



# 25 years of EU supporting Nature, Environment and Climate Action through **LIFE**



# PROYECTO LIFE+ ENERBIOSCRUB

(LIFE13 ENV/ES/000660)

## Aprovechamiento energético y calidad de la biomasa de matorral

Raquel Ramos Casado  
raquel.ramos@ciemat.es



## PROYECTO ENERBIOSCRUB: ACCIONES DE IMPLEMENTACIÓN

- **B2 Ensayos en laboratorio y plantas piloto: Preparación, caracterización, producción de biocombustibles (astillas y pélets), combustión y caracterización de emisiones. (CIEMAT)**
- **B3 Demostración de la utilización de los biocombustibles en aplicaciones industriales y residenciales. (CIEMAT, MLN, AYTO. FABERO, BIOMASA FORESTAL, INTACTA, GESTAMP BIOMAS)**



**Gestamp**  
Biomass



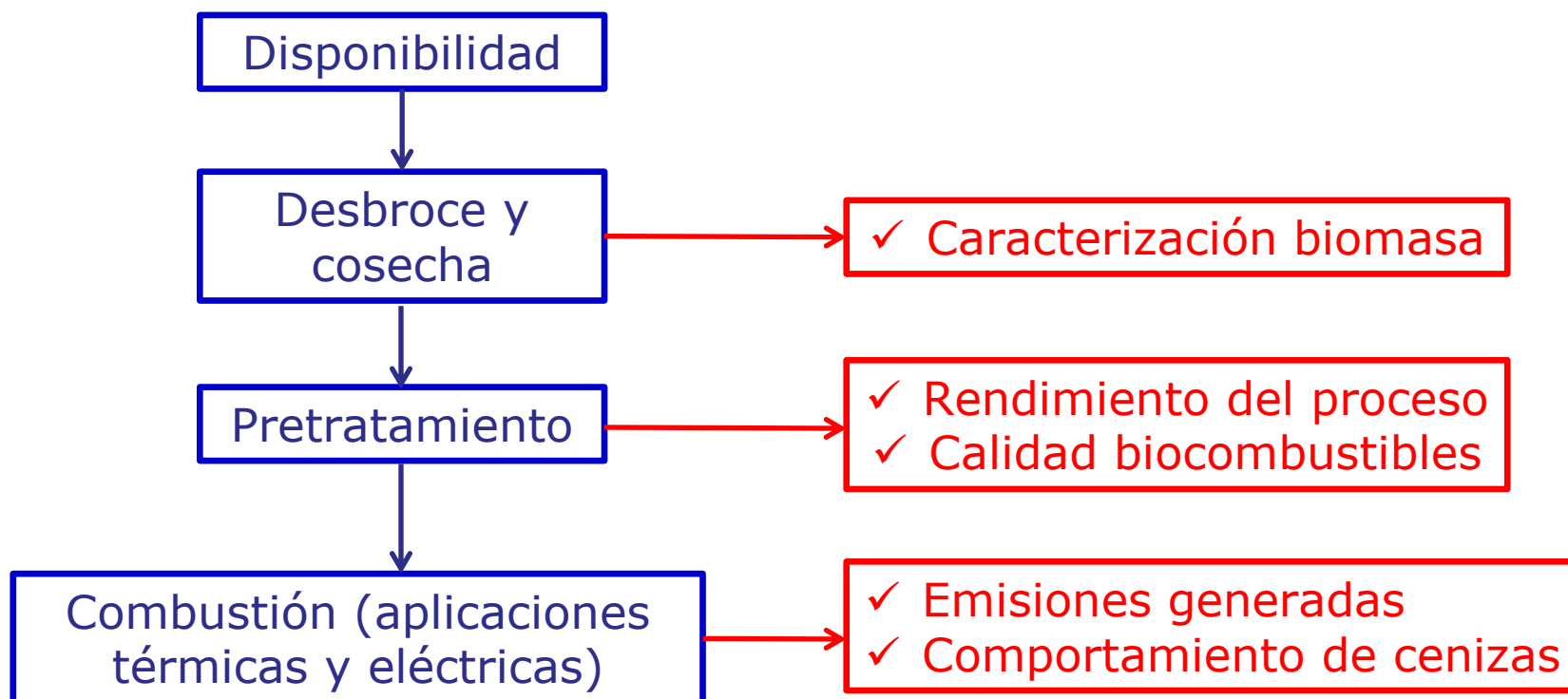
**AYUNTAMIENTO  
DE FABERO**



*Montes de Las Navas S.A.*

**biomasa**  
forestal

## FACTORES A CONSIDERAR PARA ANALIZAR EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL MATORRAL



## PRETRATAMIENTOS A LA BIOMASA RECOLECTADA

**PRETRATAMIENTO**

**RENDIMIENTO PROCESO  
CALIDAD BIOCOMBUSTIBLES**

- ✓ Parámetros a estudiar en las etapas de pretratamiento: reducción granulométrica, ¿secado?, peletización:
  - Producción
  - Consumo energético
  - Características del producto obtenido: ¿a qué mercado puede destinarse?
- ✓ Variable introducida en el estudio: almacenamiento de la biomasa 1 año

