012)
- COMARCA VALLE DE TIETAR <www.valletietar.com> (18 de abril de 2012)
- COMPLEJO PARA EL TRATAMIENTO DE RU DE ZARAGOZA. <www.zaragozarecicla.org> (29 de marzo de 2012)
- CONSEJERIA DE AGRICULTURA, DESARROLLO RURAL, MEOAMBIENTE Y ENERGÍA. GOBIERNO DE EXTREMADURA. <www.extremambiente.es> (9 de mayo de 2012)
- CONSELL COMARCAL DE BERGUEDÀ. <www.bergurda.cat> (24 de abril de 2012)
- CONSELL DE IVISSA. <www.conselldeivissa.es> (30 de marzo de 2012)

- CONSORCIO AS MARIÑAS. <www.consorcioam.org> (18 de mayo de 2012)
- CONSORCIO BAIX VINALOPO. <www.colorcomunicacion.com/webs/consorciobaixvinalopo/> (8 de mayo de 2012)
- CONSORCIO COMARCAL DE L'ANOIA. <www.anoia.cat> (24 de abril de 2012)
- CONSORCIO DE BAGES PARA LA GESTION DE RESIDUOS. <www.consorcidelbages.cat> (24 de abril de 2012)
- CONSORCIO DE MEDIAMBIENTE DE LA DIPUTACION PROVINCIAL DE CUENCA. <www.consorma.es> (3 de abril de 2012)
- CONSORCIO DE MEDIOAMBIENTE DE LA DIPUTACION DE SEGOVIA. <www.dipsegovia.es/index.php/contenido/consorcio_medioambiente> (18 de abril de 2012)
- CONSORCIO DE MIEDIOAMBIENTE ESTEPA-SIERRA SUR- PEÑON. <www.consorestepa.com> (26 de marzo de 2012)
- CONSORCIO DE RESIDUOS URBANOS Y ENERGÍA DE MENORCA. <www.riemenorca.org> (2 de abril de 2012)
- CONSORCIO DE RSU DE PA PROVINCIA DE CIUDAD REAL. <www.rsuciudadreal.es> (4 de abril de 2012)
- CONSORCIO DEL SECTO II DE LA PROVINCIA DE ALMERIA PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS. <www.consorcio2.almeria.es> (27 de marzo de 2012)
- CONSORCIO PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS, REGIÓN DE MURCIA. <caamext.carm.es/cogersol/index.php?id=1&no_cache=1> (24 de mayo de 2012)
- CONSORCIO PROVINCIAL DE RSU DE GRANADA. <www.resurgranada.es> (27 de marzo de 2012)
- CONSORCIO RSU MALAGA. <www.consorciorsumalaga.com> (28 de marzo de 2012)
- CONTAINERS DEL BERGUEDÀ S.L. <www.containersbergueda.com> (24 de abril de 2012)
- COSELL COMARCAL DE OSONA. <www.ccosona.es> (3 de mayo de 2012)
- COSELLERIA DE INFRAESTRUCTURAS, TERRITORIO Y MEDIO AMBIENTE DE LA COMUNIDAD VALENCIANA. <www.cma.gva.es> (4 de mayo de 2012)
- DIPUTACIÓN DE ALAVA. <www.alava.net> (24 de mayo de 2012)
- DIPUTACIÓN DE ALBACETE. <www.dipualba.es> (3 de abril de 2012)
- DIPUTACIÓN DE ALMERÍA. Consorcio Almazora-Levante para la recogida y tratamiento de RSU. <www.dipalme.org> (20 de marzo de 2012).
- DIPUTACIÓN DE LEÓN. <www.dipuleon.es> (16 de abril de 2012)
- DIPUTACIÓN DE PALENCIA. <www.dip-palencia.es> (4 de abril de 2012)
- DIPUTACIÓN DE ZAMORA. <www.diputaciondezamora.es> (4 de abril de 2012)
- DIPUTACIÓN FORAL DE BIZKAIA. <garbiker.bizkaia.net> (24 de mayo de 2012)
- DIPUTACIÓN FORAL DE GUIPUZKUA, Medioambiente. <www4.gipuzkoa.net/MedioAmbiente/gipuzkoaingurumena/es/home.asp> (24 de mayo de 2012)
- ECOEMBES. Información a los Ciudadanos. <sistemas.ecoembes.com/Ecoembes.SGR.InformeACiudadanos.WebUI/IndiceInformes.aspx> (25 de mayo de 2012).
- ECOEMBES. Información sobre el Sistema de Gestión de los residuos de envases <www.ecoembes.com> (2 de septiembre de 2012).
- ECOPARQUE DE LA RIOJA. <www.ecoparquedelarioja.es> (21 de mayo de 2012)
- EPREMASA. Empresa Provincial de Residuos y Medio ambiente S.A., Diputación de Córdoba. <www.epremasa.es> (20 de marzo de 2012).
- GESTIÓN DE RESIDUOS HUESCA S.A. <www.grhuesca.es> (29 de marzo de 2012)
- GESTIÓN MEDIAMBIENTAL DE LA COSTA DEL SOL. <medioambiental.mancomunidad.org/index.php> (27 de marzo de 2012)
- GESTION Y DESARROLLO DEL MEDIOAMBIENTE DE MADRID. <www.gedesma.es> (22 de mayo de 2012)

