



## Estudio de la situación actual de las plantas de tratamiento mecánico-biológico en España

**Autor:** Antonio Gallardo Izquierdo

**Institución:** Universidad Jaume I de Castelló

**Otros autores:** Natalia Edo Alcón (Universidad Jaume I de Castelló); Francisco José Colomer Mendoza (Universidad Jaume I de Castelló); Ismael Sánchez López (Universidad Jaume I de Castelló)

## Resumen

Las plantas de tratamiento mecánico-biológico (TMB) son instalaciones donde los residuos sólidos urbanos (RSU) mezclados, o la fracción orgánica recogida selectivamente (FORS), se someten a una serie de procesos. Estos tienen como objetivo minimizar la cantidad de residuos enviada a vertedero y conseguir el máximo aprovechamiento de los mismos. Las instalaciones de TMB se pueden clasificar en tres tipos: las plantas de recuperación y compostaje, las plantas de biometanización y compostaje y las plantas de compostaje de la FORS.

En España entorno al 51% de los RSU generados son tratados en estas instalaciones. En ellas, en primer lugar, se separan los materiales valorizables para su posterior entrega a empresas recicladoras y, en segundo lugar, se transforma la fracción orgánica biodegradable en un material bioestabilizado o compost. Además en las plantas de biometanización y compostaje también se obtiene biogás para su aprovechamiento energético.

En este trabajo se han cuantificado y tipificado las instalaciones de TMB existentes actualmente en España, así como los procesos llevados a cabo en las mismas. Por otro lado, se han determinado los flujos de materiales entrantes y salientes en cada uno de los tipos de plantas, con el objetivo de establecer el rendimiento del tratamiento o valorización respecto a los RSU que entran a las mismas. Los resultados aquí obtenidos se pueden aprovechar para la planificación de las necesidades futura en cuanto al tratamiento de RSU en España.

**Palabras clave:** Residuos sólidos urbanos; tratamiento mecánico-biológico; rechazo; compostaje.

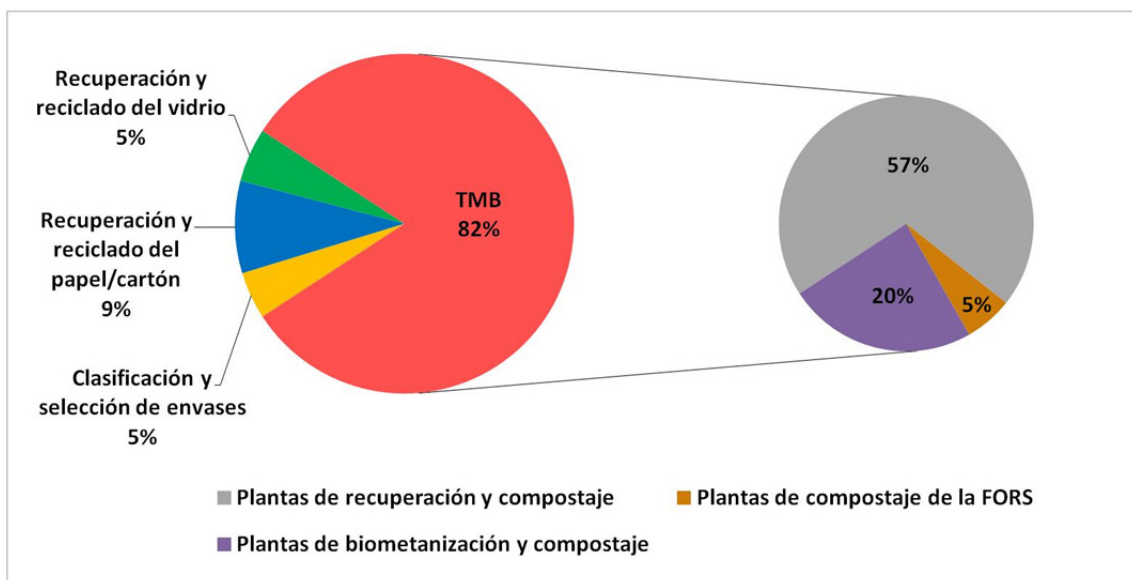
## 1. Introducción

En la actualidad, tanto las políticas de gestión de residuos sólidos urbanos (RSU), como las diferentes normativas de la Unión Europea y de España, fomentan el aprovechamiento de los residuos mediante de la recogida selectiva de diferentes materiales, para su posterior reciclaje, y el tratamiento de los RSU recogidos mezclados antes de su disposición final. Estas normativas tienen dos objetivos principales, reducir el volumen generado y aprovechar al máximo los recursos contenidos en los mismos, consiguiendo de esta forma minimizar la cantidad de residuos enviada a vertedero.

En el año 2011, en España se generaron 23 millones de toneladas de RSU, resultando una tasa de 1,35 kg/hab·día. Alrededor de 18,7 millones de toneladas fueron RSU mezclados y el resto fueron recogidos selectivamente (INE, 2014). Desde el punto de vista del tratamiento dado a los RSU, un 62% fue enviado a diferentes instalaciones de tratamiento mecánico y/o biológico, siendo éste su principal destino, mientras que un 7% fue incinerado directamente y un 31% se depositó en vertedero sin ser sometidos a ningún tratamiento (MAGRAMA, 2013).

En la figura 1 se presentan la distribución porcentual de las cantidades de RSU tratadas en España en el año 2011. Un 82% corresponden al tratamiento mecánico-biológico (TMB) y el resto al tratamiento de los materiales recogidos selectivamente para su recuperación y reciclado: un 5% para el vidrio, un 9% al papel/cartón y un 5% para la clasificación y selección de envases.

**Figura 1: Tratamiento de RSU en España en las diferentes instalaciones, 2011**



Las instalaciones de TMB se pueden clasificar en tres tipos diferentes: las plantas de recuperación y compostaje, donde se procesan el 57% de los residuos tratados, las plantas de biometanización y compostaje, donde se procesan en 20% y las plantas de compostaje de la fracción orgánica recogida selectivamente (FORS), donde se tratan el 5%. En ellas existe una primera etapa de separación de los materiales recuperables para su posterior reciclado y, una segunda, donde se transforma la fracción orgánica

biodegradable en un material bioestabilizado/compost. Además, en las plantas de biometanización y compostaje también se obtiene biogás.

