



Promoting the penetration of agrobiomass heating in European rural areas

## Entregable 6.3: Material para contenido formativo

### Beneficiarios principales



### Autores principales

Alessandro Carmona (CIRCE)

Jaime Guerrero (CIRCE)

Clara A. Jarauta Córdoba (CIRCE)



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under Grant Agreement No 818369. This document reflects only the author's view. The European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA) is not responsible for any use that may be made of the information it contains.

Ficha del entregable	
Título completo	Material para contenido formativo
Número del entregable	D6.3
Paquete de trabajo	PT6 Penetración de mercado, empoderamiento sectorial, multiplicación y visualización
Tarea(s)	T6.5 Capacitación (formación)
Beneficiario principal	CIRCE
Autores principales	Alessandro Carmona (CIRCE), Jaime Guerrero (CIRCE), Clara A. Jarauta Córdoba (CIRCE)
Versión	V8
Fecha	18 de enero de 2022
Nivel de difusión	
<input checked="" type="checkbox"/>	PU - Público
<input type="checkbox"/>	PP - Limitado a otros participantes en el programa (incluida la CE)
<input type="checkbox"/>	RE - Limitado a un grupo especificado por el consorcio (incluida la CE)
<input type="checkbox"/>	CO - Confidencial, únicamente para miembros del consorcio (incluida la CE).
Visto bueno	
Responsable de tarea	CIRCE
Responsable de PT	FBCD
Revisores	CERTH, BIOS, AILE, ZEZ, UABIO, GEA, Agronergy

Este proyecto ha recibido financiación dentro del programa marco de investigación e innovación de la Unión Europea Horizonte 2020 bajo el Acuerdo de Subvención N.º 818369.

Este documento ha sido elaborado por socios del proyecto AgroBioHeat para dar cuenta del trabajo realizado en el marco del acuerdo de subvención número 818369 de la CE.

Por la presente, se declara con respecto al Coordinador del Proyecto, a las partes suscritas al Acuerdo de Consorcio del Proyecto AgroBioHeat y a toda persona que actúe en su nombre, que:

- a. No ofrecen garantía ni representación alguna, ni expresa ni implícita, sobre:
  - el uso de información, equipos, métodos, procesos o elementos similares recogidos en este documento, incluido su potencial comercial y aptitud para un fin concreto;
  - el hecho de que dicho uso pudiera incumplir o afectar derechos de propiedad privada, incluida la propiedad intelectual de cualquiera de las partes;
  - que este documento sea adecuado para las circunstancias de un usuario en particular.
- b. No se hacen responsables de los daños y perjuicios o de cualquier otra responsabilidad (incluidos los daños emergentes, incluso cuando se haya advertido de la posibilidad de tales daños al Coordinador del Proyecto u otro representante de una parte suscrita al Acuerdo de Consorcio del Proyecto AgroBioHeat) que pueda resultar de la selección o del uso de este documento o de la información, equipos, métodos, procesos o elementos similares recogidos en el mismo.

## Índice:

- 1. Tipos de agrobiomasa**
- 2. Combustión de la biomasa**
- 3. Tecnologías de combustión de la agrobiomasa**
  - 3.1 Tipos de tecnología
  - 3.2 Innovaciones principales
  - 3.3 Casos de éxito de combustión de la agrobiomasa
- 4. Operación de las instalaciones de agrobiomasa**
  - 4.1 Problemas técnicos habituales y soluciones
  - 4.2 Agronergy: «Diseño para la resolución de problemas»
- 5. Emisiones generadas en el proceso de combustión de la agrobiomasa**
  - 5.1 Tipos de compuestos, problemas asociados y límites de emisiones
  - 5.2 Marco normativo
- 6. Tipos y fuentes de recursos y logística de recolección**
  - 6.1 Fuentes de localización de recursos (herramientas útiles y mapeo)
  - 6.2 Logística de recolección
  - 6.3 Costes de recolección y maquinaria necesaria



## Índice:



- 1. Tipos de agrobiomasa**
- 2. Combustión de la biomasa**
- 3. Tecnologías de combustión de la agrobiomasa**
  - 3.1 Tipos de tecnología
  - 3.2 Innovaciones principales
  - 3.3 Casos de éxito de combustión de la agrobiomasa
- 4. Operación de las instalaciones de agrobiomasa**
  - 4.1 Problemas técnicos habituales y soluciones
  - 4.2 Agronergy: «Diseño para la resolución de problemas»
- 5. Emisiones generadas en el proceso de combustión de la agrobiomasa**
  - 5.1 Tipos de compuestos, problemas asociados y límites de emisiones
  - 5.2 Marco normativo
- 6. Tipos y fuentes de recursos y logística de recolección**
  - 6.1 Fuentes de localización de recursos (herramientas útiles y mapeo)
  - 6.2 Logística de recolección
  - 6.3 Costes de recolección y maquinaria necesaria





- Uno de los residuos agrícolas más abundantes. Consiste en tallos secos de plantas de cereales - De especial relevancia en Dinamarca debido a su uso actual y en España y Ucrania por su potencial detectado.
- Forma: Balas
- Rendimiento: 2,5-4 toneladas (materia seca)/hectárea
- Uso: Generación directa de electricidad o calor
- Potencial: 127 millones de toneladas de materia seca (TMS) en la UE



## Propiedades indicativas de la paja como combustible

Propiedad	Unidad	Paja de trigo
Humedad, H	peso en % (sin modificar)	15
Ceniza, C	peso en % (base seca)	5,0
Poder Calorífico Neto, PCN	MJ/kg sin modificar	14,6
Densidad Aparente, DA	kg/m <sup>3</sup> sin modificar	100 (balas) / 60 (cortado)
Densidad energética	MWh/m <sup>3</sup> sin modificar	0,41 (balas) / 0,24 (cortado)
Nitrógeno, N	peso en % (base seca)	0,5
Azufre, S	peso en % (base seca)	0,1
Cloro, Cl	peso en % (base seca)	0,4
Calcio, Ca	mg/kg base seca	4.000
Potasio, K	mg/kg base seca	10.000
Sodio, Na	mg/kg base seca	500
Silicio, Si	mg/kg base seca	10.000

NOTA: VALORES INDICATIVOS

Fuente: AgroBioHeat D4.2 - Combustibles de agrobiomasa y sistemas de aprovechamiento

Fuentes de información adicional:

Anexo B de la UNE-EN ISO 17225-1

- Práctica hortícola establecida que consiste en podar y retirar partes concretas de un árbol. El concepto hace referencia también a la biomasa residual obtenida mediante dicha práctica. En algunos casos, se puede recoger por separado las partes leñosas más gruesas obtenidas de la poda para su uso como leña. Sin embargo, la mayor parte de la biomasa de la poda se queda en el campo y se quema en hogueras o, con menor frecuencia, se echa como mantillo.
- El arranque de plantaciones (AP) consiste en retirar árboles una vez alcanzado el final del ciclo de vida de una plantación.
- Forma: poda - balas o combust. desmenuzado; AP - leña o combust. desmenuzado.
- Rendimiento: poda: 1-5 toneladas (materia seca)/hectárea; AP: 50 toneladas/hectárea.
- Uso: poco aprovechado.
- Potencial: 11,5 millones de toneladas de materia seca (TMS) en la UE.



### Propiedades indicativas de la poda agrícola como combustible

Propiedad	Unidad	Comb. desmenuzado de poda de olivo	Pellets de poda de viñedos
Humedad, H	%m a.r.	27	10
Ceniza, C	%m d.b.	4,2	4,5
Poder Calorífico Neto, PCN	MJ/kg a.r.	12,9	15,7
Densidad Aparente, DA	kg/m <sup>3</sup> a.r.	230	710
Densidad energética	MWh/m <sup>3</sup> a.r.	0,83	3,10
Nitrógeno, N	%m d.b.	0,93	0,81
Azufre, S	%m d.b.	0,08	0,07
Cloro, Cl	%m d.b.	0,04	0,02
Calcio, Ca	mg/kg d.b.	9.000	10.000
Potasio, K	mg/kg d.b.	5.600	5.400
Sodio, Na	mg/kg d.b.	460	170
Silicio, Si	mg/kg d.b.	2.100	2.800

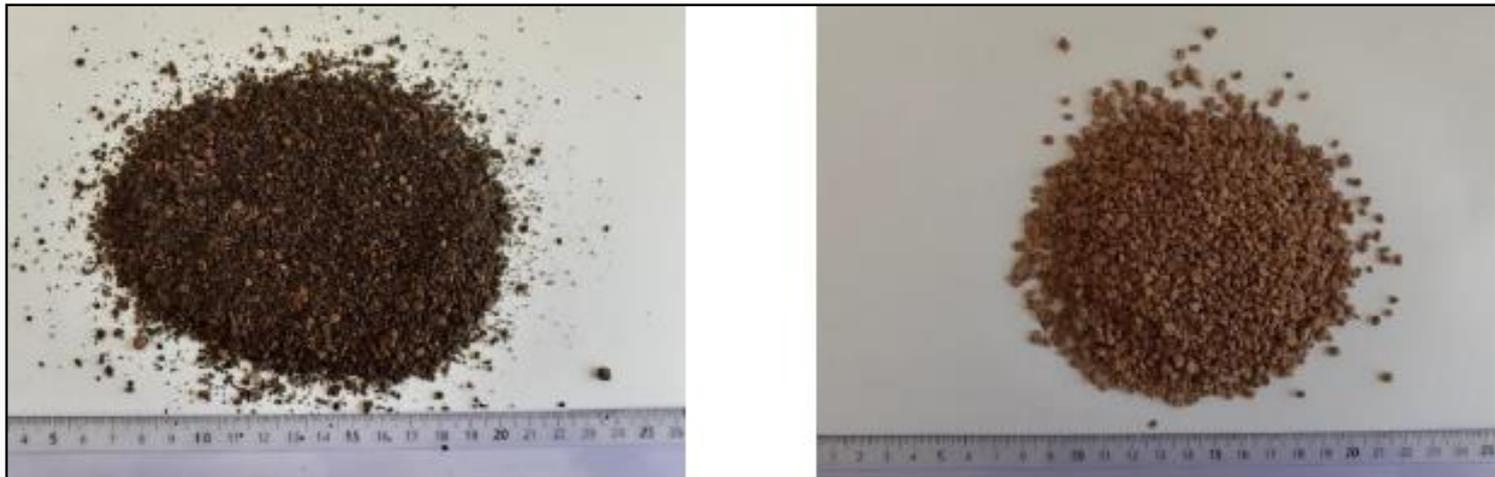
**Nota: Valores indicativos**

Fuente: AgroBioHeat D4.2 - Combustibles de agrobiomasa y sistemas de aprovechamiento

Fuentes de información adicional:

Anexo B de la UNE-EN ISO 17225-1, Entregable D3.2 del proyecto BIOmasud Plus

- Derivado del procesamiento del aceite de oliva: orujillo. Puede servir como combustible industrial, pero presenta limitaciones. Los huesos de aceituna se podrían utilizar para calefacción doméstica.
- Forma: combustible granulado triturado.
- Rendimiento: 10-20 % del fruto entero.
- Uso: calor (industrial o doméstico) + producción de carbón activado.
- Potencial: 770.000 toneladas secas (en la UE).
- Certificación: BIOmasud.



## Propiedades indicativas de los huesos de aceituna

Propiedad	Unidad	Huesos de aceituna	Límites de clasificación de BIOMasud® (v15.0)		
			A1	A2	B
Humedad, H	%m a.r.	15	≤ 12	≤ 12	≤ 16
Ceniza, C	%m d.b.	1,2	≤ 0,7	≤ 1,0	≤ 1,5
Poder Calórico Neto, PCN	MJ/kg a.r.	15,8	≥ 15,7	≥ 15,7	≥ 14,9
Densidad Aparente, DA	kg/m <sup>3</sup> a.r.	730	≥ 700	≥ 650	≥ 600
Densidad energética	MWh/m <sup>3</sup> a.r.	3,20	≥ 3,05*	≥ 2,83*	≥ 2,48*
Nitrógeno, N	%m d.b.	0,3	≤ 0,3	≤ 0,4	≤ 0,6
Azufre, S	%m d.b.	0,02	≤ 0,03	≤ 0,04	≤ 0,05
Cloro, Cl	%m d.b.	0,1	≤ 0,03	≤ 0,04	≤ 0,05
Calcio, Ca	mg/kg d.b.	1.300	-	-	-
Potasio, K	mg/kg d.b.	2.300	-	-	-
Sodio, Na	mg/kg d.b.	600	-	-	-
Silicio, Si	mg/kg d.b.	900	-	-	-

Nota: Valores indicativos

Fuente: AgroBioHeat D4.2 - Combustibles de agrobiomasa y sistemas de aprovechamiento

Fuentes de información adicional:

Anexo B de la UNE-EN ISO 17225-1, Entregable D3.2 del proyecto BIOMasud Plus

- Derivado de la industria del mondado de frutos secos. Buen contenido energético con poca humedad y ceniza.
- Forma: combustible granulado triturado.
- Rendimiento: 50 % del peso del fruto seco.
- Uso: calor (industrial o doméstico) + producción de carbón activado, furfural y cubierta del suelo.
- Potencial: 270.000 toneladas secas (en la UE).
- Certificación: BIOmasud.



## Propiedades indicativas de las cáscaras de almendra

Propiedad	Unidades	Cáscaras de almendra	Límites de clasificación de BIOmasud® (v15.0)		
			A1	A2	B
Humedad, H	%m a.r.	11	≤ 12	≤ 12	≤ 16
Ceniza, C	%m d.b.	1,6	≤ 0,7	≤ 1,5	≤ 2,0
Poder Calórico Neto, PCN	MJ/kg a.r.	16,1	≥ 15,0	≥ 15,0	≥ 14,2
Densidad Aparente, DA	kg/m <sup>3</sup> a.r.	410	≥ 500	≥ 300	≥ 270
Densidad energética	MWh/m <sup>3</sup> a.r.	1,83	≥ 2,08*	≥ 1,25*	≥ 1,07*
Nitrógeno, N	%m d.b.	0,4	≤ 0,4	≤ 0,6	≤ 0,8
Azufre, S	%m d.b.	0,01	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,04
Cloro, Cl	%m d.b.	0,02	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,03
Calcio, Ca	mg/kg d.b.	1.300	-	-	-
Potasio, K	mg/kg d.b.	4.600	-	-	-
Sodio, Na	mg/kg d.b.	2.500	-	-	-
Silicio, Si	mg/kg d.b.	630	-	-	-

Nota: Valores indicativos

Fuente: AgroBioHeat D4.2 - Combustibles de agrobiomasa y sistemas de aprovechamiento

Fuentes de información adicional:

Anexo B de la UNE-EN ISO 17225-1, Entregable D3.2 del proyecto BIOmasud Plus

- Cultivo herbáceo de semilla oleaginosa. Derivado del proceso de extracción del aceite de girasol. Alto contenido energético, bajo precio y alta densidad energética
- Forma: combustible granulado o mejorado en forma de pellets/briquetas
- Rendimiento: 20-30 % del peso total de la semilla procesada
- Uso: combustible industrial para la generación de calor/electricidad
- Potencial: 18 millones de hectáreas



## Propiedades indicativas de los pellets de cáscaras de pipas

Propiedad	Unidad	Pellets de cáscaras de pipas
Humedad, H	%m a.r.	10
Ceniza, C	%m d.b.	4,0
Poder Calorífico Neto, PCN	MJ/kg a.r.	15,7
Densidad Aparente, DA	kg/m <sup>3</sup> a.r.	550
Densidad energética	MWh/m <sup>3</sup> a.r.	2,40
Nitrógeno, N	%m d.b.	0,8
Azufre, S	%m d.b.	0,1
Cloro, Cl	%m d.b.	0,06
Calcio, Ca	mg/kg d.b.	5.000
Potasio, K	mg/kg d.b.	11.000
Sodio, Na	mg/kg d.b.	50
Silicio, Si	mg/kg d.b.	600

Nota: Valores indicativos

Fuente: AgroBioHeat D4.2 - Combustibles de agrobiomasa y sistemas de aprovechamiento

- Plantas cultivadas especialmente por su valor energético.
- ABH se centra en aquellos empleados en procesos de conversión termoquímica.
- Pueden ser herbáceos (miscanthus) o leñosos (álamo, sauce).
- Se adaptan a diferentes condiciones climáticas y de suelo.



- 17 especies de gramíneas altas rizomatosas no-leñosas.
- Se adapta de manera excepcional a diferentes climas con gran resistencia a enfermedades y plagas.
- Forma: segado o en balas, triturado. También convertido en pellets/briquetas.
- Rendimiento: variable. 10 toneladas de materia seca/hectárea.
- Uso: combustible para la generación de calor, electricidad o cogeneración.
- Potencial: al menos 24.620 hectáreas en Europa, con un rendimiento de 10-50 TMS/ha, en función del momento de cosecha, el suelo, las condiciones climáticas y la gestión\*.



AgroBioHeat D4.2 - Combustibles de agrobiomasa y sistemas de aprovechamiento

\*Ben Fradj, N. et al, Industrial Crops & Products 148 (2020) 1122814

## Propiedades indicativas del miscanthus como combustible

Propiedad	Unidad	Miscanthus
Humedad, H	%m a.r.	15
Ceniza, C	%m d.b.	4,0
Poder Calorífico Neto, PCN	MJ/kg a.r.	14,7
Densidad Aparente, DA	kg/m <sup>3</sup> a.r.	130 (triturado)
Densidad energética	MWh/m <sup>3</sup> a.r.	0,53 (triturado)
Nitrógeno, N	%m d.b.	0,7
Azufre, S	%m d.b.	0,2
Cloro, Cl	%m d.b.	0,2
Calcio, Ca	mg/kg d.b.	2.000
Potasio, K	mg/kg d.b.	7.000
Sodio, Na	mg/kg d.b.	70
Silicio, Si	mg/kg d.b.	8.000

Nota: Valores indicativos

Fuente: AgroBioHeat D4.2 - Combustibles de agrobiomasa y sistemas de aprovechamiento

- Árboles leñosos de crecimiento rápido - alto rendimiento de biomasa en periodos cortos.
- Sauce, álamo y aliso o eucalipto. Ciclos de tres años en 20-25 años.
- Forma: astillas, pellets.
- Rendimiento: variable. 5-18 toneladas de materia seca/hectárea.
- Uso: procesos de combustión. También en la industria de la pulpa y el papel.
- Potencial: 206.910 ha de álamo (rendimiento de biomasa medio de 5,3 t/ha/año \*) y 19.378 ha de sauce (rendimiento de biomasa medio de 6,6 t/ha/año \*\*).
- Certificación: ENplus (SRC pellets) y GoodChips (SRC astillas de madera).



AgroBioHeat D4.2 - Combustibles de agrobiomasa y sistemas de aprovechamiento

\*Dillen, S.Y. et al., Biomass and Bioenergy, 56 (2013) 157-165

\*\*Kulig B., et al., Plant Soil Environ., 65 (2019):377-386.