# PRETRATAMIENTOS A LA BIOMASA RECOLECTADA

## Escoba – Las Navas del Marqués (AV)



## Escoba + brezo – Figueruela (ZA)



# PRETRATAMIENTOS A LA BIOMASA RECOLECTADA

## Jara – Soria (SO)



## Tojo – As Pontes (LC)



**PRETRATAMIENTO**

**RENDIMIENTO PROCESO**

**Biomasa sin almacenar**

Biomasa	Molienda 30 mm (kWh/t MS)	Molienda 4 mm (kWh/t MS)	Peletización (kWh/t MS)
Escoba	8,9	46	113
Escoba + brezo	7,5	58	122
Jara	11	17	133
Tojo	28	18	80

Astillado madera:  
6-7,2 kWh/t MS

Molienda pino a  
partir de astillas  
(4 mm):  
48 kWh/t MS

Peletización  
serrín pino:  
121 kWh/t MS

**PRETRATAMIENTO**

**RENDIMIENTO PROCESO**

**Biomasa almacenada 1 año**

Biomasa	Molienda 30 mm (kWh/t MS)	Molienda 4 mm (kWh/t MS)	Peletización (kWh/t MS)
Escoba	11,8	46	150
Jara	9,5	n.d.	n.d.

**Biomasa sin almacenar**

Biomasa	Molienda 30 mm (kWh/t MS)	Molienda 4 mm (kWh/t MS)	Peletización (kWh/t MS)
Escoba	8,9	46	113
Jara	11	17	133

**PRETRATAMIENTO**

**CALIDAD BIOCOMBUSTIBLES**

**Características ISO 17225:2014**

		Ceniza	Nitrógeno	Azufre	Cloro
		% b.s.	% b.s.	% b.s.	% b.s.
Pélets	A1	0.7	0.3	0.04	0.02
17225-2	A2	1.2	0.5	0.05	0.02
Doméstico	B	2.0	1.0	0.05	0.03
Pélets	I1	1.0	0.3	0.05	0.03
17225-2	I2	1.5	0.3	0.05	0.05
Industrial	I3	3.0	0.6	0.05	0.10
Astillas	A1	1.0	No aplica	No aplica	No aplica
17225-4	A2	1.5	No aplica	No aplica	No aplica
	B	3.0	1.0	0.10	0.05

