

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ORGÁNICA E INORGÁNICA
MÁSTER UNIVERSITARIO EN QUÍMICA Y DESARROLLO
SOSTENIBLE

**INVESTIGACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE
RESIDUOS DOMÉSTICOS MEZCLADOS (RDM) DE
ASTURIAS.**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Meiby Alvarez Leonard

2018

Máster Universitario en Química y Desarrollo Sostenible

Trabajo Fin de Máster

Curso 2017-2018

Dña. Meiby Álvarez Leonard, graduada en Ingeniería Química, ha realizado la Memoria titulada **“INVESTIGACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DOMÉSTICOS MEZCLADOS (RDM) DE ASTURIAS”** bajo la tutela de D. Jose Manuel González La Fuente (COGERSA S.A.U.) y Dña. M. Esther García Díaz, Catedrática de Química Inorgánica del Departamento de Química Orgánica e Inorgánica de la Universidad de Oviedo.

Los tutores certifican que la citada Memoria ha sido realizada en COGERSA S.A.U., autorizando su presentación para que sea calificada como *Trabajo Fin de Máster* del *Máster Universitario en Química y Desarrollo Sostenible* correspondiente al curso académico 2017-2018.

Oviedo, 9 de julio de 2018

Índice

GLOSARIO	1
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Residuos sólidos urbanos no separados, biorresiduos y combustibles sólidos derivados.	5
1.2. Características macroscópicas de los Residuos Domésticos de España.	7
1.3. Tratamientos Mecánico Biológicos de los RDM para la producción de CSR.	10
1.3.1. Tratamiento biológico-mecánico (TBM) o biosecado.	10
1.3.2. Tratamiento mecánico-biológico (TMB).	11
1.4. Objetivos y plan de trabajo.	14
2. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE DATOS	15
2.1. Características de los RDM de Diferentes Comunidades Autónomas.	15
2.1.1. Características de los RDM de COGERSA.....	15
2.1.1.1. Estudio de caracterización de la fracción no reciclada de residuos municipales en COGERSA 2016.	19
2.1.2. Características de los RDM de Extremadura.....	23
2.1.3. Características de los RDM de la Rioja.....	25
2.1.4. Características de los RDM de Galicia.....	26
2.1.5. Características de los RDM de Murcia.....	28
2.1.6. Características de los RDM de Cantabria.....	29
2.1.7. Caracterización de los Residuos de Castilla - León	31
2.2. Estudio comparativo de las características de los RDM.	34
2.3. Instalaciones de Tratamientos Mecánico Biológicos (TMB/TBM) orientadas al aprovechamiento de RDM para la producción de CDR o CSR.	39

2.4. Características y usos de los CDR/CSR producidos en plantas de TMB/TBM.....	43
2.5. Resultados esperados en COGERSA.....	49
3. CONCLUSIONES.....	52
4. BIBLIOGRAFIA.....	53

Índice de Figuras

Figura 1. Composición promedio de la fracción resto por material ⁹ (PEMAR).....	8
Figura 2. Distribución porcentual del tratamiento de RD España 2014 ¹¹	9
Figura 3: Esquema de TBM de la fracción resto de los RSU y proporción media de las diferentes fracciones obtenidas.	11
Figura 4: Tratamiento mecánico de la fracción resto de los RSU y proporción media de las diferentes fracciones obtenidas.....	12
Figura 5. Tratamiento por biometanización de la fracción resto de los RSU y proporción media de las diferentes fracciones obtenidas.	13
Figura 6. Evolución de las fracciones principales de los RDM de Asturias.....	18
Figura 7. Evolución de la composición de la fracción resto.	19
Figura 8. Composición promedio de los RDM de Asturias.....	21
Figura 9. Composición promedio de los residuos domésticos de Asturias en 2016 (Peso húmedo): Fracción resto (26,66%).	22
Figura 10. Composición de los residuos domésticos de Asturias 2016.....	23
Figura 10. Composición de la bolsa tipo de Galicia en el año 2013.....	27
Figura 11. Composición media por materiales de los residuos domésticos y comerciales de Murcia 2013.	28
Figura 12. Caracterización de residuos domésticos de entrada a la planta de tratamiento mecánico-biológico del Complejo Medioambiental de Meruelo ¹⁷	31
Figura 13. Composición del RDM de Catilla y León (2014).	33
Figura 14. Valores medios de las 6 comunidades autónomas.	36
Figura 18. Entradas y salidas esperadas de la planta de TMB en Asturias.....	51

Índice de Tablas

Tabla 1. Características de los RDM de Asturias en los últimos años.	17
Tabla 2. Muestras seleccionadas para los tipos de poblaciones.	20
Tabla 3. Composición promedio por categorías de los RDM de Asturias.	20
Tabla 4. Desglose la categoría Resto de los RDM de Asturias.	22
Tabla 5. Composición media de la fracción resto de residuos municipales en Extremadura ¹³	24
Tabla 6. Composición (%) de la fracción resto ¹⁴	26
Tabla 7. Caracterización de la bolsa tipo Galicia 2013 ¹⁵	27
Tabla 8. Caracterización composicional de la fracción resto de Murcia ¹⁶	29
Tabla 9. Caracterización de los residuos gestionados en la planta de tratamiento mecánico-biológico del Complejo Medioambiental de Meruelo.	30
Tabla 10. Composición bolsa tipo en Castilla - León ¹⁸	32
Tabla 11. Composición de los RDM (en %) de las siete comunidades autónomas caracterizadas. (<i>En cursiva los valores agrupados</i>).	35
Tabla 12. Composición de los RDM de España y Asturias. (<i>En cursiva los valores agregados</i>).	37
Tabla 13. Composición de RSU y CDR, porcentajes en peso en Castilla-León 2011.	40
Tabla 14. Composición de los RDM de Asturias y de los RDM y RSU de Castilla-León.	42
Tabla 15. Parámetros del sistema de clasificación del CSR.	44
Tabla 16. Característica de los CDR obtenidos de RSU ²²	47
Tabla 17. Características de CDR de las plantas de TMB de Castilla-León.	48

Tabla 18. Requisitos mínimos de rendimiento para la alternativa de procesos combinados en COGERSA.....	50
--	----

GLOSARIO

Términos	Definiciones
CDR o RDF	Los Refuse Derived Fuels o Combustibles Derivados de Residuos son combustibles sólidos, líquidos, pastosos o gaseosos preparados a partir de residuos peligrosos, no peligrosos o inertes, para su valoración energética en plantas de incineración o co-incineración y que habitualmente solo cumplen las especificaciones establecidas entre el productor del combustible y el usuario ¹ .
CSR o SRF	Los Solid Recovered Fuels o Combustibles Sólidos Recuperados son combustibles sólidos preparados a partir de residuos no peligrosos para ser valorizados energéticamente en instalaciones de incineración o co-incineración y que cumplen con la clasificación y especificaciones establecidas en la norma EN 15359 del Comité Europeo de Normalización (CEN) ² .
PET	El Polietileno Tereftalato está hecho de petróleo crudo, gas y aire. Un kilo de PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos del gas natural y 13% de aire.
RAEE	Todos los aparatos eléctricos o electrónicos que pasan a ser residuos de acuerdo con la definición que consta en el artículo 3, apartado 1, de la Directiva 2008/98/CE; este término comprende a todos aquellos componentes, subconjuntos y consumibles que forman parte en el momento en que se desecha.
RDM, “fracción resto”, “bolsa negra”, “bolsa tipo”	Residuos urbanos mezclados, que no son objeto de ninguna recogida separada, y que pueden tener origen doméstico o comercial. Residuos que, aun siendo susceptibles de recogida separada, se gestionan mezclados por diversos motivos, tales como la eficiencia de las propias recogidas separadas, o la falta de una adecuada colaboración ciudadana en algunos casos, cuando no se separan correctamente los residuos aun disponiendo de los servicios correspondientes

	Los rechazos de los procesos de clasificación y tratamiento de los materiales recogidos separadamente, normalmente debidos a la presencia de impropios por una deficiente separación en origen.
RSU	Residuos generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas. Se consideran también residuos domésticos los similares a los anteriores generados en servicios e industrias. Se incluyen también en esta categoría los residuos que se generan en los hogares de aparatos eléctricos y electrónicos, ropa, pilas, acumuladores, muebles y enseres, así como los residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliaria. Tendrán la consideración de residuos domésticos los residuos procedentes de limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas, los animales domésticos muertos y los vehículos abandonados.
TMB	El Tratamiento mecánico-biológico separa en dos fracciones los RSU: una húmeda, que tiene un elevado contenido de materia orgánica que se estabiliza previamente al vertido mediante compostaje, y una fracción seca que tras ser sometida a una clasificación mecánica permite la obtención de un combustible de alta calidad y un rechazo que se deposita en vertedero.
TBM	El Tratamiento biológico-mecánico o biosecado consiste en una biodegradación acelerada de la materia orgánica más volátil y una posterior separación y clasificación, para obtener por un lado materiales destinados a reciclaje y por otro un combustible de alto poder calorífico.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo sostenible en la Unión Europea ha tenido que enfrentarse a la problemática del tipo socioeconómico y ambiental que representa el incremento en la generación de residuos, tanto industriales como urbanos. Es por lo que, entre los objetivos que se ha marcado la UE está el convertirse en una sociedad recicladora, en la cual no se generen residuos, y se puedan utilizar estos como un recurso.

En la actualidad, el depósito en vertedero representa en torno al 31 % de los RSU que se producen en la Unión Europea, en España este valor alcanza el 60%. El espacio ocupado por los vertederos, el uso y la contaminación de los suelos y el rechazo social que genera la gestión de RSU, lleva a la necesidad de buscar y valorar alternativas en aras de disminuir el volumen y la peligrosidad de los vertidos ².

Además de los factores de índole social y ambiental señalados, en España existe una gran dependencia energética del exterior, que unida a la oposición social de la energía nuclear, dificultan el desarrollo económico del país. La búsqueda de alternativas a los combustibles fósiles ha llevado a España a ser un referente en la producción de energía renovable. La valorización energética de residuos representa una forma de contribuir a la generación renovable de energía, ya que existe una fracción significativa de estos residuos que es biodegradable y, por tanto, renovable ³.

El tratamiento mecánico-biológico (MBT) es la forma más extendida de procesamiento de residuos mezclados ⁴, que estabiliza la materia orgánica mediante el proceso de bioestabilización. Además, este tratamiento puede recuperar materiales

reciclables. Sin embargo, una gran parte de los residuos mezclados termina siendo rechazada y llevada a los vertederos o a la recuperación de energía ^{5,6}. Por ejemplo, en España, el 48% de los residuos domésticos mezclados (RDM), se trata en plantas de MBT. El porcentaje de la fracción de rechazo respecto al flujo total que alimenta a las plantas MBT es del 63%, y el 95% del rechazo generado en ellas se lleva a los vertederos (el otro 5% se lleva a la recuperación de energía). Este rechazo puede tener un notable contenido de energía, sobre todo si los residuos mezclados tienen un alto valor calorífico, por lo que podrían considerarse como residuos combustibles. Por lo tanto, los desechos mezclados pueden convertirse en combustible sólido recuperado (SRF) y, en consecuencia, se logra un mejor uso de los desechos mezclados ⁷.

Asturias lleva a cabo la eliminación de residuos domésticos mezclados de forma controlada en el vertedero central de residuos no peligrosos del Consorcio para la Gestión de Residuos Sólidos de Asturias (COGERSA). Dicho vertedero está dotado de una planta de tratamiento de lixiviados y un sistema de captación y aprovechamiento de biogás que permite la producción eléctrica de hasta 6,93 MWh. Parte del biogás se aprovecha también como combustible en otras instalaciones de gestión del complejo. COGERSA recibió el año pasado más de medio millón de toneladas de desechos domésticos y comerciales. De esta cantidad, la recogida separada alcanzó sólo el 27%. Para revertir esta situación, la empresa apuesta por construir y mejorar una serie de infraestructuras necesarias para tratar los desechos urbanos de forma más adecuada. Así, para la gestión de la fracción resto (bolsa negra) se construirá una planta que permita rescatar los materiales reciclables y elaborar combustible sólido recuperado (CSR) para su posterior valorización, preferentemente química, en combustibles de segunda generación y otros compuestos y, si esto no fuera posible, para su valorización energética.

