



## Combustible sólido recuperado producido a partir de biorresiduos de una planta de tratamiento mecánico biológico de residuos sólidos urbanos

Muzaber, Víctor Gamal<sup>1</sup>; Gallardo Izquierdo, Antonio<sup>1</sup>; Colomer Mendoza, Francisco<sup>1</sup>;  
Carlos Alberola, Mar<sup>1</sup>; Albarrán Vargas-Zúñiga, Fernando<sup>2</sup>

<sup>1</sup> INGRES Ingeniería de Residuos, Universitat Jaume I, Av. Sos Baynat s/n, 12071 Castellón, España, gallardo@uji.es

<sup>2</sup> RECIPLASA, Partida Refall de L'Avellar s/n, 12200 Onda, Castellón, España, reciplassa@reciplasa.es

### Resumen

Ante el horizonte cercano en la Unión Europea de la descarbonización de todas las fuentes de energía, con el objetivo de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>, será necesario sustituir paulatinamente los combustibles de origen fósil por fuentes de energías renovables, como puede ser la biomasa.

Tanto el bioestabilizado (compost de baja calidad) como el compost que se produce en las plantas de tratamiento mecánico biológico (PTMB) de residuos sólidos urbanos (RSU), tienen la naturaleza de biomasa, por lo que se pueden considerar como un combustible renovable, con cero emisiones computables de CO<sub>2</sub>. Estos materiales se utilizan como enmienda orgánica en la agricultura, pero en el caso de un exceso de abastecimiento, sería interesante buscar una alternativa de uso.

El objetivo del presente trabajo de investigación ha sido caracterizar los materiales que transcurren en las diferentes etapas del proceso de compostaje de una PTMB de RSU, para determinar su idoneidad para producir combustible sólido recuperado (CSR) con un alto porcentaje de biomasa. Dependiendo de la etapa del proceso, el material habrá sufrido un tratamiento determinado y tendrá unas características físicas concretas, lo que hará variar la rentabilidad del proceso de producción de CSR.

*Palabras clave: residuo sólido urbano, biorresiduo, combustible sólido recuperado, CO<sub>2</sub>.*

### Abstract

Taking into account the new framework "Horizon Europe" of the European Commission about the decarbonization of all the energy sources and with the aim to eliminate CO<sub>2</sub> emissions, it will be necessary to replace gradually the fossil fuels by renewable energy sources as the biomass.

The bio-stabilized (low quality compost) as well as the compost from the municipal waste (MW) mechanical-biological treatment plants (MBTP), are biomass sources. For this reason, they can be considered as renewable fuel with zero CO<sub>2</sub> computable emissions. This material is used as an organic amendment in agriculture, but in the case of an oversupply, it is interesting to look for an alternative use.

The aim of this research work is to characterize the materials produced in the different stages of the composting process in a MBTP of MW to determine its suitability to produce solid recovered fuel (SRF) with a high percentage of biomass. Depending on the process stage, the material is treated with a determined process and has specific characteristics which makes to vary the profitability of the manufacturing process of the SRF.

*Key words: municipal solid waste, biowaste, solid recovered fuel, CO<sub>2</sub>.*

## 1. Introducción

La Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo, relativa al fomento del uso de la energía procedente de fuentes renovables, define como biomasa *“la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de actividades agrarias (incluidas sustancias de origen vegetal y animal), de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales”*. Esta definición conlleva a que la fracción biodegradable de los residuos sólidos urbanos (RSU) también deberá ser considerada como fuente de energía renovable.

Partiendo de que se considerará como combustible sólido recuperado (CSR) a aquellos residuos no peligrosos que cumplan con los requisitos de clasificación y las especificaciones establecidas en la norma UNE-EN 15359 (2012), el objetivo de este trabajo ha sido caracterizar las diferentes corrientes de productos intermedios y rechazos de la planta de tratamiento mecánico y biológico (PTMB) de la empresa colaboradora RECIPLASA, con el fin de determinar la fracción combustible susceptible de convertirse en un CSR y el porcentaje de biomasa presente en dicha fracción, teniendo en cuenta que el uso de CSR con alto contenido de carbono biogénico reduce el cómputo de emisiones netas de CO<sub>2</sub> y las emisiones de otros tipos de contaminantes por su bajo contenido en nitrógeno y azufre (Velis et al., 2010; Gallardo et al., 2014).

Como potenciales clientes se incluyen grandes consumidores de energía térmica (Flamme y Geiping, 2012; Lacovidou et al., 2018), siendo el caso de cementeras, fábricas de cerámicos y también redes de calor para calefacción y agua caliente sanitaria en núcleos urbanos, donde se destaca el beneficio económico al sustituir combustibles de origen fósil por CSR, no sólo por el menor precio de éstos, sino que también se evita el pago del impuesto a las emisiones de CO<sub>2</sub>.

