



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios  
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-560

---

---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017  
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Demostración del uso de matorral en redes de calor y en la producción de electricidad

MEDIAVILLA, I.<sup>1</sup>, BORJABAD, E.<sup>1</sup>, RAMOS, R. <sup>1</sup>, PASCUAL, A.<sup>1</sup>, y ESTEBAN, L.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> CEDER-CIEMAT. Centro de Desarrollo de Energías Renovables – Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas

### Resumen

El proyecto LIFE+ ENERBIOSCRUB, en cuyo marco se ha realizado este trabajo, persigue la movilización de nuevas fuentes de biomasa y la reducción del riesgo de incendios forestales a través de la obtención de biocombustibles sólidos sostenibles procedentes de matorrales.

El objetivo de este trabajo es la demostración de la utilización de biocombustibles de matorral (escoba, mezcla de brezo + escoba, jara y tojo) en aplicaciones de combustión en el sector residencial para la generación de calor, empleándose redes de calor localizadas en Las Navas del Marqués (Ávila), Fabero (León) y CEDER-CIEMAT (Lubia, Soria); y también en una aplicación de combustión en el sector industrial para generación de energía eléctrica, utilizándose la caldera de la planta de GESTAMP BIOMASS de 17 MWe situada en Garray (Soria).

En los ensayos de combustión llevados a cabo, en los que se han medido emisiones mientras las calderas operaban según su régimen habitual de demanda de calor, se han empleado distintos combustibles: pélets de matorral en Las Navas y Fabero, matorrales triturados en la caldera del CEDER-CIEMAT y jara triturada en la planta de GESTAMP en Garray.

De los resultados obtenidos, puede concluirse que el uso de matorral en el sector residencial precisa de una correcta adecuación de las condiciones de operación de las calderas al nuevo combustible, no registrándose problemas de operación derivados de su uso. En cuanto a las emisiones, debe prestarse especial atención a la emisión de NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y HCl cuando se utiliza tojo como combustible y al HCl cuando se quema la mezcla de brezo y escoba.

Con respecto al uso de jara en la caldera de la central de GESTAMP, se precisa una adaptación de la biomasa utilizada a los sistemas de alimentación disponibles en la planta, puesto que en los ensayos realizados la jara triturada ha dado lugar a atascos en la tolva de alimentación. En cuanto a las emisiones, puede decirse que la jara no conduce a emisiones de NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, HCl y partículas más elevadas que el combustible que se emplea habitualmente en la planta.

### Palabras clave

Caldera, combustión, emisiones, matorral, pélets.

## 1. Introducción

La producción de calor es, junto con la cogeneración, la aplicación con la que se obtienen mejores rendimientos de los biocombustibles. Por este motivo, y teniendo además en cuenta que la utilización de combustibles fósiles es causa del calentamiento global, las aplicaciones térmicas de la biomasa son cada vez más demandadas. Según la Asociación Europea de la Biomasa (AEBIOM), en su anuario de 2015, el consumo de energía final con biomasa en la UE28 se ha duplicado entre los años 2000 y 2013, siendo en 2013 de 105 MTEP, de los cuales 78 corresponden a aplicaciones térmicas, 13 MTEP a aplicaciones eléctricas y otros 13 MTEP a biocombustibles para transporte. Se estima que en 2020, la cifra total ascienda hasta los 140 MTEP y según la Plataforma Europea de Frío y Calor, el suministro de energía final con biomasa para la producción de frío y calor pasará de poco más de 80 MTEP en la actualidad a 231 MTEP en 2050.

En España, los últimos datos del Observatorio Nacional de las Calderas de Biomasa (ONCB) elaborado por AVEBIOM estiman que en 2015 hay 160.000 instalaciones con 7.275 MW de potencia térmica con biomasa. Según AVEBIOM, a pesar de que el gasóleo para calefacción experimenta precios anormalmente bajos desde 2015, la venta de equipos para uso doméstico e industrial, tanto de pélet como de astillas y leña, ha registrado un incremento importante.