1.1. Residuos sólidos urbanos no separados, biorresiduos y combustibles sólidos derivados.

Lo que se llama de manera coloquial basura, también recibe el nombre de residuos sólidos urbanos (RSU), o según la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados, recibe el nombre de “**residuos domésticos**”. Según la ley, los residuos domésticos son aquellos residuos generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas ⁸. Se incluyen los similares a los anteriores, aunque sean generados en servicios e industrias. También entran en esta categoría los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, ropa, pilas, acumuladores, muebles, enseres y escombros procedentes de obras menores.

Se considera como “**fracción resto**” o tratada en algunas bibliografías como “**bolsa negra**” de los residuos urbanos:

- Residuos urbanos mezclados, que no son objeto de ninguna recogida separada, y que pueden tener origen doméstico o comercial.
- Residuos que, aun siendo susceptibles de recogida separada, se gestionan mezclados por diversos motivos, tales como la eficiencia de las propias recogidas separadas, o la falta de una adecuada colaboración ciudadana en algunos casos, cuando no se separan correctamente los residuos aun disponiendo de los servicios correspondientes
- Los rechazos de los procesos de clasificación y tratamiento de los materiales recogidos separadamente, normalmente debidos a la presencia de impropios por una deficiente separación en origen.

Biorresiduo: residuo biodegradable de jardines y parques, residuos alimenticios y de cocina procedentes de hogares, restaurantes, servicios de restauración colectiva y

comercios de venta al por menor; así como residuos comparables procedentes de plantas de procesado de alimentos.

Combustibles Sólidos Recuperados (CSR): son combustibles sólidos preparados a partir de residuos no peligrosos para ser valorizados energéticamente en instalaciones de incineración o co-incineración y que cumplen con la clasificación y especificaciones establecidas en la norma EN 153595 del Comité Europeo de Normalización (CEN).

Combustibles Derivados de Residuos (CDR): son combustibles sólidos, líquidos, pastosos o gaseosos preparados a partir de residuos peligrosos, no peligrosos o inertes, para su valoración energética en plantas de incineración o co-incineración y que habitualmente solo cumplen las especificaciones establecidas entre el productor del combustible y el usuario.

1.2. Características macroscópicas de los Residuos

Domésticos de España.

En los últimos años, España ha mejorado de forma significativa la gestión de los residuos municipales. A esta evolución positiva, ha contribuido la aplicación de la normativa de residuos, con objetivos concretos de reciclado y valorización; el incremento y diversificación de infraestructuras de tratamiento; la mayor sensibilización, tanto de las Administraciones, como de los sectores implicados, y de la sociedad en su conjunto; la consolidación de un sector empresarial especializado en la gestión de los residuos y la investigación y desarrollo en esta materia. No obstante, las infraestructuras de tratamiento no siempre producen el rendimiento esperado y todavía un porcentaje elevado de estos residuos va a vertedero. Corregir esta situación debe ser objeto de atención y actuaciones específicas.

Para continuar mejorando y cumplir con los objetivos legales hay que disminuir la generación de residuos trabajando activamente en la prevención, fomentar la reutilización y ampliar la implantación de las recogidas separadas de flujos diferenciados. Todo ello tiene un papel crucial a la hora de incrementar la tasa de reciclado y disminuir la cantidad de residuos vertidos ⁹.

En la actualidad, la bolsa negra o fracción *Resto* contiene los residuos que no son objeto de recogida separada y como veremos a continuación, pueden tener contenidos elevados de materiales reciclables y valorizados para combustibles sólidos recuperados.

En la figura 1 se muestran las composiciones de la fracción resto desglosadas por materiales. Los biorresiduos son la fracción mayoritaria con un 47% seguida del papel/cartón con un 11%.

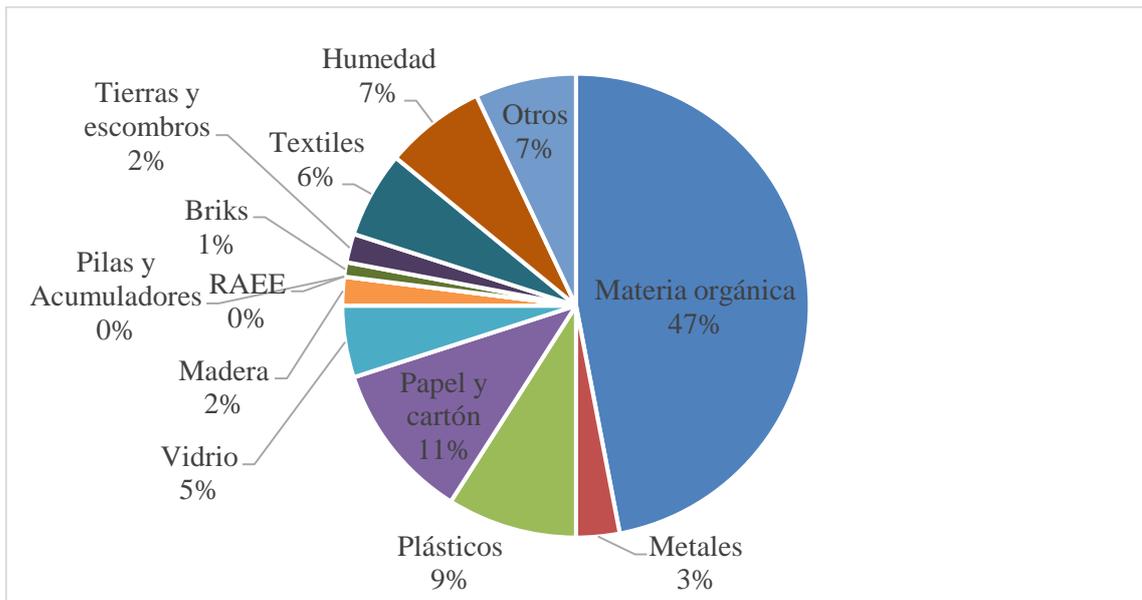


Figura 1. Composición promedio de la fracción resto por material ⁹ (PEMAR).

En España, la cantidad de residuos domésticos (RD) generados en el año 2014 fue de 21,3 Mt, de las cuales 17,5 Mt corresponde a RDM y el resto a RD recogidos selectivamente, resultando una tasa de generación total de 1,26 kg/hab·día¹⁰.

Desde el punto de vista del tratamiento dado a los RD, un 68,91% fue enviado a diferentes instalaciones de tratamiento mecánico y/o biológico, un 5,41% fue incinerado directamente y un 25,68% se depositó en vertedero sin ser sometidos a ningún tratamiento ¹¹. En la figura 2 se muestra el porcentaje de los residuos tratados en cada tipo de instalación.

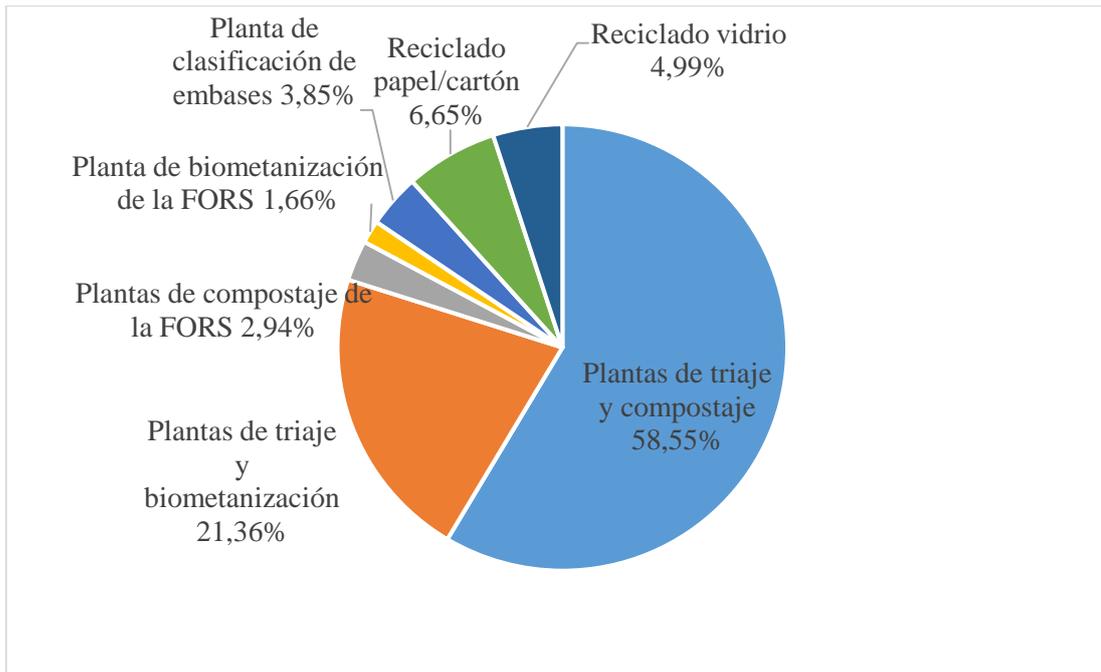


Figura 2. Distribución porcentual del tratamiento de RD España 2014 ¹¹.

1.3. Tratamientos Mecánico Biológicos de los RDM para la producción de CSR.

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

El tratamiento de los RSU para obtener CSR/CDR se realiza mediante distintos tratamientos mecánicos y biológicos:

1.3.1. Tratamiento biológico-mecánico (TBM) o biosecado.

El TBM consiste en una biodegradación acelerada de la materia orgánica más volátil y una posterior separación y clasificación, para obtener por un lado materiales destinados a reciclaje y por otro un combustible de alto poder calorífico.

En este tratamiento, la totalidad de los residuos entrantes se someten a un proceso de estabilización mediante compostaje acelerado, que se consigue con una aireación forzada de los residuos. Posteriormente, los residuos tratados se someten a un proceso de selección mecánico mediante el cual se separan los materiales recuperables y los

materiales susceptibles de ser convertidos en CSR/CDR. La fracción restante constituye el rechazo, que es destinado a tratamiento finalista (incineración o vertido).

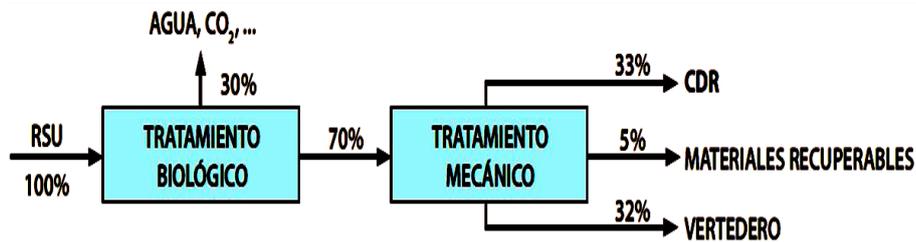


Figura 3: Esquema de TBM de la fracción resto de los RSU y proporción media de las diferentes fracciones obtenidas.

Mediante este tratamiento la cantidad de CSR/CDR que se obtiene es del orden del 33 % de la cantidad de residuos alimentados a la instalación, aunque puede variar ligeramente en función de la composición de los residuos urbanos. El poder calorífico del CSR/CDR es del orden de 13-15 MJ/kg. La calidad de este CSR/CDR puede mejorarse por clasificación, separando plásticos y papel, hasta alcanzar un alto PCI y un valor bajo de humedad.

1.3.2. Tratamiento mecánico-biológico (TMB).

Las plantas de TMB tratan los residuos sólidos urbanos, después de la separación de la fuente, con el objetivo de minimizar el impacto ambiental asociado con el depósito de residuos en vertedero y agregar valores a los flujos residuales para una posible utilización ¹². El tratamiento mecánico-biológico es llamado así porque consiste en una combinación de procesos mecánicos (por medio de trituración, tamaño, densidad y separación magnética, densificación, etc.) y tratamiento biológico (degradado aeróbico o anaeróbico). de la fracción orgánica mecánicamente separada. En este tratamiento,

como se aprecia en la figura 4, los RSU se separan en dos fracciones: una húmeda (humedad superior al 80%), que tiene un elevado contenido de materia orgánica que se estabiliza previamente al vertido mediante compostaje, y una fracción seca (humedad es menor del 80%), que tras ser sometida a una clasificación mecánica permite la obtención de un combustible de alta calidad y un rechazo que se deposita en vertedero.