## 2. Metodología

El primer paso es conocer en detalle cada etapa del tratamiento aplicado a las RSU mezclados que alimentan la PTMB, y así poder definir las corrientes del proceso en las cuales realizar el muestreo para luego analizarlas en el laboratorio, siguiendo la normativa que especifica los estándares de calidad para clasificación de los CSR. Una vez determinados los parámetros físico-químicos de importancia, se establece cuáles corrientes son las más adecuadas para producir CSR.

A continuación, se describe el procedimiento con el que se han llevado a cabo las tareas necesarias para la realización del trabajo:

A.- Una vez analizado el proceso productivo correspondiente a la PTMB, se identificó la etapa de compostaje y aquellos materiales de los productos intermedios y rechazos de ésta, susceptibles de ser transformados en CSR (figura 1). La planta recibe la fracción resto (residuos mezclados) de 46 municipios de la zona centro de la provincia de Castellón. En la primera etapa se separan los materiales reciclables (fracción gruesa) del biorresiduo (fracción fina), mediante un trómel de 80 mm de diámetro. El biorresiduo (BR) ingresa al túnel de fermentación aerobia. Una vez transcurrido el tiempo necesario para este proceso biológico, se extrae y se hace pasar por un trómel de 30 mm, dando un rechazo (RTF) compuesto por elementos con diámetros de entre 30 y 80 mm, mientras que la fracción fermentada (BIO-1) es dirigida hacia el túnel de maduración, donde al cabo de dos semanas se obtiene un bioestabilizado (BIO-2). Ese material es llevado, en primer lugar, a un trómel de afino del que se extrae un rechazo con un diámetro de entre 10 y 30 mm y, en segundo lugar, a una mesa densimétrica donde se elimina material pesado (inertes, vidrio, huesos, metales, etc.) menor a 10 mm, para obtener finalmente el bioestabilizado afinado que se considera un compost de baja calidad. Las dos corrientes de rechazo del bioestabilizado se juntan en una (RPA).

B.- Definición de los estándares de calidad del CSR: se ha utilizado la norma UNE-EN 15359 (2012): “Combustibles sólidos recuperados: especificaciones y clases” para definir los parámetros de calidad que darán al CSR un valor en el mercado.

C.- Producción del CSR y determinación de sus propiedades: una vez identificadas las líneas a analizar (BR, RTF, BIO-1, BIO-2 y RPA) se realiza la etapa de muestreo siguiendo el procedimiento desarrollado por Edo-Alcón (2019). Se tomaron 10 muestras de cada corriente a lo largo de dos meses. Las muestras se llevaron al Laboratorio de Residuos Sólidos Urbanos de la Universitat Jaume I para una caracterización física y determinar sus propiedades fisicoquímicas según los procedimientos establecidos en las normas UNE EN sobre CSR. Cada muestra se dividió en fracción combustible y no combustible. La fracción combustible se secó, trituró y homogeneizó (se convirtió en un CSR). Los parámetros analizados han sido: el poder calorífico inferior (PCI), cloro, mercurio, cenizas y humedad.

D.- Resultados y conclusiones: por último, se procede a la interpretación de los valores obtenidos en los diferentes ensayos para llegar a las conclusiones.