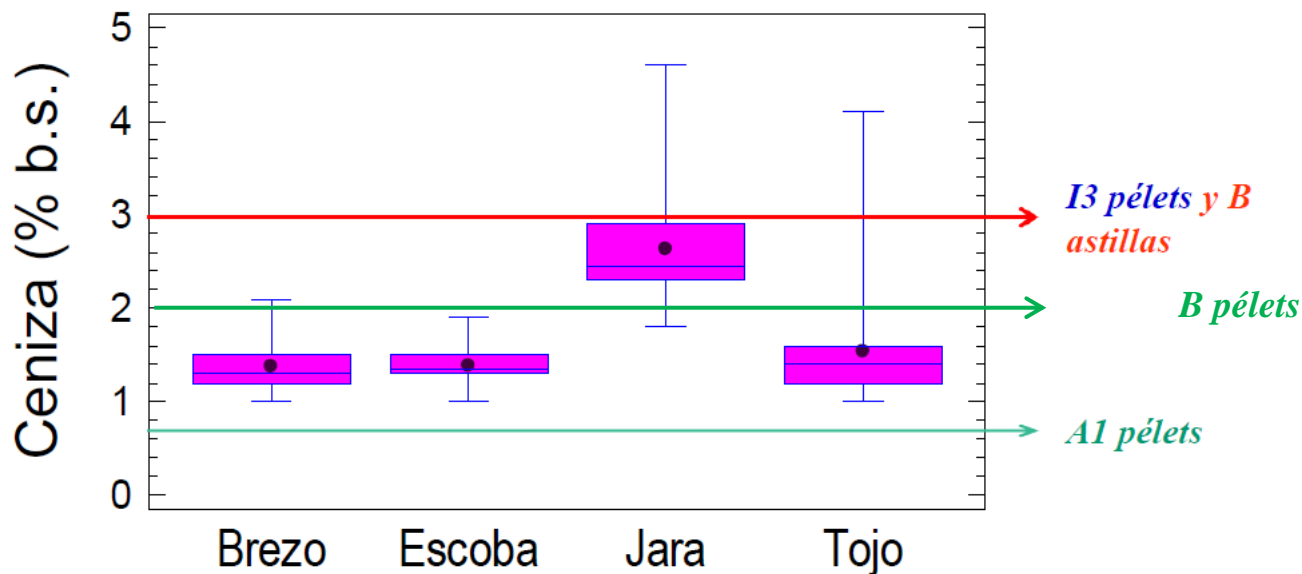
**Residencial: B**

**Industrial: I3**

**PRETRATAMIENTO**

**CALIDAD BIOCOMBUSTIBLES**

**Características ISO 17225:2014**



**Residencial: B**

**Industrial: I3**

**Table 1 — Specification of graded wood pellets for commercial and residential applications**

	Property class, Analysis method	Unit	A1	A2	B
Normative	<b>Origin and source</b> , ISO 17225-1		1.1.3 Stemwood 1.2.1 Chemically untreated wood residues <sup>a</sup>	1.1.1 Whole trees without roots 1.1.3 Stemwood 1.1.4 Logging residues 1.2.1 Chemically untreated wood residues <sup>a</sup>	1.1 Forest, plantation and other virgin wood 1.2 By-products and residues from wood processing industry 1.3.1 Chemically untreated used wood
	<b>Diameter, D<sup>b</sup> and Length L<sup>c</sup></b> , ISO 17829 According Figure 1	mm	D06, 6 ± 1; 3,15 < L ≤ 40 D08, 8 ± 1; 3,15 < L ≤ 40	D06, 6 ± 1; 3,15 < L ≤ 40 D08, 8 ± 1; 3,15 < L ≤ 40	D06, 6 ± 1; 3,15 < L ≤ 40 D08, 8 ± 1; 3,15 < L ≤ 40
	<b>Moisture, M</b> , ISO 18134-1, ISO 18134-2	w-% as received, wet basis	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10
	<b>Ash, A<sup>d</sup></b> , ISO 18122	w-% dry	A0.7 ≤ 0,7	A1.2 ≤ 1,2	A2.0 ≤ 2,0
	<b>Mechanical durability, DU</b> , ISO 17831-1	w-% as received	DU97.5 ≥ 97,5	DU97.5 ≥ 97,5	DU96.5 ≥ 96,5
	<b>Fines, F<sup>e</sup></b> , ISO 18846	w-% as received	F1.0 ≤ 1,0	F1.0 ≤ 1,0	F1.0 ≤ 1,0
	<b>Additives<sup>f</sup></b>	w-% as received	≤ 2 Type and amount to be stated	≤ 2 Type and amount to be stated	≤ 2 Type and amount to be stated
	<b>Net calorific value, Q</b> , ISO 18125	MJ/kg or kWh/kg as received	Q16.5 ≥ 16,5 or Q4.6 ≥ 4,6	Q16.5 ≥ 16,5 or Q4.6 ≥ 4,6	Q16.5 ≥ 16,5 or Q4.6 ≥ 4,6
	<b>Bulk density, BD<sup>g</sup></b> , ISO 17828	kg/m <sup>3</sup> as received	BD600 ≥ 600	BD600 ≥ 600	BD600 ≥ 600
	<b>Nitrogen, N</b> , ISO 16948	w-% dry	N0.3 ≤ 0,3	N0.5 ≤ 0,5	N1.0 ≤ 1,0
	<b>Sulphur, S</b> , ISO 16994	w-% dry	S0.04 ≤ 0,04	S0.05 ≤ 0,05	S0.05 ≤ 0,05
	<b>Chlorine, Cl</b> , ISO 16994	w-% dry	Cl0.02 ≤ 0,02	Cl0.02 ≤ 0,02	Cl0.03 ≤ 0,03