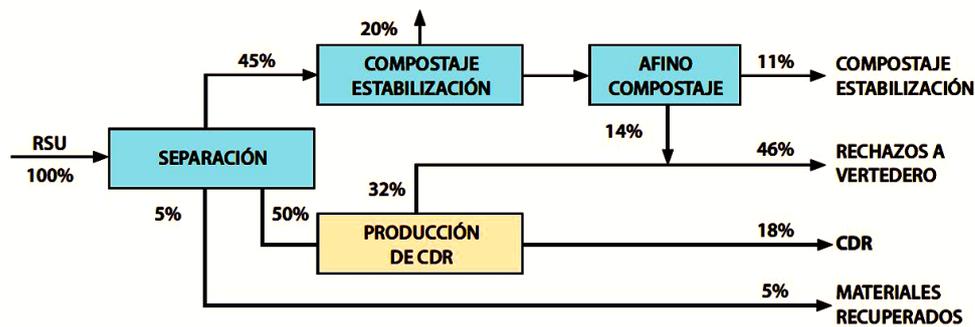


Figura 4: Tratamiento mecánico de la fracción resto de los RSU y proporción media de las diferentes fracciones obtenidas.

Las principales salidas de una planta típica de TMB son: combustible derivado de residuos (CDR), que presenta un alto valor calorífico debido a su mayor contenido de papel y plásticos; residuos orgánicos estabilizados (SOW), que se produce a partir del tratamiento biológico de la fracción orgánica de los desechos; metales ferrosos y no ferrosos (FM-NFM); restos / residuos, que se eliminan en los depósitos.

Una variante de este sistema es el tratamiento mecánico-biológico con digestión anaerobia (metanización) de la fracción orgánica que se muestra en la figura 5, con el cual se obtienen porcentajes similares de CSR/CDR.

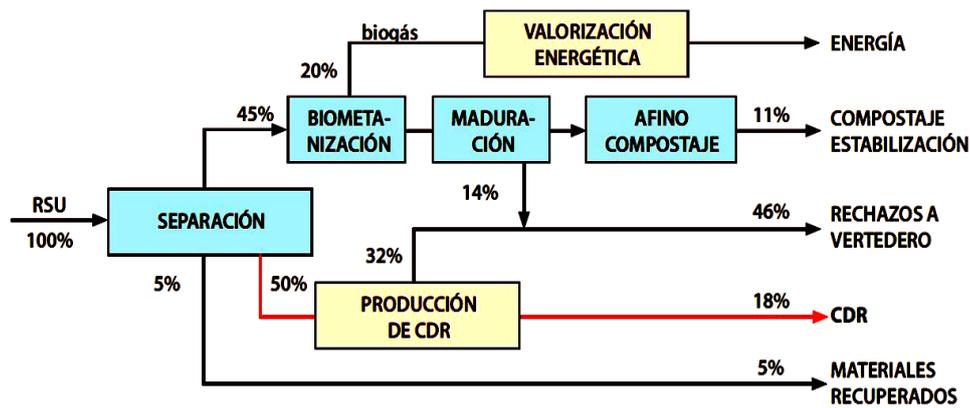


Figura 5. Tratamiento por biometanización de la fracción resto de los RSU y proporción media de las diferentes fracciones obtenidas.

La tecnología TMB se caracteriza por costos relativamente bajos, alta flexibilidad del proceso y la posibilidad de una aplicación centralizada y descentralizada. Sin embargo, el costo del TMB por tonelada de desechos puede variar significativamente de acuerdo con los objetivos que la planta debe lograr (secar y estabilizar los desechos tal como están, dividir los desechos entrantes en fracciones biodegradables y de alta caloría y luego estabilizar los residuos; fracciones biodegradables y la producción de CDR y / o materiales de recuperación para ser reciclados) y al destino de los materiales clasificados y estabilizados (eliminación en vertederos, uso para paisajismo después de la refinación, incineración, reciclaje).

1.4. Objetivos y plan de trabajo.

La investigación recogida en esta memoria comprende la recopilación de información actualizada que nos permita catalogar y comparar los RDM de Asturias y de las Comunidades Autónomas del norte, así como las plantas de tratamiento mecánico biológico orientados a la producción de combustibles derivados de residuos sólidos (CDR o CSR). Con el objetivo final de llevar a cabo la construcción de una planta de basura bruta que deberá tener capacidad para abordar la **clasificación y valorización de los residuos urbanos** (domésticos y comerciales) que lleguen mezclados a las instalaciones centrales del Consorcio para la Gestión de Residuos Sólidos de Asturias (COGERSA), en Serín, de manera que dejen de depositarse de forma directa en el vertedero del valle de La Zoreda y puedan ser aprovechados. Para ello, el trabajo se ha estructurado en las siguientes etapas:

- ✓ Ordenar la información sobre las características macroscópicas de los RDM de España, especialmente los de la zona norte por la mayor similitud socioeconómica y cultural con Asturias.
- ✓ Realizar un estudio comparativo de las características de los RDM de Asturias con la de resto de comunidades autónomas.
- ✓ Relacionar las características de los RDM con los CDR o CSR que se generan en las instalaciones de Tratamientos Mecánico Biológicos (TMB/TBM) existentes en otras comunidades autónomas, especialmente en las del norte de España.
- ✓ Características de los CDR/CSR de acuerdo a poder calorífico, contenido en Hg y Cl.
- ✓ Perspectivas para la planta de TMB a instalar en COGERSA

2. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE DATOS

2.1. Características de los RDM de Diferentes Comunidades Autónomas.

En España, las diferentes Comunidades Autónomas no utilizan exactamente los mismos criterios para clasificar los componentes de la *bolsa negra*. Ello hizo necesario realizar desgloses estimados en diferentes fracciones en base a los criterios de caracterización de COGERSA. Así, en Cantabria se distingue específicamente los restos de jardín y poda, mientras que COGERSA los incluye dentro de la categoría de materia orgánica.

2.1.1. Características de los RDM de COGERSA.

La caracterización macroscópica y periódica de los RDM de Asturias que llegan a las instalaciones de COGERSA permite conocer así la cantidad de cada tipo de material que no ha sido separado en origen, que junto con los materiales que sí han sido separados (recogida separada y Puntos Limpios), configuran el total de los residuos producidos sobre los que la Ley 22/2011 establece los objetivos de reciclaje.

COGERSA realizó campañas de caracterización en los años 2006, 2008 y 2013. El plan de muestreo en estas campañas es fundamental para justificar la intensidad de los muestreos y el nivel de intervención en una población. Para ello se tienen en cuenta

factores objetivos como el tipo de poblaciones, que pueden ser urbanas (núcleos con más de 50.000 habitantes), semiurbanas (49.999-5.000 habitantes) y rurales (<5.000 habitantes) así como indicadores de actividad económica asociados a esos núcleos. En ocasiones también se puede tener en cuenta la estacionalidad, etc.

El procedimiento para cada caracterización es:

Se identifica el origen del vehículo, se descargan unos 1.000 kg (equivalentes a unos 6 m³) de su contenido en una zona controlada, amplia, seca y preferiblemente pavimentada o al menos "limpia".

El material descargado se homogeniza y extiende con una pala cargadora.

Se realiza un cuarteo del material extendido seleccionando al azar dos cuartos opuestos. Este material se extiende aparte y se procede a la apertura de las bolsas cerradas. A continuación, se vuelve a homogeneizar y extender y se efectúa un nuevo cuarteo realizando la apertura de las bolsas que aún permanecían cerradas.

De este segundo cuarteo, se extrajeron unos 50 kg de cada cuarto y 25 kg de dos cuartos opuestos escogidos al azar, obteniendo así una muestra de aproximadamente 250 kg.

Fracción objetivo de unos 250 kg que representa al conjunto del contenido del camión se traslada a una lona para su segregación por materiales.

Los inspectores cualificados separan manualmente cada material teniendo en cuenta una serie de características (envase/no envase, tipo de material, cocinado/no cocinado, etc.)

El cálculo de las proporciones de materiales presentes en la muestra se calcula a partir de los pesos individuales y del total caracterizado empleando una báscula. También se determina in-situ la densidad. Todos los datos se registran en una ficha de muestra.

Posteriormente en el laboratorio se efectúan otro tipo de análisis, como por ejemplo la humedad de la muestra y de cada una de las fracciones.

En 2013 por ejemplo, se extrajo un total de 5.003,4 kg de residuos domésticos mezclados para su clasificación por materiales, que representaron a los 20 vehículos muestreados procedentes de 13 concejos asturianos y al conjunto de Asturias con un nivel de confianza aceptable conforme al estudio estadístico y plan de muestreo previos.

Tabla 1. Características de los RDM de Asturias en los últimos años.

		2006	2008	2013	2016
Muestras	Urbano	18	21	9	20
	Semiurbano	13	12	7	18
	Rural	3	8	4	9
	Total	34	48	20	47
Peso material caracterizado (kg)	Urbano			2 234	4 856
	Semiurbano			1 779	4 811
	Rural			990	2 122
	Total	8 770	12.17	5 003	11 789
Humedad (%)		15.61	27.30	24.98	19.96
Composición global de los RDM de Asturias en (%)	Fracción orgánica	37.77	38.11	41.97	37.72
	Papel y Cartón	21.63	20.57	14.66	13.62
	Vidrio	6.23	5.53	5.17	6.17
	Envases ligeros	13.62	8.72	10.96	15.83

➤ *Evolución de las fracciones principales de los residuos domésticos mezclados (RDM) de Asturias*

Como muestra la figura 6, desde el 2006 se observa un descenso importante en la fracción de papel/cartón, mientras que la de vidrio desciende muy lentamente. Al disminuir la composición relativa de estas fracciones, se observa también un aumento relativo de fracciones orgánicas y resto que no tienen recogidas separadas.

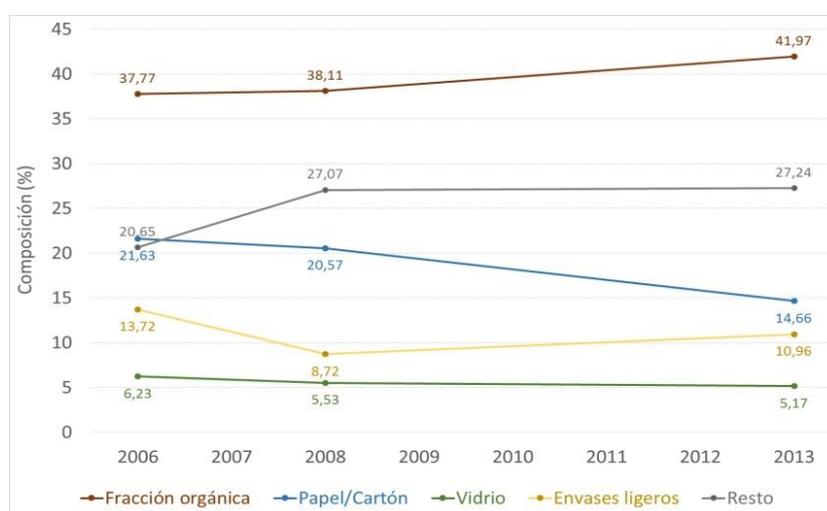


Figura 6. Evolución de las fracciones principales de los RDM de Asturias.

En lo que respecta a la caracterización de la bolsa negra, la figura 7 ilustra como a partir del año 2008, se produce un incremento de la fracción "textil de origen sanitario", mientras que el resto de fracciones no experimentan cambios significativos.