## Propiedades indicativas del SRC (sauce, álamo)

Propiedad	Unidad	Sauce y álamo
Humedad, H	%m a.r.	50 (fresco)
Ceniza, C	%m d.b.	2,0
Poder Calorífico Neto, PCN	MJ/kg a.r.	8,0
Densidad Aparente, DA	kg/m <sup>3</sup> a.r.	250 (astillas)
Densidad energética	MWh/m <sup>3</sup> a.r.	0,56 (astillas)
Nitrógeno, N	%m d.b.	0,5
Azufre, S	%m d.b.	0,04
Cloro, Cl	%m d.b.	0,02
Calcio, Ca	mg/kg d.b.	5.000
Potasio, K	mg/kg d.b.	2.500
Sodio, Na	mg/kg d.b.	25
Silicio, Si	mg/kg d.b.	500

**Nota: Valores indicativos**

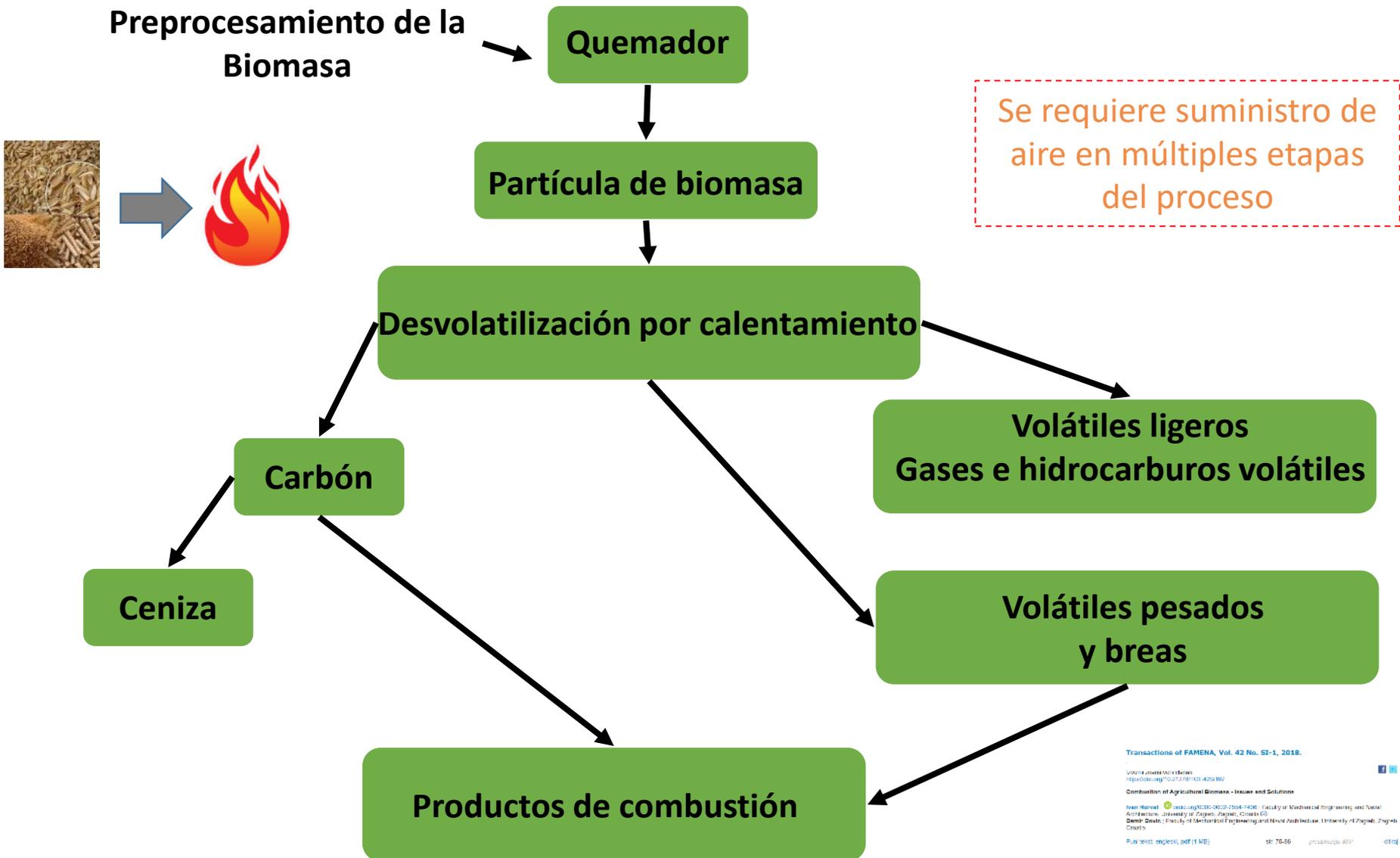
Fuente: AgroBioHeat D4.2 - Combustibles de agrobiomasa y sistemas de aprovechamiento

## Índice:



1. Tipos de agrobiomasa
2. **Combustión de la biomasa**
3. **Tecnologías de combustión de la agrobiomasa**
  - 3.1 Tipos de tecnología
  - 3.2 Innovaciones principales
  - 3.3 Casos de éxito de combustión de la agrobiomasa
4. **Operación de las instalaciones de agrobiomasa**
  - 4.1 Problemas técnicos habituales y soluciones
  - 4.2 Agronergy: «Diseño para la resolución de problemas»
5. **Emisiones generadas en el proceso de combustión de la agrobiomasa**
  - 5.1 Tipos de compuestos, problemas asociados y límites de emisiones
  - 5.2 Marco normativo
6. **Tipos y fuentes de recursos y logística de recolección**
  - 6.1 Fuentes de localización de recursos (herramientas útiles y mapeo)
  - 6.2 Logística de recolección
  - 6.3 Costes de recolección y maquinaria necesaria

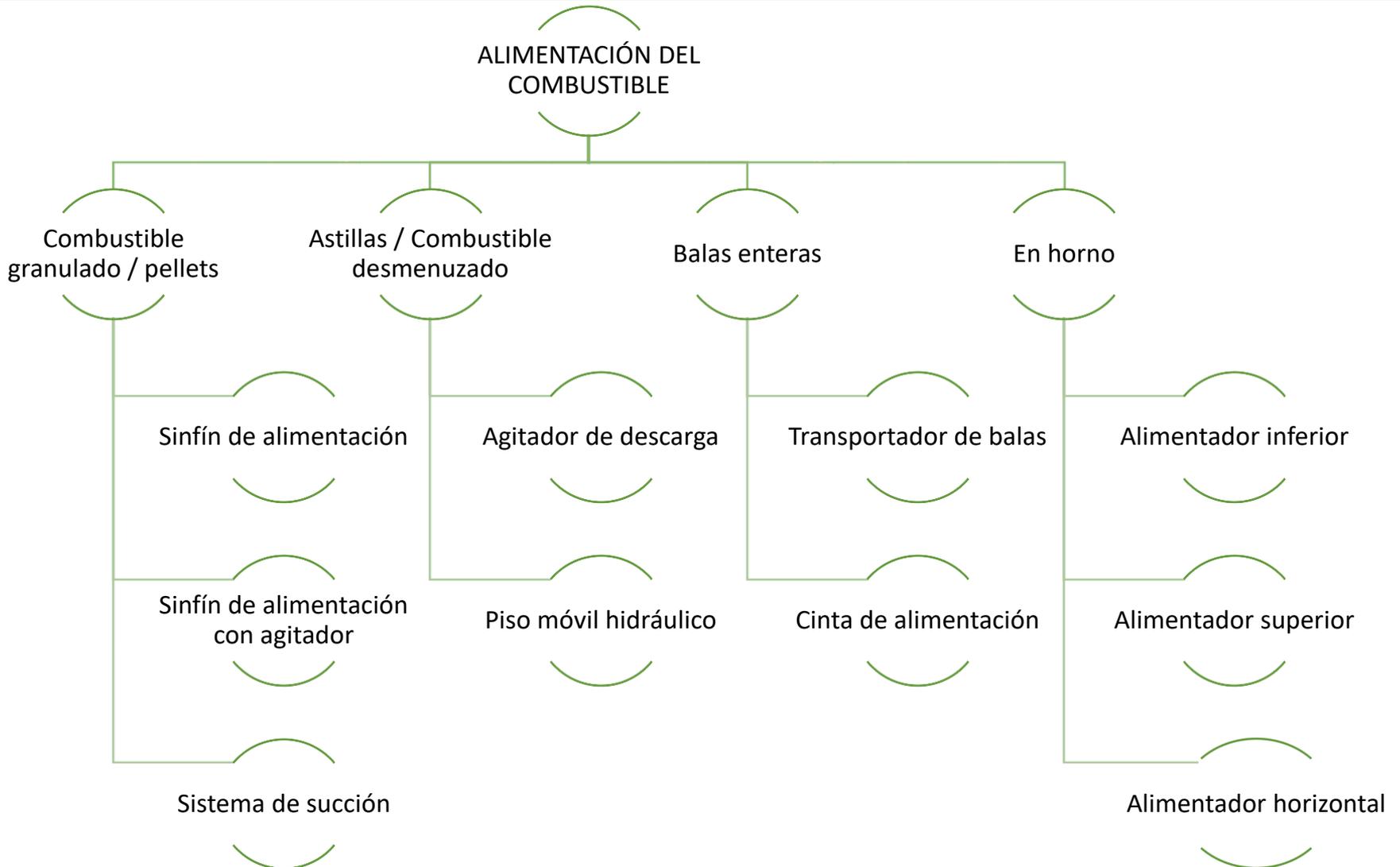




## Índice:

1. **Tipos de agrobiomasa**
2. **Combustión de la biomasa**
3. **Tecnologías de combustión de la agrobiomasa**
  - 3.1 Tipos de tecnología**
  - 3.2 Innovaciones principales
  - 3.3 Casos de éxito de combustión de la agrobiomasa
4. **Operación de las instalaciones de agrobiomasa**
  - 4.1 Problemas técnicos habituales y soluciones
  - 4.2 Agronergy: «Diseño para la resolución de problemas»
5. **Emisiones generadas en el proceso de combustión de la agrobiomasa**
  - 5.1 Tipos de compuestos, problemas asociados y límites de emisiones
  - 5.2 Marco normativo
6. **Tipos y fuentes de recursos y logística de recolección**
  - 6.1 Fuentes de localización de recursos (herramientas útiles y mapeo)
  - 6.2 Logística de recolección
  - 6.3 Costes de recolección y maquinaria necesaria



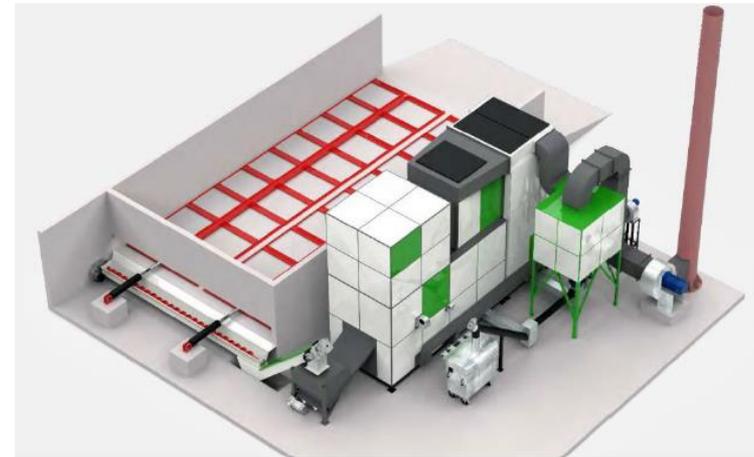


D4.2 Combustibles de agrobiomasa y sistema de uso - AgroBioheat

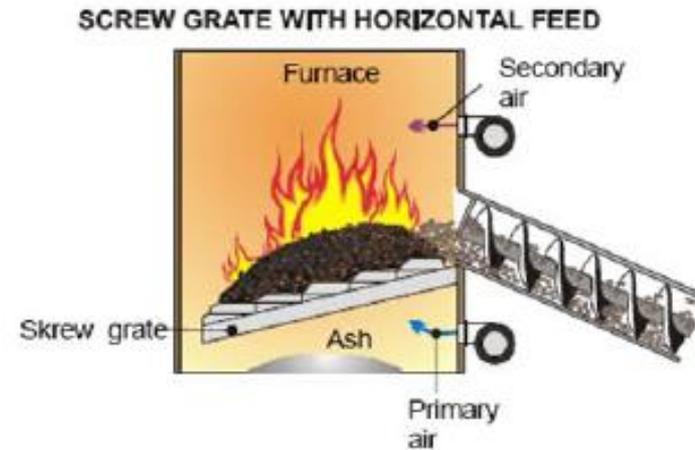
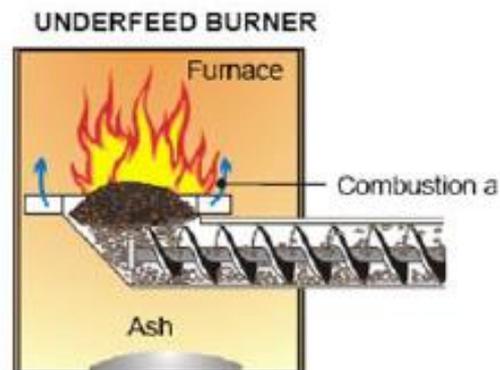
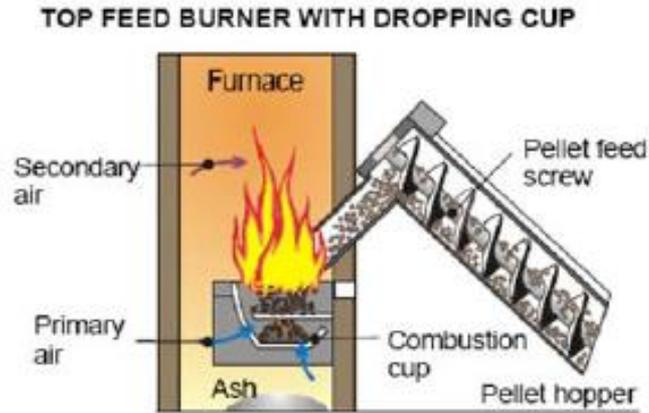
- Sistemas de alimentación para combustible granulado/pellets:
  - Sinfín de alimentación
  - Sinfín de alimentación con agitador
  - Sistema de succión



- Sistemas de alimentación para astillas/combustible desmenuzado:
  - Agitador de descarga
  - Piso móvil hidráulico
  
- Sistemas de alimentación para balas enteras:
  - Empujador de balas con pistón hidráulico
  - Las balas recorren una cinta de alimentación hasta la trituradora y después a la caldera mediante un sinfín de alimentación
  - Sistemas semicontinuos



- Sistema de alimentación de combustible en horno



- Sistemas de combustión:

- Combustión de lecho fijo
  - Parrillas fijas
  - Parrillas móviles
  - Parrillas de cadena
  - Parrillas giratorias
  - Parrillas vibradoras
  - Alimentadores inferiores

- Lecho fluido

- Combustión pulverizada

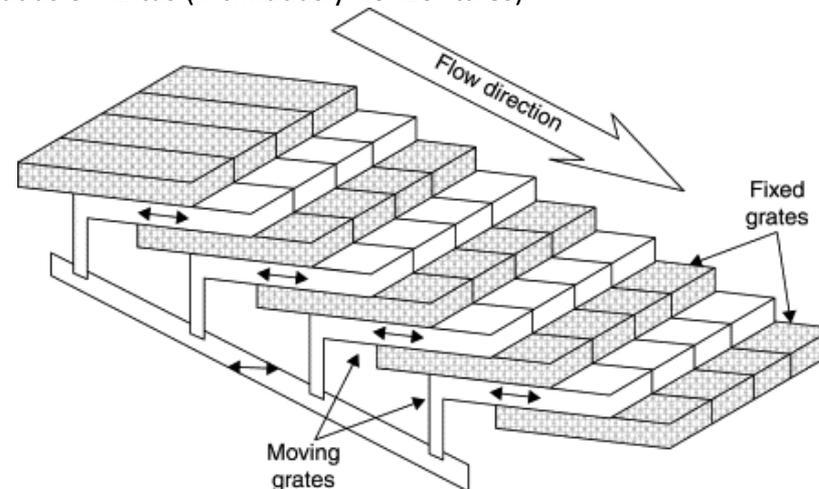


- Combustión de lecho fijo: para sistemas de combustión pequeños y medianos. Capaz de quemar una amplia gama de combustibles con menos preparación y manipulación.
  - Parrillas fijas: la tecnología más simple, empleada únicamente a pequeña escala.



D4.2 Combustibles de agrobiomasa y sistema de uso - AgroBioHeat

- Combustión de lecho fijo: para sistemas de combustión pequeños y medianos. Capaz de quemar una amplia gama de combustibles con menos preparación y manipulación.
- Parrillas móviles: mayor velocidad de combustión y eficiencia. El combustible sólido se desplaza por la parrilla desde la zona de entrada hasta el punto de descarga de ceniza.
  - Parrillas de cadena
  - Parrillas reciprocantes: Horizontales, inclinadas o mixtas (inclinadas y horizontales)
  - Parrillas vibratoras



Ejemplo de parrillas reciprocantes

- Combustión de lecho fijo: para sistemas de combustión pequeños y medianos. Capaz de quemar una amplia gama de combustibles con menos preparación y manipulación.
  - Sistemas de alimentación con tornillo sinfín



- Combustión de lecho fijo: para sistemas de combustión pequeños y medianos. Capaz de quemar una amplia gama de combustibles con menos preparación y manipulación.
  - Alimentadores inferiores
  - Calderas de gasificación



- Sistemas domésticos: si bien los equipos modernos, como las calderas de pellets que van ganando popularidad, alcanzan una eficiencia de hasta el 90 %, la inmensa mayoría de sistemas domésticos de biomasa en uso son estufas tradicionales de eficiencia baja (5-30 %) utilizados en países en desarrollo.

- Estufas

- Corriente ascendente
- Corriente descendente
- Corriente cruzada
- Flujo en «S» o estufa de zona dual

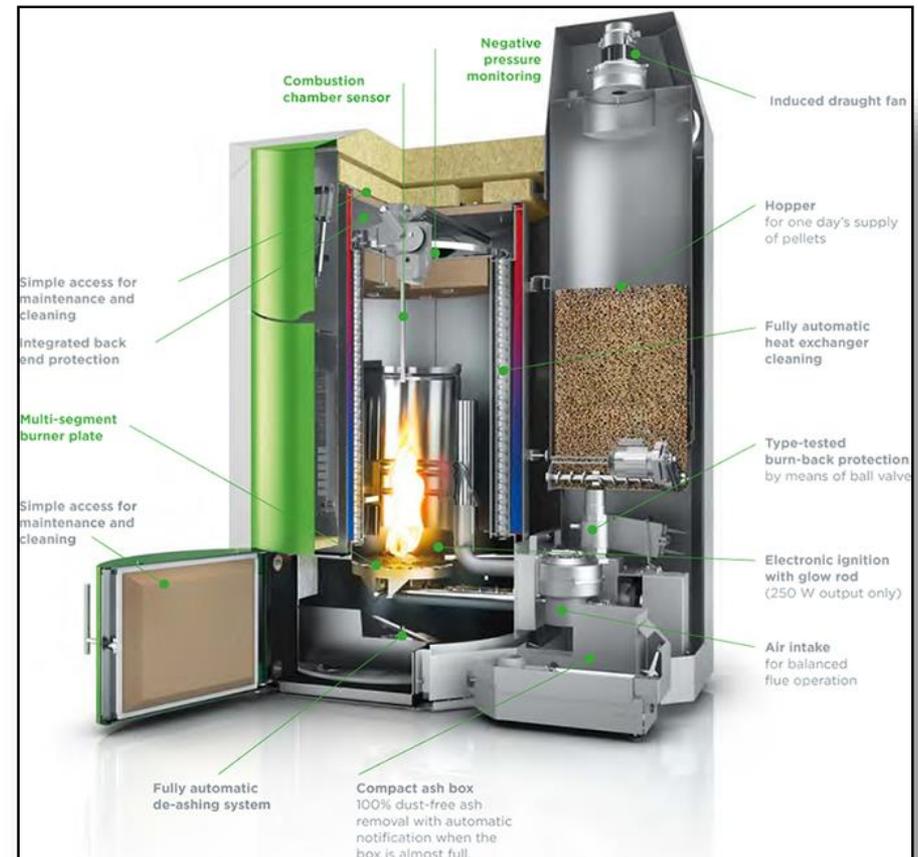
- Calderas

- Aire secundario
- Aire primario
- Corriente descendente

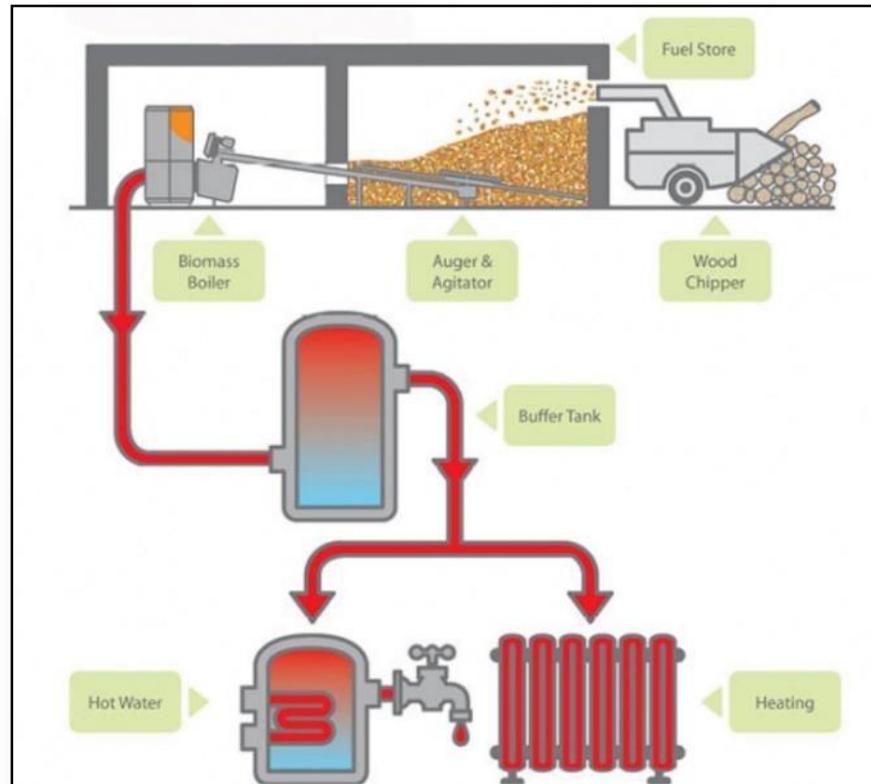


- Calderas de pellets: presentan grandes ventajas respecto a los sistemas convencionales de combustión de biomasa; entre ellas, menores emisiones y el uso de un combustible limpio y fácil de usar y de almacenar.