**Table 2 — Specification of graded wood pellets for industrial use**

	Property class, Analysis method	Unit	I1	I2	I3
Normative	Origin and source, ISO 17225-1		1.1 Forest, plantation and other virgin wood 1.2.1 Chemically untreated wood residues <sup>a</sup>	1.1 Forest, plantation and other virgin wood 1.2.1 Chemically untreated wood residues <sup>a</sup>	1.1 Forest, plantation and other virgin wood 1.2 By-products and residues from wood processing industry 1.3.1 Chemically untreated used wood
	Diameter, D <sup>b</sup> and Length L <sup>c</sup> , ISO 17829 According Figure 1	mm	D06, 6 ± 1; 3,15 < L ≤ 40 D08, 8 ± 1; 3,15 < L ≤ 40	D06, 6 ± 1; 3,15 < L ≤ 40 D08, 8 ± 1; 3,15 < L ≤ 40 D10, 10 ± 1; 3,15 < L ≤ 40	D06, 6 ± 1; 3,15 < L ≤ 40 D08, 8 ± 1; 3,15 < L ≤ 40 D10, 10 ± 1; 3,15 < L ≤ 40 D12, 12 ± 1; 3,15 < L ≤ 40
	Moisture, M, ISO 18134-1, ISO 18134-2	w-% as received, wet basis	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10	M10 ≤ 10
	Ash, A, ISO 18122	w-% dry	A1.0 ≤ 1,0	A1.5 ≤ 1,5	A3.0 ≤ 3,0
	Mechanical durability, DU, ISO 17831-1	w-% as received	97,5 ≤ DU ≤ 99,0	97,0 ≤ DU ≤ 99,0	96,5 ≤ DU ≤ 99,0
	Fines, F <sup>d</sup> , ISO 18846	w-% as received	F4.0 ≤ 4,0	F5.0 ≤ 5,0	F6.0 ≤ 6,0
	Additives <sup>e</sup>	w-% as received	< 3 Type and amount to be stated	< 3 Type and amount to be stated	< 3 Type and amount to be stated
	Net calorific value, Q, ISO 18125	MJ/kg as received	Q16.5 ≥ 16,5	Q16.5 ≥ 16,5	Q16.5 ≥ 16,5
	Bulk density, BD <sup>f</sup> , ISO 17828	kg/m <sup>3</sup>	BD600 ≥ 600	BD600 ≥ 600	BD600 ≥ 600
	Nitrogen, N, ISO 16948	w-% dry	N0.3 ≤ 0,3	N0.3 ≤ 0,3	N0.6 ≤ 0,6

**PRETRATAMIENTO**

**CALIDAD BIOCOMBUSTIBLES**

**Biomasa sin almacenar**

<b>Características ISO 17225-2:2014</b>	Pélets Escoba	Pélets Jara	Pélets Escoba + brezo	Pélets Tojo
M (humedad)	M10	M10	<b>12,3</b>	10,8
A (ceniza)	A2,0	4,2	A3,0	3,8
BD (densidad pila)	BD600	BD600	BD600	BD600
DU (durabilidad)	DU97,5	DU96,5	DU97,5	DU97,5
F (finos)	F1,0	F1,0	F4,0	F1,0
Q (poder calorífico)	Q16,5	Q16,5	<b>16,4</b>	16,3
N (nitrógeno)	N1,0	N1,0	N1,0	N1,0
S (azufre)	S0,05	S0,05	S0,05	0,07
Cl (cloro)	Cl0,03	Cl0,03	Cl0,03	Cl0,1