Actualmente y dada la gran demanda futura de biomasa que se vislumbra, existe un gran debate sobre el desarrollo sostenible de la bioenergía y específicamente sobre la competencia con otros usos de la biomasa, como alimentos, piensos o productos para la industria de la madera y fibra. Es necesario por tanto diversificar las fuentes de suministro de biomasa para la obtención de biocombustibles sólidos que puedan aminorar en el futuro la presión sobre materias primas como la madera. En España, más de 13 millones de hectáreas están cubiertas por formaciones arbustivas y herbáceas naturales según CORINE Land Cover. La falta de gestión en zonas de matorral conlleva, en numerosas ocasiones, la formación de una estructura forestal que favorece el inicio y propagación de incendios forestales (GARCÍA-HURTADO et al, NÚÑEZ-REGUEIRA et al, BAEZA et al, RIGUEIRO-RODRÍGUEZ et al). El desbroce de muchas de estas zonas puede realizarse de forma sostenible obteniendo biocombustibles de calidad adecuada tanto para calderas de uso residencial como en aplicaciones industriales térmicas y de generación eléctrica.

La información sobre el aprovechamiento energético de la biomasa de matorral es escasa, habiéndose publicado únicamente algunos estudios sobre su disponibilidad y composición química (NÚÑEZ-REGUEIRA et al, PÉREZ et al., VIANA et al.). En este sentido, el proyecto LIFE+ ENERBIOSCRUB, en cuyo marco se ha realizado este trabajo, tiene como objetivo la movilización de nuevas fuentes de biomasa y la reducción del riesgo de incendios forestales a través de la obtención de biocombustibles sólidos sostenibles procedentes de matorrales. El proyecto tiene en cuenta cuatro áreas, localizadas en Castilla y León y Galicia, que pueden tener una capacidad de utilización de biocombustibles estable a través de una planta de producción de pélets, una central térmica de biomasa o redes de calor.

## 2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es la demostración de la utilización de biocombustibles de matorral en las siguientes aplicaciones:

- Combustión en el sector residencial para generación de calor: en las redes de calor localizadas en Las Navas del Marqués (Ávila), Fabero (León) y CEDER-CIEMAT (Lubia, Soria).
- Combustión en el sector industrial para generación de energía eléctrica: en la planta de GESTAMP BIOMASS de 17 MWe situada en Garray (Soria).

## 3. Metodología

### 3.1. Biocombustibles utilizados

En los ensayos realizados se emplearon distintos combustibles de matorral, tal y como se recoge a continuación:

- Pélets de escoba (*Genista cinerascens*) de 8 mm de diámetro en la red de calor localizada en Las Navas del Marqués (Ávila).
- Pélets de 8 mm realizados a partir de matorral de brezo (*Erica australis*) y escoba (*Genista florida*) mezclados a su vez con pélets comerciales de pino de 6 mm en la red de calor situada en Fabero (León).
- Cuatro matorrales distintos molidos a 30 mm (escoba: *Genista cinerascens*, brezo + escoba: *Erica australis* + *Genista florida*, jara: *Cistus laurifolius* y tojo: *Ulex europaeus*) y pino (*Pinus pinaster*) molido a 30 mm (utilizado como combustible de referencia) en la red de calor del CEDER-CIEMAT, localizada en Lubia (Soria).
- Jara (*Cistus laurifolius*) triturada y biomasa triturada de la que emplean habitualmente en la caldera de la planta de generación eléctrica de GESTAMP en Garray (Soria).

### 3.2 Calderas

Se han utilizado calderas de distinta tecnología y potencia, dependiendo de su localización, y cuya descripción es la siguiente:

La caldera de Las Navas del Marqués (Ávila) es de parrilla fija y su potencia térmica es de 1 MW. Para la eliminación de partículas tiene un multiciclón y abastece de calor al ayuntamiento, a un centro cívico y a una piscina climatizada.