Los diferentes datos sobre la generación, composición y tratamiento de los RSU son publicados por distintos organismos e instituciones oficiales, lo que permite conocer el estado actual de su gestión. De este modo se han planteado los objetivos del trabajo de investigación. Por un lado, se han cuantificado y tipificado las instalaciones de TMB existentes actualmente en España, así como los procesos de tratamiento llevados a cabo por las mismas. Por otro, se han determinado los flujos de materiales entrantes y salientes de cada tipo de planta, definiendo su balance de materia, con el objetivo de establecer el rendimiento del tratamiento o valorización respecto a la entrada de RSU. Los resultados aquí obtenidos pueden ser aprovechados para la planificación de las necesidades futuras en cuanto al tratamiento de RSU en España.

## **2. Las plantas de tratamiento mecánico-biológico**

Dentro del tratamiento mecánico-biológico el proceso realizado en de cada tipo de planta es diferente. A continuación se define el funcionamiento para cada uno de ellas.

### 2.1. Plantas de recuperación y compostaje

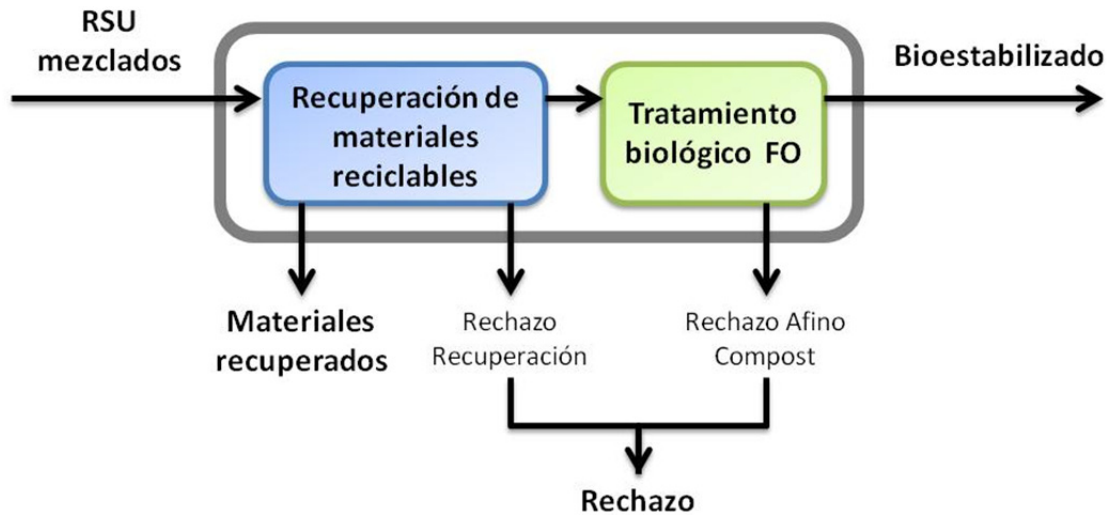
Las plantas de recuperación y compostaje (PRC) son las instalaciones de TMB más numerosas en España. En ellas se persiguen dos objetivos, en primer lugar la separación de los materiales recuperables (vidrio, metales, plásticos, papel, catón, etc.) para su posterior reciclaje y, en segundo, disminuir la capacidad de biodegradación de los RSU convirtiendo la fracción biodegradable en un material bioestabilizado. El proceso llevado a cabo se puede dividir en dos partes: la recuperación de materiales y el compostaje (Gallardo et al., 2013).

La etapa recuperación de materiales comienza con la recepción de los RSU mezclados y la alimentación del trómel (pudiendo existir también un equipo abre Bolsas). En el trómel se realiza una primera separación por tamaños, donde se separa la fracción orgánica o fina, cuyo destino es el compostaje. La fracción gruesa se somete a una nueva separación, en la que mediante métodos manuales (MANU) o métodos automáticos (AUT) se recuperan los distintos materiales. Los elementos no recuperados de esta corriente conforma el rechazo de recuperación.

La etapa de compostaje consiste en la fermentación y maduración de la fracción orgánica (FO). Este proceso se puede llevar a cabo mediante tres tipos de sistemas. El compostaje en pilas en nave abierta (NA), en pilas o meseta en nave cerrada (NC) y en túneles (T). Una vez acabado esta etapa, el material resultante se somete a un proceso de afino mediante un trómel y una mesa densimétrica (existiendo también una recuperación del material férrico). De esta forma se obtienen dos corrientes: un material bioestabilizado y un rechazo.

En la figura 2 se presenta el esquema del proceso de las PRC. Los flujos resultantes del son materiales recuperados (plásticos, papel/cartón, vidrio, metales, etc.), bioestabilizado y varias corrientes de rechazo cuyo destino, en la mayoría de los casos, es el vertedero.

**Figura 2: Flujo de materia en una PRC**

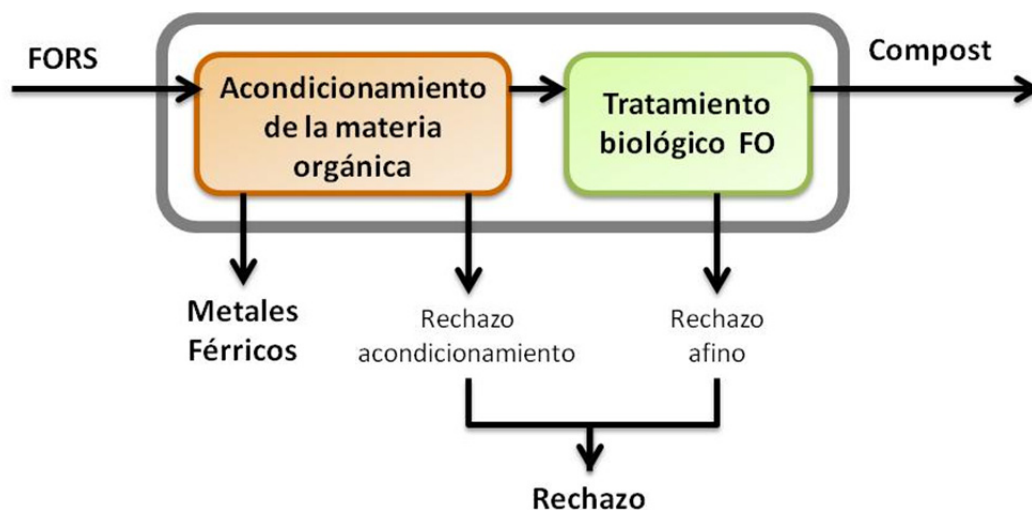


## 2.2. Plantas de compostaje de la FORS

Otro proceso de menor implantación en España es el tratamiento mecánico-biológico de la FORS. Este residuo está formado por materia orgánica biodegradable y una pequeña cantidad de impropios. En las plantas de compostaje de la fracción orgánica recogida selectivamente (PCFORS), el material entrante se somete a un proceso de limpieza y recuperación de materiales (metales férricos principalmente), con el objetivo de acondicionarlo para la etapa de compostaje que es similar a la del caso anterior. Tras el proceso biológico, el material se afina y se obtiene un rechazo de afino y compost.