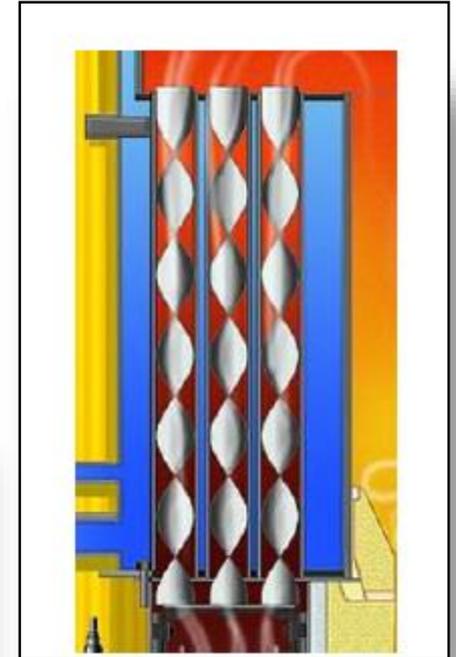
- Quemadores verticales
  - Quemadores de alimentación superior
  - Quemadores de alimentación inferior
- Quemadores horizontales



- Calderas de astillas de madera: a pequeña escala, entre las ventajas de las calderas de astillas de madera frente a las de leña destaca el funcionamiento automático y las bajas emisiones debidas a la combustión continua.



- INTERCAMBIADORES DE CALOR
  - Limpieza automática de intercambiadores de calor
    - Por medios mecánicos
    - Por aire presurizado



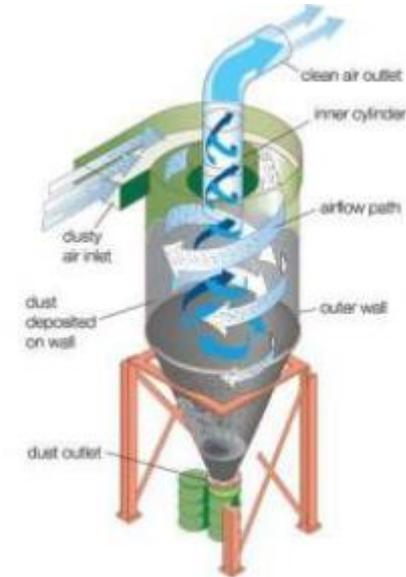
## • SISTEMAS DE RETIRADA DE CENIZA

- La retirada de ceniza suele suponer un problema fundamental.
- El sistema de retirada de ceniza reviste gran importancia.
- Limpieza de la ceniza de la parrilla y del intercambiador de calor: contenedor de ceniza.
- Tornillo de retirada de ceniza que transporta la ceniza hasta el contenedor.
- Pueden emplearse sistemas de compactación de ceniza.



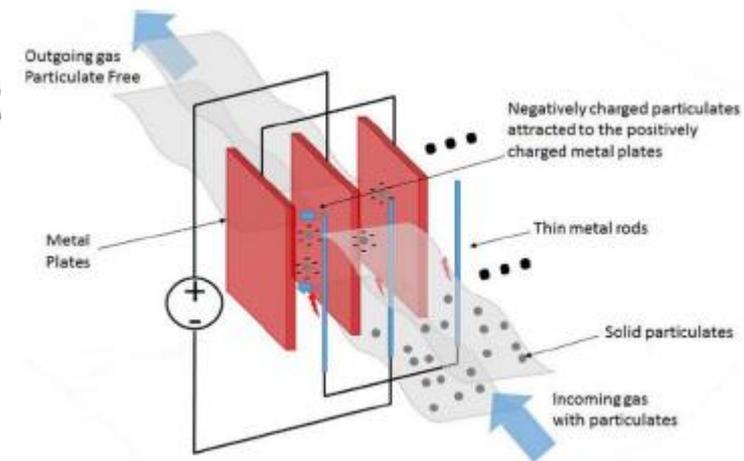
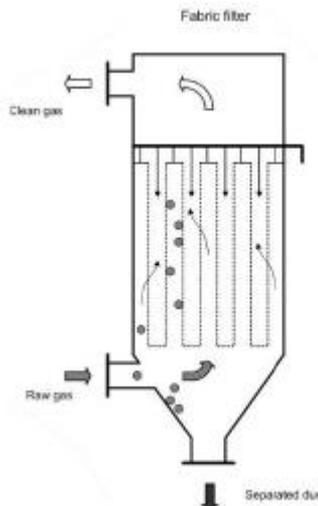
- SISTEMAS DE CONTROL

- Control de carga
- Control de combustión
- Control de temperatura del horno
- Control de presión del horno
- Circuito de control para fines de seguridad operativa



- SISTEMAS DE LIMPIEZA DE GASES DE COMBUSTIÓN

- Control del polvo
  - Ciclones
  - Filtros de tela
  - Precipitadores electrostáticos



## Índice:

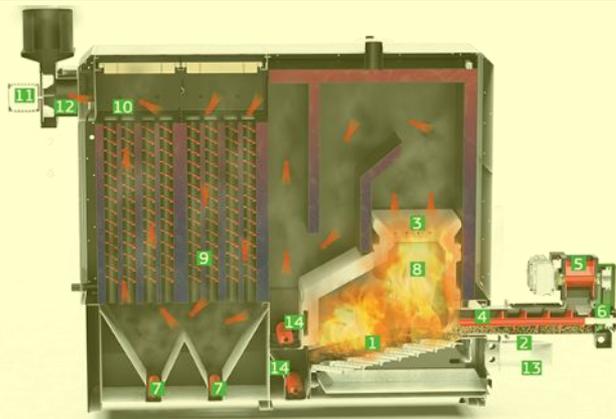
1. **Tipos de agrobiomasa**
2. **Combustión de la biomasa**
3. **Tecnologías de combustión de la agrobiomasa**
  - 3.1 Tipos de tecnología
  - 3.2 Innovaciones principales**
  - 3.3 Casos de éxito de combustión de la agrobiomasa
4. **Operación de las instalaciones de agrobiomasa**
  - 4.1 Problemas técnicos habituales y soluciones
  - 4.2 Agronergy: «Diseño para la resolución de problemas»
5. **Emisiones generadas en el proceso de combustión de la agrobiomasa**
  - 5.1 Tipos de compuestos, problemas asociados y límites de emisiones
  - 5.2 Marco normativo
6. **Tipos y fuentes de recursos y logística de recolección**
  - 6.1 Fuentes de localización de recursos (herramientas útiles y mapeo)
  - 6.2 Logística de recolección
  - 6.3 Costes de recolección y maquinaria necesaria





	Parrilla móvil	Concepto de gasificación
<b>Madurez de mercado</b>	Uso extendido / numerosos fabricantes y modelos	Concepto innovador / ofertado por pocos fabricantes
<b>Rangos de potencia</b>	~ 30 kW - 150 MW	~ 30 kW - 20 MW
<b>Contaminantes sin quemar</b>	Separación convencional por zonas de aire	Separación extrema por zonas de aire
<b>Emisiones de partículas</b>	Mayor reducción mediante medidas secundarias (p.ej. PES, filtros de bolsa)	Emisiones bajas logradas sin necesidad de medidas secundarias
<b>Emisiones de NOx</b>	Medidas primarias Podrán aplicarse medidas secundarias a partir de 1 MW	Medidas primarias (potencial de mayor reducción respecto a sistemas de combustión con parrilla)

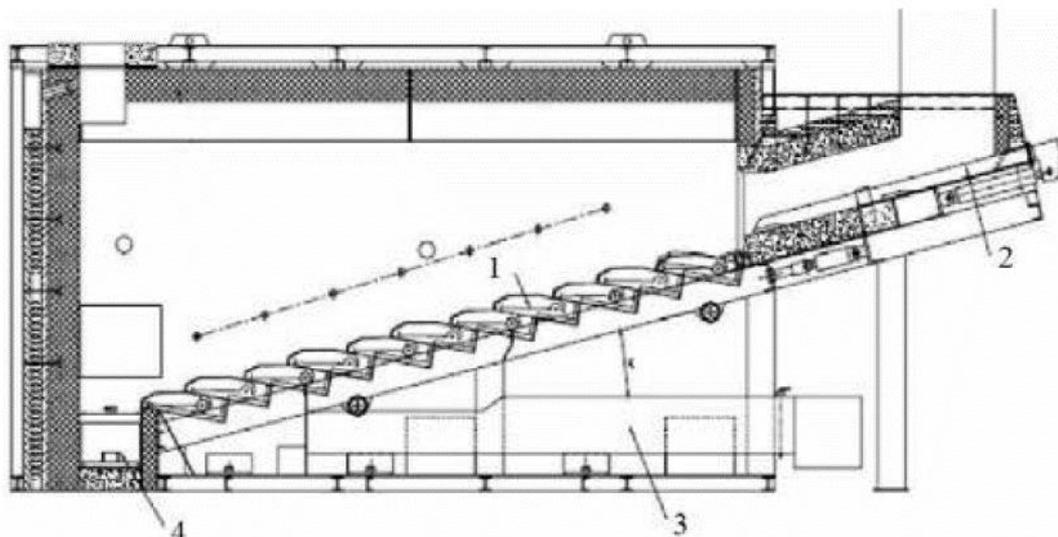
Fuentes de imágenes: Camino Design (izquierda), Windhager (derecha)



	Parrilla móvil	Concepto de gasificación
<b>Madurez de mercado</b>	Uso extendido / numerosos fabricantes y modelos	Concepto innovador / ofertado por pocos fabricantes
<b>Rangos de potencia</b>	~ 30 kW - 150 MW	~ 30 kW - 20 MW
<b>Contaminantes sin quemar</b>	Separación convencional por zonas de aire	Separación extrema por zonas de aire
<b>Emisiones de partículas</b>	Mayor reducción mediante medidas secundarias (p.ej. PES, filtros de bolsa)	Emisiones bajas logradas sin necesidad de medidas secundarias
<b>Emisiones de NOx</b>	Medidas primarias Podrán aplicarse medidas secundarias a partir de 1 MW	Medidas primarias (potencial de mayor reducción respecto a sistemas de combustión con parrilla)

Fuentes de imágenes: Camino Design (izquierda), Windhager (derecha)

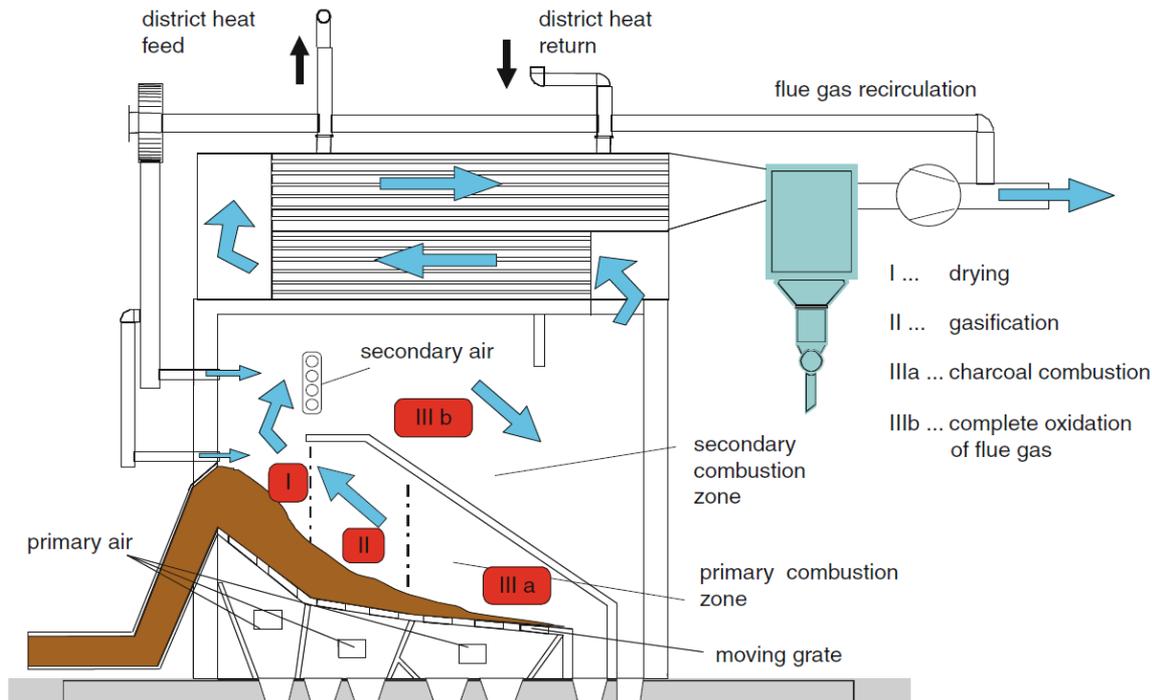
- Los hornos de parrilla móvil suelen presentar una parrilla inclinada que consta de una serie de filas de barras fijas y móviles.
- Al alternar los movimientos horizontales de las partes móviles hacia delante y hacia atrás, la biomasa se desplaza por la parrilla.
- Se mezclan partículas de biomasa quemadas y sin quemar.
- Se renuevan las superficies del lecho de combustible y se posibilita una distribución más uniforme de la biomasa sobre la superficie de la parrilla.
- Es importante para conseguir una distribución igual de aire primaria por todo el lecho de biomasa.



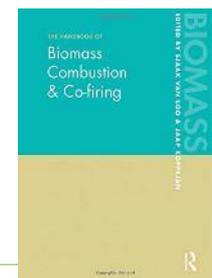
1. Parrillas de combustión móviles en el horno
2. Suministro de biomasa
3. Canales de aire
4. Rasqueta de ceniza

Fuente de imagen: Krawczyk D., 2019, Bulidings 2020+ . Energy sources, DOI: 10.24427/978-83-65596-73-4

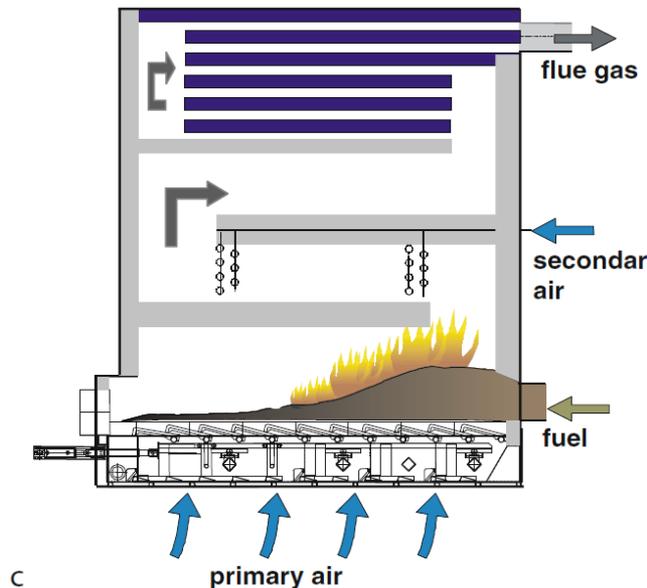
- La parrilla se suele dividir en varias secciones que pueden moverse a diferentes velocidades en función de las distintas fases de combustión.
- Las barras de la parrilla se mueven mediante cilindros hidráulicos.
- Las barras son de aleaciones de acero con resistencia al calor.
- Presentan pequeñas canalizaciones en las paredes laterales para el suministro de aire primaria.

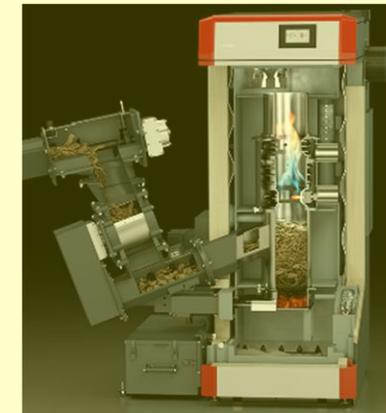


Fuente de imagen: Obernberger, et al., "Biomass energy heat provision in modern large-scale systems." Encyclopedia of Sustainability Science and Technology. Springer US, 2012



- Las parrillas móviles horizontales presentan un lecho de combustión totalmente horizontal debido a la posición diagonal de las barras.
- Impide movimientos descontrolados del combustible en la parrilla por gravedad.
- Distribución homogénea del material sobre la superficie de la parrilla.
- Menor formación de escoria como consecuencia de puntos calientes.
- Para evitar que las partículas de ceniza y combustible se cuelen por las barras, deberán cargarse de antemano de modo que no haya huecos entre barras.





	Parrilla móvil
<b>Madurez de mercado</b>	Uso extendido / numerosos fabricantes y modelos
<b>Rangos de potencia</b>	~ 30 kW - 150 MW
<b>Contaminantes sin quemar</b>	Separación convencional por zonas de aire
<b>Emisiones de partículas</b>	Mayor reducción mediante medidas secundarias (p.ej. PES, filtros de bolsa)
<b>Emisiones de NOx</b>	Medidas primarias Podrán aplicarse medidas secundarias a partir de 1 MW

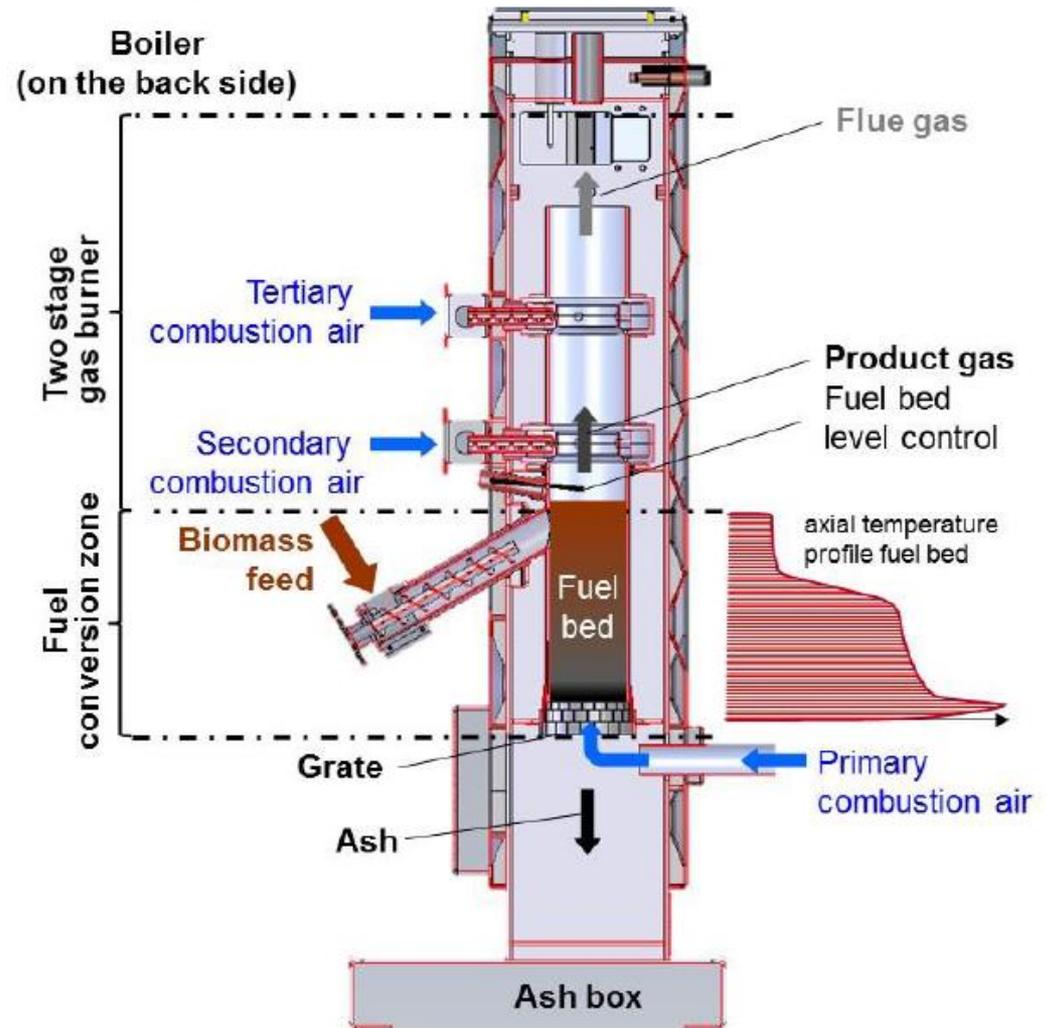
	Concepto de gasificación
<b>Madurez de mercado</b>	Concepto innovador / ofertado por pocos fabricantes
<b>Rangos de potencia</b>	~ 30 kW - 20 MW
<b>Contaminantes sin quemar</b>	Separación extrema por zonas de aire
<b>Emisiones de partículas</b>	Emisiones bajas logradas sin necesidad de medidas secundarias
<b>Emisiones de NOx</b>	Medidas primarias (potencial de mayor reducción respecto a sistemas de combustión con parrilla)

Fuentes de imágenes: Camino Design (izquierda), Windhager (derecha)

Hacia una mayor flexibilidad de combustible y cero emisiones.