La caldera de Fabero (Léon) es de afloración y se encuentra conectada a un depósito de inercia. Su potencia térmica es de 400 kW y cuenta con un ciclón para la eliminación de partículas. Abastece de calor al ayuntamiento, al hogar del pensionista, a la casa de la cultura y a un edificio de usos múltiples.

La caldera del CEDER-CIEMAT (Soria) tiene una potencia de 300 kWt y se encuentra instalada junto a otra caldera igual abasteciendo de agua caliente a una red de calor que suministra calefacción al centro. Esta caldera es de parrilla fija con empujadores y no tiene instalado ningún sistema adicional para eliminación de partículas.

La caldera de GESTAMP en Garray (Soria) es de parrilla vibratoria. Su potencia térmica es de 49 MW, produciendo vapor sobrecalentado para generar 17 MWe. Para la eliminación de partículas, existe a la salida de la caldera un ciclón (apagachispas) y un filtro de mangas.

En la Figura 1 se muestran algunas fotografías de las instalaciones descritas.



Figura1. Calderas utilizadas en los ensayos de combustión: Las Navas del Marqués (arriba, izquierda), Fabero (arriba, derecha), CEDER-CIEMAT (abajo, izquierda), GESTAMP – Garray (abajo, derecha)

### 3.3 Equipos de medida de emisiones

Para la medida de la composición gaseosa de los humos se ha empleado un analizador FTIR portátil (espectrómetro de infrarrojo por transformada de Fourier) y una célula de óxido de zirconio (para la medida de O<sub>2</sub>).

Por otro lado, para la determinación de partículas se ha utilizado método gravimétrico empleando un equipo automático de muestreo isocinético.

### 3.4. Diseño experimental

El diseño de los ensayos se ha adaptado en cada caso al régimen de operación de las instalaciones y a la disponibilidad de biomasa, por lo que no ha sido igual en todas las calderas, aunque sí se ha tratado de establecer la máxima similitud entre ellos. Así, se han realizado los ensayos en dos días consecutivos, midiéndose emisiones gaseosas y partículas mientras las distintas calderas operaban en su régimen habitual.

### 3.5. Procedimiento analítico

La muestra de laboratorio utilizada para análisis fue preparada de acuerdo con la norma UNE 14780:2011, mediante homogeneización, división, secado y molienda. En el Laboratorio de Caracterización de Biomasa (CEDER-CIEMAT) se llevaron a cabo los análisis correspondientes siguiendo la normativa que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Métodos analíticos y normas utilizados en el Laboratorio de Caracterización de Biomasa (CEDER-CIEMAT)

Parámetro		Método analítico	Norma
Densidad de pila		Masa de un volumen conocido	EN 15103
Análisis inmediato	Humedad	Secado a 105 °C	EN 14774-2
	Ceniza	Calcinación a 550 °C	EN 14775
Análisis elemental	N	Analizador elemental equipado con detectores de infrarrojo y detector de conductividad térmica	EN 15104
	S y Cl	Cromatografía iónica después de la combustión de la muestra	EN 15289

## 4. Resultados

### 4.1 Caracterización de los combustibles utilizados

En la Tabla 2 se muestra una caracterización de los combustibles utilizados en cada una de las calderas.

Tabla 2. Caracterización de los combustibles utilizados

Combustible	Humedad (%m.) (b.h.)	Ceniza (%m.) (b.s.)	Dens. pila (kg/m3) (MH)	N (%m.) (b.s.)	S (%m.) (b.s.)	Cl (%m.) (b.s.)
Pélets escoba Las Navas	9.6	1.4	620	0.88	0.04	0.03
Pélets brezo+escoba Fabero	12.3	2.2	630	0.86	0.04	0.02
Pélets comerciales pino Fabero	6.3	0.5	690	0.05	0.02	0.01
Escoba molida CEDER-CIEMAT	13.8	1.2	200	0.91	0.04	0.03
Brezo+escoba molido CEDER-CIEMAT	16.2	1.4	220	0.89	0.05	0.04
Jara molida CEDER-CIEMAT	22.2	5.1	270	0.45	0.04	0.01
Tojo molido CEDER-CIEMAT	34.3	3.1	130	1.03	0.10	0.11
Pino molido CEDER-CIEMAT	11.9	0.5	170	0.09	0.03	0.02
Jara GESTAMP	26.3	3.0	170	n.d.	n.d.	n.d.
Combustible habitual	33.2	8.8	210	n.d.	n.d.	n.d.