- GESTIÓN Y EXPLOPACIÓN DE SERVICIOS EXTREJMEÑOS S.A.U. <www.gespesa.es> (9 de mayo de 2012)
- GIAHSA. Empresa de La Mancomunidad de Servicios de la Provincia de Huelva. <www.giahsa.com> (22 de marzo de 2012)
- GOBIERNO DE CANARIAS. <www.gobiernodecanarias.org> (2 de abril de 2012)
- GOBIERNO DE LA RIOJA. <www.larioja.org> (21 de mayo de 2012)
- GRIÑO ECOLOGIC. <www.grinyo.com> (3 de mayo de 2012)
- GRUPO VAERSA. <www.vaersa.com> (4 de mayo de 2012)
- INE. Instituto Nacional de Estadística. <www.ine.es> (20 de marzo de 2012).
- INFOENVIRO. Reviste técnica sobre la industria ambiental. <www.infoenviro.es> (26 de marzo de 2012).
- JUNTA DE ANDALUCIA. Consejería de Agricultura, Pesca y MA. <www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/porta/web/> (20 de marzo de 2012).
- LIMPASAM. Ayuntamiento de Sevilla. <www.limpasam.se> (21 de marzo de 2012)
- LIMPIEZA MUNICIPAL MURCIA. <www.limusa.es> (25 de mayo de 2012)
- MAGRAM. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. <www.magrama.gob.es> (20 de marzo de 2012).
- MANCOMUNIDAD DE SAKANA. <www.sakana-mank.com> (23 de mayo de 2012)
- MANCOMUNIDAD UROLA COSTA. <www.urolakosta.org> (24 de mayo de 2012)
- MANCOMUNIDAD DE LA COSTA DEL SOL OCCIDENTAL. <www.mancomuniada.org> (27 de marzo de 2012)
- MANCOMUNIDAD DE MUNICIPIOS DEL BAJO GUADALQUIVIR. <www.bajoguadalquivir.org> (21 de marzo de 2012)
- MANCOMUNIDAD BARRANCO DE LAS CINCO VILLAS. <www.sendascincovillas.eu> (18 de abril de 2012)
- MANCOMUNIDAD COMARCAL DE DEBABARRENA. <debabarrena.net>
- MANCOMUNIDAD DE BORTZIRIAK – CINCO VILLAS PARA LA GESTION DE RSU. <www.bortziriazabor.com> (22 de mayo de 2012)
- MANCOMUNIDAD DE LA COMARCA DE PAMPLONA. <www.mcp.es> (22 de mayo de 2012)
- MANCOMUNIDAD DE MAIRAGA. <www.mairaga.es> (22 de mayo de 2012)
- MANCOMUNIDAD DE MONTEJURRA. <www.montejurra.com> (23 de mayo de 2012)
- MANCOMUNIDAD DE MUNICIPIOS DE LA JANDA. <www.comarcalajanda.org> (28 de marzo de 2012)
- MANCOMUNIDAD DE MUNICIPIOS DEL CAMPO DE GIBRALTAR. <www.mancomunidadcg.es> (22 de marzo de 2012)
- MANCOMUNIDAD DE MUNICIPIOS DEL PENEDÈS – GARRAF. <www.mancomunitat.cat> (23 de abril de 2012)
- MANCOMUNIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS LA RIBERA. <www.mancoribera.com> (22 de mayo de 2012)
- MANCOMUNIDAD DE SAN MARKO. <sanmarko.net> (24 de mayo de 2012)
- MANCOMUNIDAD DE SASIETA. <www.sasieta.net> (24 de mayo de 2012)
- MANCOMUNIDAD DE SERVICIOS COMSERMANCHA. <comsermancha.es> (3 de abril de 2012)
- MANCOMUNIDAD DE SERVICIOS DE LA VEGA. <www.lavegamancomunidad.es> (26 de marzo de 2012).
- MANCOMUNIDAD DE SERVICIOS DE UROLA MEDIO. <www.urolaerdia.org> (24 de mayo de 2012)
- MANCOMUNIDAD DE SERVIDIOS DE LA PROVINCIA DE HUELVA. <www.mashuelva.com> (22 de marzo de 2012)
- MANCOMUNIDAD DE TOLOSALDEA. <www.tolosaldea.org> (24 de mayo de 2012)
- MANCOMUNIDAD DE TXINGUDI. <www.txinzer.com> (24 de mayo de 2012)