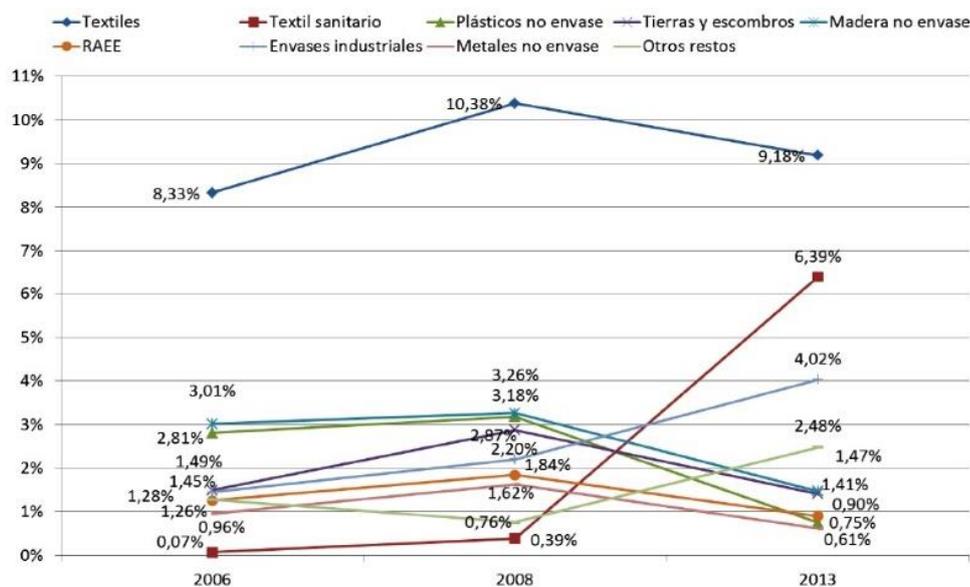


Figura 7. Evolución de la composición de la fracción resto.

2.1.1.1. Estudio de caracterización de la fracción no reciclada de residuos municipales en COGERSA 2016.

En 2016 COGERSA llevó a cabo el cuarto proceso de análisis de la composición de la llamada "bolsa negra", es decir, de la fracción mezclada o no separada en origen de los residuos domésticos y comerciales, la cual va a parar directamente al Vertedero Central de Asturias. La caracterización de los residuos mezclados aporta a COGERSA y a los reguladores datos de interés sobre los hábitos de separación de residuos de los hogares asturianos y su evolución, ya que pueden ser comparados con los previos (realizados en 2006, 2008 y 2013). También permite conocer el potencial de crecimiento que aún tiene la recogida separada.

COGERSA muestreó 550,8 t de Residuos Domésticos Mezclados (RDM) obtenidas a partir de 47 lotes recibidos en el complejo de tratamiento entre el 10 de junio y el 4 de agosto de 2016 en vehículos recolectores y contenedores de transferencia. La selección

del origen de estos lotes se fundamentó sobre un intenso estudio previo para asegurar la máxima representatividad de los resultados al conjunto del Principado, evaluados a partir de los 11.789 kg caracterizados:

Tabla 2. Muestras seleccionadas para los tipos de poblaciones.

Tipo de estrato	Territorios diferenciados	Nº de lotes caracterizados
Urbano	3	20
Semiurbano	9	18
Rural	6	9

Como resultado de este estudio y la aplicación de métodos normalizados, la composición promedio de los RDM de Asturias es la que recoge la tabla 3 y figura 8. En el proceso de caracterización, los residuos de envases con restos de contenido líquido o sólido en su interior se vaciaron manualmente (sin someterlos a lavado) y los restos de contenido se incorporaron en cada caso a alguna de las otras fracciones (materia orgánica, resto, otros restos, etc.). Los envases y el cartón no se sometieron a secado, por lo que la humedad natural o los restos de contenido que no pudieron ser vaciados completamente se medirían como envase.

Tabla 3. Composición promedio por categorías de los RDM de Asturias.

Categorías material	Composición en peso bruto(%)
Materia orgánica biodegradable	37.72
Envases ligeros con punto verde	15.83
Papel y cartón	13.62
Vidrio con punto verde	6.17
Resto	26.66

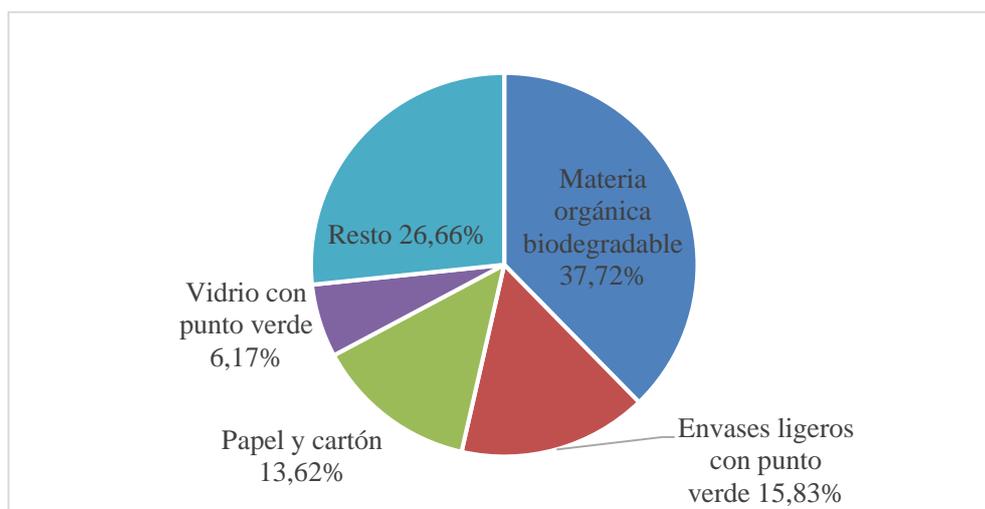


Figura 8. Composición promedio de los RDM de Asturias.

Como se puede apreciar, de nuevo la fracción de materia orgánica municipal (restos de alimentos cocinados y no cocinados, etc.) es la fracción más grande, pues representa el 37,72% de la bolsa negra. Le siguen los envases ligeros (latas, briks, botes y botellas de plástico...) con un 15,83%. El papel-cartón equivale a un 13,62%, el textil (ropa y calzado) con un 8,40% y el vidrio que es un 6,17%, junto a la fracción considerada Resto, que requiere a su vez un desglose posterior y que incluye fracciones de menor importancia como el plástico que no es envase, con un 6,06% y los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), con un 1,28%. Así, la categoría *Resto* incluye los diferentes componentes que recoge la tabla 4 y representa la figura 9.

Tabla 4. Desglose la categoría Resto de los RDM de Asturias.

Categorías material	Composición en peso bruto(%)
Textiles	8.40
Textil sanitario	4.00
Plásticos no envase	6.06
Tierras y escombros	1.06
Madera no envase	2.55
RAEE	1,28
Envases industriales/comerciales	0.78
Metales no envase	1.31
Baterías y pilas	0.01
Otros restos	1.22

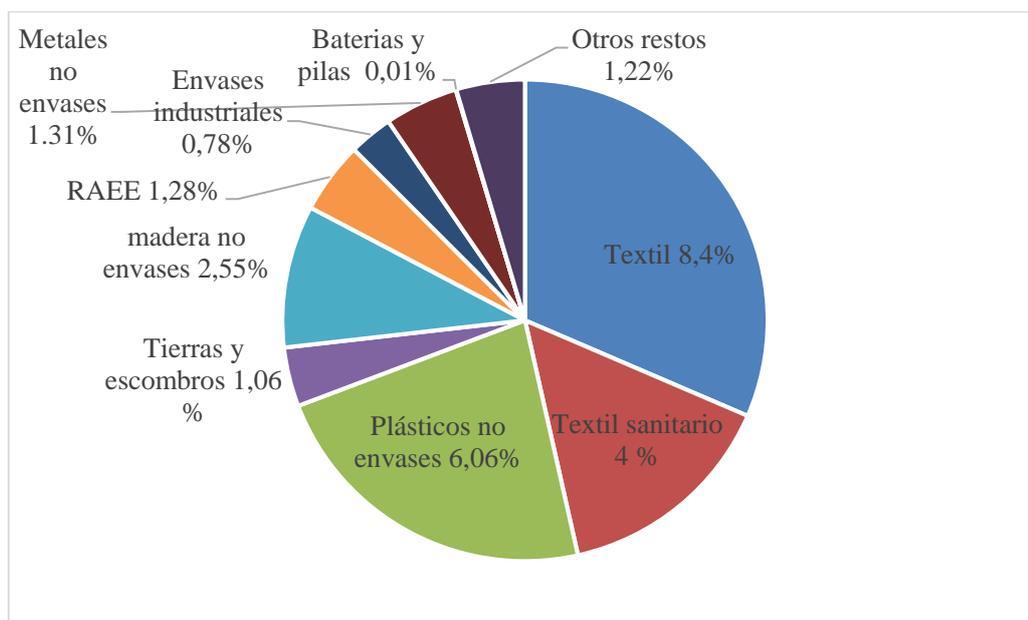


Figura 9. Composición promedio de los residuos domésticos de Asturias en 2016 (Peso húmedo): Fracción resto (26,66%).

En definitiva, los componentes reciclables incluidos en la fracción *Resto* nos permiten establecer una clasificación unificada y real de los residuos domésticos de Asturias en el periodo de 2016 analizado y que se representan en la figura 10.

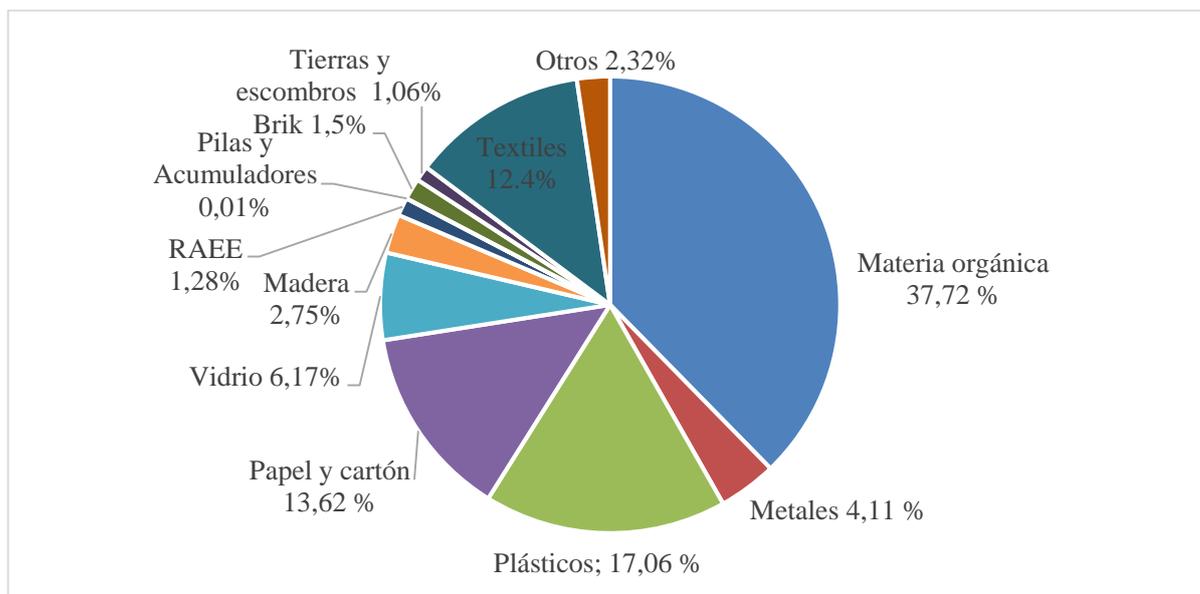


Figura 10. Composición de los residuos domésticos de Asturias 2016.

2.1.2. Características de los RDM de Extremadura.

La generación anual de residuos domésticos y comerciales no peligrosos, conocidos en su conjunto como residuos municipales, se situó en 2015 en Extremadura en torno a los 478 kilogramos por habitante, creciendo su producción por segundo año consecutivo desde que se inició el descenso en 2008 debido a la crisis económica.

En Extremadura los residuos domésticos y comerciales son recogidos por las Entidades Locales generalmente en contenedores instalados en áreas de aportación para 4 fracciones principales: fracción Resto, papel-cartón, envases ligeros y envases de vidrio. La fracción Resto es depositada por los ciudadanos en el contenedor verde

o gris, alcanzando aproximadamente el 78% del total de los residuos municipales recogidos ¹³. Su composición media por materiales es la que recoge la tabla 5:

Hay que advertir que los datos que se ofrecen en esta tabla son porcentajes en bruto sin corrección de elementos como la humedad o la suciedad, por lo que podrían presentar desviaciones elevadas al referirse a fracciones concretas como el papel, los plásticos o el textil; ya que estos materiales se impregnan de humedad y suciedad de la materia orgánica aumentando su peso de manera significativa.