GESTAMP						
---------	--	--	--	--	--	--

n.d.: no disponible

#### 4.2 Ensayos de combustión

En la Tabla 3 se muestran los valores medios de las emisiones en las calderas de Las Navas y Fabero mientras existía demanda de calor, normalizadas al 6% de O<sub>2</sub>. Ha de indicarse que durante el tiempo en el que se realizaron medidas con los combustibles de matorral (aproximadamente dos días con cada combustible) no se registraron problemas de operación en las calderas.

Tabla 3. Valores medios de la composición del gas en las instalaciones de Las Navas del Marqués y Fabero

Parámetro	Las Navas	Fabero
O <sub>2</sub> (%) b.s.	18.4	17.0
CO (mg/Nm <sup>3</sup> ) b.s. <sup>(1)</sup>	12462	3323
NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) b.s. <sup>(1)(2)</sup>	472	327
SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) b.s. <sup>(1)</sup>	n.d.	67
HCl (mg/Nm <sup>3</sup> ) b.s. <sup>(1)</sup>	1.6	4.9
COT (mg/Nm <sup>3</sup> ) b.s. <sup>(1)(3)</sup>	100	189
Partículas (mg/Nm <sup>3</sup> ) b.s. <sup>(1)</sup>	618	667

b.s.: base seca; n.d.: no disponible; <sup>(1)</sup>: referido al 6% de O<sub>2</sub>; <sup>(2)</sup>: suma de NO y NO<sub>2</sub>, expresados como NO<sub>2</sub>; <sup>(3)</sup>: Carbono Orgánico Total, expresado como C.

En cuanto a la red de calor del CEDER-CIEMAT, teniéndose en cuenta que la demanda de calor se produce por la mañana (aproximadamente desde las 5:00 hasta las 15:00), se midieron emisiones en esta franja horaria, observándose dos formas de operación de la caldera. Cuando la red demanda calor, la temperatura del agua en la caldera se encuentra por debajo de la temperatura de consigna que tiene prefijada para pararse y trabaja a una potencia próxima a la nominal (Etapa I). Por otro lado, cuando la demanda de la red es menor, el agua de la caldera alcanza la temperatura de consigna y se para, volviendo a arrancarse cuando la temperatura desciende. De este modo, se produce una etapa en la que la potencia es inferior y la caldera experimenta paradas y arranques (Etapa II).

En los dos días en los que se utilizó cada uno de los combustibles ensayados, no se registraron problemas de operación en la caldera.

Para poder establecer una comparativa de las emisiones obtenidas durante la combustión de matorrales entre sí y con las emisiones derivadas de la combustión de pino, se ha utilizado la Etapa I, puesto que el comportamiento de la caldera es comparable en todos los casos, por estar trabajando próxima a la potencia nominal sin registrarse paradas y arranques. En la Tabla 4 se muestran los valores medios de la composición del gas emitido durante la combustión de las distintas biomásas, referidos al 6% de O<sub>2</sub>.

Por otro lado, se ha calculado el ratio  $emisión (mg/Nm^3)_{matorral} / emisión (mg/Nm^3)_{pino}$  para todas las biomásas. Los resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 4. Valores medios de la composición del gas en la caldera de la red de calor del CEDER-CIEMAT

Parámetro	Escoba	Brezo + Escoba	Jara	Tojo	Pino
O <sub>2</sub> (%) b.s.	10.9	7.4	10.3	13.8	8.2
CO (mg/Nm <sup>3</sup> ) b.s. <sup>(1)</sup>	3661	890	673	685	427
NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) b.s. <sup>(1)(2)</sup>	495	326	331	688	143
SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) b.s. <sup>(1)</sup>	8.5	113	24	235	28
HCl	2.5	9.7	0.84	45	0.43