- MANCOMUNIDAD DE VALDIZARBE. <www.mancomunidadvaldizarbe.com> (23 de mayo de 2012)
- MANCOMUNIDAD DEL ALTO DEBA. <www.debagoiena.com> (24 de mayo de 2012)
- MANCOMUNIDAD DEL BAJO GALLEGO. <www.mancomunidadbajogallego.es> (29 de marzo de 2012)
- MANCOMUNIDAD ECOALCORE. <www.ecoalcores.es> (21 de marzo de 2012)
- MANCOMUNIDAD GUADALQUIVIR. <manguadalquivir.com> (21 de marzo de 2012)
- MANCOMUNIDAD INTERMUNICIPAL CAMPIÑA 2000. <www.xn--campia2000-x9a.es/opencms/opencms/campina2000/quienessomos/index.html> (22 de marzo de 2012)
- MANCOMUNIDAD INTERMUNICIPAL DEL CARDENER. <www.mintercar.org> (24 de abril de 2012)
- MANCOMUNIDAD LA PLANA. <www.mancoplana.cat> (27 de abril de 2012)
- MASIAS RECYCLING. <masiasrecycling.com> (3 de mayo de 2012)
- MEDIOAMBIENTE, AGUA, RESIDUOS Y ENERGÍA DE CANTABRIA S.A. <www.mare.es> (2 de abril de 2012)
- MURCIA LIMPIA, Ayuntamiento de Murcia. <www.murcialimpia.com> (25 de mayo de 2012)
- RECICLAME. <www.reciclame.info> (21 de mayo de 2012)
- RECUPERACIÓN MARCEL NAVARRO I FILLS. <www.recuperacionsnavarro.com> (2 de mayo de 2012)
- RED DE CONTROS DE INFORMACIÓN DE RESIDUOS DE LA COMUNIDAD DE MADRID. <www.rcir.es> (22 de mayo de 2012)
- RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS JAEN S.A. <www.resurjaen.com> (27 de marzo de 2012)
- RETEMA. Revista Técnica del Medioambiente. <www.retema.es> (26 de marzo de 2012).
- SAEMA EMPLEO S.L.U. <www.saema.es> (2 de abril de 2012)
- SERVICIO DE LIMPIEZA INTEGRAL MALAGA III S.A. <www.limasa3.es> (28 de marzo de 2012)
- SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE GALICIA. <www.siam.medioambiente.xunta.es> (18 de mayo de 2012)
- SISTEMA DE INFORMACIÓN DE RESIDUOS DE GALICIA. <www.sirga.medioambiente.xunta.es> (18 de mayo de 2012)
- SOCIEDAD GALLEGA DE MEIOAMBIENTE. <www.sogama.es> (21 de mayo de 2012)
- TIRGI. <www.tirgi.com/instalacions.htm> (2 de mayo de 2012)
- TIRME, Parque de Tecnologías Ambientales de Mallorca. <www.tirme.com> (30 de marzo de 2012)

ANEXO2: Composiciones de las CCAA consultadas para estimar el porcentaje de briks en la composición de los RSU en España.

Tabla 6.1 Composición media de RSU en Andalucía, Plan Director Territorial de Gestión de RU de Andalucía, 1999.