Los esfuerzos en los próximos años han de dirigirse, tal como establece el PEMAR, a incrementar de forma significativa las cantidades de residuos que se recogen de forma separada disminuyendo la cantidad de residuos mezclados cuya aportación en cantidad al reciclado es muchísimo menor y de los que se obtienen materiales de calidad muy inferior.

Tabla 5. Composición media de la fracción resto de residuos municipales en Extremadura ¹³.

Composición media fracción resto	Porcentaje (%)
Materia orgánica	41.43
Plásticos	17.17
Papel-cartón	12.68
Textil y celulósico sanitario	8.18
Textil y piel	7.87
Metales férricos	3.25
Vidrio	3.02
Briks	1.63
Madera	1.60
RAEE	0.84
Metales no férricos	0.32
Otros materiales	2.00

2.1.3. Características de los RDM de la Rioja

El Consorcio de aguas y residuos de La Rioja, en la actualidad, tiene establecida la recogida en 6 rutas: 2 rutas en Rioja Alta (Rioja Alta y Sonsierra) 2 en Rioja Media (Najerilla - Moncalvillo e Iregua - Leza) y 2 en Rioja Baja (Rioja Baja - Ebro y Alhama). El servicio que se presta incluye: recogida, transporte y tratamiento de los residuos, así como la limpieza y mantenimiento de los contenedores instalados.

En los municipios no consorciados para la recogida (Logroño, Haro, Santo Domingo, Nájera, Ezcaray), el servicio es gestionado por los propios ayuntamientos, llevándose a cabo por empresas privadas en régimen de concesión municipal o mediante contratos de servicios. En la zona del Cidacos, es la mancomunidad del Cidacos, compuesta por diferentes municipios, la que se encarga de la gestión de los residuos urbanos. Las empresas concesionarias son las encargadas de llevar los residuos recogidos bien a la Estación de Transferencia de La Rioja Alta o bien directamente al Ecoparque para su tratamiento.

Con la entrada en funcionamiento en el año 2005 del Ecoparque, la fracción *Resto* empieza a recibir un tratamiento mecánico biológico, no siendo hasta el año 2007 en el que la planta alcanza su pleno rendimiento. En la actualidad reciben tratamiento el 100% de los residuos domiciliarios recogidos mediante contenerización en La Rioja.

La caracterización de la fracción *Resto* del Consorcio de agua y residuos de La Rioja queda recogida en la tabla siguiente:

Tabla 6. Composición (%) de la fracción resto ¹⁴.

Composición de la Fracción	Porcentaje (%)
Resto	
Materia orgánica	39.83
Celulósicos (toallitas, pañales, etc.)	9.16
Papel y cartón	14.24
Envases (plásticos, metales y briks)	12.79
Vidrios	5.51
Textiles	5.96
Tierras y Escombros	1.69
Otros	10.82

2.1.4. Características de los RDM de Galicia

Para obtener la composición media de los residuos de la Comunidad Autónoma de Galicia, se calcularon las composiciones de los residuos generados en los diferentes ámbitos de gestión existentes, a partir de los datos de cada uno de ellos sobre residuos recogidos e introducidos en planta y de las composiciones de las diferentes fracciones recogidas durante los últimos años. La composición media de los residuos de la comunidad autónoma de Galicia no vario desde 2009, permaneciendo como principal fracción la correspondiente a los residuos orgánicos biodegradables, con un 42% de cantidades total generada en los diferentes ámbitos de gestión existentes, seguida del papel-cartón (18%) de los envases ligeros (15%), como recoge la tabla 7 y representa la figura 11:

Tabla 7. Caracterización de la bolsa tipo Galicia 2013 ¹⁵.

Bolsa tipo de Galicia	Porcentaje(%)
Residuos orgánicos biodegradables	42
Papel y Cartón	18
Vidrio	6
Envases Ligeros	15
Textiles	4
Textiles sanitarios	6
Madera	2
Otros voluminosos	3
Tierras y Escombros	1
Residuos domésticos especiales	0.2
RAEE	0.2
Otros	3

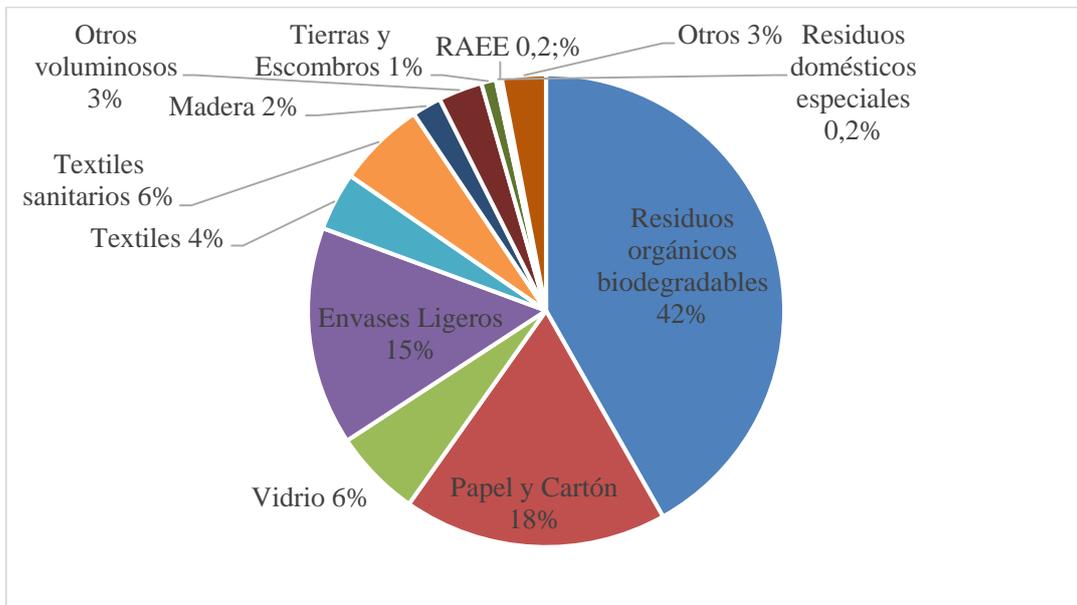


Figura 10. Composición de la bolsa tipo de Galicia en el año 2013.

2.1.5. Características de los RDM de Murcia

La Región de Murcia es una Comunidad Autónoma con abundante oferta de instalaciones de recogida separada y tratamiento de residuos domésticos y similares.

Destaca la red de ecoparques, considerada como una de las más extensas de todo el territorio nacional, además de otra red compuesta por tres centros de gestión, cinco estaciones de transferencia y tres plantas de selección de envases ligeros.

A partir del análisis de los residuos recibidos en las diferentes plantas de selección y triaje, se constata que la composición media, de la fracción resto, de los residuos domésticos está formada por un conjunto de residuos figura 11 y tabla 8, siendo el más representativo la materia orgánica, constituyendo hasta el 40,31% del total, otras fracciones importantes son el plástico, un 17,03% y el papel cartón, un 14,71%. Estas tres fracciones suponen más de un 70% del total de la fracción resto y lo más importante es que son valorizables, por lo que sobre ellas se deben establecer medidas para su recuperación.

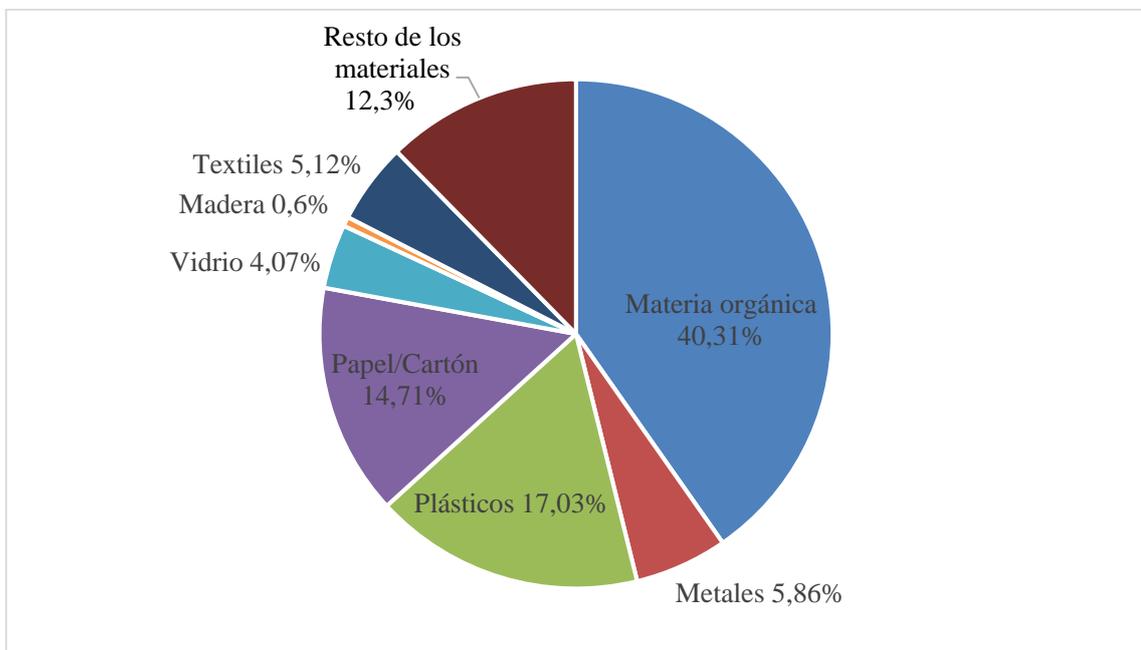


Figura 11. Composición media por materiales de los residuos domésticos y comerciales de Murcia 2013.

Tabla 8 .Caracterización composicional de la fracción resto de Murcia¹⁶.

Composición media fracción resto	Porcentaje(%)
Materia orgánica	40.31
Metales	5.86
Plásticos	17.03
Papel/Cartón	14.71
Vidrio	4.07
Madera	0.60
Textiles	5.12
Resto de los materiales	12.3

2.1.6. Características de los RDM de Cantabria

La generación de residuos en Cantabria ha seguido una tendencia de reducción en los últimos años, cumpliendo con los objetivos señalados en la normativa nacional y con los objetivos recogidos en el Plan Sectorial de Residuos Municipales 2017-2023.

“Medio Ambiente, Agua, Residuos y Energía de Cantabria, S.A.” (MARE S.A) es la empresa pública, constituida como un medio propio y servicio técnico de la Administración de la Comunidad Autónoma de Cantabria que se encarga de la gestión de ciertos flujos de residuos, entre ellos los denominados domésticos en distintos municipios de la Comunidad Autónoma mediante encomienda de gestión¹⁷.

A continuación, en la tabla 9 y en la figura 12, se recoge y representa la composición de los residuos gestionados en el Complejo Medioambiental de Meruelo durante el año 2014:

Tabla 9. Caracterización de los residuos gestionados en la planta de tratamiento mecánico-biológico del Complejo Medioambiental de Meruelo.