(mg/Nm <sup>3</sup> ) b.s. <sup>(1)</sup>					
COT (mg/Nm <sup>3</sup> ) b.s. <sup>(1)(3)</sup>	8.9	19	3.3	16	3.3
Partículas (mg/Nm <sup>3</sup> ) b.s. <sup>(1)</sup>	272	198	138	190	132

b.s.: base seca; <sup>(1)</sup>: referido al 6% de O<sub>2</sub>; <sup>(2)</sup>: suma de NO y NO<sub>2</sub>, expresados como NO<sub>2</sub>; <sup>(3)</sup>: Carbono Orgánico Total, expresado como C.

Tabla 5. Comparativa de emisiones de la combustión de matorrales y pino en la caldera de la red de calor del CEDER-CIEMAT

Ratio	Escoba	Brezo + Escoba	Jara	Tojo
CO <sub>matorral</sub> /CO <sub>pino</sub>	8.6	2.1	1.6	1.6
NO <sub>x</sub> <sub>matorral</sub> /NO <sub>x</sub> <sub>pino</sub>	3.5	2.3	2.3	4.8
SO <sub>2</sub> <sub>matorral</sub> /SO <sub>2</sub> <sub>pino</sub>	0.3	4.0	1.2	8.4
HCl <sub>matorral</sub> /HCl <sub>pino</sub>	5.8	23	2.0	105
COT <sub>matorral</sub> /COT <sub>pino</sub>	2.7	5.8	1.0	4.8
Partículas <sub>matorral</sub> /Partículas <sub>pino</sub>	2.1	1.5	1.0	1.4

Por último, en los ensayos en la planta de GESTAMP en Garray, se comenzó midiendo emisiones mientras se quemaba el combustible habitual de la caldera. A continuación, se introdujo la jara, pero únicamente se pudieron medir emisiones durante 4 horas, debido a la producción de atascos en los sinfines de alimentación. Por último, se utilizó una mezcla de jara y el combustible habitual, pero no se superaron las 2 horas de operación, debido a que siguieron produciéndose atascos. En la Tabla 6 se muestran los valores medios de las emisiones referidos al 6% de O<sub>2</sub>.

Tabla 6. Valores medios de la composición del gas en la caldera de GESTAMP en Garray

Parámetro	Comb. habitual	Jara	Comb. habitual + jara
O <sub>2</sub> (%) b.s.	6.6	7.4	7.6
CO (mg/Nm <sup>3</sup> ) b.s. <sup>(1)</sup>	158	271	168
NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) b.s. <sup>(1)(2)</sup>	367	367	411
SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) b.s. <sup>(1)</sup>	11	13	14
HCl (mg/Nm <sup>3</sup> ) b.s. <sup>(1)</sup>	0.23	0.26	0.27
COT (mg/Nm <sup>3</sup> ) b.s. <sup>(1)(3)</sup>	4.4	4.0	4.0
Partículas (mg/Nm <sup>3</sup> ) b.s. <sup>(1)</sup>	2	2	n.d.

b.s.: base seca; n.d.: no disponible; <sup>(1)</sup>: referido al 6% de O<sub>2</sub>; <sup>(2)</sup>: suma de NO y NO<sub>2</sub>, expresados como NO<sub>2</sub>; <sup>(3)</sup>: Carbono Orgánico Total, expresado como C.

## 5. Discusión

Durante los muestreos en las calderas de Las Navas del Marqués y Fabero, se observaron emisiones de CO, COT y partículas elevadas, cuyo origen no puede achacarse únicamente al combustible, sino a la forma de operación de las calderas, con numerosos arranques y paradas y proporción de oxígeno en humos muy elevada.

De este modo, para poder evaluar correctamente el comportamiento del combustible de matorral en estas calderas, sería preciso, en primer lugar, una regulación apropiada de su régimen de funcionamiento, de forma que se optimice al máximo la combustión de cualquier combustible, con unos niveles de O<sub>2</sub> en humos inferiores a los que se están utilizando. Esta regulación se va a realizar con anterioridad a la segunda campaña de ensayos demostrativos que tendrá lugar en 2017.