**PRETRATAMIENTO**

**CALIDAD BIOCOMBUSTIBLES**

## Biomasa almacenada 1 año

Características ISO 17225-2:2014	Pélets Escoba	Pélets Jara
M (humedad)	M10	M10
A (ceniza)	A2,0	<b>3,0</b>
BD (densidad pila)	BD600	BD600
DU (durabilidad)	DU97,5	DU97,5
F (finos)	F1,0	F1,0
Q (poder calorífico)	Q16,5	Q16,5
N (nitrógeno)	N1,0	N0,5
S (azufre)	S0,04	S0,04
Cl (cloro)	Cl0,02	Cl0,02

## COMBUSTIÓN

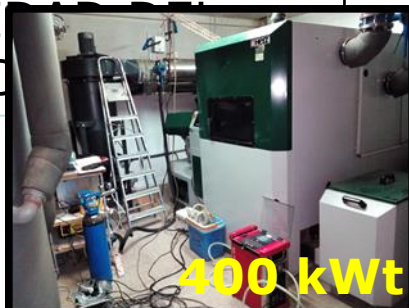
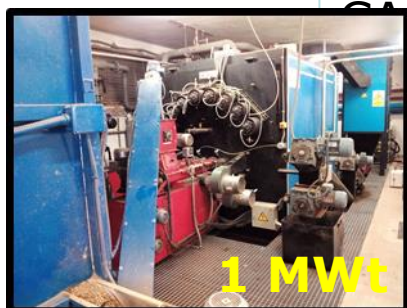
## EMISIONES COMPORTAMIENTO CENIZAS

- ✓ Importancia de la adecuación de los parámetros de combustión al combustible utilizado (medidas primarias):
  - Alimentación combustible
  - Aire primario/secundario/terciario
  - Limpieza de tubos
  - Reducción en formación de escorias (movimiento parrilla, reducción temperatura...)
  - Períodos de extracción de ceniza
- ✓ Instalación de sistemas en chimenea (medidas secundarias): reducción emisiones gaseosas y partículas

## Acción B2. Ensayos en laboratorio y plantas piloto:



## Acción B3. Ensayos en plantas de demostración:



**Aplicaciones térmicas**

**Aplicaciones eléctricas**

## Acción B2. Ensayos en laboratorio y plantas piloto: caldera 40 kWt – pélets

### Biomasa sin almacenar

Emisiones	Escoba	Escoba + Brezo	Jara	Tojo	Pino
NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 10%)	388	482	373	601	140
SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 10%)	7,0	79	59	<b>132</b>	13
HCl (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 10%)	2,9	13	7,4	<b>60</b>	0,3
Partículas (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 10%)	<b>235</b>	<b>135</b>	32	40	<b>97</b>

### Biomasa almacenada un año

Emisiones	Escoba	Jara
NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 10%)	394	258
SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 10%)	16	29
HCl (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 10%)	0,9	3,5
Partículas (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 10%)	<b>46</b>	27

LÍMITES:

- **Reglamento 2015/1189:** 40mg/Nm<sup>3</sup> partículas, ecodiseño calderas de biomasa hasta 500 kW.
- **Directiva 2015/2193:** 50mg/Nm<sup>3</sup> partículas para plantas de 1-5 MW de biomasa sólida.
- **Directiva 2010/75:** 10mg/Nm<sup>3</sup> HCl para instalaciones incineración de residuos.