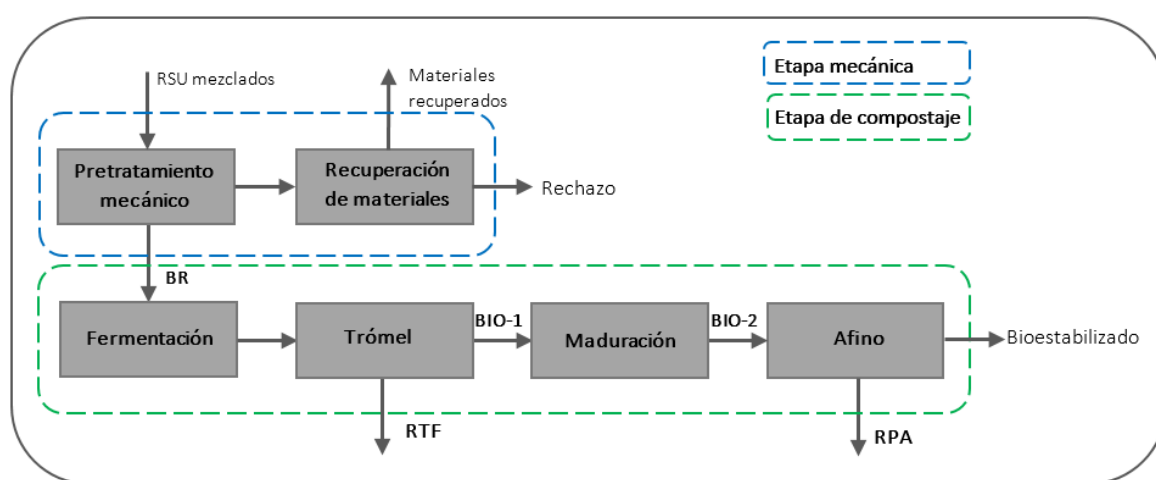


Figura 1. Esquema del proceso productivo en la PTMB.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1 Definición de los estándares de calidad del CSR

La norma UNE-EN 15359 (2012) establece un sistema de clasificación de la calidad de los CSR basado en valores límites de los siguientes parámetros: el poder calorífico inferior (PCI), desde el punto de vista económico, y el contenido en cloro y mercurio, como parámetros técnicos y ambientales, respectivamente. En la tabla 1 se observa la clasificación de los CSR en función de los parámetros de calidad, aquel que tenga clase 1 en los tres parámetros será el de mayor calidad.

Tabla 1. Estándares de calidad del CSR en Europa (UNE-EN 15359, 2012)

Parámetro de clasificación	Medida estadística	Unidad	Clases				
			1	2	3	4	5
PCI	Media	MJ/kg (ar)	$\geq 25$	$\geq 20$	$\geq 15$	$\geq 10$	$\geq 3$
Cl	Media	% (d)	$\leq 0,2$	$\leq 0,6$	$\leq 1,0$	$\leq 1,5$	$\leq 3$
Hg	Mediana	mg/MJ (ar)	$\leq 0,02$	$\leq 0,03$	$\leq 0,08$	$\leq 0,15$	$\leq 0,50$
	Percentil 80	mg/MJ (ar)	$\leq 0,04$	$\leq 0,06$	$\leq 0,16$	$\leq 0,30$	$\leq 1,00$

En el caso del Hg, el mayor de los dos valores estadísticos es el que determina el número de clase  
ar: según se recibe; d: en base seca

Además de estos tres parámetros, es necesario determinar otras propiedades tales como humedad, cenizas, fracción combustible, etc. que darán más información sobre el CSR.

En este trabajo se determinan como parámetros de calidad el PCI, cloruros y mercurio. Como indicadores secundarios que influyen en la decisión de compra de un CSR, se han determinado los valores de humedad, cenizas y porcentaje de biomasa, con el fin de evaluar el comportamiento en las instalaciones de combustión y que sea aceptado como sustituto de los combustibles fósiles, cumpliendo los estándares de calidad exigidos.

### 3.3 Composición física de las muestras.

Una vez realizada la caracterización de las corrientes elegidas (figura 1), es posible determinar la fracción combustible (FC) de cada una, compuesta por materia orgánica biodegradable, papel/cartón, plásticos, textil, madera y brik; mientras que la fracción no combustible se compone de metales, vidrio, residuos peligrosos e inertes.

Al analizar la fracción combustible es importante conocer su porcentaje de biomasa, dado que en esa proporción se centra la reducción del cómputo de emisiones. Se considera que la biomasa de la fracción combustible (BFC) está compuesta por materia orgánica biodegradable, papel/cartón y madera; el resto son plásticos, textil, brik y otros, los cuales sí computan sus emisiones al no considerarse materiales biogénicos.

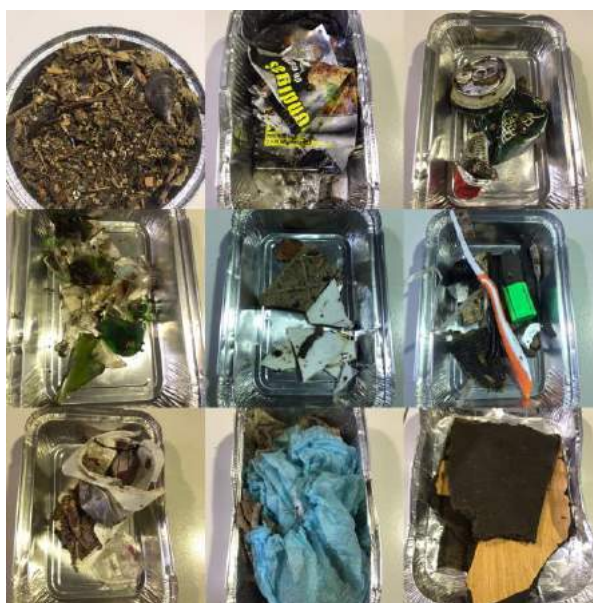


Figura 2. Caracterización de residuos sólidos urbanos.