Composición	Porcentaje(%)
Materia orgánica	21.09
Restos de jardín/podas	14.89
Celulosas	7.84
Papel / cartón	18.90
Brik	1.06
Film	8.02
PET	1.31
PEAD	0.85
Otros plásticos	4.46
Materiales férricos	2.78
Aluminio	0.67
Otros metales	0.06
Vidrio	4.35
Textiles	5.09
Madera	2.21
Impropios	6.42

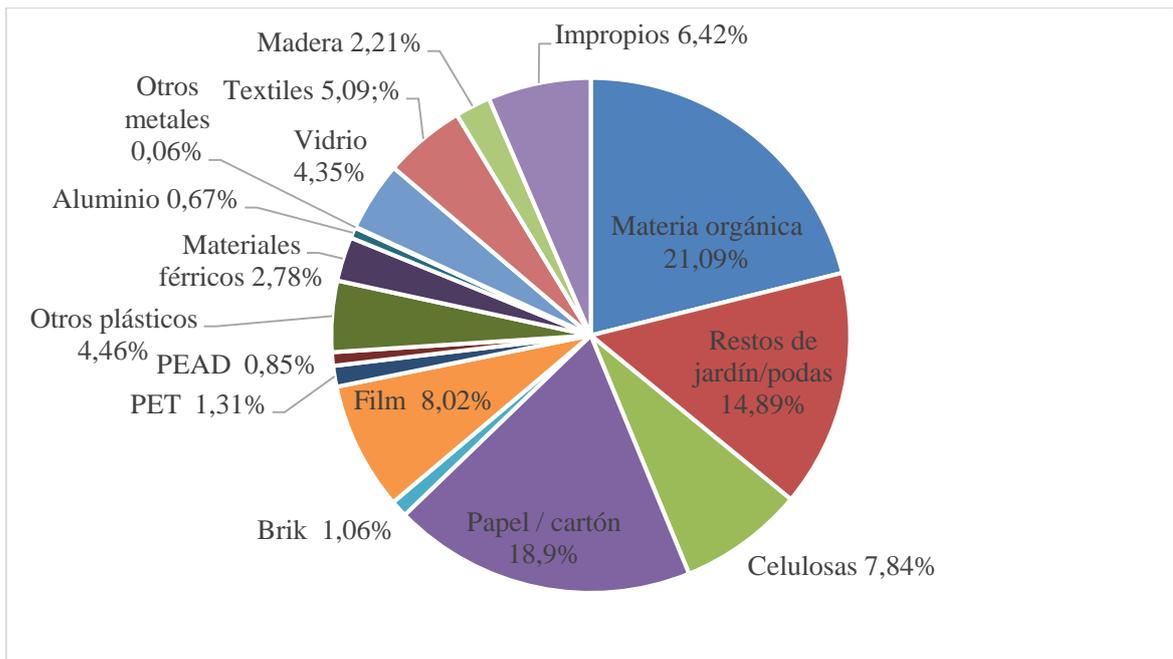


Figura 12. Caracterización de residuos domésticos de entrada a la planta de tratamiento mecánico-biológico del Complejo Medioambiental de Meruelo¹⁷.

Las composiciones de materia orgánica, papel/cartón y restos de jardín y podas representan las fracciones de mayor valor porcentual.

2.1.7. Caracterización de los Residuos de Castilla-León

La Estrategia Regional de Residuos de Castilla - León se enfoca tanto en la prevención de la generación de los residuos como en el fomento del sector de la reutilización y el reciclado, como forma de aprovechar los recursos que contienen los residuos, que de otro modo serían eliminados, disminuyendo así los efectos ambientales.

El modelo de gestión de los residuos domésticos en la Comunidad de Castilla - León se basa en el funcionamiento de un conjunto de servicios e infraestructuras de recogida,

transporte, tratamiento (valorización y eliminación), cuya gestión recae en su totalidad en las entidades locales.

La bolsa “tipo” correspondiente a la bolsa de basura que es depositada en el contenedor en la comunidad Castilla - León en 2014 es la siguiente (tabla 10):

Tabla 10. Composición bolsa tipo en Castilla - León ¹⁸.

Material	Bolsa Tipo (%)
Materia orgánica	35
Restos de podas	5
Materia orgánica total	37
Papel y cartón de impresión	11.82
Papel y cartón de envase	9.18
Papel y cartón total	21
Plásticos envases	11.86
Plásticos no envases	4.14
Plásticos totales	16
Vidrio envases	7.47
Vidrio no envases	1.54
Vidrio totales	9.01
Metales Fe envases	2.50
Metales Fe no envases	1.50
Metales no Fe envases	1
Metales no Fe no envases	1
Madera	1
Textil	2
Celulosa	3
Varios	5

La tabla 10 y la Figura 13 muestran la relevancia que representa los porcentajes de materia orgánica, el papel y cartón y el plástico, en la composición de la bolsa tipo de la comunidad de Catilla y León, siendo de 37%, 21% y 16 % respectivamente.

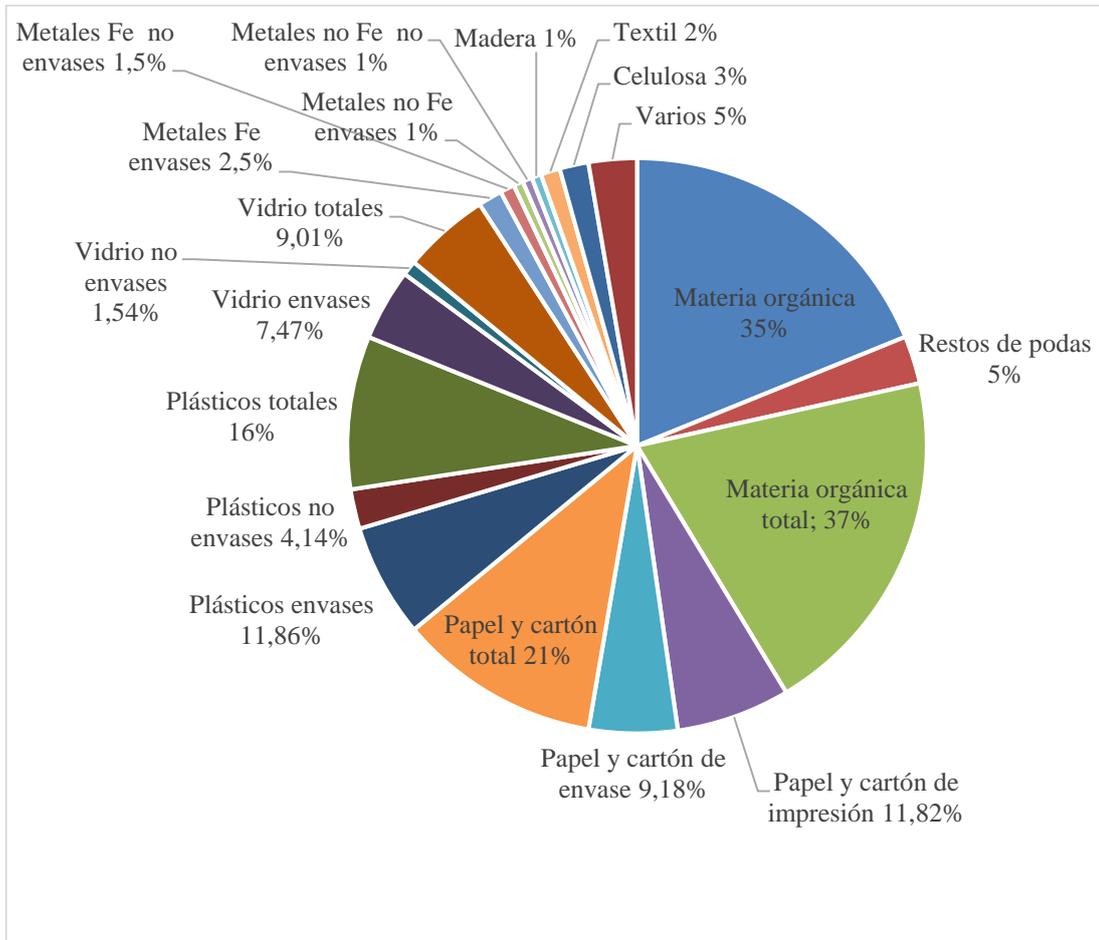


Figura 13. Composición del RDM de Catilla y León (2014).

2.2. Estudio comparativo de las características de los RDM.

Los datos disponibles de RDM de las comunidades autónomas de Asturias, Extremadura, La Rioja, Galicia, Murcia, Cantabria y Castilla - León, nos han permitido realizar un análisis comparativo. Como las comunidades autónomas caracterizan de forma diferente sus residuos sólidos mezclados, se llevaron a cabo agrupaciones de los valores adquiridos de los planes de gestión de residuos y otros se ajustaron en función de sus características, mediante estimación (tabla11).

Tabla 11. Composición de los RDM (en %) de las siete comunidades autónomas caracterizadas. (En cursiva los valores agrupados).

Composición por categorías de RDM	Asturias 2016	Extremadura 2014	La Rioja 2014	Galicia 2013	Murcia 2014	Cantabria 2014	Catilla y León 2014
Materia orgánica	37.72	41.43	39.83	42	<i>40.31</i>	<i>35.98</i>	37
Metales	<i>4.11</i>	<i>3.57</i>		3	5.86	<i>3.51</i>	6
Plásticos	<i>17.06</i>	17.17		<i>10</i>	17.03	<i>14.64</i>	16
Papel y cartón	13.62	12.68	14.24	18	14.71	18.9	21
Vidrio	6.17	3.02	5.51	6	4.07	4.35	9
Madera	2.75	1.6			0.6	2.21	1
RAEE	1.28	0.84		4			
Pilas y Acumuladores	0.01						
Briks	<i>1.5</i>	1.63		2		1.06	
Envases (plásticos, metales y briks)			12.79				
Tierras y escombros	1.06		1.69				
Textiles o textil+celulosa	12.4	<i>16.06</i>	<i>15.12</i>	10	5.12	<i>12.93</i>	5
Otros	2.32	2	10.82	5	12.3	6.42	5

La Tabla 11 recoge los valores porcentuales de las diferentes categorías en seis comunidades autónomas, se excluye la Rioja por no disgregar la categoría de envases, y las ligeras discrepancias que se observan pueden derivar de las agrupaciones que se han realizado con el fin de mantener una clasificación homogénea de los componentes del RDM. Por ello puede ser más útil los valores representados en la figura 14 que corresponden a los valores promedio de todas ellas.

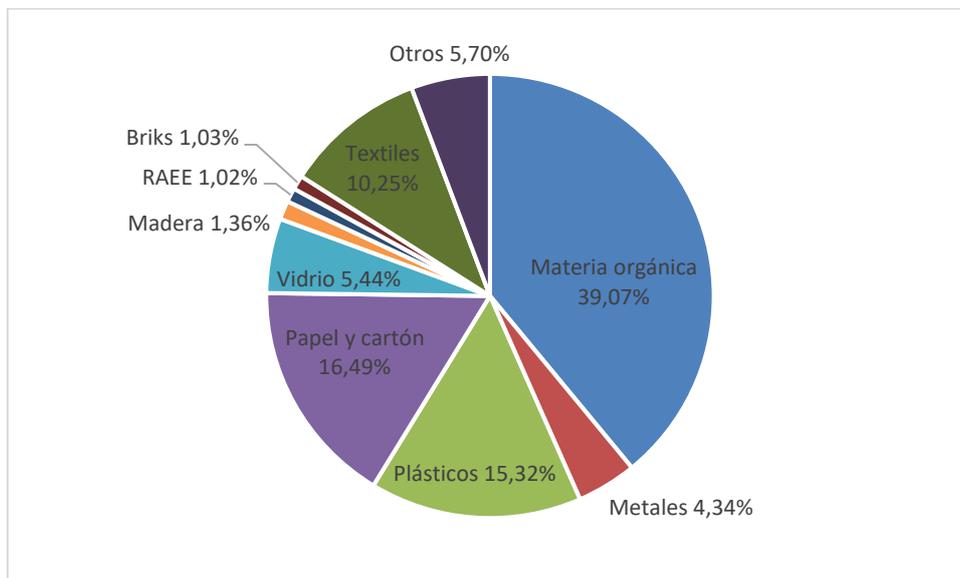


Figura 14. Valores medios de las 6 comunidades autónomas.

Por otro lado, con el fin de realizar un análisis comparativo con los datos de COGERSA, en la tabla 12 se muestran los valores promediados de las siete comunidades autónomas y los valores globales de España proporcionados por el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR, 2016) .

Tabla 12. Composición de los RDM de España y Asturias. (*En cursiva los valores agregados*).