## Acción B2. Ensayos en laboratorio y plantas piloto: caldera 500 kWt – biomasa molida a 30 mm

### Biomasa sin almacenar

Emisiones	Escoba	Escoba + Brezo	Jara	Tojo	Pino
NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 10%)	335	330	224	305	126
SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 10%)	0,1	65	32	<b>155</b>	21
HCl (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 10%)	0,7	0,6	0,9	<b>62</b>	0,2
Partículas (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 10%)	<b>148</b>	<b>295</b>	<b>161</b>	<b>210</b>	42

### Biomasa almacenada un año

Emisiones	Escoba	Jara
NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 10%)	307	224
SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 10%)	20	24
HCl (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 10%)	0,15	0,4
Partículas (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 10%)	<b>162</b>	<b>87</b>

LÍMITES:

- **Reglamento 2015/1189:** 20mg/Nm<sup>3</sup> partículas, ecodiseño calderas de biomasa hasta 500 kW.
- **Directiva 2015/2193:** 50mg/Nm<sup>3</sup> partículas para plantas de 1-5 MW de biomasa sólida.
- **Directiva 2010/75:** 10mg/Nm<sup>3</sup> HCl para instalaciones incineración de residuos.

## Acción B2. Ensayos en laboratorio y plantas piloto:

**COMBUSTIÓN**

**EMISIONES**

En general, la combustión de matorral, cuando se compara con la combustión de pélets comerciales A1 o pino molido conduce a:

- Mayores emisiones de partículas totales.
- Mayores emisiones de NOx.
- Mayores emisiones de SO<sub>2</sub> (especialmente el tojo).
- Mayores emisiones de HCl (especialmente el tojo).

### **COMPARACIÓN ENTRE BIOMASA SIN ALMACENAR Y ALMACENADA:**

En general, las diferencias encontradas de mejora en cuanto a emisiones en los ensayos realizados en planta piloto (escoba y jara) depende mucho de la tecnología empleada.

## Acción B3. Ensayos en plantas de demostración:

Emisiones Caldera 300kWt, astilla	Escoba	Escoba + Brezo	Jara	Tojo	Pino
NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 10%)	495	326	331	688	143
SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 10%)	8,5	113	34	<b>235</b>	28
HCl (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 10%)	2,5	9,7	0,8	<b>45</b>	0,4
Partículas (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 10%)	<b>272</b>	<b>198</b>	<b>138</b>	<b>190</b>	<b>132</b>

Aplicaciones térmicas

Aplicación eléctrica

Emisiones Caldera Gestamp, astilla	Jara	CH*
NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 6%)	367	354
SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 6%)	13	17
HCl (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 6%)	0,3	0,2
Partículas (mg/Nm <sup>3</sup> ) (O <sub>2</sub> : 6%)	<b>2</b>	<b>2</b>

\*CH: combustible habitual, mezcla forestal

LÍMITES:

- **Reglamento 2015/1189:** 20mg/Nm<sup>3</sup> partículas, ecodiseño calderas de biomasa hasta 500 kW.
- **Directiva 2015/2193:** 50mg/Nm<sup>3</sup> partículas para plantas de 1-5 MW de biomasa sólida.
- **Directiva 2010/75:** 10mg/Nm<sup>3</sup> HCl para instalaciones incineración de residuos.

## COMBUSTIÓN

## EMISIONES

- El combustible del matorral presenta buen comportamiento en general, no obstante hay que regular la emisión de partículas en instalaciones medianas.
- Se han encontrado instalaciones reales con deficiente regulación, y los resultados no son relevantes, pero no asociados al combustible.
- En el sistema de producción eléctrica buscar continuidad mediante la adaptación de los sistemas de alimentación al nuevo combustible.

La emisión de partículas es controlable mediante la instalación de equipos: separadores mecánicos, precipitadores electrostáticos, filtros de mangas.  
NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, HCl: control de la composición de la biomasa (almacenamiento) y/o escalonamiento de aire, reburning, reducción catalítica, o lavadores.