En la figura 3 se presenta un esquema del proceso de tratamiento de la PCFORS en la que se observan los flujos resultantes.

**Figura 3: Flujo de materia en una PCFORS**



### 2.3. Plantas de biometanización y compostaje

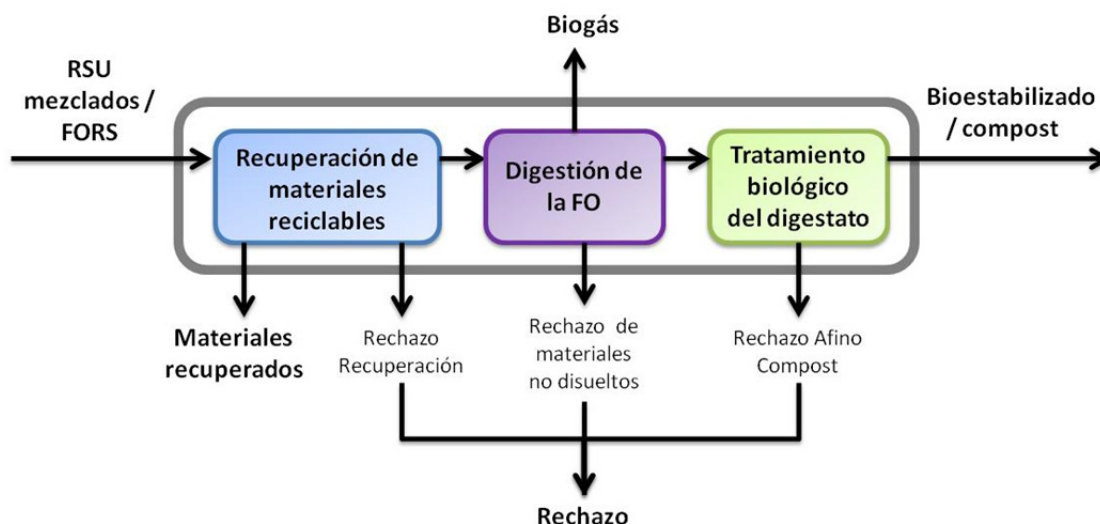
Las plantas de biometanización y compostaje (PBC) son instalaciones donde se tratan principalmente residuos mezclados, aunque hay algunas en las que llega únicamente la FORS. En primer lugar se separa la fracción orgánica que se destina a biometanización y, en segundo lugar, se recuperan los diferentes materiales valorizables para su posterior reciclaje, como en las PRC.

La biometanización consiste en el tratamiento anaerobio de la fracción orgánica. Para ello, la esta se mezcla con agua y se desmenuza. A continuación la suspensión pasa a través de una criba y un sedimentador, donde se eliminan los materiales no disueltos, y entra en el digestor. Tras el proceso biológico se obtienen dos subproductos: un biogás, que puede ser utilizado como combustible alternativo, y unos fagos o digestato.

El compostaje de este digestato conforma la última etapa del tratamiento. Los fagos se mezclan con astillas de madera o residuos de poda y esta mezcla se envía a compostar. El proceso se puede llevar a cabo utilizando cualquiera de los sistemas explicados en las PRC. Tras le etapa de maduración y el afino del material se obtiene compost, si viene de la FORS, o un material bioestabilizado, si proviene de RSU mezclados.

En la figura 4 se presenta un esquema del proceso en el que se observan los flujos resultantes.

**Figura 4: Flujo de materia en una PBC**



### 2.4. Instalaciones de TMB en España

Tras la consulta y recopilación de los datos publicados por diferentes organismos e instituciones oficiales, se ha determinado que a final del año 2013 España contaba con 118 plantas de TMB. De ellas, 69 corresponden a plantas de recuperación y compostaje, 25 a plantas de biometanización y compostaje y 24 a plantas de compostaje de la FORS. Estas plantas están repartidas por todo el territorio español, existiendo instalaciones de

este tipo en todas las CCAA. En la tabla 1 se presentan el número de instalaciones de cada tipo y los diferentes procesos llevados a cabo (Gallardo, 2014).

**Tabla 1: Plantas de TMB en España, 2013 (FUENTE: Gallardo, 2014)**

	Nº INSTALACIONES	TIPO RSU TRATADO	TIPO DE PROCESO				
			RECUPERACION MATERIALES		COMPOSTAJE		
			AUT	MANU	NA	NC	T
<b>PRC</b>	69	RSU mezclado y FORS	18	51	20	23	25
<b>PBC</b>	25	RSU mezclado y FORS	7	18	2	8	13
<b>PCFORS</b>	24	FORS	0	24	14	0	10
<b>Total</b>	118		25	93	36	31	48

Como se observa en la tabla 1, la recuperación de los materiales en las plantas de TMB se realiza principalmente de forma manual (69 plantas), existiendo tan solo recuperación automática en 25; de ellas 18 son PRC y 7 son PBC. En relación al proceso de compostaje, el sistema mayoritario para las PBC es en túneles (13 instalaciones) y para las PCFORS es el compostaje en nave abierta (14 instalaciones). En el caso de las PRC no existe diferencia entre los tres sistemas.

Además, esta búsqueda de información ha permitido conocer los datos de los diferentes flujos de entrada y salida de las plantas TMB. Estos son: entrada bruta de RSU o FORS ( $E_{RSU} / E_{FORS}$ ), salida de materiales recuperados ( $S_{MR}$ ), bioestabilizado (BIOST), compost (COMP) y rechazo (RECHAZO).

### 3. Balances de materia

El estudio de los diferentes flujos de materiales entrantes y salientes de cada uno de los tipos de plantas de TMB, se ha realizado a partir de los datos proporcionados por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA) en su Anuario Estadístico del año 2012 (última publicación disponible). Este documento proporciona los datos sobre el tratamiento de RSU en el año 2011.