Con respecto a los ensayos realizados en la caldera situada en el CEDER-CIEMAT, y a la vista de la Tabla 4, es destacable que el promedio de  $O_2$  en humos en los distintos ensayos varía. Esto se debe a que, aunque todos los materiales habían sido triturados a 30 mm, existen diferencias en su granulometría y densidad de pila (ver Tabla 2), con lo que la alimentación desde el silo a la caldera no fue siempre igual, a pesar de que se intentó mantener un porcentaje de  $O_2$  similar en todos los ensayos, controlando a su vez que la temperatura del agua fuera la adecuada, que no se produjeran escorias en el quemador y que no saliera biomasa sin quemar al cenicero.

Considerando los resultados mostrados en la Tabla 5, pueden destacarse los siguientes aspectos:

- La combustión de la escoba genera elevadas emisiones de CO, tanto si se compara con el pino como con el resto de matorrales. Del mismo modo, puede verse que la concentración de partículas emitida también es mayor. Parece ser, por tanto, que la combustión de la escoba podría necesitar un mayor tiempo de residencia en la caldera ensayada para eliminar posibles compuestos inquemados en los humos de combustión.
- En cuanto a la emisión de NO<sub>x</sub>, se observa un comportamiento generalizado de los matorrales, con emisiones elevadas, como cabría esperar del mayor contenido en nitrógeno de los matorrales frente al pino. Si se utilizan como referencia los límites de la Directiva Europea de instalaciones de mediana potencia (aunque la potencia de la caldera es inferior a 1 MW y esta Directiva no sería por tanto aplicable), puede verse que el valor medio de las emisiones de NO<sub>x</sub> en la Etapa I se encuentra por debajo del límite establecido en la Directiva (650 mg/Nm<sup>3</sup>) en todos los casos, con la excepción del tojo.
- Con respecto al SO<sub>2</sub>, es destacable el valor emitido durante la combustión del tojo, que es más de 8 veces el valor obtenido para el pino y supera el límite establecido en la Directiva Europea de instalaciones de mediana potencia (200 mg/Nm<sup>3</sup>).
- La emisión de HCl es notable en la combustión de la mezcla escoba+brezo y en el tojo. Con objeto de tener un valor de referencia, y aunque no sea aplicable en este caso, se ha considerado la Directiva Europea 2010/75/UE sobre las emisiones industriales, que establece como límite 10 mg/Nm<sup>3</sup> ( $O_{2, \text{referencia}}$ : 11%). Recalculando los valores medios a este oxígeno de referencia para cada ensayo, el tojo es el único matorral que supera este límite durante su combustión con 30 mg/Nm<sup>3</sup>.
- En el caso de las partículas emitidas, puede verse que cuando se quema matorral la concentración de partículas en humos es, como mucho, el doble que la obtenida cuando se quema pino. Si se comparan los valores obtenidos con el límite establecido para calderas de menos de 500 kWt en la norma de ensayo UNE-EN 303-5:2012, que en el caso de calderas de clase 4 y 5 (que son las que cumplen con el rendimiento mínimo exigido por el RITE) es de 75 y 60 mg/Nm<sup>3</sup> ( $O_{2, \text{referencia}}$ : 10%) respectivamente, puede verse que se superan los límites en todos los casos, pues la concentración de partículas en los ensayos realizados, expresada al 10% de  $O_2$ , oscila entre los 97 mg/Nm<sup>3</sup> del pino y los 199 mg/Nm<sup>3</sup> de la escoba.

Finalmente, en los ensayos realizados en la planta de GESTAMP en Garray, puede verse que aunque la alimentación de la biomasa de jara no ha sido la adecuada, la influencia sobre las emisiones no es notable, como puede apreciarse en la Tabla 6. Si se consideran los límites establecidos en la Directiva Europea de instalaciones de mediana potencia (1-50 MW), puede verse que tanto las emisiones de NO<sub>x</sub> como las de SO<sub>2</sub> y partículas se encuentran muy por debajo de los límites establecidos por la Directiva. Está previsto realizar un nuevo ensayo en 2017 utilizando biomasa de jara almacenada varios meses y realizando una molienda más fina para evitar problemas de alimentación a la caldera.