## COMBUSTIÓN

## COMPORTAMIENTO CENIZAS

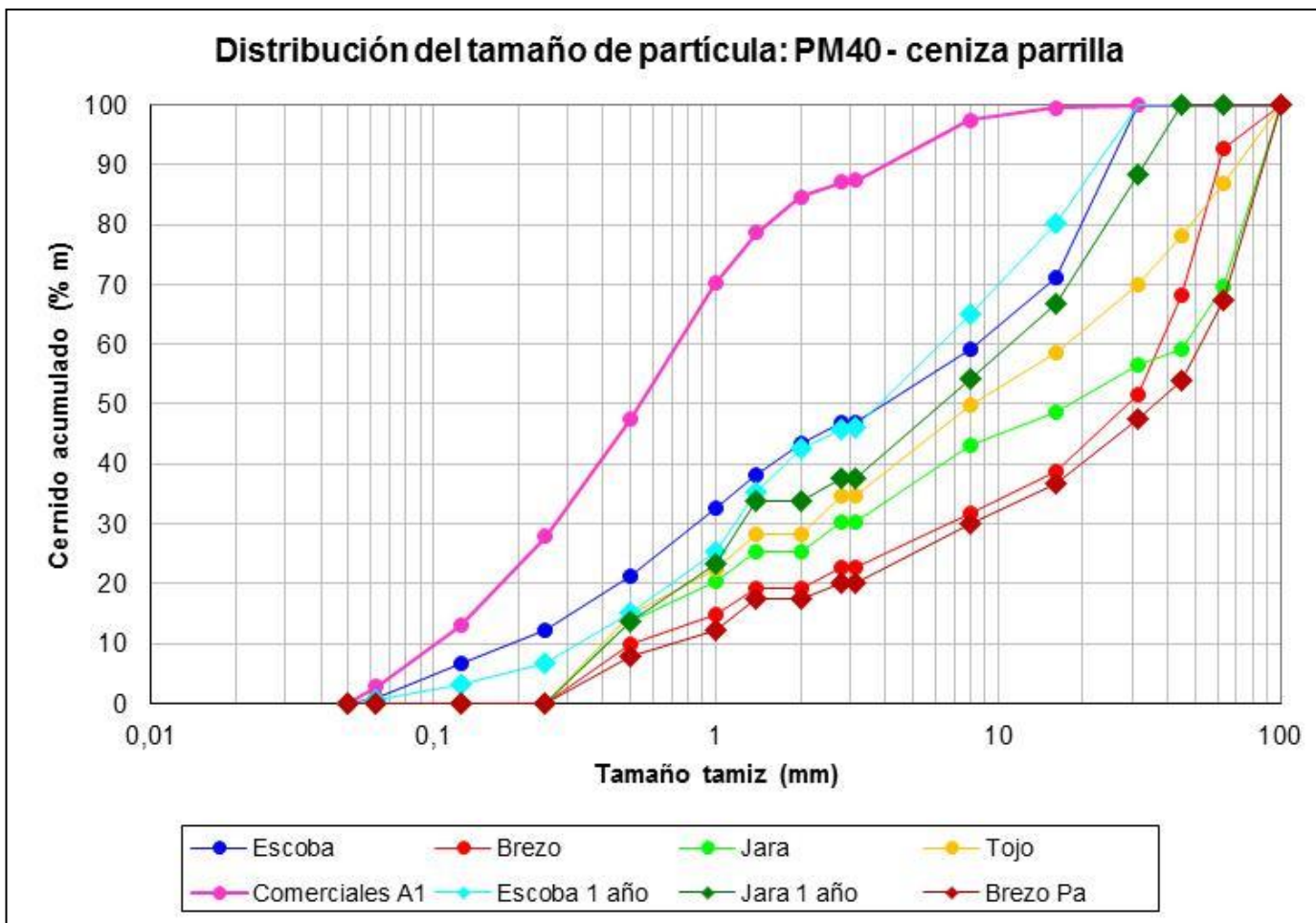
### Parrilla 40 kWt



### Parrilla 500 kWt



## Acción B2. Ensayos en laboratorio y plantas piloto:



## COMBUSTIÓN

## COMPORTAMIENTO CENIZAS

- Formación de escorias con algunos matorrales dependiendo de la caldera utilizada.
- En los ensayos realizados no han supuesto problemas de operación.
- El matorral que presenta menor tendencia a la escorificación es la escoba



## ¿SOLUCIÓN?

- Selección de la caldera más adecuada y de las condiciones de operación idóneas.

**¡ Gracias por su atención !**