#### 3.1 Plantas de recuperación y compostaje

En el año 2011 se trataron 7,7 millones de toneladas de RSU mezclados en las PRC. Como se observa en la tabla 2, Andalucía y la Comunidad Valenciana son las comunidades donde esta entrada es mayor, con casi 3 millones de toneladas en la primera y casi 1,5 millones en la segunda. Esto puede ser debido a que también son las CCAA donde existen un mayor número de instalaciones de este tipo. En Aragón,

Principado de Asturias, Galicia, Navarra, País Vasco y La Rioja no existen PRC en su territorio.

**Tabla 2: Balance de materia de las PRC, 2011**

CCAA	Generación RSU mezclados, (t/año)	Nº de instal.	E <sub>RSU</sub> (t/año)	S <sub>MR</sub> (t/año)	BIOST (t/año)	RECHAZO (t/año)
Andalucía	3.948.338	21	2.987.814	69.601	157.889	2.333.950
Baleares, Islas	739.478	1	45.257	290	8.350	35.128
Canarias	1.181.424	1	98.740	6.519	2.719	46.395
Cantabria	274.212	1	237.421	15.152	27.705	164.155
Castilla - La Mancha	1.021.916	8	722.926	14.615	69.450	557.985
Castilla y León	997.147	7	449.529	14.197	34.704	315.851
Cataluña <sup>1</sup>	2.626.184	2	285.155	-	-	192.941
C. Valenciana	1.896.795	9	1.497.186	56.446	123.007	1.009.321
Extremadura	457.343	7	425.021	20.653	44.941	267.106
C. Madrid	2.093.104	1	362.488	21.397	25.697	263.794
R. Murcia	579.415	4	588.294	71.417	57.878	455.107
<b>Total nacional</b>	<b>18.773.628</b>	<b>62</b>	<b>7.699.831</b>	<b>290.287</b>	<b>552.340</b>	<b>5.641.733</b>

<sup>1</sup> La CCAA no ha proporcionado los datos correspondientes a algunas corrientes en el Anuario Estadístico 2012

En cuanto a las salidas de material recuperado (tabla 2), a nivel nacional se recuperaron 290.287 t (a las que faltaría añadir las de Cataluña), de ellas un 46,90% corresponden a metales, un 20,98% a papel/cartón y un 13,89% a plásticos (tabla 3). Las CCAA donde mayores cantidades se han recuperado han sido Andalucía, Comunidad Valenciana y Región de Murcia. Los materiales más recuperados han sido papel/cartón para las dos primeras y metales para la tercera. En el otro extremo se encuentran las Islas Baleares, donde la recuperación solo alcanzó las 290 t, la mayoría de papel/cartón.



**Tabla 3: Porcentajes de materiales recuperados en las PRC, 2011**

CCAA	S <sub>MR</sub> por material (%)					
	Papel/cartón	Metales	Plástico	Brik	Vidrio	Otros
Andalucía	35,00	31,16	24,51	1,24	2,84	5,25
Baleares, Islas	80,69	19,31	0,00	0,00	0,00	0,00
Canarias	36,69	22,49	32,63	4,23	3,96	0,00
Cantabria	53,46	36,02	6,40	1,09	3,03	0,00
Castilla - La Mancha	25,62	44,12	28,07	0,52	1,14	0,53
Castilla y León	44,03	32,08	17,69	3,73	1,75	0,71
Cataluña <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	-
C. Valenciana	39,28	33,87	17,74	0,06	7,92	1,14
Extremadura	39,06	45,88	10,54	0,08	4,44	0,00
C. Madrid	45,90	46,44	4,90	0,00	1,86	0,91
R. Murcia	6,71	81,13	0,44	-	0,80	10,92
<b>Total nacional</b>	<b>30,98</b>	<b>46,90</b>	<b>13,89</b>	<b>0,67</b>	<b>3,26</b>	<b>4,30</b>

<sup>1</sup> La CCAA no ha proporcionado los datos correspondientes a esta corriente en el Anuario Estadístico 2012

En relación al bioestabilizado, la producción fue de 552.340 t, de ellas más de la mitad (280.896 t) fueron producidas en Andalucía y la Comunidad Valenciana (tabla 2). Las comunidades en las que esta producción fue más baja son Canarias y las Islas Baleares.

Por último, la cantidad de rechazo generado ascendió a las 5,6 millones de toneladas (tabla 2). De nuevo en Andalucía y la Comunidad Valenciana es donde se ha producido una mayor cantidad de rechazo, con 2,3 millones y 1 millón de toneladas respectivamente. El tratamiento que se hizo de los rechazos en cada una de las CCAA se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 4: Tratamiento de los rechazos en las PRC, 2011**

CCAA	Tratamiento del rechazo (%)	
	Vertedero	Incineración
Andalucía, Islas Baleares, Canarias, Castilla- La Mancha, Castilla y León, Extremadura y R. Murcia.	100	0
Cantabria	30,17	69,83
Cataluña	97,82	2,18
C. Valenciana	98,37	1,63
C. Madrid	43,12	56,88
<b>Total nacional</b>	<b>94,94</b>	<b>5,06</b>

Como se observa en la tabla 4, tan solo en Cantabria, Cataluña, Comunidad Valenciana y Comunidad de Madrid una parte de los rechazos son valorizados energéticamente. En el resto de España el destino es vertedero. Cantabria es la comunidad que mayor porcentaje de rechazos incinera, con un 69,83%, seguida por la Comunidad de Madrid con un 56,88%. Por otra parte, la Comunidad Valenciana solo valoriza el 1,63% de los rechazos, pero hay que destacar que no dispone de incineradora. Por lo que la valorización de los mismos se realiza mediante su transformación en combustible sólido recuperado usado en cementeras. A nivel nacional, del total de rechazo, tan solo en 5,06% se valoriza energéticamente, suponiendo el 12,92% del material entrante en las incineradoras españolas. El resto del rechazo, un 94,94% (5,3 millones de t), tiene como destino el depósito en vertedero, lo que supone el 36,62% de los residuos que llegan a los mismos.

### 3.2 Plantas de compostaje de la FORS

Los datos del Anuario Estadístico del Ministerio incluyen dentro de esta categoría las plantas de compostaje de residuos biodegradables que no provienen de los RSU (como pueden ser los restos agrícolas, forestales o lodos de EDAR), no haciendo distinción entre ellas. De ahí que en el año 2011 aparezcan 45 instalaciones y en el 2013 (tabla 1) 24.