## 6. Conclusiones

- De los resultados obtenidos en las redes de calor del sector residencial, puede concluirse que:
- Para poder utilizar los combustibles de matorral u otras biomásas en las calderas de Las Navas y Fabero y obtener un rendimiento de la combustión adecuado, sería preciso realizar



modificaciones en la regulación de las mismas. Dichas modificaciones se efectuarán de cara a nuevos ensayos que tendrán lugar en 2017.

- Con respecto a las emisiones registradas en la caldera del CEDER-CIEMAT, se considera de especial importancia la instalación de algún sistema de retención de partículas para poder alcanzar los límites establecidos en la legislación de diseño de calderas (UNE-EN 303-5:2012 y Directiva de Ecodiseño). Además, hay que prestar especial atención a la emisión de NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y HCl cuando se utiliza tojo como combustible y al HCl cuando se quema la mezcla de brezo y escoba.
- Tanto en las calderas de Las Navas y Fabero como en la del CEDER-CIEMAT, la combustión de matorral no da lugar a problemas de operación derivados de la aparición de escorias y sinterizados, aunque sería necesario realizar un estudio de este aspecto a más largo plazo.

De los resultados obtenidos en la caldera de GESTAMP para generación de energía eléctrica, puede concluirse que:

- Para poder utilizar la jara en esta caldera, asegurando unas condiciones estables de combustión, se precisa un tratamiento del matorral diferente al realizado, de modo que la alimentación del combustible a la caldera sea más homogénea. En cuanto a las emisiones obtenidas durante la combustión, puede decirse que la jara no conduce a emisiones más elevadas que el combustible que se emplea habitualmente en la planta.

## 7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto LIFE+ ENERBIOSCRUB (LIFE 13 ENV/ES/000660), cofinanciado por el Programa LIFE de la UE.

Para su realización, se han utilizado además dos equipos cofinanciados por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional: una línea de acondicionamiento y pretratamiento de biomasa (proyecto CIEM09-3E-275) y un sistema de recolección y empacado simultáneo de biomasa (proyecto CIEM13-3E-2505).

## 8. Bibliografía

BAEZA, J.M., DE LUIS, M., RAVENTÓS, J., ESCARRÉ, A.; 2002. Factor influencing fire behaviour in shrublands of different stand ages and the implications for using prescribed burning to reduce wildfire risk. *J Environ Manage* 65 199-208.

GARCÍA-HURTADO; E., PEY; J., BAEZA, M.J.; CARRARA, A.; LLOVET, J.; QUEROL, X.; ALASTUEY, A.; VALLEJO, V.R.; 2013. Carbon emissions in Mediterranean shrubland wildfires: An experimental approach. *Atmos Environ* 69 86 – 93

NÚÑEZ-REGUEIRA, L.; PROUPÍN-CASTIÑEIRAS, J.; RODRÍGUEZ-AÑÓN, J.A.; 2004. Energy evaluation of forest originated from shrub species in Galicia. *Bioresource Technol* 91 215 - 221.

PÉREZ, S., RENEDO, C.J., ORTIZ, A., DELGADO, F., FERNÁNDEZ, I.; 2014. Energy potential of native shrub species in northern Spain. *Renew Energ* 62 79-83.

RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A., MCADAM, J., MOSQUERA-LOSADA M.R.; 2008. Agroforestry in Europe. Current status and future prospects. Springer Science & Business Media. 191.

VIANA, H., VEGA-NIEVA, D.J., ORTIZ TORRES, L., LOUSADA, J., ARANHA, J.; 2012. Fuel characterization and biomass combustion properties of selected native woody shrub species from central Portugal and NW Spain. *Fuel* 102 737-745.