En la tabla 2 se detalla la fracción combustible de las corrientes analizadas tanto en húmedo como en seco, lo mismo para la biomasa de la fracción combustible.

Tabla 2. Fracción combustible de las corrientes

	FC (%)		BFC (%)	
	smh	sms	smh	sms
BR	89,74	82,43	90,08	85,21
RTF	76,06	65,58	55,93	42,03
BIO-1	84,55	72,30	98,13	96,43
BIO-2	82,71	76,19	98,51	97,99
RPA	76,02	67,45	96,53	95,00

smh: sobre materia húmedo; sms: sobre materia seca

A partir de la tabla 2 y considerando únicamente el porcentaje de materia biogénica, se observa que después de la operación de separación mecánica realizada por el trómel, las corrientes BIO-1, BIO-2 y RPA superan el 95% de biomasa en su fracción combustible, lo cual los convierte en un material muy atractivo desde un punto de vista ambiental y económico, por las bajas emisiones computadas de CO<sub>2</sub> y la rebaja de impuestos que éstas conllevan. En el caso del rechazo del trómel a la salida de la fermentación (RTF), en su composición predominan los materiales no biogénicos, compuestos principalmente de plásticos. La línea de alimentación al túnel de fermentación (BR) tiene un buen porcentaje de biomasa (el 85,21%), lo cual también la convierte en un material factible de ser destinado para producción de CSR con bajas emisiones.

### 3.4 Producción de CSR y determinación de sus propiedades

Las corrientes analizadas se pueden convertir en un CSR si se elimina la fracción no combustible, se tritura, homogeniza y se seca total o parcialmente. En el Laboratorio de Residuos Sólidos Urbanos se procedió a producir CSR de cada una de las corrientes con una humedad del cero por ciento, por lo que será el mejor producto que se pueda obtener desde el punto de vista del PCI. En la tabla 3 aparecen los resultados de los parámetros analizados, la humedad está referida a la fracción combustible antes del proceso de producción del CSR.

Tabla 3. Resultados de los parámetros de calidad del CSR

	Humedad (%)		Cenizas (%)		PCI (MJ/kg)		Cl <sup>-</sup> (%)		Hg (mg/kg)		Hg (mg/MJ) mediana
	m	s	m	s	m	s	m	s	m	s	
BR	47,71	3,18	21,40	9,12	16,27	2,72	0,64	0,06	0,108	0,068	0,005
RTF	42,75	3,91	10,16	4,27	24,86	2,75	0,93	0,68	0,073	0,023	0,003
BIO-1	47,52	2,55	23,32	4,27	15,02	0,85	0,68	0,03	0,258	0,144	0,014
BIO-2	28,55	3,05	33,77	5,64	12,85	1,65	0,74	0,11	0,273	0,057	0,020
RPA	27,33	1,23	30,14	0,60	13,78	0,24	0,74	0,09	0,214	0,012	0,016

m: media; s: desviación típica

Al analizar los valores obtenidos de los parámetros que definen la calidad para cada una de las corrientes, se observa que la humedad cae significativamente en las líneas de BIO-2 y RPA, ya que éstas se ubican a la salida de la etapa de maduración, donde ocurre una reacción biológica exotérmica de la biomasa. Este hecho es importante, puesto que el ahorro en secar el material será significativo. Respecto a las cenizas, BIO-2 y RPA contienen aproximadamente un tercio de su peso en cenizas, mientras que en BR y BIO-1 entre un 21 y 23%, el CSR del RTF es el que menor cantidad de cenizas deposita, guardando relación esto con su menor contenido en biomasa. Desde el punto de vista de la combustión, se valora el bajo contenido en cenizas.

EL CSR que mayor PCI presenta es el RTF, por su mayor proporción de material no biogénico, principalmente plásticos. El PCI más bajo se da para las corrientes posteriores a la maduración; 12,85 MJ/kg para BIO-2 y 13,78 MJ/kg para RPA, en tanto que las líneas BR y BIO-1 poseen un PCI levemente superior a las anteriores. El CSR con menor PCI es el de mayor porcentaje de biomasa (BIO-2), con un 97,99%, eso es lógico, pues de todos sus componentes, la biomasa es la que menor PCI tiene (Colomer y Gallardo, 2007).