Las entradas en este tipo de instalaciones fueron de 854.398 toneladas. El número de instalaciones es de 45, ubicándose 24 de ellas en Cataluña, donde la recogida selectiva de la fracción orgánica está muy extendida. En Asturias, Comunidad Valenciana y Comunidad de Madrid todas las entradas corresponden a residuos biodegradables no pertenecientes a RSU.

**Tabla 5: Balance de materia de las PCFORS, 2011**

CCAA	Generación FORS* (t/año)	Nº de instal.	E <sub>FORS</sub> (t/año)	COMP (t/año)	RECHAZO (t/año)
Andalucía	1.737.269	1	137.244	10.132	91.827
P. Asturias	191.308	1	34.457	6.515	2.852
Baleares, Islas	325.370	4	23.315	6.450	1.005
Cataluña	1.155.521	24	548.501	103.371	155.806
C. Valenciana	834.590	7	39.363	24.892	0
Galicia	442.200	1	9.850	706	4.609
C. Madrid <sup>1</sup>	920.966	1	13.789	11.220	-
C. F. Navarra	83.538	2	30.556	6.682	5.600
País Vasco <sup>1</sup>	304.458	4	17.323	-	-
<b>Total nacional</b>	<b>8.260.396</b>	<b>45</b>	<b>854.398</b>	<b>169.968</b>	<b>261.699</b>

<sup>1</sup> La CCAA no ha proporcionado los datos correspondientes a algunas corrientes en el Anuario Estadístico 2012

\* La generación de la FORS se ha estimado a partir de la generación de RSU mezclados y la composición de los RSU del Plan Nacional Integrado de Residuos 2008-2005 (PNIR).

En este tipo de instalaciones la recuperación de materiales es muy pequeña y el anuario estadístico no proporciona datos al respecto. En cuanto al compost, la generación alcanzó las 169.968 t, de ellas 103.371 t fueron producidas en las PCFORS catalanas (tabla 5).

La generación de rechazo fue de 261.699 t y, como cabría esperar, procede principalmente de las instalaciones existentes en Cataluña (tabla 5). El tratamiento aplicado en cada CCAA se da en la tabla 6. Se observa que las únicas CCAA que valorizan energéticamente son Islas Baleares con un 100% y Cataluña con un 6,91%.

**Tabla 6: Tratamiento de los rechazos en las PCFORS, 2011**

CCAA	Tratamiento del rechazo (%)	
	Vertedero	Incineración
Andalucía, P. Asturias, Galicia y C. F. Navarra	100	0
Baleares, Islas	0	100
Cataluña	93,09	6,91
C. Valenciana	0	0
C. Madrid <sup>1</sup>	-	-
País Vasco <sup>1</sup>	-	-
<b>Total nacional</b>	<b>95,50</b>	<b>4,50</b>

<sup>1</sup> La CCAA no ha proporcionado los datos correspondientes estas corrientes en el Anuario Estadístico 2012

### 3.3 Plantas de biometanización y compostaje

La cantidad de RSU mezclados tratados en estas instalaciones fue de 2,8 millones de toneladas (tabla 7). La Comunidad de Madrid, Castilla y León y Cataluña, respectivamente, son CCAA que tienen una mayor entrada y un mayor número de instalaciones.

**Tabla 7: Balances de materia en las PBC, 2011**

CCAA	Generación RSU mezclados, (t/año)	Nº de instal.	E <sub>RSU</sub> (t/año)	S <sub>MR</sub> (t/año)	BIOST (t/año)	RECHAZO (t/año)
Andalucía	3.948.338	1	82.706	4.103	2.687	66.245
Aragón	492.267	1	247.392	16.819	24.221	149.969
Baleares, Islas	739.478	1	36.280	0	7.016	5.168
Canarias	1.181.424	1	48.362	303	-	42.045
Castilla y León	997.147	5	525.385	24.303	52.789	395.700
Cataluña <sup>1</sup>	2.626.184	4	519.688	-	-	402.901
C. Valenciana	1.896.795	2	344.270	6.716	13.871	253.318
Galicia	1.005.001	1	160.057	7.537	17.065	102.360
C. Madrid	2.093.104	3	643.419	34.561	39.938	573.497
C. F. Navarra	189.858	1	67.376	1.070	699	32.917
País Vasco	691.950	1	55.960	3.280	2.707	35.481
Rioja, La	110.515	1	109.774	5.950	15.054	71.248
<b>Total nacional</b>	<b>18.773.628</b>	<b>22</b>	<b>2.840.669</b>	<b>104.642</b>	<b>176.047</b>	<b>2.130.849</b>

<sup>1</sup> La CCAA no ha proporcionado los datos correspondientes a algunas corrientes en el Anuario Estadístico 2012

La cantidad de materiales recuperados fue de 104.642 t, de ellas el 41,72% corresponden a papel/cartón, el 29,16% a metales y el 22,26% a plásticos (tabla 8). En la Comunidad de Madrid, en Castilla-La Mancha y Cataluña es donde la recuperación es mayor. En las Islas Baleares es cero, debido que se destina a valorización energética.

**Tabla 8: Porcentajes de materiales recuperados en las PBC, 2011**

CCAA	S <sub>MR</sub> por material (%)					
	Papel/cartón	Metales	Plástico	Brik	Vidrio	Otros
Andalucía	40,99	28,27	20,28	4,75	5,70	-
Aragón	31,35	26,87	41,41	0	0,30	0,08
Baleares, Islas	0	0	0	0	0	0
Canarias	0,00	57,43	34,98	0,00	7,59	0
Castilla y León	39,60	32,04	14,47	5,33	0,64	7,92
Cataluña <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	-
C. Valenciana	19,67	44,28	34,48	1,49	0	0,07
Galicia	24,11	28,14	42,91	4,84	0	0
C. Madrid	57,77	24,22	12,91	2,00	0,84	2,25
C. F. Navarra	13,93	41,50	41,50	3,08	0	0
País Vasco	43,69	33,32	14,76	0,58	7,65	0
Rioja, La	40,22	31,36	15,68	2,07	8,50	2,17
<b>Total nacional</b>	<b>41,72</b>	<b>29,16</b>	<b>22,26</b>	<b>2,70</b>	<b>1,44</b>	<b>2,72</b>

<sup>1</sup> La CCAA no ha proporcionado los datos correspondientes a esta corriente en el Anuario Estadístico 2012

En cuanto al bioestabilizado, la producción de las PBC alcanzo las 176.047 t, siendo Castilla León la mayor productora (tabla 7).