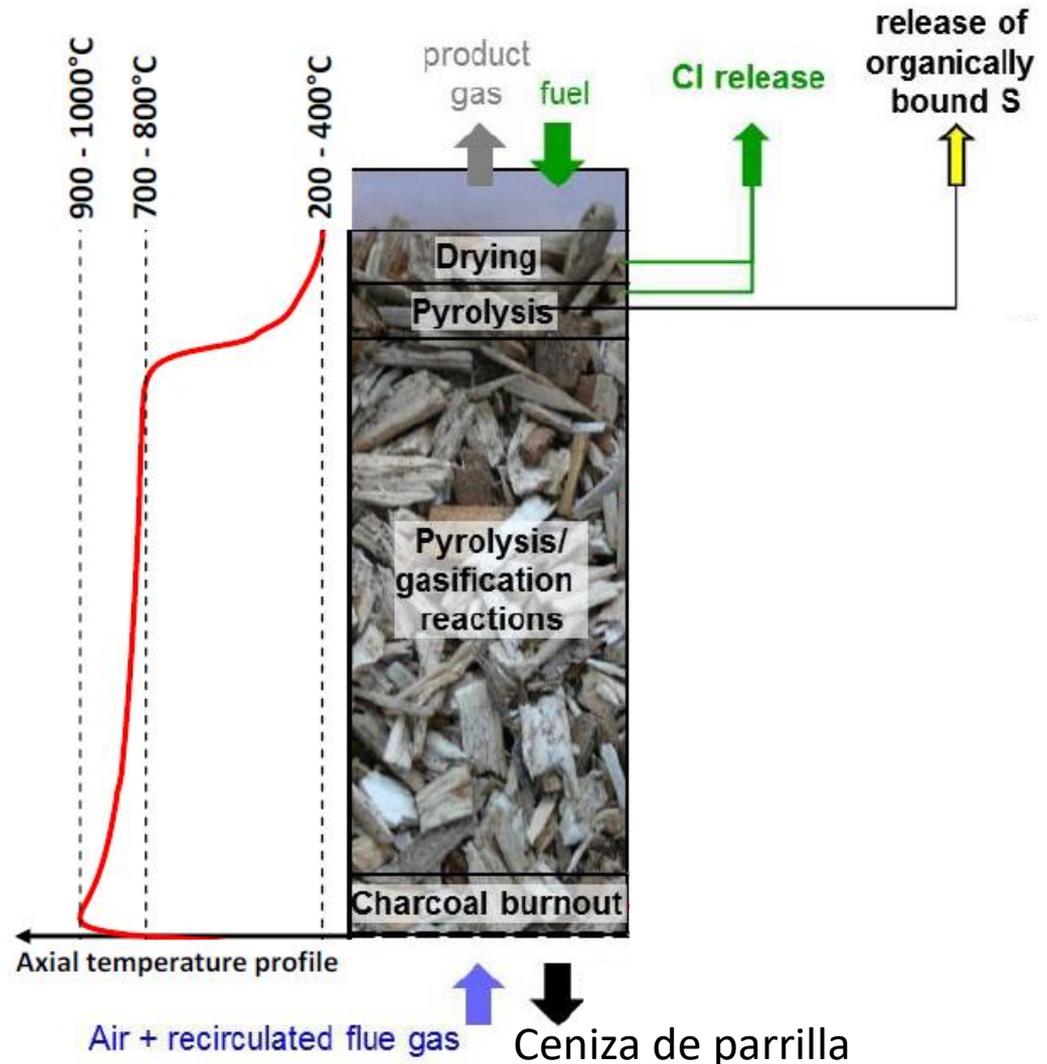
Separación extrema por zonas de aire:

- El combustible se suministra desde arriba a un lecho de combustible relativamente alto.
- El aire primario asciende a través del lecho de combustible.
- El gas resultante que emana del lecho de combustible se quema en un quemador de gas.



Zonas con distintos procesos de conversión:

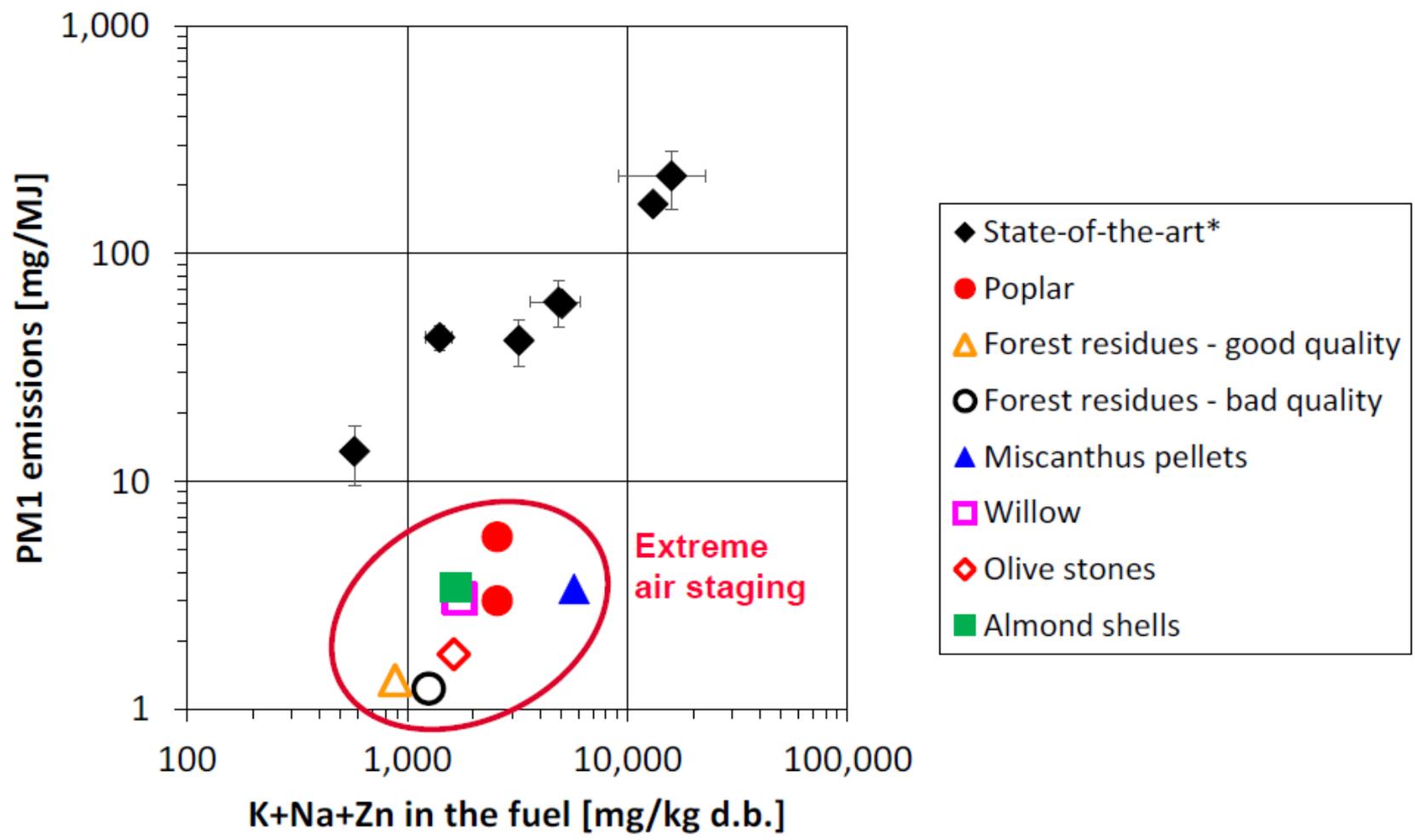
- Combustión de carbón vegetal (ca. 100 °C).
- Pirólisis y gasificación a temperaturas gradualmente descendentes del gas y del lecho de combustible.
- Zona de secado: encima del lecho de combustible.



Ventajas respecto a los sistemas de combustión de lecho fijo de última generación frente a la separación extrema por zonas de aire:

Característica	Ventaja
Ratio de aire sobrante	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor eficiencia térmica (aproximadamente +2 % absoluto).</li> <li>• Un mayor punto de rocío de los gases de combustión (2-4 °C) permite aplicar con mayor eficiencia la condensación de los mismos.</li> </ul>
Emisiones gaseosas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se puede lograr un nivel muy bajo de emisiones durante cargas completas y parciales.</li> </ul>
Emisiones de PTS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin necesidad de dispositivos de precipitación de polvo.</li> <li>• Reducción considerable de ensuciamiento de la caldera.</li> </ul>
Emisión de material particulado fino	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin necesidad de dispositivos de precipitación de polvo (PES, filtros de tela).</li> <li>• Reducción considerable de ensuciamiento de la caldera.</li> </ul>

## Emissiones de material particulado fino

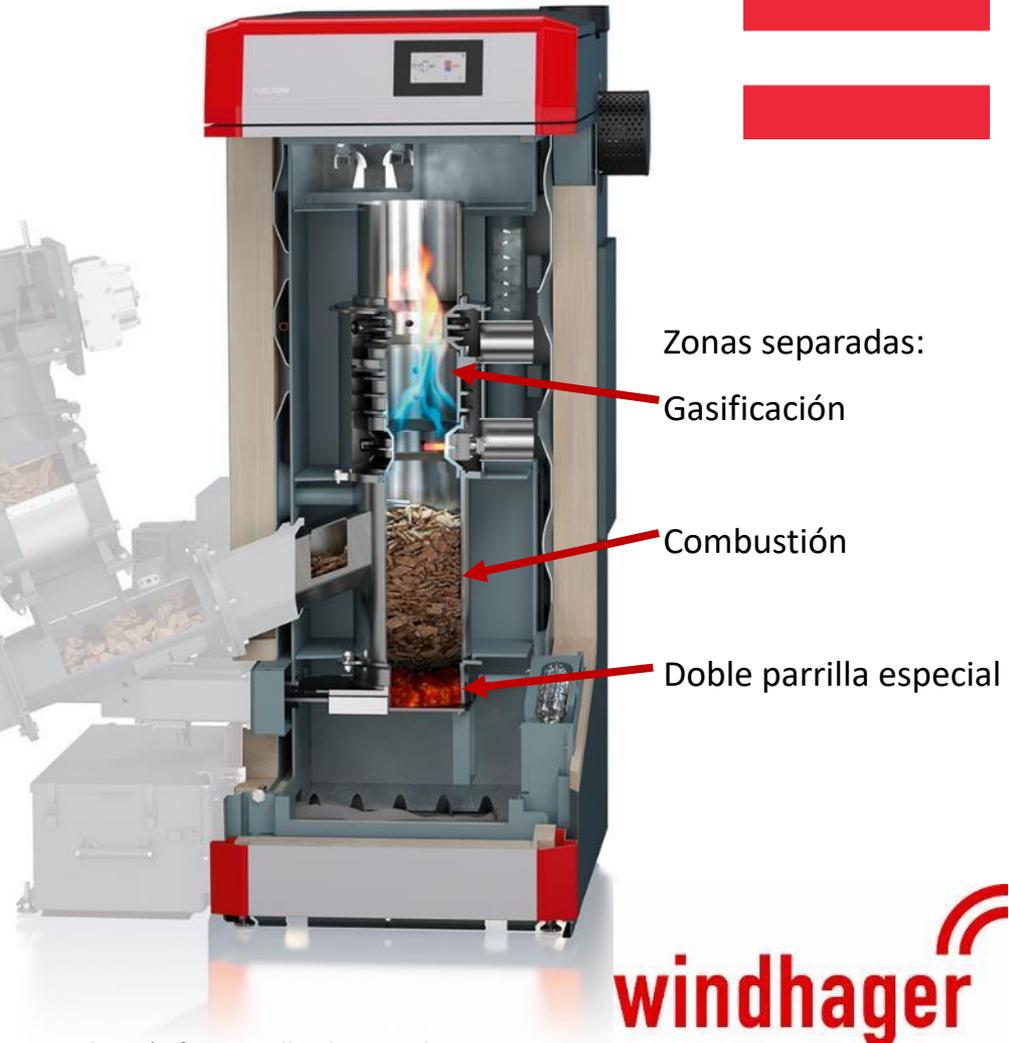


Obernberger Ingwald, 2019, Recent developments and future prospects for biomass combustion from small to large scale, European Biomass Conference and Exhibition.

## Aplicación de tecnología de separación extrema del aire en calderas pequeñas

### Tecnología PuroWIN de Windhager

- **Combustión de bajas emisiones** con un volumen de  $O_2$  en los gases de combustión del 3 al 5 %.
- Puede darse una **variación de la carga flexible** del 25 al 100 %
- **Emisiones casi nulas de CO y GCO\*** con una carga nominal y parcial, así como durante cambios de carga.
- Emisiones de **PTS\*\* inferiores a 2 mg/MJ<sub>NCV</sub>** sin aplicar ningún filtro.
- **Eficiencias altas del 93 al 94 %.**



\* Gas carbono orgánico / \*\* Partículas totales en suspensión

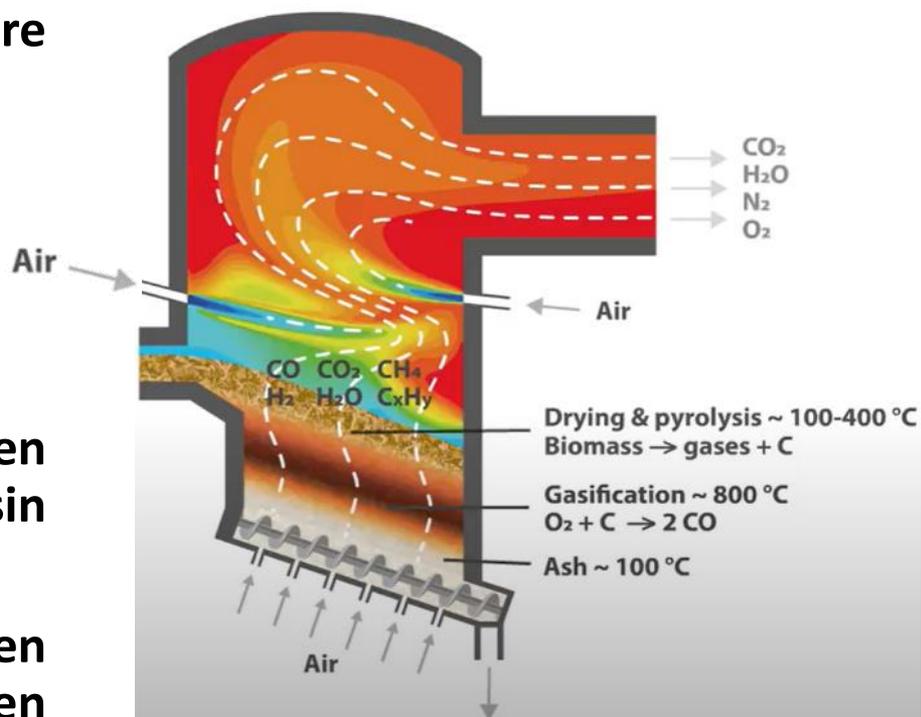
Obernberger Ingwald, 2019, Recent developments and future prospects for biomass combustion from small to large scale, European Biomass Conference and Exhibition.

## Aplicación de tecnología de separación extrema del aire en calderas pequeñas

### Horno de gasificación de biomasa de Dall Energy



- Sin parrilla.
- Combustión de gas directamente sobre el lecho de combustión.
- Gran flexibilidad de combustible:
  - Humedad contenida (20-60 %m)
  - Tamaño de partículas de hasta 40 cm
  - Contenido de ceniza de hasta 30 %m
- Emisiones de partículas totales en suspensión inferiores a 20 mg/MJ sin filtro.
- 4 instalaciones de 2 a 9 MW en operación, instalación de 20 MW en construcción.

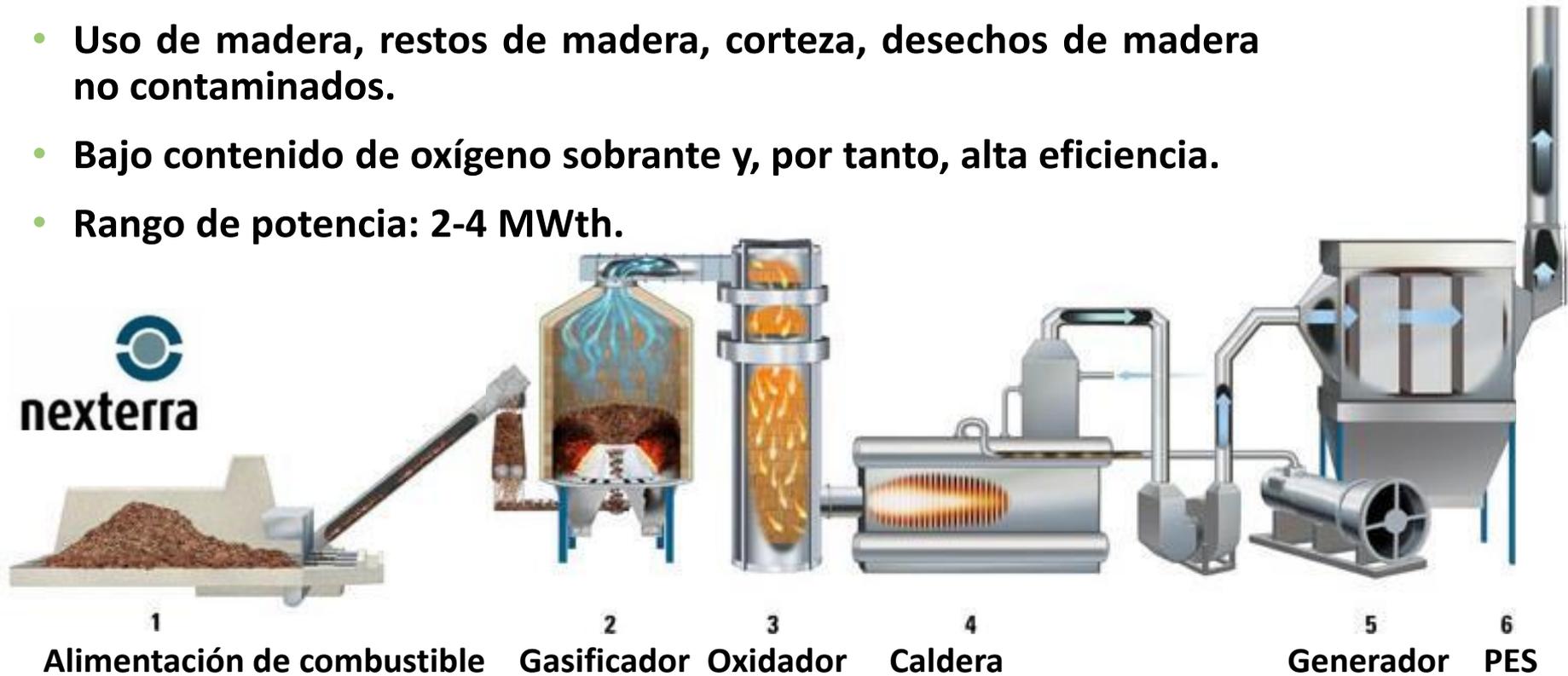


## Aplicación de tecnología de separación extrema del aire en calderas pequeñas

### Tecnología de gasificación/combustión de Nexterra



- Combustión del gas resultante en un quemador separado conectado mediante conducto de gas.
- Uso de madera, restos de madera, corteza, desechos de madera no contaminados.
- Bajo contenido de oxígeno sobrante y, por tanto, alta eficiencia.
- Rango de potencia: 2-4 MWth.



## Índice:

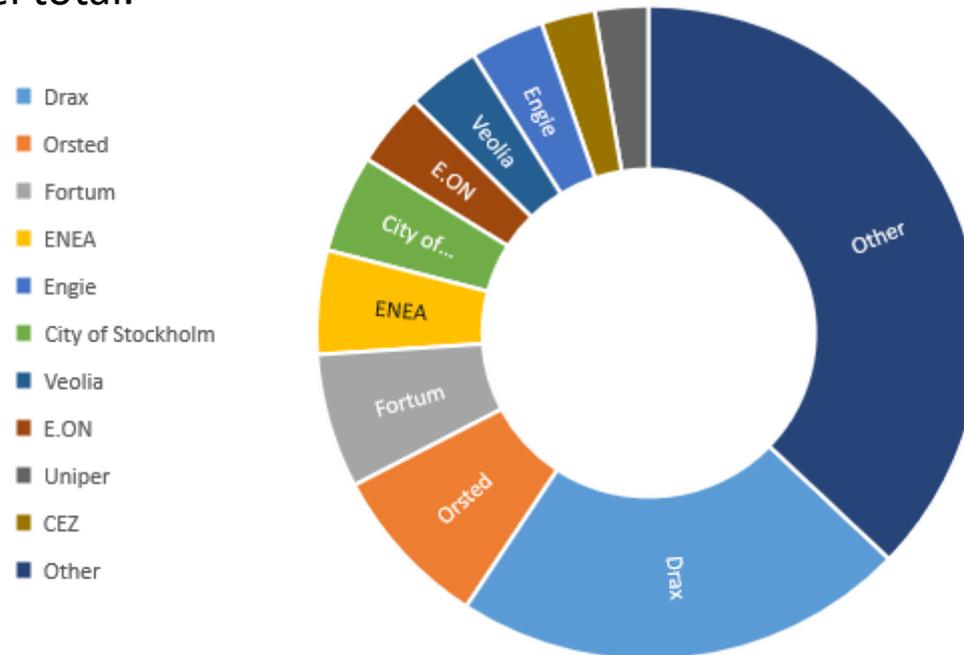
1. **Tipos de agrobiomasa**
2. **Combustión de la biomasa**
3. **Tecnologías de combustión de la agrobiomasa**
  - 3.1 Tipos de tecnología
  - 3.2 Innovaciones principales
  - 3.3 Casos de éxito de combustión de la agrobiomasa**
4. **Operación de las instalaciones de agrobiomasa**
  - 4.1 Problemas técnicos habituales y soluciones
  - 4.2 Agronergy: «Diseño para la resolución de problemas»
5. **Emisiones generadas en el proceso de combustión de la agrobiomasa**
  - 5.1 Tipos de compuestos, problemas asociados y límites de emisiones
  - 5.2 Marco normativo
6. **Tipos y fuentes de recursos y logística de recolección**
  - 6.1 Fuentes de localización de recursos (herramientas útiles y mapeo)
  - 6.2 Logística de recolección
  - 6.3 Costes de recolección y maquinaria necesaria



- Existen 3.664 grandes instalaciones de combustión en la Europa de los 28. La potencia instalada total aumentó en un 4 % entre el 2004 y el 2017. Este ascenso alcanzó su máximo en 2012.
- El uso de biomasa se triplicó entre el 2004 y el 2017, si bien seguía suponiendo cantidades relativamente bajas (**un 6 % del total en 2017 con 830 GJ**).
- Los combustibles sólidos (carbón, lignito, turba y otros combustibles fósiles sólidos) y el gas natural siguen siendo las principales fuentes de combustible, aunque se usaron un 25 % menos durante dicho periodo. Esta tendencia podría reflejar la transición en el sistema energético europeo del petróleo, el carbón y el gas hacia las renovables.