Componente	Composición media (%)
Materia orgánica	47,5
Papel - Cartón	20,0
Vidrio	8,0
Plástico	12,0
Metal	3,5
Briks	1,0
Otros	8,0
Total	100,0

Tabla 6.2 Composición media de RSU en El principado de Asturias, Plan Estratégico de Gestión de RU del Principado de Asturias, 2001-2005.

Componente	Composición media (%)
Materia orgánica	49,10
Papel - Cartón	26,10
Vidrio	5,00
Plástico huecos	3,90
Plástico film	6,50
Briks	1,11
Metal férricos	1,30
Metal no férricos	1,10
Otros	5,90
Total	100,00

Tabla 6.3 Composición media de RSU en Canarias, Plan Integrado de Residuos de Canarias, 2000-2006.

Componente	Composición media (%)
Materia orgánica	59,09
Papel - Cartón	17,56
Vidrio	6,31
Plásticos	8,49
Briks	1,42
Madera	0,02
Metal férricos	2,65
Metal no férricos	1,40
Textiles	1,95
Otros	1,10
Total	100,00

Tabla 6.4 Composición media de RSU en Cantabria, Plan Sectorial de Residuos Municipales de Cantabria, 2009-2013.

Componente	Composición media (%)
Materia orgánica	38,94
Papel - Cartón	25,24
Envases metálicos	1,69
Envases Plásticos	9,22
Briks	1,04
Madera	0,01
Vidrio	4,11
Otros	19,75
Total	100,00

Tabla 6.5 Composición media de RSU en La Comunidad Valenciana, Plan Integral de Residuos de La Com. Valenciana, 2010.

Componente	Composición media (%)
Materia orgánica	41,0
Papel - Cartón	19,0
Plástico	14,6
Vidrio	5,8
Briks	1,5
Metales férricos	4,4
Metales no férricos	0,9
Tierras y ceniza	3,3
Textiles	4,2
Madera	0,9
Total	100,0

Tabla 6.6 Composición media de RSU en Extremadura, Plan Integral de Residuos de Extremadura, 2009-2015.

Componente	Composición media (%)
Materia orgánica	42,90
Papel - Cartón	18,07
Plástico	15,81
Vidrio	4,49
Briks	1,66
Metales férricos	3,02
Metales no férricos	0,66
RAEE	0,57
Textiles	8,23
Madera	1,57
Otros	3,05
Total	100,00

Tabla 6.7 Composición media de RSU en el País Vasco, Directrices para la Planificación y Gestión de RU en la CAPV, 2008.

Componente	Composición media (%)
Materia orgánica	35,58
Papel - Cartón	27,99
Plástico	12,07
Vidrio	9,42
Briks	1,83
Metales	3,42
Voluminosos	2,9
RAEE	0,30
Textiles	3,00
Madera	2,34
Total	100,0

ANEXO 3: Balance de masas de las plantas de selección de envases de España.

Tabla 6.8 Balances de masas de las PSE españolas.

PSE	E_{BE} (Kg/año)	S_{NMR} (Kg/año)	SALIDAS ENVASES (Kg/año)	SALIDAS PAPEL/ CARTON (Kg/año)	REDIMIENTO ANUAL PSE (%)	RECHAZO (%)	ENVASES NO RECUPERADOS (%)	IMPROPIOS (%)	PROPIOS (%)
Centro Medioambiental de Montalbán	9.365.506	7.009.787	6.805.260	204.527	74,85	25,15	5,65	19,50	80,50
Planta de recuperación y compostaje de Albox	755.860	342.920	342.920	0	45,37	54,63	31,99	22,64	77,36
Las Calandrinias	3.538.940	1.869.120	1.869.120	0	52,82	47,18	16,36	30,82	69,18
El Barrero	2.792.800	1.264.620	1.255.580	9.040	45,28	54,72	28,35	26,37	73,63
Centro de tratamiento Montemarta - Conica	11.879.420	6.511.100	6.449.620	61.480	54,81	45,19	19,68	25,51	74,49
Trigueros	2.973.371	1.712.461	1.672.681	39.780	57,59	42,41	15,76	26,65	73,35
Centro Medioambiental Sur de Europa	2.250.880	1.322.240	1.322.240	0	58,74	41,26	17,98	23,28	76,72
Centro Medioambiental	1.401.800	853.620	853.620	0	60,89	39,11	13,11	26,00	74,00