En relación con el cloro, todos los CSR tienen valores similares, excepto el proveniente del RTF que es más elevado, este hecho puede ser debido a que tiene un mayor porcentaje de fracción no biogénica, y con ello materiales que pueden contener cloro, como algunos plásticos.

Finalmente, respecto al mercurio, todas las muestras presentan valores muy bajos, lo que es un aspecto positivo de todos los CSR analizados. En la última columna se indica el valor del mercurio expresado en mg/MJ, y así poder comparar con el estándar de calidad.

### 3.5 Clasificación de los CSR

Haciendo uso de la tabla 3, es posible clasificar los CSR según establece la norma UNE-EN 15359 (tabla 1) conforme se indica en la tabla 4. En ella se puede observar que la evaluación de los CSR dependerá sólo de su PCI, dado que la clasificación de los parámetros Cl y Hg resulta en todos los casos iguales. Si se deja de lado el impacto ambiental de las emisiones de estos CSR, el correspondiente a la línea RTF sería el mejor combustible, pero esto se debe a que su contenido de material de origen fósil supera el 60% en base seca de la fracción combustible, por ende, computa emisiones y se debe considerar el pago de los impuestos asociados.

**Tabla 4. Clasificación de los CSR**

	Clases		
	PCI	Cl	Hg
BR	3	3	1
RTF	2	3	1
BIO-1	3	3	1
BIO-2	4	3	1
RPA	4	3	1

Al analizar las cuatro corrientes restantes con alto porcentaje de biomasa, BR y BIO-1 presentan mejor PCI que BIO-2 y RPA. Si se consideran las dos primeras, BR tiene un 85,21% de biomasa y BIO-1 un 96,43% en la fracción combustible seca, es preferible optar por BIO-1 que computará alrededor de un 10% menos de emisiones de CO<sub>2</sub>. No obstante, el grado de humedad de BR y BIO-1 (47,7% y 47,5%) es muy superior al de BIO-2 y RPA (28,5% y 27,3%), por lo que antes de tomar una decisión sería necesario determinar el consumo energético que implica la operación de secado.

### 4. Conclusiones

Al caracterizar las diferentes líneas de productos intermedios y rechazos de la etapa de compostaje de la PTMB, se cumplió el objetivo del trabajo de investigación, del cual se puede concluir que de todas las líneas, excepto el rechazo del afino del fermentado (RTF), se puede generar un CSR con alto contenido de carbono biogénico. Ello implica una disminución en su PCI y un aumento del porcentaje de cenizas, pero se compensa con la disminución del cómputo emisiones de CO<sub>2</sub> y los impuestos que esto conlleva para grandes consumidores de energía. Por otro lado, en el balance de energía global habría que tener en consideración la humedad inicial de cada corriente, una disminución de esta mediante biosecado, por ejemplo, aumentaría la eficiencia del proceso de producción de CSR.

Finalmente, también hay que considerar que el aprovechamiento energético de los rechazos disminuiría significativamente la disposición final en vertederos.

### 5. Referencias

- Colomer F.J.; Gallardo A. (2007). Tratamiento y Gestión de Residuos. Valencia (España): Ed. Universidad Politécnica de Valencia.
- Edo-Alcón, N. (2019). Diseño de una metodología para el control de calidad de los rechazos producidos en las plantas de tratamiento mecánico-biológico de residuos sólidos urbanos. Tesis Doctora. Universitat Jaume I (España).
- Flamme, S., Geiping, J., 2012. Quality standards and requirements for solid recovered fuels: a review. Waste Manag. Res. 30, 335–53. <https://doi.org/10.1177/0734242X12440481>

- Gallardo, A., Carlos, M., Bovea, M.D., Colomer, F.J., Albarrán, F., 2014. Analysis of refuse-derived fuel from the municipal solid waste reject fraction and its compliance with quality standards. *J. Clean. Prod.* 83, 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.07.085>
- Lacovidou, E., Hahladakis, J., Deans, I., Velis, C., Purnell, P., 2018. Technical properties of biomass and solid recovered fuel (SRF) co-fired with coal: Impact of on multi-dimensional resource recovery value. *Waste Manag.* 73, 535–545. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.001>
- UNE-EN 15359, 2012. Combustibles sólidos recuperados: Especificaciones y clases. AENOR, Asociación Española de Normalización y Certificación, Madrid
- Velis, C.A., Longhurst, P.J., Drew, G.H., Smith, R., Pollard, S.J.T., 2010. Production and quality assurance of solid recovered fuels using Mechanical- Biological Treatment (MBT) of waste: a comprehensive assessment. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technolgy* 40, 979–1105. <https://doi.org/10.1080/10643380802586980>