- A día de hoy, hay 76 instalaciones que queman un total de seis millones de toneladas de biomasa al año.
- Es decir, que la mayor parte de la biomasa se quema en solo unas pocas instalaciones. Por ejemplo, la planta Drax en Reino Unido es la central eléctrica de biomasa más grande y en ella se quema el 22 % del total. Entre las diez mayores instalaciones de biomasa se quema la mitad del total.



- Drax
- Orsted
- Fortum
- ENEA
- Engie
- City of Stockholm
- Veolia
- E.ON
- Uniper
- CEZ
- Other

- OPG Ravenšćak:
  - El principal combustible es el serrín, con una potencia de 850 kW.
  - La empresa ha empleado con éxito el miscanthus y pretende comenzar a cultivarlo a partir del 2021.



- Compañía energética de la ciudad de Križevci:
  - Generación de calor en dos edificios públicos y abono.
  - Utiliza la poda de árboles frutales de los ciudadanos: 200 toneladas/año;
  - Caldera de WVTerm de 150 kW + sistema PV de 20 kW.

Fuente: AgroBioHeat D3.1 - Instalaciones de generación de calor mediante agrobiomasa

- Ulbjerg Kraftvarme:
  - Alimenta la red de calefacción urbana del pequeño municipio de Ulbjerg.
  - Funciona principalmente con balas de paja de cereales. La caldera es capaz de quemar también otros residuos agrícolas o astillas de madera con una humedad de hasta el 30 %.
  - Caldera de 1000 kW.
  - Inversión total: en torno a 1 M €.
  - Ahorro anual: 128.000 € en combustible.



Fuente: AgroBioHeat D3.1 - Instalaciones de generación de calor mediante agrobiomasa

- Vennerslund, Frederiksdal kisebaervin, Holmegaard y Orupgard:
  - Calefacción de espacios.
  - Secado de cereales de temporada.
  - Producción de vino de cereza.
  - Calor para explotaciones avícolas.
  - Calderas de paja: 400 - 950 kW.



Fuente: AgroBioHeat D3.1 - Instalaciones de generación de calor mediante agrobiomasa

- Midtlangeland Fjernvarme:
  - Caldera de 7.700 kW de agua caliente suministrada por Justsen.
  - Sistema de NOx de reducción no catalítica selectiva (SNCR) basado en la urea.
  - El coste total del proyecto (sustitución de la caldera antigua) ascendió a unos 25 millones de DKK (unos 3,3 millones de €).
  
- Boulstrup-Hou Kraftvarmeværk, Hjallerup Fjernvarme, Rødbyhavn Fjernvarme, Fors A/S / St. Merloese Varmeværk, Lolland Varme A/S y Ørnholm-Grønberg Kraftvarmeværk:
  - Calderas de paja suministradas por Linka Energy.
  - Producción térmica de entre 2.000 y 6.500 kW.
  - Han alcanzado valores de emisión de polvo muy inferiores al límite marcado por la Directiva MCP (40 mg/Nm<sup>3</sup>), así como valores de emisión de CO también por debajo del límite (625 mg/Nm<sup>3</sup>).

Fuente: AgroBioHeat D3.1 - Instalaciones de generación de calor mediante agrobiomasa

- **AGRIS S.A. emplea la agrobiomasa con éxito:**
  - Vivero de más de tres hectáreas.
  - Ocho calderas de biomasa (potencia total de 9,28 MW).
  - Funcionamiento inicial con orujillo / pellets de cáscaras de pipas (combustible superior sin problemas de olor).
  - Reducción anual de un 20-30 % en la factura de calefacción gracias a que el sistema de biomasa cubre un 97 % de la demanda total de calor.
  
- **BIOKARPOS S.A.:**
  - En Peloponeso se encuentra otro caso interesante de generación de calor por agrobiomasa.
  - Se trata de tres modernas calderas de biomasa de parrilla móvil (PelleTech / Camino Design) con una potencia de 350 kW cada una.
  - Se alimentan actualmente de pellets de cáscaras de pipas. Además, la empresa prevé instalar una mayor capacidad calorífica y empezar a aprovechar sus propios residuos (desechos verdes de invernadero) y podas agrícolas troceadas.

Fuente: AgroBioHeat D3.1 - Instalaciones de generación de calor mediante agrobiomasa

- **Oniropetra Boutique Hotel:**

- Ejemplifica las ventajas que ofrece la generación de calor por agrobiomasa en el sector cuando se dan las condiciones adecuadas.
- Karpensisi es una zona de montaña con un clima frío.
- Se instaló en 2014 la caldera de biomasa de 200 kW (PelleTech / Camino Design), que se alimenta con pellets de cáscaras de pipas. 75 toneladas de biomasa/año. CAPEX: 23.000 €, retorno en 1,5 años



Fuente: AgroBioHeat D3.1 - Instalaciones de generación de calor mediante agrobiomasa

- Agronergy, como socio del proyecto AgroBioHeat, cuenta entre sus proyectos con una instalación de generación de calor por biomasa en el pueblo de Chevresis:
  - Se usa miscanthus para calentar una residencia geriátrica municipal, que ofrece a los residentes una calefacción asequible.
  - Asociación en la que participan agricultores locales y el ayuntamiento desde 2018.



Fuente: AgroBioHeat D3.1 - Instalaciones de generación de calor mediante agrobiomasa;  
Foto: Agronergy

- **Abbaye Notre Dame d'Ourscamp:**
  - Calefacción con miscanthus desde 2014.
  - Se observó un ahorro anual de 60.000 € en gastos de combustible. Tiempo de retorno inferior a cinco años (inversión total de 267.000 €; 92.000 € para la caldera y 175.000 € para la red y la instalación).
  - Se estima también una reducción de 210 toneladas anuales de emisiones de CO2.
  - Miscanthus suministrado por unos pocos agricultores próximos al monasterio.

- **Pellets CALYS producidos por RAGT Energie:**

- Identifica flujos de biomasa aptos para mezclar y añadir aditivos, lo que ayuda a los proveedores de agropellets a generar un producto de alta calidad a buen precio que se puede aprovechar incluso en instalaciones a pequeña escala.

Fuente: AgroBioHeat D3.1 - Instalaciones de generación de calor mediante agrobiomasa



- Vilafranca del Penedés:
  - Poda de viñedo para fines energéticos.
  - Caldera Heizomat de 500 kW.
  - Pequeña red de calefacción urbana.



Fuente: AgroBioHeat D3.1 - Instalaciones de generación de calor mediante agrobiomasa

- Quesos Cerrato:

- Uso de agropellets en una caldera de vapor (4 t/h, 9 bares).
- Se utiliza en el proceso de producción de quesos.
- Caldera - SUGIMAT.
- Coste: 500.000 €, ahorro: 30-40 %.



Fuente: AgroBioHeat D3.1 - Instalaciones de generación de calor mediante agrobiomasa

- Hotel Los Mallos:
  - Caldera de balas de paja.
  - 250 kW - ACR Ecocalderas + ciclón para emisiones de partículas.
  - 280 toneladas al año de balas de paja.



Fuente: AgroBioHeat D3.1 - Instalaciones de generación de calor mediante agrobiomasa

- Ciudad de UMAN: 83.000 habitantes:
  - Suministro de combustible (pellets de paja) y tecnología de combustión (calderas de pellets de paja).
  - Instalación en colegios y guarderías.
  - Ahorro anual de un 50 % en costes de combustible con respecto al gas natural.
- Complejo avícola “Dneprovskiy”:
  - 2 calderas de biomasa de 5 MW - TTS.
  - Balas de paja como combustible.
  - Filtros de tela - emisión de partículas.



Fuente: AgroBioHeat D3.1 - Instalaciones de generación de calor mediante agrobiomasa

- ITC Shabo:
  - Poda de viñedo como fuente de calor.
  - Caldera de vapor de 1,6 MWth - 1.500 toneladas al año de podas de viñedo.
- Centro comercial ACADEM-CITY:
  - Pellets de cáscaras de pipas.
  - Ubicado en Kiev.
  - Uso de ciclones para reducir las emisiones de partículas (contexto urbano).



Fuente: AgroBioHeat D3.1 - Instalaciones de generación de calor mediante agrobiomasa

- Invernadero DALIA:
  - Generación de calor para un invernadero de una hectárea.
  - Suministro de combustible (astillas de sauce) y biomasa procedente de la limpieza de pastos -> 2.000 toneladas anuales.
  - Calderas de biomasa modernas desarrolladas por un fabricante rumano, BioSistem, equipadas con ciclones para el control de emisión de partículas.
  - Ahorro anual de combustible en torno al 20 % con respecto al gas natural.
  - Potencia instalada: 4 de 750 KW y 2 de 500 kW.



Fuente: AgroBioHeat D3.1 - Instalaciones de generación de calor mediante agrobiomasa

- Avicol Prod Consult Ltd. en el pueblo de Cornatel, condado de Dambovita:
- Generación de calor en explotaciones avícolas.
- El combustible principal son las cáscaras de pipas de la región de Dambovita.
- Calderas de biomasa instaladas a lo largo de los años: 1 de 60 kW, 1 de 100 kW, 1 de 150 kW.
- Sistema de alimentación automatizada mediante la instalación de tres silos de 20 m<sup>3</sup> conectados directamente a las calderas.



Fuente: AgroBioHeat D3.1 - Instalaciones de generación de calor mediante agrobiomasa

## Índice:

1. **Tipos de agrobiomasa**
2. **Combustión de la biomasa**
3. **Tecnologías de combustión de la agrobiomasa**
  - 3.1 Tipos de tecnología
  - 3.2 Innovaciones principales
  - 3.3 Casos de éxito de combustión de la agrobiomasa
4. **Operación de las instalaciones de agrobiomasa**
  - 4.1 Problemas técnicos habituales y soluciones**
  - 4.2 Agronergy: «Diseño para la resolución de problemas»
5. **Emisiones generadas en el proceso de combustión de la agrobiomasa**
  - 5.1 Tipos de compuestos, problemas asociados y límites de emisiones
  - 5.2 Marco normativo
6. **Tipos y fuentes de recursos y logística de recolección**
  - 6.1 Fuentes de localización de recursos (herramientas útiles y mapeo)
  - 6.2 Logística de recolección
  - 6.3 Costes de recolección y maquinaria necesaria



## 4.1 Problemas técnicos habituales y soluciones

### Problemas derivados de la composición de la agrobiomasa

#### Problemas con el bajo punto de fusión de la ceniza:

- Problemas de aglomeración en sistemas de combustión de lecho fluido.
- Acumulación de suciedad y escoria.
- Corrosión.



## Sustancias en la agrobiomasa que pueden acarrear problemas operativos:

**Madera y biomasa leñosa**



**Herbáceos y hierba agrícola**



**Herbáceos y paja agrícola**



**Herbáceos y agrobiomasa**



**Biomasa animal**



**Biomasa contaminada**



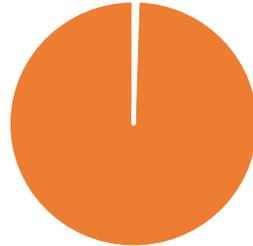
Fuente de información e imagen: Alam, Md Tanvir, et al. "A critical review of ash slagging mechanisms and viscosity measurement for low-rank coal and bio-slags." *Frontiers in Energy* 15.1 (2021): 46-67.

- El contenido de ceniza varía según los distintos tipos de biomasa:

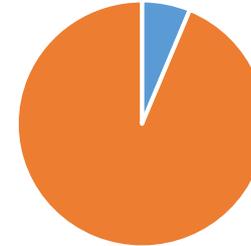
Biomasa leñosa



0,5 % < Ceniza



Ceniza < 5,0 %



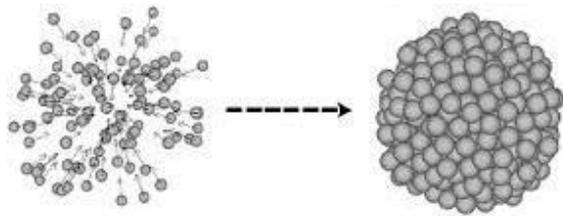
Restos de cultivos



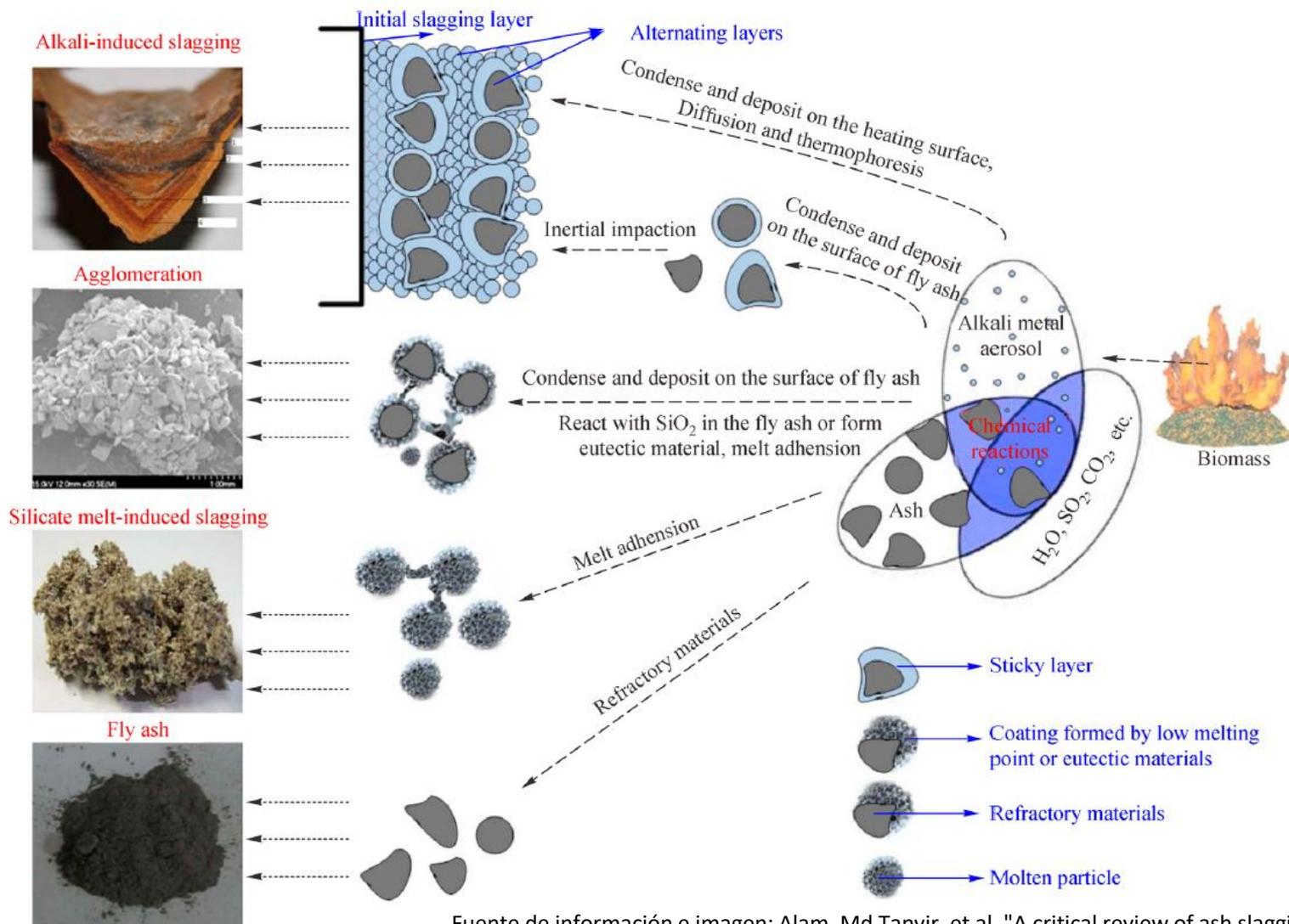
Fuente de imagen: <https://www.alternative-energy-tutorials.com/biomass/wood-biomass-energy.html>

Fuente de imagen: <http://biomassmagazine.com/articles/5318/chinaundefineds-crop-residue-capacity>

- Debido al contenido de ceniza de la biomasa, es importante incorporar un sistema eficaz de retirada de ceniza a fin de reducir la contaminación por partículas.
- Uno de los problemas que causa la ceniza se debe a su bajo punto de fusión durante la combustión, lo que puede provocar aglomeración, suciedad, sarro y, como consecuencia, corrosión de las superficies del intercambiador de calor.



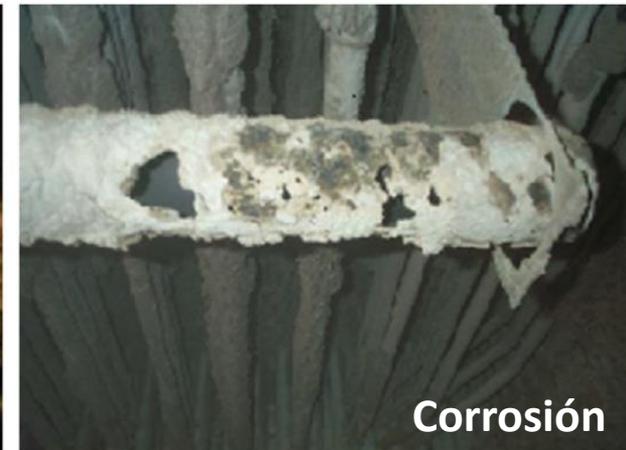
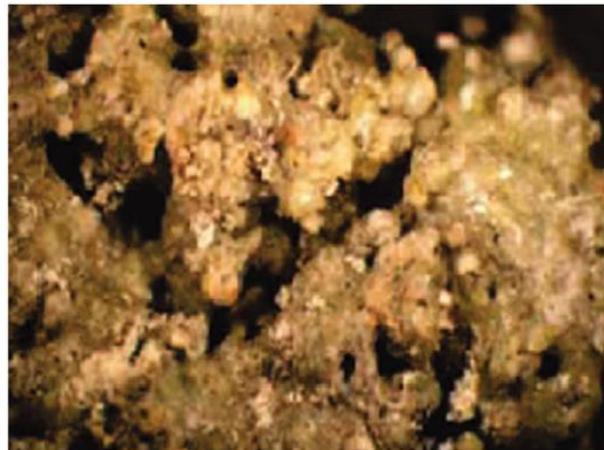
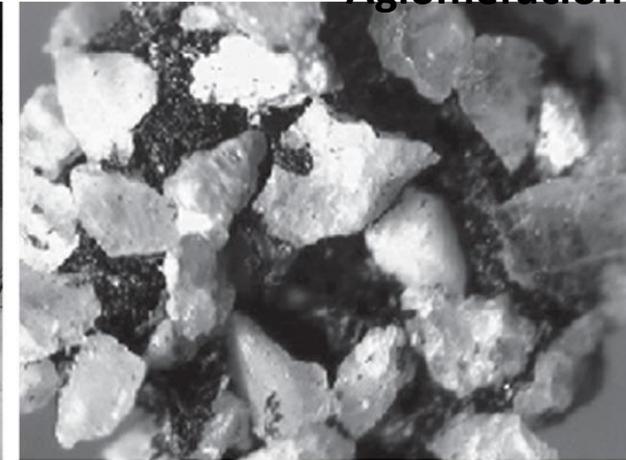
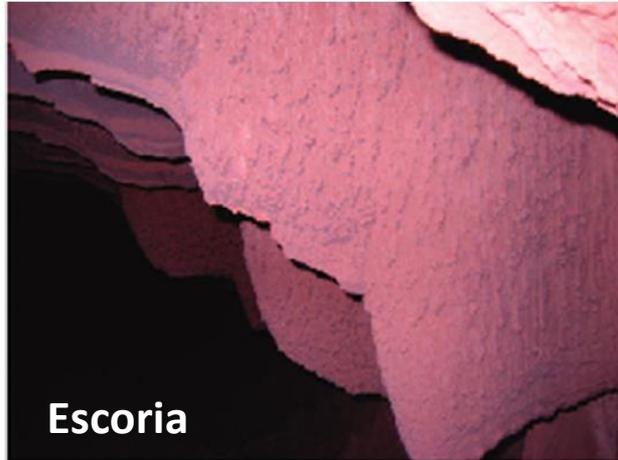
Fuente de información e imágenes: Horvat, Ivan y Damir Dović. "Combustion of agricultural biomass-issues and solutions." Transactions of FAMENA 42.SI-1 (2018): 75-86.