Campaña 2000									
Centro Medioambiental Matagrande	440.270	139.210	139.210	0	31,62	68,38	56,77	11,61	88,39
Centro Medioambiental La Vega	2.984.408	1.691.640	1.691.640	0	56,68	43,32	17,62	25,70	74,30
Centro Medioambiental Costa del Sol	8.772.460	4.955.320	4.929.320	26.000	56,49	43,51	20,50	23,01	76,99
Centro Medioambiental Loma de Manzanares	7.767.800	3.925.140	3.752.160	172.980	50,53	49,47	26,85	22,62	77,38
Ibros	7.729.075	6.010.575	5.817.340	193.235	77,77	22,23	0,30	21,93	78,07
Cueva de los Medina	1.539.190	770.040	719.940	50.100	50,03	49,97	26,33	23,64	76,36
Centro de recepción y Reciclaje Puerto de Santa Maria	5.948.640	3.179.245	3.101.700	77.545	53,44	46,56	21,25	25,31	74,69
Huelva	998.270	600.760	600.760	0	60,18	39,82	29,14	10,68	89,32
Centro Medioambiental de Valsequillo	6.407.470	4.092.010	4.092.010	0	63,86	36,14	11,61	24,53	75,47
Gador	1.929.230	1.059.860	1.059.860	0	54,94	45,06	27,39	17,67	82,33
Centro Ambiental de	4.516.380	2.750.540	2.750.540	0	60,90	39,10	21,01	18,09	81,91

Málaga "Los Ruices"									
Complejo para el Tratamiento de RU de Zaragoza	9.035.460	5.879.760	5.879.760	0	65,07	34,93	17,19	17,74	82,26
Huesca	3.159.821	2.138.591	2.138.591	0	67,68	32,32	14,68	17,64	82,36
Asturias	10.284.146	7.043.024	6.871.240	171.784	68,48	31,52	5,73	25,79	74,21
Mallorca	12.530.800	5.940.540	5.940.540	0	47,41	52,59	32,88	19,71	80,29
Menorca	1.895.700	1.305.240	1.305.240	0	68,85	31,15	10,99	20,16	79,84
Complejo ambiental El Zurita	459.140	332.520	332.520	0	72,42	27,58	11,98	15,60	84,40
Complejo Ambiental Zonzamas	613.670	374.240	374.240	0	60,98	39,02	26,47	12,55	87,45
Complejo Ambiental Tenerife	5.381.690	3.265.560	3.265.560	0	60,68	39,32	17,32	22,00	78,00
Complejo Ambiental Salto del Negro	7.180.460	4.078.200	4.078.200	0	56,80	43,20	27,61	15,59	84,41
Centro de Recuperación y Reciclaje de Candina	4.312.918	3.000.373	2.820.344	180.029	69,57	30,43	6,78	23,65	76,35
Centro de Recuperación y	724.432	449.900	415.700	34.200	62,10	37,90	3,05	34,85	65,15

Reciclaje el Mazo									
Centro de Tratamiento de Residuos Urbanos de Monte Grajas	963.150	527.480	527.480	0	54,77	45,23	22,54	22,69	77,31
Centro de Tratamiento de Residuos Urbanos de Albacete	2.879.360	1.787.840	1.787.840	0	62,09	37,91	15,33	22,58	77,42
Complejo Medioambiental de Tratamientos de Residuos Urbanos de Alcazar de San Juan	1.389.260	966.540	966.540	0	69,57	30,43	11,85	18,58	81,42
Centro de Tratamiento de Residuos Urbanos de Talavera	4.146.120	2.411.380	2.411.380	0	58,16	41,84	21,64	20,20	79,80
Centro de Tratamiento de Residuos Urbanos de Cuenca	2.226.040	1.347.820	1.347.820	0	60,55	39,45	14,97	24,48	75,52
Centro de Tratamiento de Residuos Urbanos de Guadalajara	1.997.940	1.324.900	1.324.900	0	66,31	33,69	1,78	31,91	68,09
Centro de Tratamiento de Residuos Urbanos de	4.320.544	3.227.080	3.227.080	0	74,69	25,31	0,16	25,15	74,85