Finalmente, el rechazo generado fue de 2,1 millones de toneladas. De ellas, 573.497 t proceden de las PBC de la Comunidad de Madrid, 402.901 t de las de Cataluña y 395.700 t de las de Castilla León. El tratamiento que se hizo de los rechazos en cada una de las CCAA se muestra en la tabla 9. Se observa que las únicas CCAA que valorizan energéticamente son Islas Baleares, Cataluña y Madrid.

**Tabla 9: Tratamiento de los rechazos en las PBC, 2011**

CCAA	Tratamiento del rechazo (%)	
	Vertedero	Incineración
<b>Andalucía, Aragón. Canarias, Castilla y León, C. Valenciana, Galicia, C. F. Navarra, País Vasco y La Rioja</b>	100	0
<b>Baleares, Islas</b>	0	100
<b>Cataluña</b>	58,78	41,22
<b>C. Madrid</b>	72,61	27,39
<b>Total nacional</b>	84,59	15,41

#### 4. Rendimientos

Una vez obtenidos los balances de materia, se han determinado los rendimientos del tratamiento en cada tipo de planta. Los indicadores que se han estudiado han sido:

- Porcentaje de RSU mezcla/FORS tratados ( $RSU_{mT}/FORS_T$ ): relación entre las entradas de residuos a planta y la generación de RSU mezclados, expresada en tanto por ciento.
- Rendimiento global ( $RG_i$ ): relación entre la cantidad de subproducto  $i$  y la entrada total de residuos en planta, expresado en tanto por ciento. Donde  $i$  puede ser: materiales recuperados (MR), bioestabilizado (BIOST) o compost (COMP).
- Producción de Rechazo (RECHAZO): relación entre el rechazo generado y la entrada total de residuos a planta, expresado en tanto por ciento.
- Rendimiento específico de materiales recuperados ( $RE_i$ ): relación entre la cantidad de material recuperado  $i$  y el material entrante  $i$  en planta, expresado en tanto por ciento. Donde  $i$  puede ser: la suma de los materiales reciclables, papel/cartón, metales, plástico, Brik, vidrio, otros, compost o bioestabilizado.

Para determinar los rendimientos específicos ha sido necesario conocer la composición de los residuos entrantes en cada tipo de instalación. En el caso de las PRC y las PBC, tras la búsqueda bibliográfica, se encontró que algunas instalaciones contaban con una caracterización de los RSU mezclados entrantes que incluye su composición. En concreto, esta información se obtuvo de 24 instalaciones diferentes localizadas por todo el territorio nacional. A partir de los datos obtenidos, se ha estimado la composición media para las entradas de RSU en las PRC y PBC, expuesta en la tabla 10.

**Tabla 10: Composición estimada para los RSU entrantes de PRC y PBC, 2011**

<b>Componente</b>	<b>Composición media (%)</b>
<b>Material Biodegradable</b>	48,71
<b>Papel/cartón</b>	13,38
<b>Metales</b>	3,88
<b>Plástico</b>	12,34
<b>Brik</b>	1,39
<b>Vidrio</b>	4,97
<b>Textil</b>	4,09
<b>Inertes</b>	1,56
<b>Otros</b>	9,68

En cuanto a las PCFORS, los residuos entrantes son principalmente material biodegradable. La Generalitat de Cataluña, en el anexo II: “Análisis de infraestructuras existentes” del Plan Territorial Sectorial de Infraestructuras de Gestión de Residuos Municipales de Cataluña, establece que el porcentaje de impropios en la FORS entrante se encuentra alrededor del 10-15% (con un máximo de 30%), tras el estudio de 14 instalaciones. De este modo, se ha establecido que la FORS entrante está compuesta por un 87,5% de material biodegradable y un 12,5% de impropios.

A continuación se exponen los rendimientos obtenidos para cada uno de los tipos de plantas de TMB.

#### 4.1 Plantas de recuperación y compostaje

En el año 2011, el 41,01% de los RSU mezcla generados fueron tratados en las PRC (tabla 11). Andalucía, Cantabria, Castilla-La Mancha, Comunidad Valenciana, Extremadura y la Región de Murcia destinaron más del 70% de sus RSU a estas instalaciones.

En la tabla 11 también se muestran los rendimientos globales de tratamiento. A nivel nacional, para los materiales recuperados, éste fue de 3,77% y para la producción de

bioestablizado de un 7,17%. En cuanto a la producción de rechazo, esta se situó en el 73,27% de los RSU entrantes. Estos valores son muy similares en todas las CCAA, siendo Andalucía la mayor productora de rechazo y Canarias la menor.

Finalmente, se ha estimado que las pérdidas medias del proceso de tratamiento de los RSU en las PRC en España son de un 15,79% (tabla 11).

**Tabla 11: RSU tratados y rendimientos globales de las PRC, 2011**

CCAA	RSU <sub>mT</sub> (%)	RG <sub>MR</sub> (%)	RG <sub>BIOST</sub> (%)	RECHAZO (%)	Pérdidas del proceso (%)
Andalucía	75,67	2,33	5,28	78,12	14,27
Baleares, Islas	6,12	0,64	18,45	77,62	3,29
Canarias	8,36	6,60	2,75	46,99	43,66
Cantabria	86,58	6,38	11,67	69,14	12,81
Castilla - La Mancha	70,74	2,02	9,61	77,18	11,19
Castilla y León	45,08	3,16	7,72	70,26	18,86
Cataluña <sup>1</sup>	10,86	-	-	67,66	-
C. Valenciana	78,93	3,77	8,22	67,41	20,60
Extremadura	92,93	4,86	10,57	62,85	21,72
C. Madrid	17,32	5,90	7,09	72,77	14,23
R. Murcia	101,53 <sup>*</sup>	12,14	9,84	77,36	0,66
<b>Total nacional</b>	<b>41,01</b>	<b>3,77</b>	<b>7,17</b>	<b>73,27</b>	<b>15,79</b>

<sup>1</sup> La CCAA no ha proporcionado los datos correspondientes a algunas corrientes en el Anuario Estadístico 2012

<sup>\*</sup> Parte de las entradas corresponden a lodos procedentes de las EDAR. Si no se tuviera en cuenta estas entradas el porcentaje sería del 92,55%.