Fuente de información e imagen: Alam, Md Tanvir, et al. "A critical review of ash slagging mechanisms and viscosity measurement for low-rank coal and bio-slags." *Frontiers in Energy* 15.1 (2021): 46-67.

## Distintos problemas relacionados con la ceniza en los hornos de biomasa

**Aglomeración**



Fuente de información e imágenes: Niu, Yanqing y Houzhang Tan. "Ash-related issues during biomass combustion: Alkali-induced slagging, silicate melt-induced slagging (ash fusion), agglomeration, corrosion, ash utilization, and related countermeasures." *Progress in Energy and Combustion Science* 52 (2016): 1-61.

## Problemas técnicos habituales y soluciones

### ➔ Contenido de ceniza

#### Resultados de pruebas de combustión de pellets de álamo (contenido de ceniza en %m/m)



2 %



6 %



12 %

- Cuando un equipo se alimenta de un combustible con mayor contenido de ceniza, necesitará aumentar la extracción de ceniza y, por tanto, también la frecuencia de limpieza
- De lo contrario, la ceniza contenida en la biomasa podría provocar las aglomeraciones que se muestran en la imagen durante el proceso de combustión

## Problemas técnicos habituales y soluciones

➔ **Ajuste de alimentación del combustible, movimientos de parrilla y distribución del aire**



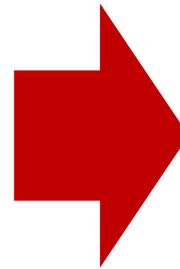
**Pellets de brassica**

**Pellets de álamo**

**Pellets de sorgo**

## Problemas técnicos habituales y soluciones

### ➔ Obstrucción del sistema de alimentación y distribución del aire



Antes

combustión

Después

## Problemas técnicos habituales y soluciones

### ➔ Depósitos en superficies del intercambiador de calor

#### Pérdida de superficie para la transferencia de calor



- Las distintas opciones de agrobiomasa pueden presentar diferentes retos durante su combustión.
- Existen soluciones, pero siempre es una cuestión de viabilidad técnico-económica.
- En aplicaciones a gran escala (normalmente superiores a 1 MW) pueden diseñarse soluciones a medida.
- Un buen diseño de caldera puede ser clave para evitar posibles problemas.

Característica	Posibles retos	Soluciones
<b>Ceniza</b>	Alto contenido de ceniza → Gran volumen a gestionar	Diseño adecuado del sistema de gestión de ceniza
<b>Azufre</b>	S elevado de combustible → Emisiones y corrosión por SOx	Medidas secundarias (inyección de cal) Temperaturas altas de agua y acero de alto carbono
<b>Nitrógeno</b>	N elevado de combustible → Emisiones de SOx	Medidas primarias (separación del aire) Medidas secundarias (SNCR / SCR)
<b>Cloro</b>	Cl elevado de combustible → Emisiones y corrosión por HCl y dioxinas	Buen diseño de caldera Temperaturas de retorno suficientemente elevadas
<b>Potasio</b>	K elevado de combustible → Suciedad y altas emisiones de partículas	Volumen elevado de combustión debido a temperaturas inferiores de los gases de combustión antes de atravesar el primer conducto de la caldera Uso de aditivos inorgánicos en el combustible Medidas secundarias de control de partículas
<b>Temperatura de fusión de la ceniza</b>	Baja temperatura de inicio de encogimiento de la ceniza → Formación de escoria / <i>clinker</i> y suciedad	Parrilla enfriada por agua Recirculación de gases de combustión bajo la parrilla
<b>Propiedades físicas</b>	Desempacado, falta de homogeneidad, pegajosidad, baja densidad por peso, etc.	Buen diseño de gestión del combustible / sistema de pretratamiento

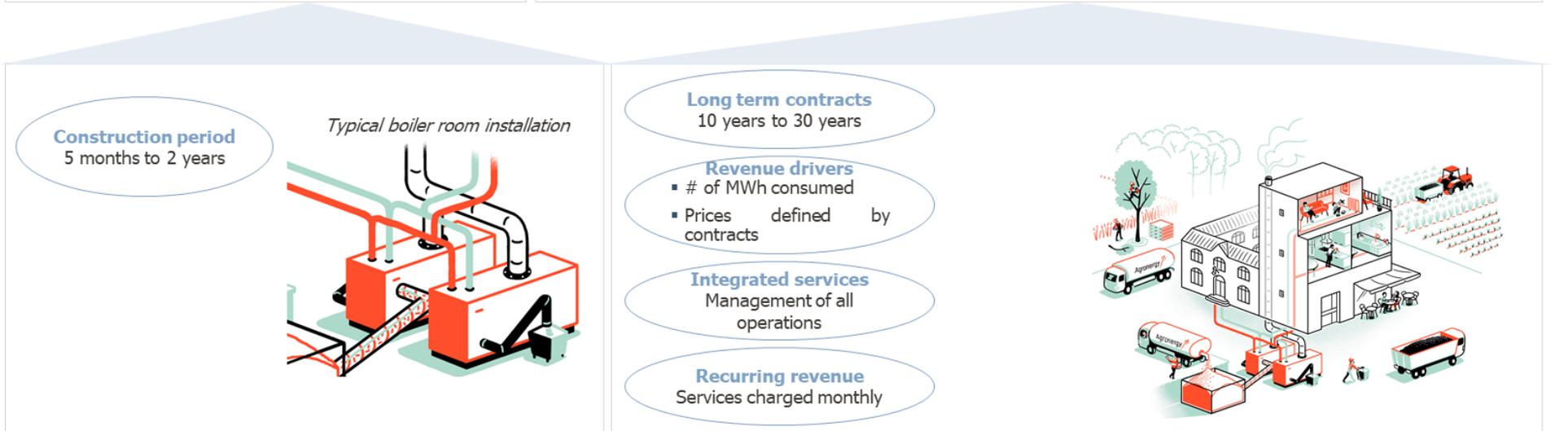
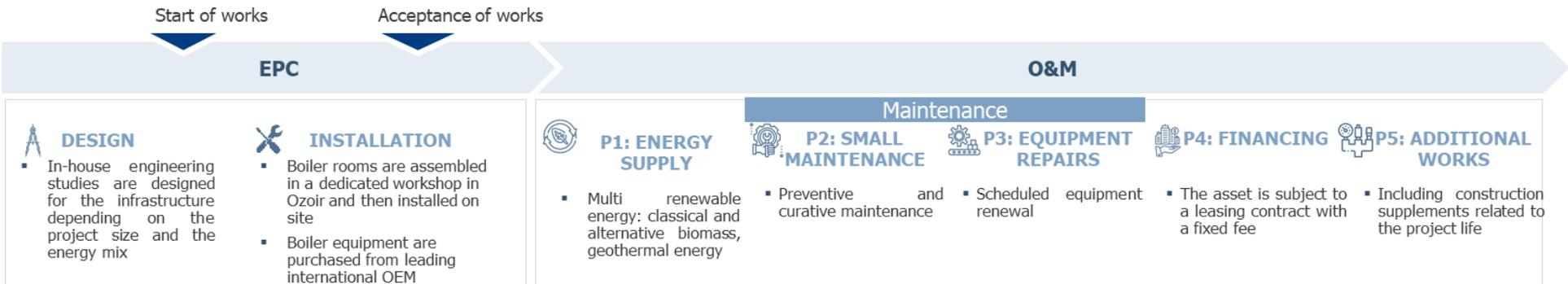
Tabla adaptada del [Webinario L. Justsen / Justsen Energiteknik A/S, WBA: Agricultural residues to energy / Latest technological developments](#)

## Índice:

1. **Tipos de agrobiomasa**
2. **Combustión de la biomasa**
3. **Tecnologías de combustión de la agrobiomasa**
  - 3.1 Tipos de tecnología
  - 3.2 Innovaciones principales
  - 3.3 Casos de éxito de combustión de la agrobiomasa
4. **Operación de las instalaciones de agrobiomasa**
  - 4.1 Problemas técnicos habituales y soluciones
  - 4.2 Agronergy: «Diseño para la resolución de problemas»**
5. **Emisiones generadas en el proceso de combustión de la agrobiomasa**
  - 5.1 Tipos de compuestos, problemas asociados y límites de emisiones
  - 5.2 Marco normativo
6. **Tipos y fuentes de recursos y logística de recolección**
  - 6.1 Fuentes de localización de recursos (herramientas útiles y mapeo)
  - 6.2 Logística de recolección
  - 6.3 Costes de recolección y maquinaria necesaria



- Proveedor integral de calor.
- 31 calderas de biomasa en funcionamiento.
- Uso de biomasa alternativa: poda/miscanthus/agropellets...



Instalaciones de Agronergy donde se emplea (o empleaba) agrobiomasa:

- 🎯 Residencia geriátrica en Chevresis Monceau (norte de Francia)
- 🎯 Superficie calentada: 60 habitaciones
- 🎯 Potencia instalada: 400 kW biomasa + 750 kW gas
- 🎯 Consumo calorífico: 110 M MWh/año
- 🎯 Combustible: miscanthus
- 🎯 Puesta en marcha: Oct. 2019
- 🎯 Duración del contrato: 12 años



## Problemas durante la operación de instalaciones para la combustión de agrobiomasa:

### 1. Alimentación de combustible

La densidad del miscanthus es muy baja:  $100 \text{ kg/m}^3$  => transportable solo desde una zona muy próxima (a no más de 10 o 20 km).

El miscanthus es muy seco: absorbe la humedad del aire o del silo => se ha colocado un suelo elevado para evitar problemas de filtración y humedad.

Por lo demás, este sistema de alimentación funciona igual que el de pellets => sin necesidad de equipo específico.



### 2. Escoria

Con la agrobiomasa es fácil que aparezca escoria => se necesita un ajuste específico con un gran exceso de aire, así como una modificación de la caldera para enfriar la ceniza.



## Problemas durante la operación de instalaciones para la combustión de agrobiomasa:

### 3. Corrosión

El hollín de la ceniza es muy agresivo.

Riesgo de corrosión del acero inoxidable en los conductos de salida de los gases de combustión y en las transportadoras exteriores.

Riesgo de corrosión de la cámara de combustión y del intercambiador de calor dentro de la caldera.

⇒ Solución: mantener la temperatura alta (por encima de la de condensación de los gases) a lo largo de todo el sistema.



### 4. Emisiones

Resulta difícil obtener buenos resultados de emisiones a todos los niveles de potencia.

Las emisiones solamente son estables con un 100 % de carga.

⇒ Solución: evitar el modo de funcionamiento apagado/encendido.

Mantener el modo de combustión regular = caldera de agrobiomasa de tamaño reducido y mantener una reserva de gas.

- testo 340	
V1.10 62557821/F	
EPHAD CHEVRESIS	
RHR-AK400	
RHR-AK400	
Debut: 07.04.21 16:19:35	
Fin: 07.04.21 16:29:33	
Moyenne:	181.9 °C T fumées
141.8	9.81 % O2
2.86	10.85 % Oxygène
2.08	15 ppm CO
10.80	9.1 % sA
18	90.9 % Rdat
8.5	24.7 ppm NO
91.4	31 ppm CO non-dilué
100	46.8 °C Point rosée
29.9	1022 hPa P. absolue
93	35.7 °C T appareil
46.7	0.60 l/min Débit pompe
1023	5 ppm SO2
35.7	°C %
0.60	l/min Débit pompe
5	ppm SO2
°C	%
01	135.2 9.50 2.12
02	136.2 9.49 2.12
03	137.6 9.78 2.06
04	138.5 9.78 2.17
05	139.5 9.23 2.16
06	141.6 10.70 1.88
07	143.1 10.26 1.96
08	143.4 9.20 2.19
09	144.7 10.06 2.00
10	146.2 10.59 1.90
11	147.7 10.36 1.94
01	11.19 13 8.2
02	11.19 14 8.5
03	10.88 11 8.2
04	11.40 12 8.7

V1.10 62557821/F	
EPHAD CHEVRESIS	
RHR-AK400	
RHR-AK400	
Debut: 07.04.21 14:08:16	
Fin: 07.04.21 14:18:16	
Moyenne:	181.9 °C T fumées
9.81	% O2
10.85	% Oxygène
15	ppm CO
9.1	% sA
90.9	% Rdat
24.7	ppm NO
31	ppm CO non-dilué
46.8	°C Point rosée
1022	hPa P. absolue
35.7	°C T appareil
0.60	l/min Débit pompe
5	ppm SO2
°C	%
01	135.3 8.49 2.37
02	135.2 8.24 2.44
03	137.6 9.03 2.23
04	140.1 10.09 1.88
05	142.3 11.18 1.80
06	143.0 10.34 1.95
07	143.4 10.06 2.00
08	143.8 9.37 2.10
09	145.3 10.61 1.90
10	146.3 10.58 1.90
11	146.2 9.15 2.20
01	12.22 13 10.0
02	12.47 12 10.1
03	11.66 12 9.5
04	9.94 12 8.3
05	9.43 20 8.1
06	10.30 22 8.7
07	10.59 16 8.9

## Problemas durante la operación de instalaciones para la combustión de agrobiomasa:

### 5. Retirada de ceniza

La cantidad de ceniza es mucho mayor que con astillas (unas diez veces más).

- ⇒ Requiere mantenimiento frecuente y retirada de la ceniza.
- ⇒ Precisa de una salida económica y práctica para la ceniza.

En este caso, los agricultores esparcen la ceniza por el campo. Por motivos de estacionalidad y cantidad, no basta para constituir un recurso fiable para los agricultores.



## Ventajas

- Fuente de energía de bajo coste.
- Aprovecha un recurso que de otro modo se desperdiciaría.
- No ocasiona problemas mecánicos.

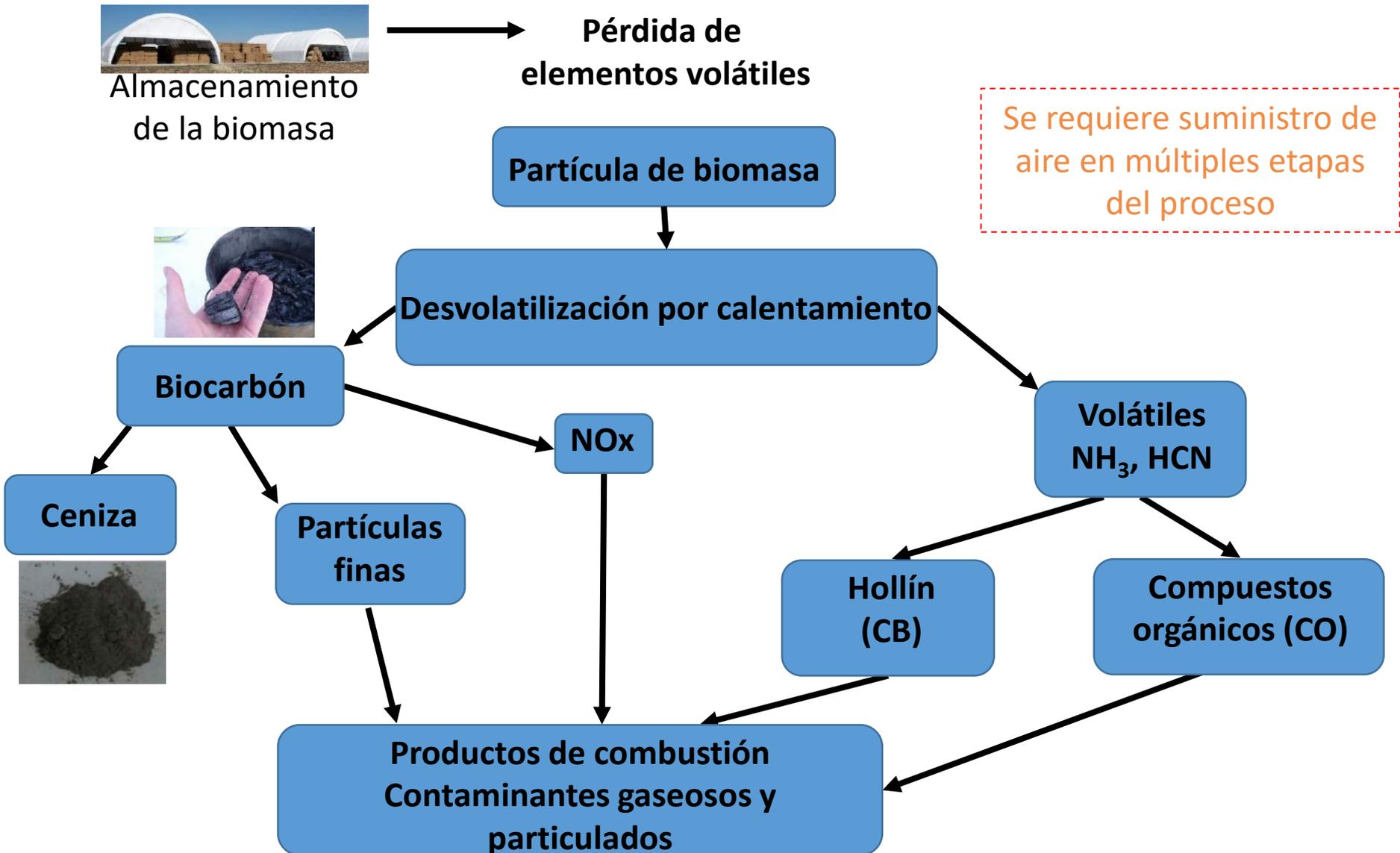
## Desventajas

- El producto absorbe la humedad con facilidad e influye mucho en la configuración de la combustión.
- La alta volatilidad del material puede causar molestias a las viviendas cercanas.
- Resulta difícil optimizar las emisiones de CO.
- Emanan un olor molesto durante los cambios de fase de combustión.
- Se produce una cantidad considerable de ceniza y escoria.
- Baja densidad energética.
- Ceniza no cualitativa.

## Índice:

1. **Tipos de agrobiomasa**
2. **Combustión de la biomasa**
3. **Tecnologías de combustión de la agrobiomasa**
  - 3.1 Tipos de tecnología
  - 3.2 Innovaciones principales
  - 3.3 Casos de éxito de combustión de la agrobiomasa
4. **Operación de las instalaciones de agrobiomasa**
  - 4.1 Problemas técnicos habituales y soluciones
  - 4.2 Agronergy: «Diseño para la resolución de problemas»
5. **Emisiones generadas en el proceso de combustión de la agrobiomasa**
  - 5.1 Tipos de compuestos, problemas asociados y límites de emisiones**
  - 5.2 Marco normativo
6. **Tipos y fuentes de recursos y logística de recolección**
  - 6.1 Fuentes de localización de recursos (herramientas útiles y mapeo)
  - 6.2 Logística de recolección
  - 6.3 Costes de recolección y maquinaria necesaria





## Tipos de emisiones

- Hidrocarburos aromáticos policíclicos
- Emisiones de CO
- Emisiones de NO<sub>x</sub>
- Emisiones de SO<sub>x</sub>
- Emisiones de polvo
- Dioxinas y furanos



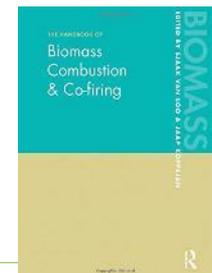
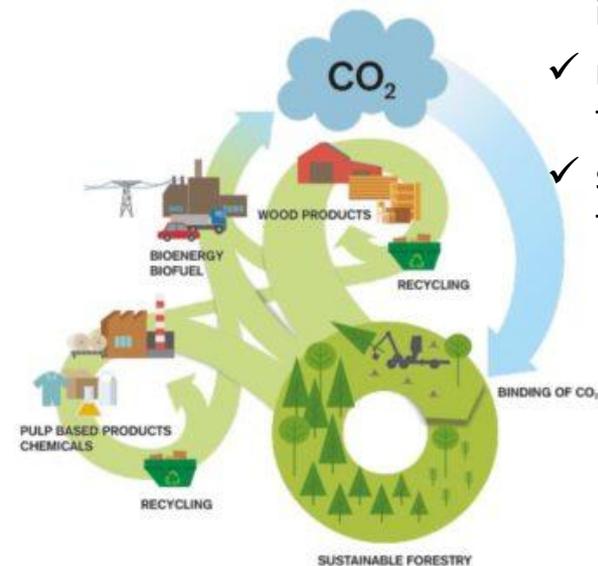
Ignición de astillas forestales con generación de gases pesados y vapor a baja temperatura.  
En presencia de O<sub>2</sub>, se alcanza la temperatura de oxidación volátil.