Ciudad Real									
Centro de Tratamiento de Residuos Valladolid	1.830.800	800.080	800.080	0	43,70	56,30	34,18	22,12	77,88
Centro de Tratamiento de Residuos Urbanos de Zamora	1.162.880	579.680	579.680	0	49,85	50,15	23,47	26,68	73,32
Centro de Tratamiento de Residuos de la Provincia de Palencia	1.348.680	610.020	610.020	0	45,23	54,77	22,89	31,88	68,12
Centro de Tratamiento de Residuos Ávila Norte	1.444.060	597.760	597.760	0	41,39	58,61	26,91	31,70	68,30
Planta de Clasificación de envases de León	2.792.800	1.480.480	1.480.480	0	53,01	46,99	17,87	29,12	70,88
Planta de Clasificación de envases de Ponferrada	832.660	471.720	471.720	0	56,65	43,35	14,40	28,95	71,05
Centro de Tratamiento de Residuos de Burgos	2.487.880	1.386.760	1.347.400	39.360	55,74	44,26	6,23	38,03	61,97
Centro de Tratamiento de Residuos Urbanos y de Envases de Abajas	2.436.290	1.289.660	1.289.660	0	52,94	47,06	19,74	27,32	72,68

Centro de Tratamiento de Residuos Ávila Sur	191.220	30.100	30.100	0	15,74	84,26	36,95	47,31	52,69
Centro de Tratamiento de Residuos Los Huertos	1.469.220	1.014.600	1.014.600	0	69,06	30,94	11,77	19,17	80,83
Centro de Tratamiento de Residuos de Golmayo	776.220	513.700	513.700	0	66,18	33,82	2,42	31,40	68,60
Planta de Clasificación de Envases de Villamayor	3.115.960	1.925.840	1.925.840	0	61,81	38,19	12,07	26,12	73,88
Centro de Tratamiento de Residuos Municipales Gavà - Viladecans y Gavà 2	26.741.217	16.880.400	16.880.400	0	63,13	36,87	16,94	19,93	80,07
Ecoparc 2 de Montcada i Reixac	10.823.084	5.893.880	5.893.880	0	54,46	45,54	24,60	20,94	79,06
Planta de Selección de Residuos Inorgánicos Molins de Rei		2.542.640	1.689.250	853.390					
Centro Integral de Tratamiento Can Mata	13.660.520	6.108.380	6.108.380	0	44,72	55,28	22,98	32,30	67,70
Centro de Tratamiento de Residuos "Les Valls"	13.082.760	7.380.300	7.380.300	0	56,41	43,59	21,13	22,46	77,54

Planta de Selección de Envases Vilafranca de Penedes	4.263.390	2.251.910	2.251.910	0	52,82	47,18	27,69	19,49	80,51
Planta de triatge i reciclatge d'envasos lleugers de Berga	5.996.040	4.879.370	4.830.370	49.000	81,38	18,62	1,37	17,25	82,75
Planta De Triatge D'envasos Lleugers I De Paper I Cartró De Malla	908.375	726.700	726.700	0					
Planta De Triatge D'envasos Lleugers de Celra	7.078.800	4.471.140	4.471.140	0	63,16	36,84	7,46	29,38	70,62
Planta De Triatge D'envasos Lleugers de Llagostera	4.708.200	2.649.570	2.584.940	64.630	56,28	43,72	18,58	25,14	74,86
Planta selección envases de Constantí	21.110.290	10.430.609	10.430.609	0	49,41	50,59	26,74	23,85	76,15
Planta de triatge de multiproducte i transferència de residus municipals d'Osona	11.267.830	2.777.380	2.777.380	0	24,65	75,35	50,35	25,00	75,00
Planta de Selección de	7.996.500	4.985.380	4.985.380	0	62,34	37,66	19,05	18,61	81,39

envases ligeros de Alzira									
Planta de Selección de envases ligeros de Picassent	24.166.790	15.556.110	15.556.110	0	64,37	35,63	16,03	19,60	80,40
Planta de Selección de envases ligeros de Castellón	5.626.050	3.993.320	3.993.320	0	70,98	29,02	13,81	15,21	84,79
Planta de Selección de envases ligeros de Benidorm	9.151.080	5.315.240	5.315.240	0	58,08	41,92	24,26	17,66	82,34
Planta de Residuos Sólidos Urbanos del Baix Vinalopó	3.330.748	1.890.940	1.890.940	0	56,77	43,23	27,45	15,78	84,22
Ecoparque Navalmoral de la Mata (Planta de Reciclaje, Valorización y Compostaje de R.S.U)	825.240	376.360	376.360	0	45,61	54,39	9,74	44,65	55,35
Ecoparque Talarrubias (Planta de Reciclaje, Valorización y Compostaje de R.S.U)	181.440	134.820	134.820	0	74,31	25,69	0,14	25,55	74,45
Ecoparque Villanueva de la Serena (Planta de	1.349.760	625.840	625.840	0	46,37	53,63	7,88	45,75	54,25