Composición por categorías de RDM	PEMAR 2014	Valores medios de las 6 Comunidades Autónomas	Asturias 2016
Materia orgánica	47	39.07	37.72
Metales	3	4.34	<i>4.11</i>
Plásticos	9	15.32	<i>17.06</i>
Papel y cartón	11	16.49	13.62
Vidrio	5	5.44	6.17
Madera	2	1.36	2.75
RAEE	0	1.02	1.28
Briks	1	1.03	<i>1.5</i>
Textiles	6	10.25	12.4
Otros	<i>14</i>	5.70	3.38

Estableciendo una comparación entre el valor medio obtenido de la composición de los RDM de las seis comunidades autónomas caracterizadas, con los datos de España, extraídos de la fuente (PEMAR) ⁹ y los manejados en Asturias (COGERSA)¹⁹, se aprecia:

- Los porcentajes de materia orgánica son similares entre el promedio de las seis comunidades autónomas y Asturias, y presentan una diferencia del orden del 10% con respecto a los datos de PEMAR.
- Los metales, vidrio, madera, RAEE, son similares en los tres casos.
- Es significativa la diferencia de valores que representan los plásticos. Así, el RDM de Asturias tiene un contenido en plásticos que supone casi el doble del que se reporta en el informe de PEMAR. Ello podría estar relacionado con una mejor gestión de residuos, a nivel de separación previa, en Comunidades Autónomas que no se han considerado en el estudio recogido en esta Memoria.
- Respecto al contenido de papel y cartón en el RDM, en Asturias el contenido, es inferior al promedio de las seis Comunidades Autónomas, lo que podría estar relacionado con una mejor separación previa de estos elementos. Sin embargo, al igual que los plásticos, el porcentaje es superior al promedio de España.
- Otros tipos de componentes para los que se observan diferencias significativas es en los textiles y en otros. Ello podría estar relacionado con la falta de homogeneidad existente en las caracterizaciones de las composiciones de los RDM, en componentes como textiles, textil sanitario, toallitas y pañales desechables, etc....

2.3. Instalaciones de Tratamientos Mecánico Biológicos (TMB/TBM) orientadas al aprovechamiento de RDM para la producción de CDR o CSR.

El estudio recopilatorio llevado a cabo por Di Lonardo y *col.*¹² sobre las composiciones de los residuos entrantes y salientes de las plantas de TMB, pone de manifiesto que la calidad y la cantidad de los CDR generados varía según el clima, la estación y el país y los resultados son muy variables. En este sentido, si se quiere realizar una mera extrapolación de resultados han de considerarse sus limitaciones.

Si bien no hemos encontrado estudios previos en los que se utilice sólo RDM para la obtención de CDR en España, el estudio llevado a cabo en Castilla-León para el tratamiento de RSU en plantas de TMB puede ser de utilidad²⁰ Así, para estimar las características de los CDR/CSR que deben obtenerse en la futura planta de TMB de COGERSA, a continuación, se realiza un estudio comparativo entre la composición de los RDM de COGERSA y los residuos sólidos municipales de Castilla – León.

En el análisis realizado de los residuos sólidos municipales (RSU) en el área de Castilla – León para la obtención de CDR,²⁰ se realizaron tres tomas en 36 muestras diferentes, 18 de CDR y 18 de RSU, recolectadas en 10 plantas de TMB ubicadas en el área de Castilla – León. Lo que representa 2,5 millones de habitantes²⁰. Antes de entrar en el análisis es necesario describir la naturaleza de los RSU que se consideran en el estudio. Estos residuos engloban tanto los RDM como los rechazos de las plantas de clasificación de papel y cartón, plástico, vidrio y otros residuos como podas.

La tabla 13 recoge los datos promedio de la composición de los RSU en Castilla-León antes y después del tratamiento en las plantas de TMB. Según los datos

proporcionados, el CDR representa el 66.7% del volumen inicial de RSU, y aproximadamente 42% en peso de la cantidad inicial de los residuos.

**Tabla 13. Composición de RSU y CDR, porcentajes en peso en Castilla-León
2011.**

Composición	Promedio	Promedio
	RSU(%)	CDR(%)
Materia orgánica	56.26	23.71
Plásticos	10.67	24.50
Papel y Cartón	13.80	27.91
HDPE	0.75	0.99
PET	1.46	1.87
LDPE	5.56	10.93
MIX	2.90	10.62
PVC	0.00	0.08
Vidrio	3.28	0.48
Metales ferrosos	2.46	3.10
Metales no ferrosos	0.50	0.61
Celulosa	4.06	5.76
Briks	1.18	2.16
Textiles	3.57	8.65
Madera	1.33	2.18
Goma	0.24	0.03
Batería	0.01	0.00
Residuo de podas	1.84	0.14
RAEE	0.12	0.34
Residuos peligrosos	0.69	0.48

En la tabla anterior, llama la atención que alguno de los componentes aumente y otros disminuyen, ello es función de la conveniencia o no de separar ese componente específico en el tratamiento mecánico-biológico, o de mantenerlo como componente básico del CDR por su potencial calorífico. Una recuperación sustancial se lleva a cabo en trommels; aproximadamente el 82% de la materia orgánica y el 97% de los residuos de jardín se eliminan de la corriente de RSU y se llevan a biorreactores o túneles donde se estabilizarán biológicamente ²¹.

En base a la separación por trommel, las eficiencias de recuperación para la materia orgánica (es decir, la parte enviada al tratamiento biológico) fueron superiores al 80% para todas las plantas. Sin embargo, estos flujos "orgánicos" contenían altos porcentajes de materiales inertes. El papel, el cartón, el vidrio, las cajas de bebidas y los diferentes tipos de plástico se recuperan manualmente en estas plantas de TMB, por lo que las eficiencias de recuperación varían ampliamente. Los metales ferrosos y de aluminio se separaron mecánicamente, por lo tanto, las eficiencias de recuperación relativas fueron generalmente más altas en comparación con los materiales de desecho restantes. El residuo (denominado CDR) se compone principalmente de materia orgánica (alrededor del 25%), papel y cartón (alrededor del 30%) y plástico (alrededor del 25%).

Estos datos nos pueden servir de base para establecer las características de los CDR que se pudiesen generar en Asturias a partir de los RDM. La tabla siguiente recoge los componentes de los residuos RDM disponibles para las plantas de TMB en Asturias y los correspondientes tanto de RDM como de RSU de la Comunidad de Castilla-León. Con el fin de unificar las categorías de los componentes se han agregado algunos de los que aparecen en la tabla 13.

Tabla 14. Composición de los RDM de Asturias y de los RDM y RSU de Castilla-León.

Composición por categorías del residuo	Asturias RDM 2016	Castilla-León RDM 2014	Castilla - León RSU 2011
Materia orgánica	37.72	37	58.1
Metales	4.11	6	2.96
Plásticos	17.06	16	10.67
Papel y cartón	13.62	21	17.86
Vidrio	6.17	9	3.28
Madera	2.75	1	1.33
RAEE	1.28		
Pilas y Acumuladores	0.01		
Briks	1.5		
Tierras y escombros	1.06		
Textiles	12.4	5	3.57
Otros	2.32	5	2.24

A la vista de estos datos, la composición de los RDM de Asturias y Castilla- León son muy similares, con una diferencia significativa en papel y cartón y en textiles, que podría estar relacionada con una consideración distinta en la clasificación de pañales y toallitas. Por otro lado, para poder correlacionar los datos de los CDR derivados de las plantas de TMB de Castilla-León, al comparar los datos de RSU con los datos de los RDM se observan grandes diferencias en la categoría de materia orgánica que podría estar asociada a que se incluyan restos de jardín y podas. Ello repercute en un menor porcentaje en el resto de los componentes.

2.4. Características y usos de los CDR/CSR producidos en plantas de TMB/TBM.

Como ya se ha definido en la Introducción de esta Memoria, los Combustibles Derivados de Residuos (CDR) y los Combustibles Sólidos Recuperados (CSR) son combustibles alternativos y presentan diferencias marcadas.

La normativa Europea (UNE-EN 15359:2012) establece un sistema de clasificación de la calidad de los CSR basado en los valores límite de tres parámetros: el poder calorífico inferior (PCI), como parámetro económico; el contenido en cloro, como parámetro técnico, y el contenido en mercurio, como parámetro medioambiental. Cada uno de estos parámetros se divide en cinco clases con sus correspondientes valores límite y se le asigna un número del 1 al 5 en función del valor obtenido para el mismo. La combinación de estos números constituye el código de clase. Aquellos materiales a los cuales no se les pueda asignar un código de clase, no serán considerados como CSR pero sí podrían ser considerados como CDR ¹⁰.

Tabla 15. Parámetros del sistema de clasificación del CSR.

PARÁMETRO	BASE	unidades	1	2	3	4	5
PCI (valor medio)	Base húmeda	MJ/kg	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3
Contenido en cloro	Base seca	% Cl	≤ 0,2	≤ 0,6	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 3,0
Contenido en Hg	Base húmeda	mg/MJ	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,08	≤ 0,15	≤ 0,50
Hg, (percentil 80)	húmeda	mg/MJ	≤ 0,04	≤ 0,06	≤ 0,16	≤ 0,30	≤ 1,00

En la actualidad en España los CSR y CDR se generan mayoritariamente en plantas de tratamiento mecánico biológico. No todos los tratamientos mecánico biológicos conducen a la producción de combustibles alternativos de calidad. Para su fabricación es esencial conocer la composición de los residuos, ya que estas alternativas de recuperación de energía necesitan una composición específica. Deben predominar aquellos componentes que proporcionan gran poder calorífico, como: las fracciones papel, plástico y textiles entre otras; Además, los residuos se someterán a un proceso de estabilización para homogeneizar el tamaño de las partículas, eliminar los inertes y reducir la humedad. Incluso en algunos casos concretos, la producción de los combustibles deberá adaptarse a los usos previstos, corrigiendo determinados parámetros.

En España no existe actualmente una demanda generalizada de CSR y se puede decir que básicamente el consumo de CDR/CSR se concentra en las plantas cementeras como sustituto de carbón.

Algunos ejemplos representativos de estas **tecnologías en España** son los siguientes:

- ✓ Planta en Andalucía. La planta de combustibles alternativos de Geocycle, en Albox (Almería) trata alrededor de 50.000 t/a de residuos para obtener CSR. Estos CSR se utilizan en los hornos de cementeras del grupo Holcim, como la de Gador y la de Carboneras.
- ✓ Instalaciones de CSR en el Centro de Tratamiento del PI Zona Franca de Barcelona (en la que se obtiene un 80% de rendimiento en la producción de CSR), Ecoparque de El Aceituno (Toledo), Centro de Tratamiento de Murcia y Centro de Tratamiento de Alginet (Valencia).
- ✓ Planta de producción de CDR/CSR de Vitoria-Gasteiz: en este caso la cifra de recuperación asciende a 49%.

El uso de CSR /CDR en este país está en una fase muy preliminar, existiendo pocas plantas de producción de CSR /CDR, y la mayoría de ellas para su uso en plantas cementeras.

Ventajas de la utilización de CSR/CDR.

- La combustión se realiza en condiciones de muy alta temperatura, lo que garantiza la destrucción de los compuestos orgánicos existentes en el residuo, por ejemplo, dioxinas o furanos.
- Mejora la competitividad de la industria cementera porque reduce los costes de fabricación debido a que los costes energéticos suponen al menos el 30% de los costes de fabricación.
- No se genera ningún residuo al final del proceso de valorización. La valorización no genera ni escorias ni cenizas, ya que éstas se incorporan al clínker de forma permanente e irreversible, manteniendo las garantías ambientales y de calidad del producto. La mayor parte de los metales pesados se incorporan de forma

estable a la estructura del clinker sin mermar sus propiedades ni su calidad, y algunos, los más volátiles (talio o mercurio) se retienen en los sistemas de filtrado de partículas.

- La naturaleza alcalina del horno asegura la neutralización de los gases ácidos que se produzcan, tales como ácido clorhídrico, fluorhídrico y compuestos de azufre (SO_2 y SO_3), que cruzan a contracorriente por un lecho de cal.
- La utilización de dichos combustibles en el horno de cemento no requiere una tecnología especial excepto en el sistema de manipulación y alimentación al horno.

Diversos estudios han dado como resultado que la aportación de CSR/CDR como combustible alternativo en las cementeras, no incrementa las emisiones de sustancias orgánicas ni de metales, ajustándose a la legislación europea y española.

Las cementeras, por sus condiciones de operación, es decir, altos tiempos de residencia de los gases de combustión, altas temperaturas, interacción de dichos gases con la materia prima presente en el horno, presentan una mayor flexibilidad para utilizar un amplio rango de CSR y/o CDR.