Fuente de la imagen: Curso de formación en «Energía de biomasa» / «Caracterización de la biomasa» elaborado por CIRCE. Fecha: 13 a 15 de junio de 2017

- El impacto medioambiental de la contaminación de aire provocada por las aplicaciones de combustión de biomasa más modernas y con buen mantenimiento no es nada desdeñable.
- No obstante, presentan una serie de ventajas frente al uso de combustibles fósiles.
- La biomasa es un combustible renovable que se considera neutro en CO<sub>2</sub> respecto al equilibrio de gases de efecto invernadero.

▪ Sin embargo, esto solo es así cuando:

- ✓ se consiguen niveles muy bajos de emisiones por combustión incompleta;
- ✓ no se utilizan combustibles fósiles ni en la recolección ni en el transporte del biocombustible;
- ✓ se excluye el uso de electricidad generada mediante combustibles fósiles.





## Combustión completa

- Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )
- Dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ )
- Óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ )
- Óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ )
- Cloruro de hidrógeno (HCl)
- Partículas
- Metales pesados

## Combustión INcompleta

- Monóxido de carbono (CO)
- Metano ( $\text{CH}_4$ )
- Componentes orgánicos volátiles distintos del metano (COVDM)
- Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)
- Partículas
- Dioxinas y furanos policlorados (PCDD/PCDF = PCDD/F)
- Amoniac ( $\text{NH}_3$ )
- Ozono (troposférico) ( $\text{O}_3$ )



Fuente de la imagen: Munsif, et al. "Industrial Air Emission Pollution: Potential Sources and Sustainable Mitigation." Environmental Emissions. IntechOpen, 2021



Componente	Fuentes de biomasa	Impacto
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Principal producto de la combustión de todos los tipos de biomasa	<b>Clima:</b> Gases de efecto invernadero directos
Partículas	Hollín, biocarbón e hidrocarburos pesados condensados (alquitrán) por la combustión incompleta de todo tipo de biomasa / Cenizas volantes y sales	<b>Clima y medio ambiente:</b> Efecto invernadero revertido debido a la formación de aerosoles   Efectos indirectos de concentraciones de metales pesados en las partículas depositadas <b>Salud:</b> Nocivo para el sistema respiratorio humano   Efecto cancerígeno
Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> (NO, NO <sub>2</sub> ))	Producto menor de la combustión de toda biomasa que contiene nitrógeno   Puede formarse NO <sub>x</sub> adicional a partir del nitrógeno del aire en determinadas condiciones	<b>Clima y medio ambiente:</b> Gases de efecto invernadero indirectos por la formación de O <sub>3</sub>   Gases de efecto invernadero revertidos debido a la formación de aerosoles   Precipitaciones ácidas   Daños a la vegetación   Niebla tóxica   Corrosión y daños materiales <b>Salud:</b> Nocivo para el sistema respiratorio humano   El NO <sub>2</sub> es tóxico
Óxidos de azufre (SO <sub>x</sub> (SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> ))	Producto menor de la combustión de toda biomasa que contiene azufre	<b>Clima y medio ambiente:</b> Gases de efecto invernadero revertidos debido a la formación de aerosoles   Precipitaciones ácidas   Daños a la vegetación   Niebla tóxica   Corrosión y daños materiales <b>Salud:</b> Nocivo para el sistema respiratorio humano   Provoca asma
Metales pesados	Todos los biocombustibles contienen cierto grado de metales pesados que permanecen en la ceniza o se evaporan	<b>Salud:</b> Acumulación en la cadena alimenticia   Algunos son tóxicos y cancerígenos
Cloruro de hidrógeno (HCl)	Producto menor de la combustión de toda biomasa que contiene cloro	<b>Clima y medio ambiente:</b> Precipitaciones ácidas   Daños a la vegetación   Corrosión y daños materiales <b>Salud:</b> Nocivo para el sistema respiratorio humano   Tóxico

Componente	Fuentes de biomasa	Impacto
Monóxido de carbono (CO)	Combustión incompleta de todo tipo de biomasa	<b>Clima:</b> Gases de efecto invernadero indirectos por la formación de O <sub>2</sub> <b>Salud:</b> La absorción reducida de oxígeno afecta en especial a los asmáticos y a los embriones   Asfixia en casos extremos
Metano (CH <sub>4</sub> )	Combustión incompleta de todo tipo de biomasa	<b>Clima:</b> Gases de efecto invernadero directos/indirectos por la formación de O <sub>3</sub>
Componentes orgánicos volátiles distintos del metano (COVDM)	Combustión incompleta de todo tipo de biomasa	<b>Medio ambiente:</b> Gases de efecto invernadero indirectos por la formación de O <sub>3</sub> <b>Salud:</b> Nocivo para el sistema respiratorio humano
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	Combustión incompleta de todo tipo de biomasa	<b>Medio ambiente:</b> Formación de niebla tóxica <b>Salud:</b> Efecto cancerígeno
Amoniaco (NH <sub>3</sub> )	Puede desprenderse en pequeñas cantidades como consecuencia de la conversión incompleta del NH <sub>3</sub> formado por pirólisis/gasificación en componentes oxidados que contienen nitrógeno   Medidas secundarias de reducción de NO <sub>x</sub> por inyección de NO <sub>3</sub> (SNCR, SCR)	<b>Clima y medio ambiente:</b> Precipitaciones ácidas   Daños a la vegetación   Corrosión y daños materiales <b>Salud:</b> Nocivo para el sistema respiratorio humano
Ozono (troposférico) (O <sub>3</sub> )	Producto secundario de combustión generado por reacciones atmosféricas con CO, CH <sub>4</sub> , COVDM y NO <sub>x</sub>	<b>Clima y medio ambiente:</b> Efecto invernadero directo   Daños a la vegetación   Niebla tóxica   Daños materiales <b>Salud:</b> Efecto indirecto por la destrucción del O <sub>3</sub> en la estratosfera   Nocivo para el sistema respiratorio humano   Efecto asmático
Dioxinas y furanos (PCDD/PCDF)	Pueden emitirse en pequeñas cantidades como consecuencia de las reacciones con carbono, cloro y oxígeno en presencia de catalizadores (Cu)	<b>Salud:</b> Gran toxicidad   Daños hepáticos   Daños en el sistema nervioso central   Reducción de la defensa inmune   Acumulación en la cadena alimenticia

Emissions at 11% O <sub>2</sub>	Fuel type	Typical Data
NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	Native wood (soft wood)	100 - 200
	Native wood (hard wood)	150 - 250
	Straw, grass, miscanthus, chip boards	300 - 800
	Altholz	400 - 600
HCl (mg/Nm <sup>3</sup> )	Native wood	< 5
	Altholz, straw, grass, miscanthus, chip boards (NH <sub>4</sub> Cl)	raw gas: 100 - 1000 with HCl absorption: < 20
Particles (mg/Nm <sup>3</sup> )	Native wood after cyclone:	50 - 150
	Straw, grass, miscanthus, chip boards after cyclone:	150 - 1000
	Altholz after cloth or electric filter:	< 10
Σ Pb, Zn, Cd, Cu (mg/Nm <sup>3</sup> )	Native wood	< 1
	Altholz raw gas:	20 - 100
	Altholz after cloth or electric filter:	< 5
PCDD/F (ng TE/Nm <sup>3</sup> )	Native wood typical:	< 0.1
	Native wood range:	0.01 - 0.5
	Altholz typical:	2
	urban waste wood & demolition wood range:	0.1 - 20

Cabe tener en cuenta que los rangos indicados a continuación aparecen representados en la tabla anterior

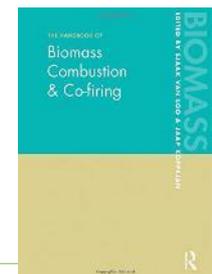
<b>Más de 5 MW</b>	Las calderas de mayor tamaño desarrolladas para la combustión de biomasa incluyen parrillas de cadena convencionales con un alimentador esparcidor, siendo estas las calderas más comunes, diseños dedicados de calderas plegadas como las alimentadas con paja, lechos fluidos burbujeantes y lechos fluidos circulantes
<b>Aproximadamente 1 MW o menos</b>	Se usa con frecuencia el horno ciclónico   El alimentador inferior o bajo parrilla y la parrilla fija constituyen los sistemas de combustión más comunes en las calderas
<b>Menos de 0,02 MW</b>	Existen diversos tipos de calderas de troncos de leña, hornos de leña y chimeneas en el mercado

Las emisiones nocivas en los gases de combustión y efluentes se pueden reducir de las siguientes maneras:

<b>Medidas primarias</b>	Evitar la creación de tales sustancias	Modificación del proceso de combustión
<b>Medidas secundarias</b>	Retirar dichas sustancias de los gases de combustión	Medida que se aplica después del proceso de combustión

Medidas primarias de reducción de emisiones que buscan evitar o reducir la formación de emisiones o reducir las emisiones dentro de la cámara de combustión:

- Modificación de la composición del combustible
- Modificación de la humedad del combustible
- Modificación del tamaño de las partículas de combustible
- Selección del tipo de equipo de combustión
- Construcción mejorada de la aplicación de combustión
- Control optimizado del proceso de combustión
- Combustión de aire por etapas
- Combustión de combustible por etapas y requema
- Catalizadores



Medida	Descripción
Modificación de la composición del combustible	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los biocombustibles sin tratar son combustibles sólidos con poco margen de reducción de la cantidad de elementos específicos que presentan</li> <li>- En el caso de la paja, el lavado del combustible (por exposición a la lluvia) ha resultado efectivo</li> <li>- En una serie de experimentos realizados en Dinamarca con paja de cebada, se demostró que tras 150 mm de lluvia se redujo el contenido de cloruro del 0,49 al 0,05 % y el contenido de potasio del 1,18 al 0,22 %</li> </ul>
Modificación de la humedad del combustible	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La leña con fines energéticos, por ejemplo, puede variar en cuanto a humedad según proceda de la industria con un secado previo o directamente del bosque, entre aproximadamente un 10 y un 60 %, respectivamente.</li> <li>- Un alto grado de humedad dificulta la consecución de temperaturas elevadas</li> <li>- Una temperatura superior a 850 °C es deseable para asegurar un nivel suficientemente bajo de CO</li> <li>- Por otro lado, es posible que la combustión sea incompleta</li> <li>- Puede aprovecharse el calor residual de otro proceso para quitar humedad</li> </ul>
Modificación del tamaño de las partículas de combustible	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El tamaño del combustible empleado en aplicaciones con biomasa puede variar desde troncos de leña enteros hasta serrines finos</li> <li>- Si el combustible se compone de piezas tanto muy pequeñas como muy grandes, se puede utilizar una trituradora o astilladora para lograr un tamaño más homogéneo</li> </ul>
Selección del tipo de equipo de combustión	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las características tales como composición, humedad y tamaño son importantes</li> <li>- Para combustibles leñosos, solo la cantidad de nitrógeno puede influir a la hora de decantarse por una tecnología de combustión, siempre que no existan límites de emisión de NO<sub>x</sub></li> <li>- La humedad resulta decisiva para combustibles tales como astillas de leña y cortezas cuando no exista la opción de un secado previo a la combustión</li> </ul>
Construcción mejorada de la aplicación de combustión	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las temperaturas de combustión deberán ser suficientemente elevadas</li> <li>- Los tiempos de residencia deberán ser lo bastante largos</li> <li>- Es importante lograr una mezcla óptima de gases de combustión y aire, también con cambios de calor o de potencia</li> </ul>

Medida	Descripción
Control optimizado del proceso de combustión	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimización de emisiones: La calidad de la combustión puede modificarse al ajustar la cantidad de combustible y de aire primario y secundario en función de concentraciones medidas de CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> y O<sub>2</sub> y de la temperatura de la cámara de combustión</li> <li>- Control del calor producido: Mediante diferencias calculadas de temperatura y de caudal másico del agua de la caldera</li> <li>- Modificación de una caldera de biomasa existente</li> </ul>

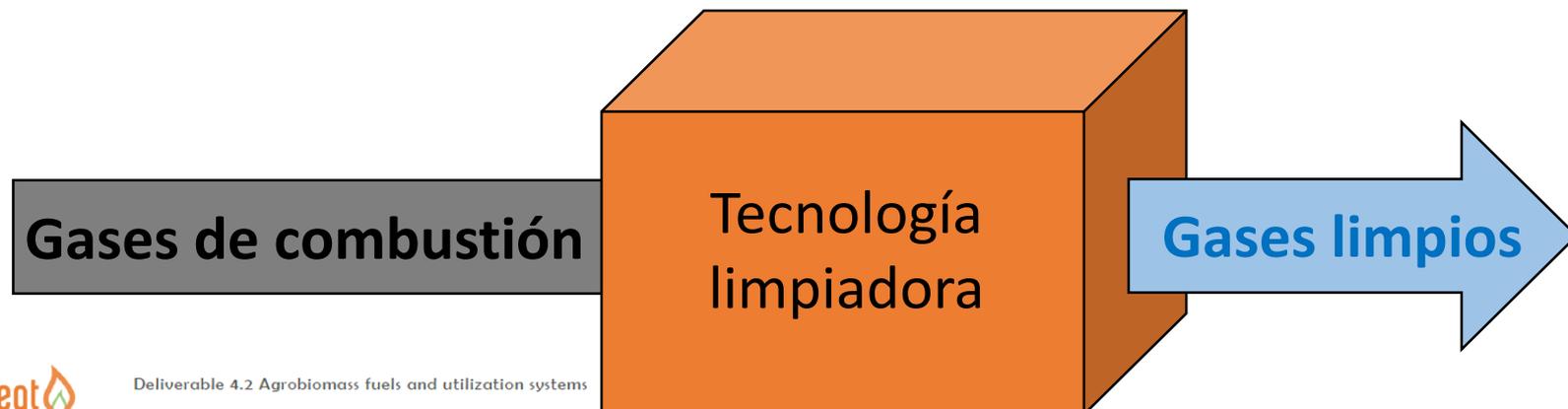
- Para una planta de combustión de madera con alimentador inferior Nolting de 500 KWth con ciclón.
- La TNO\* instaló un sensor de oxígeno para controlar el proceso de combustión y el calor producido (\*la Organización de Investigación Científica Aplicada de los Países Bajos).
- Se aplicó la recirculación de gas y se modificó la cámara de combustión.

Propiedad	Antes de la optimización	Después de la optimización
CO (mg/m3)	3516↘	82
CxHy (mg/m3)	262↘	2
NOx (mg/m3)	772↘	652
Polvo (mg/m3)	219↘	99
Temperatura de gases de combustión (°C)	163↘	109
Pérdidas de gases de combustión (%)	17↘	7
Pérdidas por combustión incompleta (%)	1,5↘	1,1
Eficiencia total (%)	81↗	93

## Sistemas de limpieza de gases de combustión

Si bien las calderas modernas pretenden lograr no solo una alta eficiencia de combustión, sino también emisiones bajas mediante el uso de agrobiomasa, no siempre es posible cumplir con los límites de emisiones impuestos por las distintas normativas sin usar un sistema adicional de limpieza de los gases de combustión.

En función de la aplicación, existen múltiples soluciones en el mercado para minimizar los contaminantes como las partículas en suspensión (polvo), los gases ácidos y las emisiones de óxido de nitrógeno.





## Retirada de óxidos de nitrógeno

- Cuando sea preciso reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) de las calderas de agrobiomasa, puede resultar muy efectiva la aplicación de tecnología de Reducción No Catalítica Selectiva (SNCR).
- En el proceso de desnitrificación de los gases de combustión de calderas de agrobiomasa, la Reducción No Catalítica Selectiva o SNCR representa un método muy efectivo y puede disminuir la cantidad de  $\text{NO}_x$  entre un 20 y un 70 %.
- Asimismo, la tecnología de Reducción Catalítica Selectiva o SCR puede lograr una disminución incluso mayor de  $\text{NO}_x$  (hasta un 90 %), pero dichos sistemas se aplican únicamente a mayor escala en el ámbito industrial.

### Reducción No Catalítica Selectiva (SNCR)

- La SNCR consiste en la inyección de amoníaco o urea en la caja de combustión de la caldera en un punto en el que los gases de combustión oscilan entre 900 y 1100 °C de modo que entre en reacción con los óxidos de nitrógeno formados en el proceso de combustión.
- Los productos resultantes de esta reacción química redox son nitrógeno molecular ( $\text{N}_2$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ).
- Dado que se necesita un cierto volumen de horno para dispersar y evaporar el aditivo, la SNCR no tiene sentido para calderas a pequeña escala.



Figure 23: Selective non-catalytic reduction [Image source: IFS<sup>23</sup>]

**Control del polvo:** para minimizar las emisiones de polvo, se puede recurrir a ciclones, precipitadores electrostáticos (PES) o filtros de tela.

## Ciclones

- Los ciclones son contenedores cónicos que eliminan las partículas de los flujos de gases de combustión que giran a gran velocidad mediante separación por vórtice.
- Los gases de combustión fluyen en hélice antes de abandonar el ciclón en forma de chorro que asciende recto por el centro del mismo y sale por la parte superior.
- Sin embargo, las partículas en este remolino llevan demasiada inercia, por lo que chocan contra la pared externa y caen al fondo del ciclón, de donde se retiran.

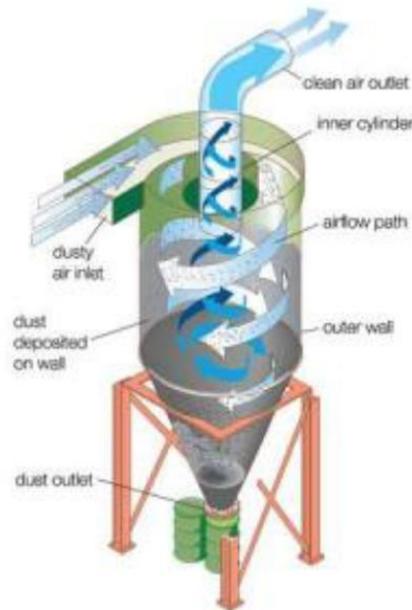


Figure 17: Flow pattern through a typical cyclone

Deliverable 4.2 Agrobiomass fuels and utilization systems

Version 1.0, 13 July 2020



Figure 18: Example of cyclone [Image source:

[Indiamart.com](http://Indiamart.com)]

## Filtros de tela

- Los filtros de tela o de bolsa separan mediante filtración las partículas de los gases que contienen polvo.
- Representan uno de los captadores de polvo más eficaces que existen, pudiendo atrapar más del 99 % en el caso de partículas muy finas.
- Los filtros de tela no se utilizan en aplicaciones a pequeña escala puesto que precisan de aire comprimido para su limpieza, requieren mucho espacio y se debe evitar la condensación del vapor de agua en el filtro, cosa que no puede garantizarse durante el funcionamiento con carga parcial que se da en calderas pequeñas.

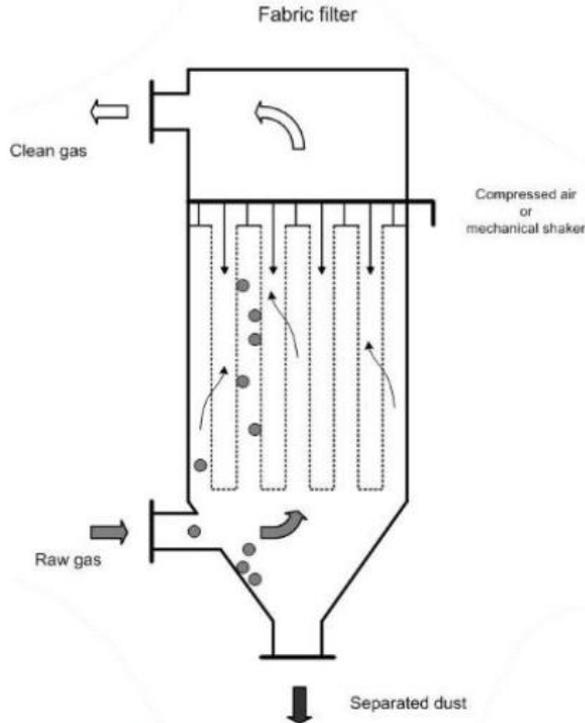


Figure 19: Fabric filter diagram [Image source : EMIS<sup>19</sup>]



Figure 20: Example of baghouse [Image source: [www.baghouse.com](http://www.baghouse.com)]

## Precipitadores electrostáticos (PES)

- Los PES aprovechan la fuerza electrostática para separar las partículas de polvo de los gases de combustión.
- Se coloca uno o más electrodos de descarga de alta tensión (en función del tamaño del filtro) entre electrodos de captación de puesta a tierra.
- Las partículas reciben una carga negativa al atravesar el campo ionizado entre electrodos y, a continuación, se ven atraídos por un electrodo de puesta a tierra o de carga positiva y se adhieren al mismo.