Reciclaje, Valorización y Compostaje de R.S.U)									
Ecoparque Badajoz (Planta de Reciclaje, Valorización y Compostaje de R.S.U)	2.163.140	893.400	893.400	0	41,30	58,70	16,57	42,13	57,87
Ecoparque Mérida (Planta de Reciclaje, Valorización y Compostaje de R.S.U)	2.687.300	1.159.720	1.159.720	0	43,16	56,84	9,19	47,65	52,35
Ecoparque Cáceres (Planta de Reciclaje, Valorización y Compostaje de R.S.U)	1.488.780	890.180	890.180	0	59,79	40,21	5,82	34,39	65,61
Ecoparque Mirabel (Planta de Reciclaje, Valorización y Compostaje de R.S.U)	1.635.560	851.560	851.560	0	52,07	47,93	17,51	30,42	69,58
Complejo medioambiental de Nostian	120.974.560	6.084.420	4.866.560	1.217.860	5,03	94,97			NO DATOS
Complejo medioambiental de la Mancomunidad "Serra do Barbanza"	20.157.680	4.971.720	2.860.360	2.111.360	24,66	75,34			NO DATOS
Complejo medioambiental de Cerceda	21.053.911	10.372.690	10.372.690	0	49,27	50,73	25,01	25,72	74,28

Ecoparque de La Rioja	4.716.940	3.437.150	3.437.150	0	72,87	27,13	17,64	9,49	90,51
Planta de Clasificación de Residuos de envases de Colmenar Viejo	20.397.152	11.390.481	10.937.000	453.481	55,84	44,16	6,06	38,10	61,90
Plantas de Clasificación de Residuos de Envases de Nueva Rendija	12.190.140	6.224.620	6.056.840	167.780	51,06	48,94	6,96	41,98	58,02
Plantas de Clasificación de Residuos de Envases de Pinto	19.911.015	11.324.760	11.324.760	0	56,88	43,12	1,34	41,78	58,22
Plantas de Clasificación de Residuos de Envases de Fuenlabrada	9.412.949	4.158.400	4.047.520	110.880	44,18	55,82	20,23	35,59	64,41
Centro La Paloma: Planta de separación y clasificación		6.924.640	5.598.540	1.326.100					
Centro Las Dehesas: Planta de separación y clasificación		6.645.940	4.734.380	1.911.560					
Planta de Selección de Residuos de Envases El Culebrete	4.307.480	2.818.591	2.818.591	0	65,43	34,57	23,54	11,03	88,97

Planta de Selección de Residuos de Envases de Peralta	1.587.860	1.028.460	1.028.460	0	64,77	35,23	20,86	14,37	85,63
Centro de Tratamiento de Residuos Urbanos de Góngora	8.264.130	4.376.761	4.164.001	212.760	52,96	47,04	28,22	18,82	81,18
Planta de Reciclaje y Compostaje de Carcar	4.107.660	512.980	199.830	313.150	12,49	87,51			NO DATOS
Planta de Selección de Residuos de Envases de Júndiz	4.431.460	2.311.010	2.311.010	0	52,15	47,85	35,82	12,03	87,97
Planta de Selección de Residuos de Envases de Amorebieta	15.726.119	11.392.350	11.392.350	0	72,44	27,56	14,99	12,57	87,43
Planta de Selección de Residuos de Envases de Urnieta	6.744.485	5.011.360	4.925.580	85.780	74,30	25,70	13,11	12,59	87,41
Planta de Selección de Residuos de Envases de Legazpi	4.148.430	3.038.709	3.038.709	0	73,25	26,75	19,36	7,39	92,61
Centro de Tratamiento, Selección y Compostaje de	5.351.450	2.442.240	2.442.240	0	45,64	54,36	37,78	16,58	83,42

Ulea									
Centro de gestión de residuos de Lorca	863.420	616.180	597.300	18.880	71,37	28,63	16,05	12,58	87,42
Planta de Selección de Envases de Murcia	7.070.860	3.514.140	3.347.280	166.860	49,70	50,30	29,45	20,85	79,15