La gran estabilidad térmica del proceso evita situaciones anormales de funcionamiento.

Inconvenientes de la valoración de CSR/CDR.

- No todos los **CSR/CDR** deben ser valorizados, se deben utilizar aquellos de calidad, con PCI alto, que no sea rico en metales pesados, especialmente en mercurio, ni en cloro.
- El cloro es el parámetro más limitante desde el punto de vista del proceso, y por tanto limita el consumo de **CSR/CDR**.

- Se limita de manera estricta el contenido de los metales más volátiles (Hg, Tl) en la composición de los **CSR/CDR**.
- Controlar y regular los equipos del sistema de recepción, almacenaje y dosificación de los **CSR/CDR** de manera que se garantice el consumo calorífico que requiere el proceso con un combustible que tiene un poder calorífico aproximadamente un 50% menor que el combustible tradicional.
- Se producen valores altos de NO_x y de CO₂ como consecuencia de las altas temperaturas y de la descarbonatación propia del proceso.

Por lo general, los CDR obtenidos de los RSU en España presenta las características como las que se muestran en la tabla 16.

Tabla 16. Característica de los CDR obtenidos de RSU ²².

Parámetro	Valor	Unidad
Tamaño	30-50	Mm
Poder calorífico	15-20	MJ/kg
Contenido de cenizas	10	%
Humedad	10-30	%
Azufre	≥0,1	%
Metales pesados	<500	ppm

Estos datos no difieren de los publicados para los CDR generados en las planta de TMB de Castilla-León a partir de los RSU (tabla17).

Tabla 17. Características de CDR de las plantas de TMB de Castilla-León.

Parámetro	Castilla - León
Tamaño de partícula	>40mm
Contenido de humedad (%)	11.5
Contenido de cenizas (%)	11.8
Contenido de cloro (%)	0.58
Valor calorífico superior (kJ/kg)	20800
Valor calorífico inferior (kJ/kg)	19401
Cadmio (mg/kg)	0.6
Cromo (mg/kg)	79
Plomo (mg/kg)	28
Mercurio (mg/kg)	0.56

2.5. Resultados esperados en COGERSA.

En el Plan Estratégico de Residuos del Principado de Asturias 2017-2024 (PERPA)¹⁹, es importante reconocer que el objetivo de incremento de la recogida separada es muy ambicioso para el plazo disponible, por lo que el sistema deberá prever el abordaje del tratamiento de la bolsa negra con los medios adecuados para garantizar que todo el residuo que se deposite en vertedero habrá sido previamente tratado por técnicas de valorización.

Las nuevas instalaciones de valorización, para el tratamiento de la bolsa negra, se deben formar sobre la base de la combinación de varios o todos los procesos unitarios siguientes, que permitan dar cumplimiento a los requisitos establecidos en el PERPA.

- Sistema TMB (tratamiento mecánico biológico convencional), con instalaciones para la clasificación automatizada del residuo, con o sin separación de la fracción orgánica
- Sistema TBM (tratamiento biológico mecánico), con instalaciones para la clasificación automatizada del residuo, y biosecado.
- Compostaje
- Higienización mediante presión y temperatura
- Fabricación de CSR
- Área de almacenamiento temporal del CSR fabricado

La Tabla 18 muestra los requisitos mínimos de rendimiento para la alternativa de procesos combinados (todos los porcentajes referidos a entrada total de residuo –bolsa negra- a planta)

Tabla 18. Requisitos mínimos de rendimiento para la alternativa de procesos combinados en COGERSA.

Salidas de la planta de TMB	Composiciones esperadas en (%)
Recuperación de materiales	Recuperación del conjunto de materiales (sin contar materia orgánica): >7,5%
	Recuperación de plásticos: > 2,75%
	Recuperación de metales: >1,50%
	Recuperación de maderas: > 0,40%
	Recuperación de papel y cartón: >2,00%
	Recuperación de vidrio: >0,60%
Fabricación de CSR	Cantidad de residuo procedente de tratamiento de “bolsa negra”, destinado a CSR en peso bruto (sin secado adicional): >30%
Residuo a vertedero:	Residuo bruto (bolsa negra) a vertedero: 0%
	Rechazos de todas las etapas de tratamiento de bolsa negra con destino a eliminación: < 30%
Producción de bioestabilizado de biorresiduo no recogido separadamente:	<13%

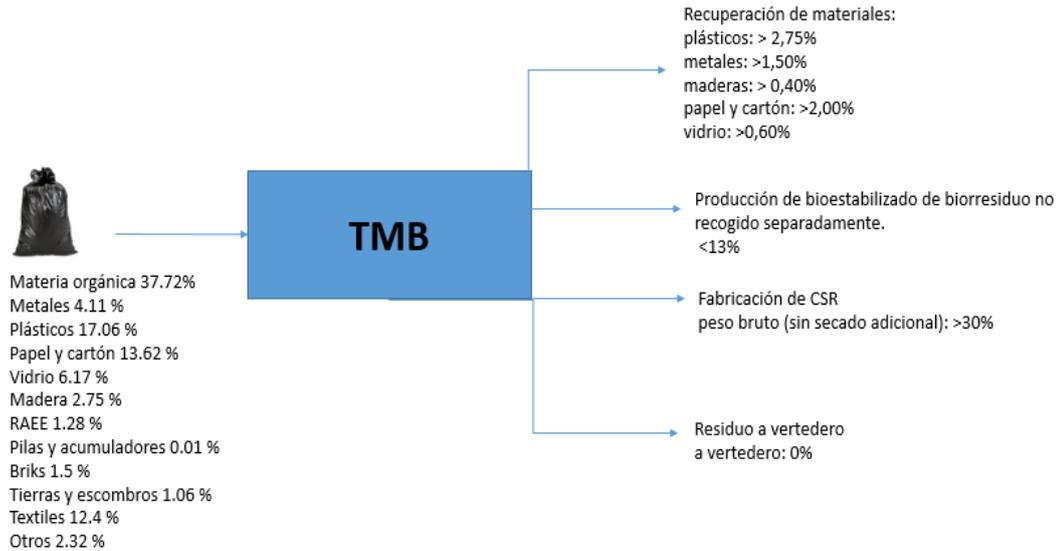


Figura 18. Entradas y salidas esperadas de la planta de TMB en Asturias.

Posibles destinos del CSR obtenido en Asturias.

Preferente a valorización por vía química para obtención de materias primas de la química orgánica, o bien combustibles de segunda generación. Esto se realizará en instalaciones dentro o fuera del Principado de Asturias.

También se debe dejar abierta la posibilidad del almacenamiento temporal del CSR hasta su valorización, así como la de la valorización energética, dado que pueden ser necesarias estas vías ante un posible déficit temporal o parcial de mercado o la inviabilidad económica para esta valorización material.

Esta valorización energética contemplará únicamente el aprovechamiento en instalaciones de combustión para la generación de energía eléctrica u otras instalaciones industriales, tanto dentro como fuera del Principado de Asturias, o en instalaciones de incineración de residuos que estén ubicadas fuera del Principado de Asturias.

3. CONCLUSIONES

1. En las caracterizaciones de los RDM de las Comunidades Autónomas estudiadas fundamentalmente destaca las diferencias que se observan en los porcentajes de algunos de los componentes, que pueden derivar de los distintos criterios aplicados en la catalogación y separación de los mismos.
2. Respecto al contenido de papel y cartón en el RDM, en Asturias el contenido, es inferior al promedio de las Comunidades Autónomas, lo que podría estar relacionado con una mejor separación previa de estos elementos. Sin embargo, al igual que los plásticos, el porcentaje es superior al promedio de España.
3. Al comparar los datos de RSU con los datos de los RDM de Castilla-León se observan grandes diferencias en la categoría de materia orgánica que podría estar asociada a que se incluyan restos de jardín y podas. Ello repercute en un menor porcentaje en el resto de los componentes.
4. Los CDR y CSR suponen una energía alternativa, ahorro económico, reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, y evita el depósito de residuos en vertedero.
5. Las correlaciones de la eficacia y composición de los CDR de las diferentes plantas de TMB hay que realizarlas con suma cautela dadas las diferencias en la clasificación y naturaleza de los residuos de entrada, así como los tratamientos de separación que se puedan realizar en cada planta, en función de la calidad del CDR que se quiera generar.

4. BIBLIOGRAFIA

- (1) Zaballos, R. M. CDR Frente a La Bajada de Precios de Combustibles Fósiles. *Retema Rev. técnica medio Ambient.* **2015**, 28 (187), 6–7.
- (2) Sánchez, A. Y. Combustibles Sólidos Recuperados y Combustibles Derivados de Residuos. **2013**.
- (3) Gómez-Barea, A. Alternativas Para El Aprovechamiento Energético de Residuos Sólidos Urbanos. *Retema Rev. técnica medio Ambient.* **2015**, 28 (187), 34–42.
- (4) Pires, A.; Martinho, G.; Chang, N.-B. Solid Waste Management in European Countries: A Review of Systems Analysis Techniques. *J. Environ. Manage.* **2011**, 92 (4), 1033–1050.
- (5) de Araújo Morais, J.; Ducom, G.; Achour, F.; Rouez, M.; Bayard, R. Mass Balance to Assess the Efficiency of a Mechanical--Biological Treatment. *Waste Manag.* **2008**, 28 (10), 1791–1800.
- (6) Gug, J.; Cacciola, D.; Sobkowicz, M. J. Processing and Properties of a Solid Energy Fuel from Municipal Solid Waste (MSW) and Recycled Plastics. *Waste Manag.* **2015**, 35, 283–292.
- (7) Edo-Alcón, N.; Gallardo, A.; Colomer-Mendoza, F. J. Characterization of SRF from MBT Plants: Influence of the Input Waste and of the Processing Technologies. *Fuel Process. Technol.* **2016**, 153, 19–27.
- (8) Ilarri, J. R.; Clavero, M. E. R.; González, J. M. F. *Alternativas de Valorización y Eliminación de Residuos Sólidos Urbanos*; ENTORNOS Diseño y percepción, 2014.

- (9) Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, M. Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR).
- (10) Gallardo Izquierdo, A.; Edo-Alcón, N.; Albarrán, F. El Combustible Sólido Recuperado: Producción y Marco Regulador. **2017**.
- (11) Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, M. Anuario de Estadísticas Agrarias. **2016**, 1–1026.
- (12) Di Lonardo, M. C.; Lombardi, F.; Gavasci, R. Characterization of MBT Plants Input and Outputs: A Review. *Rev. Environ. Sci. Bio/Technology* **2012**, *11* (4), 353–363.
- (13) Plan Integrado de Residuos de Extremadura (PIREX).
- (14) Gobierno de La Rioja. Plan Director de Residuos de La Rioja.
- (15) CMATI. Plan de Gestión de Residuos Urbanos de Galicia (PXRUG). **2014**, 6–10.
- (16) Consejería de Agua, A. y M. A. D. G. de C. y E. A. Plan de Residuos Región de Murcia.
- (17) Cantabria, G. de. Plan de Residuos de La Comunidad Autónoma de Cantabria.
- (18) Junta de Castilla y León. Plan Integrado de Residuos de Castilla y León. *Boletín Of. Castilla y León* **2014**, 1–477.
- (19) Gobierno del Principado de Asturias. Plan Estratégico de Residuos Del Principado de Asturias 2017-2024 (PERPA): Versión Inicial Del Plan. **2016**, 370.
- (20) Montejo, C.; Costa, C.; Ramos, P.; del Carmen Márquez, M. Analysis and Comparison of Municipal Solid Waste and Reject Fraction as Fuels for Incineration Plants. *Appl. Therm. Eng.* **2011**, *31* (13), 2135–2140.
- (21) Montejo, C.; Tonini, D.; del Carmen Márquez, M.; Astrup, T. F. Mechanical-

Biological Treatment: Performance and Potentials. An LCA of 8 MBT Plants Including Waste Characterization. *J. Environ. Manage.* **2013**, *128*, 661–673.

- (22) Alternativa de gestión en el ecovertedero de Zaragoza.
<http://www.recuperaresiduosencementeras.org/wp-content/uploads/2017/10/Alternativas-de-gestión-en-el-ecovertedero-de-Zaragoza.pdf>.