En la tabla 12 se muestran los rendimientos específicos para la suma de los materiales reciclables (MR) y para cada uno de sus fracciones. En España, un 45,06% de los metales que entran en las PRC son recuperados, a pesar que solo suponen un 3,88% del material entrante. El papel/cartón y el plástico, con un 8,73% y un 4,25% respectivamente, son las otras fracciones con mayor separación. En cuanto a la suma de los materiales reciclables, el 8,26% de las entradas en planta de los mismos son recuperados. La Región de Murcia, Canarias y Cantabria son las CCAA con mayor rendimiento específico para la suma de estos materiales. En los últimos lugares se sitúan las islas Baleares (1,40%), Castilla-La Mancha (4,43%) y Andalucía (5,10%). Respecto al bioestablizado, su rendimiento específico a nivel nacional fue de 14,73%.

**Tabla 12: Rendimientos específicos en las PRC, 2011**

CCAA	RE <sub>i</sub> (%)							
	MR	Papel/ cartón	Metales	Plástico	Brik	Vidrio	Otros	BIOST
Andalucía	5,10	6,09	18,72	4,63	2,07	1,33	1,26	10,85
Baleares, Islas	1,40	3,86	3,19	0,00	0,00	0,00	0,00	37,88
Canarias	14,47	18,11	38,30	17,46	20,13	5,26	0,00	5,65
Cantabria	13,98	25,50	59,30	3,31	5,00	3,89	0,00	23,96
Castilla-La Mancha	4,43	3,87	23,01	4,60	0,76	0,46	0,11	19,72
Castilla y León	6,92	10,39	26,14	4,53	8,47	1,11	0,23	15,85
Cataluña <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
C. Valenciana	8,26	11,07	32,94	5,42	0,17	6,00	0,44	16,87
Extremadura	10,65	14,19	57,51	4,15	0,29	4,34	0,00	21,71
C. Madrid	12,93	20,25	70,72	2,34	0,00	2,20	0,55	14,55
R. Murcia <sup>1</sup>	26,60	6,09	-	0,43	-	1,96	13,69	20,20
<b>Total nacional</b>	<b>8,26</b>	<b>8,73</b>	<b>45,61</b>	<b>4,25</b>	<b>1,83</b>	<b>2,47</b>	<b>1,67</b>	<b>14,73</b>

<sup>1</sup> La CCAA no ha proporcionado los datos correspondientes a esta corriente en el Anuario Estadístico 2012

#### 4.2 Plantas de compostaje de la FORS

La FORS tratada en este tipo de plantas fue de 10,34%, siendo Cataluña y Navarra las comunidades donde se procesa un mayor porcentaje (tabla 13).

El rendimiento global de producción de compost fue de 19,89%. Los valores más altos se dan en la Com. de Madrid y Com. Valenciana, puesto que en estas CCAA se tratan solamente restos vegetales y lodos de EDAR. Como se observa también en la tabla 13, la producción de rechazo en estas plantas se situó en 30,63%. La Com. Valenciana, Asturias e Islas Baleares son las CCAA con menor porcentaje de rechazo. Esto se debe a que, en las dos primeras, solo se tratan biorresiduos no procedentes de RSU y, en la segunda, las entradas mayoritarias corresponden también a este tipo de residuos.

Por último, se ha estimado que las pérdidas medias del proceso de tratamiento de RSU en las PCFORS españolas es del 49,18%.



**Tabla 13: FORS tratada y rendimientos globales de las PCFORS, 2011**

CCAA	FORS <sub>T</sub> (%)	RG <sub>COMP</sub> (%)	RECHAZO (%)	Pérdidas del proceso (%)
Andalucía	7,90	7,38	66,91	25,71
P. Asturias	18,01	18,91	8,28	72,82
Baleares, Islas	7,17	27,66	4,31	68,02
Cataluña	47,47	18,85	28,41	52,75
C. Valenciana	4,72	63,24	0,00	36,76
Galicia	2,23	7,17	46,79	46,04
C. Madrid <sup>1</sup>	1,50	81,37	-	-
C. F Navarra	36,58	21,87	18,33	59,80
País Vasco <sup>1</sup>	5,69	-	-	-
<b>Total nacional</b>	<b>10,34</b>	<b>19,89</b>	<b>30,63</b>	<b>49,48</b>

<sup>1</sup> La CCAA no ha proporcionado los datos correspondientes a algunas corrientes en el Anuario Estadístico 2012

En la tabla 14 se exponen los rendimientos específicos para el compost, a nivel nacional éste fue de 22,74%. Debido a que el material entrante en las PCFORS es principalmente biodegradable.

**Tabla 14: Rendimientos específicos en las PCFORS, 2011**

CCAA	RE <sub>COMP</sub> (%)
Andalucía	8,44
P. Asturias	21,61
Baleares, Islas	31,62
Cataluña	21,54
C. Valenciana	72,27
Galicia	8,19
C. Madrid <sup>1</sup>	92,99
C. F Navarra	24,99
País Vasco <sup>1</sup>	-
<b>Total nacional</b>	<b>22,74</b>

<sup>1</sup> La CCAA no ha proporcionado los datos correspondientes a esta corriente en el Anuario Estadístico 2012

#### 4.3 Plantas de biometanización y compostaje

El porcentaje de RSU mezcla tratados en estas instalaciones fue de un 15,13% (tabla 15). La Rioja destino a estas plantas el 99,33% de sus RSU generados, siendo también el principal tratamiento para las CCAA de Castilla y León y Aragón.

En la tabla 15 también se exponen los rendimientos globales de tratamiento. En España, para la recuperación de materiales, éste fue del 3,86% y para la producción de bioestabilizado del 6,20%, ambos muy parecidos a los de las PRC. La generación de rechazo en las PBC se situó en 75,01%.

En las Islas Baleares el  $RG_{BIOST}$  y el rechazo producido es menor que en resto de CCAA debido a que las entradas a plantas son únicamente de FORS. Además, el  $RG_{MR}$  es cero porque estos materiales se destinan a valorización energética (tabla 15).

Para las PBC no se ha estimado las pérdidas del proceso porque se desconoce su producción de biogás en peso.

**Tabla 15: RSU tratados y rendimientos globales de las PBC, 2011**

CCAA	RSUm <sub>T</sub> (%)	RG <sub>MR</sub> (%)	RG <sub>BIOST</sub> (%)	RECHAZO (%)
Andalucía	2,09	4,96	3,25	80,10
Aragón	50,26	6,80	9,79	60,62
Baleares, Islas <sup>2</sup>	4,91	0,00	19,34	14,24
Canarias <sup>1</sup>	4,09	0,63	-	86,94
Castilla y León	52,69	4,63	10,05	75,32
Cataluña <sup>1</sup>	19,79	-	-	77,53
C. Valenciana	18,15	1,95	4,03	73,58
Galicia	15,93	4,71	10,66	63,95
C. Madrid	30,74	5,37	6,21	89,13
C. F. Navarra	35,49	1,59	1,04	48,86
País Vasco	8,09	5,86	4,84	63,40
Rioja, La	99,33	5,42	13,71	64,90
<b>Total nacional</b>	<b>15,13</b>	<b>3,68</b>	<b>6,20</b>	<b>75,01</b>

<sup>1</sup> La CCAA no ha proporcionado los datos correspondientes a algunas corrientes en el Anuario Estadístico 2012

<sup>2</sup> Las entradas de esta CCAA corresponden a FORS<sub>T</sub>.

En cuanto a los rendimientos específicos para cada material, tabla 16, los metales son la fracción con una mayor separación (27,71%), seguidos por el papel/cartón (11,49%) y el brik (7,15%). Por otro lado, destaca el alto grado de separación para los plásticos existente en Aragón (22,82%). Respecto a la suma de los materiales reciclables, el 8,07% de las entradas en planta de los mismos son recuperados. Aragón, País Vasco y La Rioja son las CCAA con mayor rendimiento específico para la suma de los materiales y Canarias, Navarra y la Com. Valenciana las de menor. El rendimiento específico del bioestabilizado, a nivel nacional fue de un 13,58%, el más alto se da en las Isla Baleares (42,37%).

**Tabla 16: Rendimientos específicos en las PBC, 2011**

CCAA	RE <sub>i</sub> (%)							BIOST
	MR	Papel/ cartón	Metales	Plástico	Brik	Vidrio	Otros	
Andalucía <sup>1</sup>	10,87	15,20	36,18	8,15	16,98	5,69	-	7,12
Aragón	14,90	15,93	47,12	22,82	0	0,41	0,05	21,45
Baleares, Islas	0,00	0	0	0	0	0	0	42,37
Canarias <sup>1</sup>	1,37	0	9,28	1,78	0	0,96	0,00	-
Castilla y León	10,14	13,69	38,24	5,43	17,76	0,59	3,78	22,02
Cataluña <sup>1</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-
C. Valenciana	4,27	2,87	22,29	5,45	2,09	0	0,01	8,83
Galicia	10,32	8,49	34,19	16,38	16,42	0	0	23,36
C. Madrid	11,77	23,19	33,56	5,62	7,73	0,91	1,25	13,60
C. F. Navarra	3,48	1,65	17,00	5,34	3,53	0	0	2,27
País Vasco	12,84	19,14	50,39	7,01	2,44	9,02	0	10,60
Rioja, La	11,88	16,29	43,85	6,89	8,07	9,27	1,21	30,05
<b>Total nacional</b>	<b>8,07</b>	<b>11,49</b>	<b>27,71</b>	<b>6,65</b>	<b>7,15</b>	<b>1,07</b>	<b>1,04</b>	<b>13,58</b>

<sup>1</sup> La CCAA no ha proporcionado los datos correspondientes a esta corriente en el Anuario Estadístico 2012

## 5. Conclusiones

En el año 2011 las cantidades de RSU mezcla tratados en las plantas de TMB españolas fue de 11,4 millones de toneladas, de ellas un 67,57% fue tratado en las PRC, un 7,50% en las PCFORS y un 24,93% en las PBC. A nivel de cada una de las CCAA, la Región de Murcia es la que más RSU mezcla trata en PRC, La Rioja en PBC y Cataluña la que más FORS trata en PCFORS.

Los materiales reciclables recuperados en las PRC correspondieron principalmente a metales, mientras que en las PBC los más recuperados fueron el papel/cartón. En cuanto a los rendimientos globales de recuperación son muy parecidos para ambas instalaciones, siendo los metales el material que mayor rendimiento específico tiene.

Como era de esperar, cuando se analizan los rendimientos globales de la producción de bioestabilizado o compost, destaca el mayor rendimiento de las PCFORS. Esto se debe a la FORS que tiene un menor contenido en impropios.

La generación de rechazo en las plantas de TMB españolas alcanzó las 8 millones de toneladas en 2011, correspondiendo un 70,22% a las PRC, un 26,52% a las PBC y un 3,26% a las PCFORS. La producción de rechazo respecto a las entradas en las PRC y PBC es muy parecida, sin embargo, en las PCFORS es bastante menor. El principal tratamiento para estos rechazos fue la disposición en vertedero. De ahí la importancia de buscar procesos o sistemas para la valorización de estos rechazos. Sin embargo, en las Islas Baleares, Cantabria, Cataluña, Comunidad Valenciana y Madrid parte de estos rechazos se valorizaron energéticamente.

## 6. Referencias

- Instituto Nacional de Estadística (INE). *Encuesta sobre recogida y tratamiento de residuos. Residuos urbanos*. (4 de marzo de 2014). Disponible en: <http://www.ine.es>
- MAGRAMA (2013). *Anuario de estadística 2012*. Madrid, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Obtenido de: [http://www.magrama.gob.es/estadistica/pags/anuario/2012/AE\\_2012\\_Completo.pdf](http://www.magrama.gob.es/estadistica/pags/anuario/2012/AE_2012_Completo.pdf)
- Gallardo, A., Parra, A.M., Colomer, F.J., Edo, N. & Vinuesa, P. (2013). Diseño de un CSR a partir de rechazos de una planta de tratamiento de residuos urbanos. *XVII Congreso Internacional de Dirección e Ingeniería de Proyectos*, Logroño.
- Gallardo, A., Edo, N. & Colomer, F.J. (2014). Análisis de la evolución de las plantas de tratamiento mecánico-biológico en España. *RETEMA*, 176, 12- 21.
- Generalitat Catalana (2009). Pla Territorial Sectorial d'Infraestructures de Gestió de Residus Municipals de Catalunya, Annex 2 – Anàlisi de les infraestructures existents. Obtenido de: [http://residus.gencat.cat/web/.content/home/ambits\\_dactuacio/planificacio/pla\\_territorial\\_sectorial\\_dinfraestructures\\_de\\_gestio\\_de\\_residus/annex2.pdf](http://residus.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/planificacio/pla_territorial_sectorial_dinfraestructures_de_gestio_de_residus/annex2.pdf)