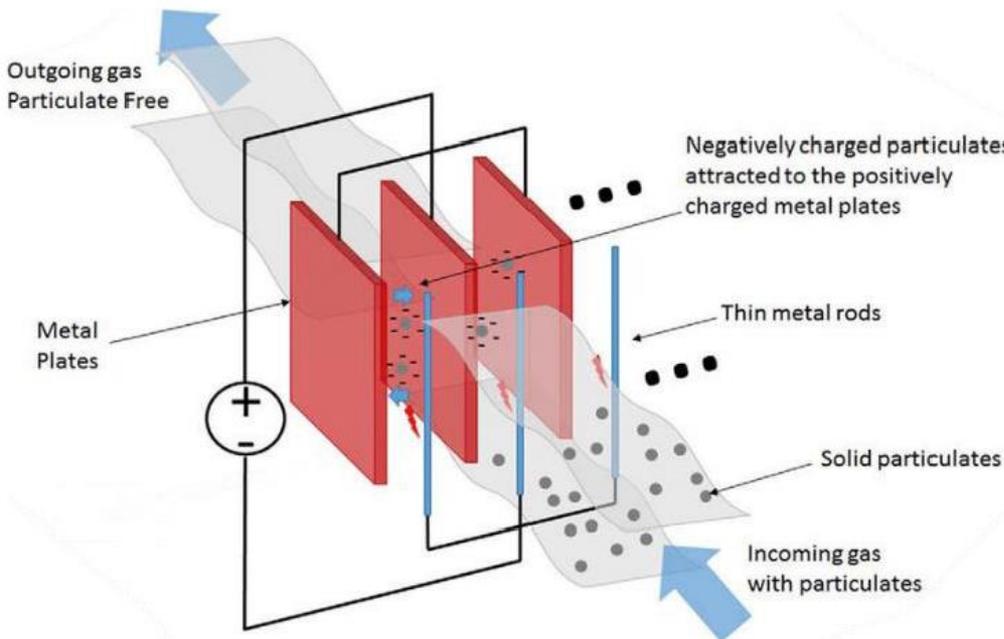


Figure 21: ESP conceptual diagram [Image source: (Becker et al., 2016)<sup>20</sup>]



Figure 22: Example of ESP for up to 100 kW [Image source: OekoSolve<sup>21</sup>]

## Control de los componentes ácidos de los gases de combustión:

para la retirada de HCl y SO<sub>2</sub>, se puede emplear un sistema de sorción seca en aplicaciones de generación de calor mediante agrobiomasa.

### Reducción No Catalítica Selectiva (SNCR)

- La separación de componentes ácidos de los gases de combustión mediante sorción seca consiste en una reacción simultánea y de adsorción entre gases y sólidos que se da en el adsorbente utilizado en el proceso.
- En dicho proceso, los contaminantes gaseosos se adhieren a la superficie del sólido introducido.
- Esto permite separar los aditivos de los gases de combustión junto con las partículas de polvo (normalmente, mediante un filtro de tela posterior).
- Estos sistemas se clasifican en función del aditivo empleado y pueden tener como base el sodio (aplicación de NaHCO<sub>3</sub>) o la cal (aplicación de Ca(OH)<sub>2</sub>).

## Índice:

1. **Tipos de agrobiomasa**
2. **Combustión de la biomasa**
3. **Tecnologías de combustión de la agrobiomasa**
  - 3.1 Tipos de tecnología
  - 3.2 Innovaciones principales
  - 3.3 Casos de éxito de combustión de la agrobiomasa
4. **Operación de las instalaciones de agrobiomasa**
  - 4.1 Problemas técnicos habituales y soluciones
  - 4.2 Agronergy: «Diseño para la resolución de problemas»
5. **Emisiones generadas en el proceso de combustión de la agrobiomasa**
  - 5.1 Tipos de compuestos, problemas asociados y límites de emisiones
  - 5.2 Marco normativo**
6. **Tipos y fuentes de recursos y logística de recolección**
  - 6.1 Fuentes de localización de recursos (herramientas útiles y mapeo)
  - 6.2 Logística de recolección
  - 6.3 Costes de recolección y maquinaria necesaria



## La normativa sobre diseño ecológico

Esta normativa establece las siguientes definiciones:

- La «biomasa leñosa» hace referencia a la biomasa procedente de árboles, arbustos y matorrales, incluida la madera en forma de troncos, astillas, comprimida en pellets o briquetas, o serrín.



- La «biomasa no leñosa» se refiere a biomasa que no procede de la madera, como paja, miscanthus, juncos, semillas, granos, huesos de aceituna, orujillo y cáscaras de frutos secos.



En este sentido, el concepto de diseño ecológico excluye muchos tipos de agrobiomasa, si bien incluye la biomasa de poda agrícola y arranques de plantaciones puesto que puede clasificarse como «leñosa».



## Eficiencia estacional y límites de emisiones para calderas de biomasa sólida según la normativa sobre diseño ecológico

Método de alimentación	Calor nominal producido	Eficiencia energética de la calefacción estacional de espacios	Límites de emisiones de calefacción estacional de espacios (mg/m <sup>3</sup> con un 10 % de oxígeno)			
			Monóxido de carbono, CO	Compuestos gaseosos orgánicos, CGO	Material particulado, MP	Óxidos de nitrógeno, NO <sub>x</sub>
Manual	≤ 20 kW	≥ 75 %	700	30	60	200
	> 20 kW	≥ 77 %				
Automatizado	≤ 20 kW	≥ 75 %	500	20	40	
	> 20 kW	≥ 77 %				
Referencias de mejores técnicas disponibles		90 % condensadoras 84 % no condensadoras	6	1	2	97

**Nota:** A la entrada en vigor de la normativa, no se identificó ninguna caldera de combustible sólido que cumpliera todos los valores de referencia. Varias cumplían uno o más valores.

Fuente: AgroBioHeat D4.2 - Combustibles de agrobiomasa y sistemas de aprovechamiento

## La directiva sobre instalaciones de combustión de media potencia

La Directiva MCP (del inglés *Medium Combustion Plant*) regula las emisiones procedentes de plantas de combustión con una potencia térmica de entre 1 y 50 MW.

Esta Directiva también comprende la agrobiomasa y, concretamente, establece ciertas limitaciones específicas de emisiones para la paja.

Algunas instalaciones no están incluidas, tales como las «instalaciones de combustión sitas en explotaciones con una potencia térmica nominal total igual o inferior a 5 MW que empleen como único combustible el estiércol no procesado de aves».

Los principales límites de emisiones para instalaciones de combustión de biomasa sólida se recogen en el Anexo II de la Directiva y cabe tener en cuenta que pueden aplicarse algunas excepciones en instalaciones concretas.

Tipo de instalación de combustión de capacidad media (no motores ni turbinas de gas)	Potencia térmica nominal (MW)	Límites de emisiones (mg/m <sup>3</sup> a un 6 % de concentración de oxígeno) para biomasa sólida		
		Dióxido de azufre, SO <sub>2</sub>	Óxidos de nitrógeno, NO <sub>x</sub>	Polvo
Existente	1-5	200 * / 300 (paja)	650	50
Existente	> 5	200 * / 300 (paja)	650	30
Nueva	1-5	200 *	500	50
Nueva	5-20	200 *	300	30
Nueva	20-50	200 *	300	20

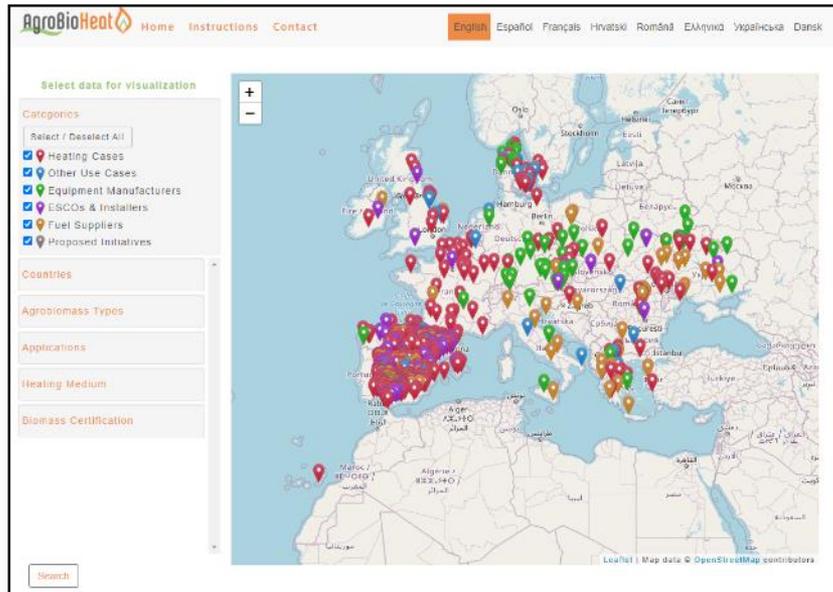
\* No se aplica a aquellas instalaciones que consuman únicamente biomasa leñosa

## Índice:

1. **Tipos de agrobiomasa**
2. **Combustión de la biomasa**
3. **Tecnologías de combustión de la agrobiomasa**
  - 3.1 Tipos de tecnología
  - 3.2 Innovaciones principales
  - 3.3 Casos de éxito de combustión de la agrobiomasa
4. **Operación de las instalaciones de agrobiomasa**
  - 4.1 Problemas técnicos habituales y soluciones
  - 4.2 Agronergy: «Diseño para la resolución de problemas»
5. **Emisiones generadas en el proceso de combustión de la agrobiomasa**
  - 5.1 Tipos de compuestos, problemas asociados y límites de emisiones
  - 5.2 Marco normativo
6. **Tipos y fuentes de recursos y logística de recolección**
  - 6.1 Fuentes de localización de recursos (herramientas útiles y mapeo)**
  - 6.2 Logística de recolección
  - 6.3 Costes de recolección y maquinaria necesaria



- **Observatorio AgroBioHeat:** Permite visualizar datos a nivel europeo sobre los distintos tipos de biomasa, grupos de interés, certificaciones de biomasa, etc.



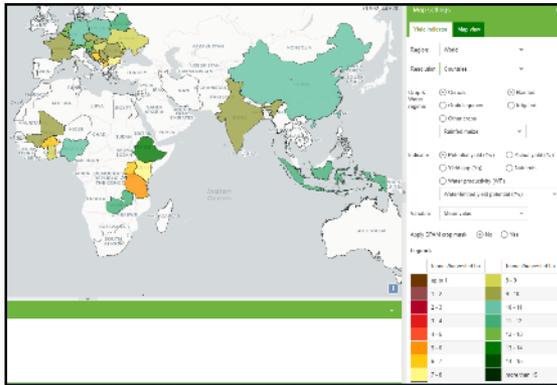
Show 25 entries

Search:

Category	Case name	City	Country	Website
Fuel Suppliers	PJSC «Zaporozhye Oil Extraction Plant»	Zaporizhzhya	Ukraine	<a href="http://zmez.com.ua">zmez.com.ua</a>
Equipment Manufacturers	Wichlacz	Zaporizhzhia	Ukraine	<a href="http://www.wichlacz.com.ua">www.wichlacz.com.ua</a>
Heating Cases	Ørnhøj-Grønbjerg Kraftvarmeværk	Ørnhoj	Denmark	<a href="http://www.vtv-vildbjerg.dk/varme/oernhoej-groenbjerg-kraftvarmevaerk">www.vtv-vildbjerg.dk/varme/oernhoej-groenbjerg-kraftvarmevaerk</a>
Other Use Cases	Masnød Kraftvarmeværk	Nørre Alslev	Denmark	<a href="http://www.vordingborgforsyning.dk">www.vordingborgforsyning.dk</a>
Equipment Manufacturers	Volyn-Kalvis Ltd	Kovel	Ukraine	<a href="http://www.volyn-kalvis.com.ua">www.volyn-kalvis.com.ua</a>
ESCOs & Installers	VIVENDIO SOSTENIBILIDAD ENERGETICA, S.L.	GRANADA (GRANADA)	Spain	<a href="http://www.vivendio.es">www.vivendio.es</a>
Other Use Cases	VIOPAR Energia S.A.	Volos	Greece	<a href="http://www.viopar-energy.gr">www.viopar-energy.gr</a>
Other Use Cases	Vioenergiaki Patridas	Patrida Imathias	Greece	<a href="http://www.vioenergiakipatridas.gr/">www.vioenergiakipatridas.gr/</a>
Heating Cases	Domaine Xavier Muller	Marlenheim	France	<a href="http://www.vin-alsace-muller.fr">www.vin-alsace-muller.fr</a>
Heating Cases	Vilafranca del Penedès	Vilafranca del Penedès	Spain	<a href="http://www.vilafranca.cat">www.vilafranca.cat</a>
Equipment Manufacturers	Viessmann Holzfeuerungsanlagen GmbH	Hard	Austria	<a href="http://www.viessmann.com">www.viessmann.com</a>
Heating Cases	Vennerslund	Norre Alslev	Denmark	<a href="http://www.vennerslund.dk">www.vennerslund.dk</a>
ESCOs & Installers	VALPLUS ENERGIA, S.L.E	CAMPILLOS (MÁLAGA)	Spain	<a href="http://www.valplus.es">www.valplus.es</a>
ESCOs & Installers	URBIC, S.L.	ZARAGOZA (ZARAGOZA)	Spain	<a href="http://www.urbic.es">www.urbic.es</a>

<https://www.agrobiomass-observatory.eu/?handler=Search>

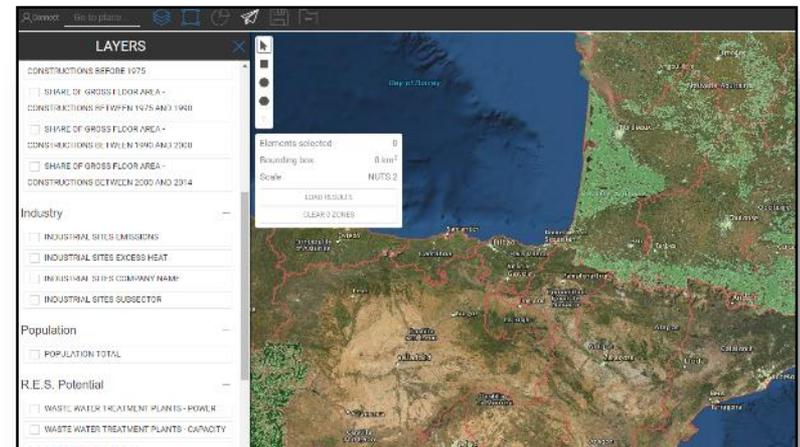
- **Yield Gap:** Se trata de un atlas que permite filtrar y consultar los rendimientos de cultivos en todo el mundo.



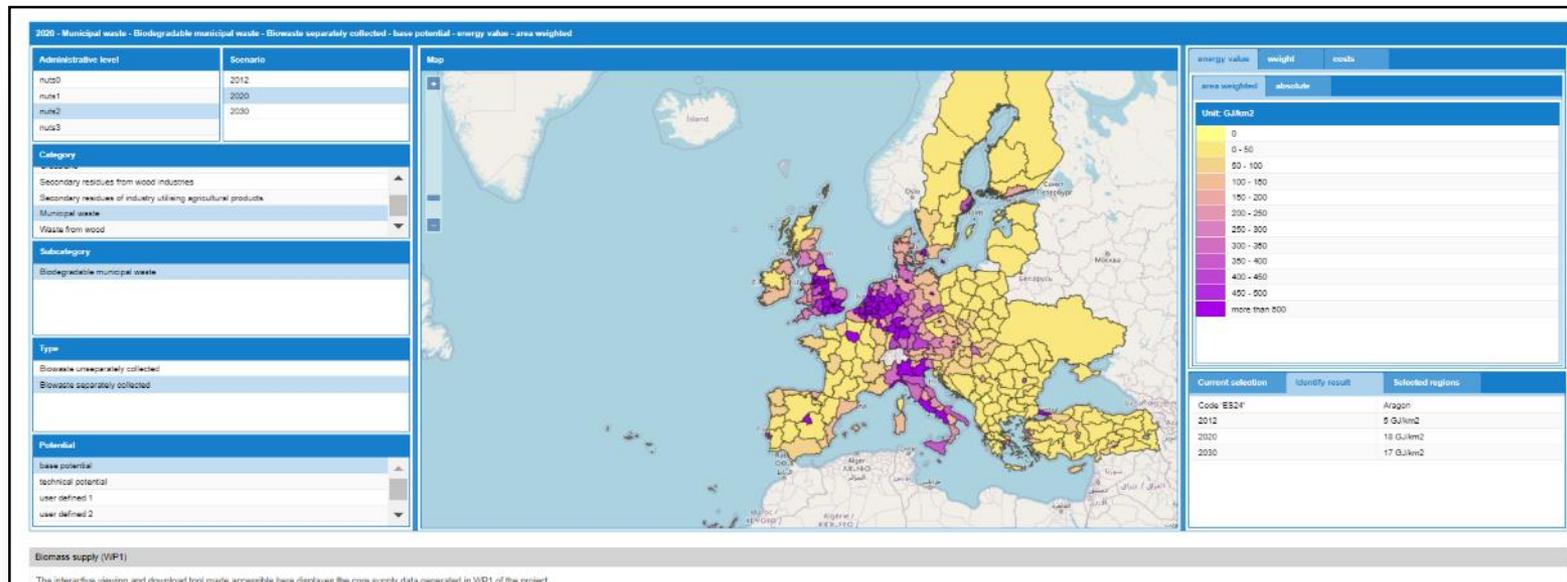
<https://www.yieldgap.org/gygaviewer/index.html>

- **Hotmaps:** Consiste en un programa online basado en tecnología SIG que ayuda a las autoridades y a los planificadores energéticos a definir planes estratégicos de calor y frío en sus regiones.

<https://www.hotmaps.eu/map>

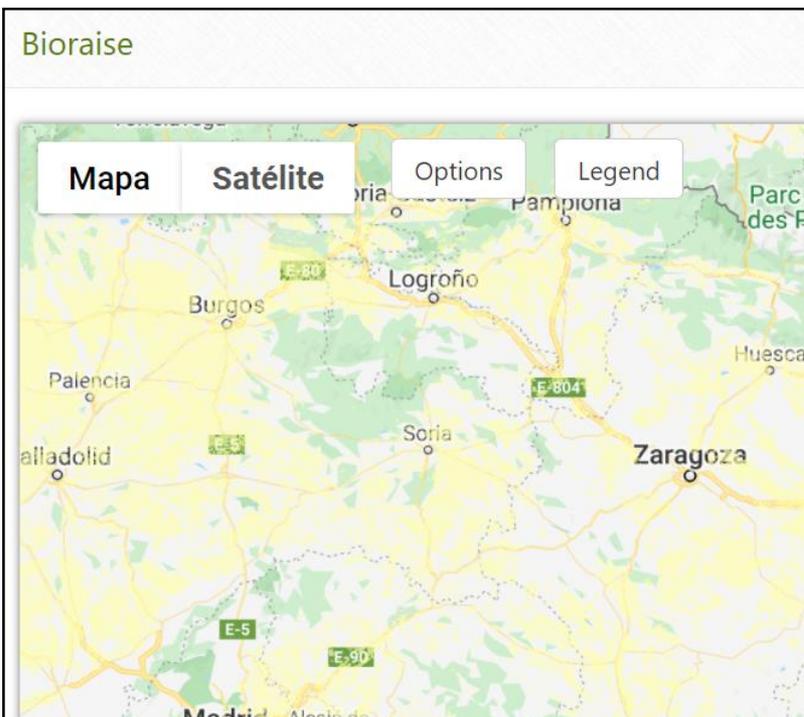


- S2Biom:** El objetivo principal del proyecto S2Biom consiste en facilitar la entrega sostenible de recursos no alimenticios de biomasa a nivel local, regional y paneuropeo a través de conjuntos de datos armonizados a distintos niveles para la Europa de los 28, los países balcánicos, Moldavia, Turquía y Ucrania.



<https://s2biom.wenr.wur.nl/home>

- BioRaise:** Esta herramienta ofrece información acerca de los recursos de biomasa agrícola y forestal de campo con potencial para uso energético en Croacia, Eslovenia, España, Francia, Grecia, Italia, Portugal y Turquía, así como sobre productores de derivados agroindustriales y actores del mercado de la bioenergía. La plataforma permite el cálculo de los recursos de biomasa mencionados y sus costes de cosecha y transporte.



Calculation results

Forest Biomass	Potential resources (tDM/year)	Available resources (tDM/year)	Average cost of collection (€/tDM)	Surface of potential resources (ha)	Surface of available resources (ha)	Average transport cost (€/tDM)
Conifers	39,435.51	13,330.76	57.28	71,846.47	66,557.17	14.4
Broadleaved species	47,367.88	15,914.92	48.66	36,769.06	34,518.74	15.26
Mixed	16,952.18	6,082.64	51.89	25,783.82	25,193.79	15.02
Shrub	133,166.84	31,342.93	41.27	266,164.22	155,047.75	14.51

Transportation fuel cost  €/liter

Energy content

Agricultural Biomass	Available resources (tDM/year)	Moisture content (% w.b.)	Available resources (tWM/year)	Ash value mean reference (% d.b.)	Energetic content (GJ/year)	Average cost of collection (€/GJ)	Average transport cost (€/GJ)
Rainfed crops	448,987.13	<input type="text" value="35"/>	690,749.43	6.1	7,077,625.91	2.58	0.82

<http://bioraise.ciemat.es/Bioraise/home/main>

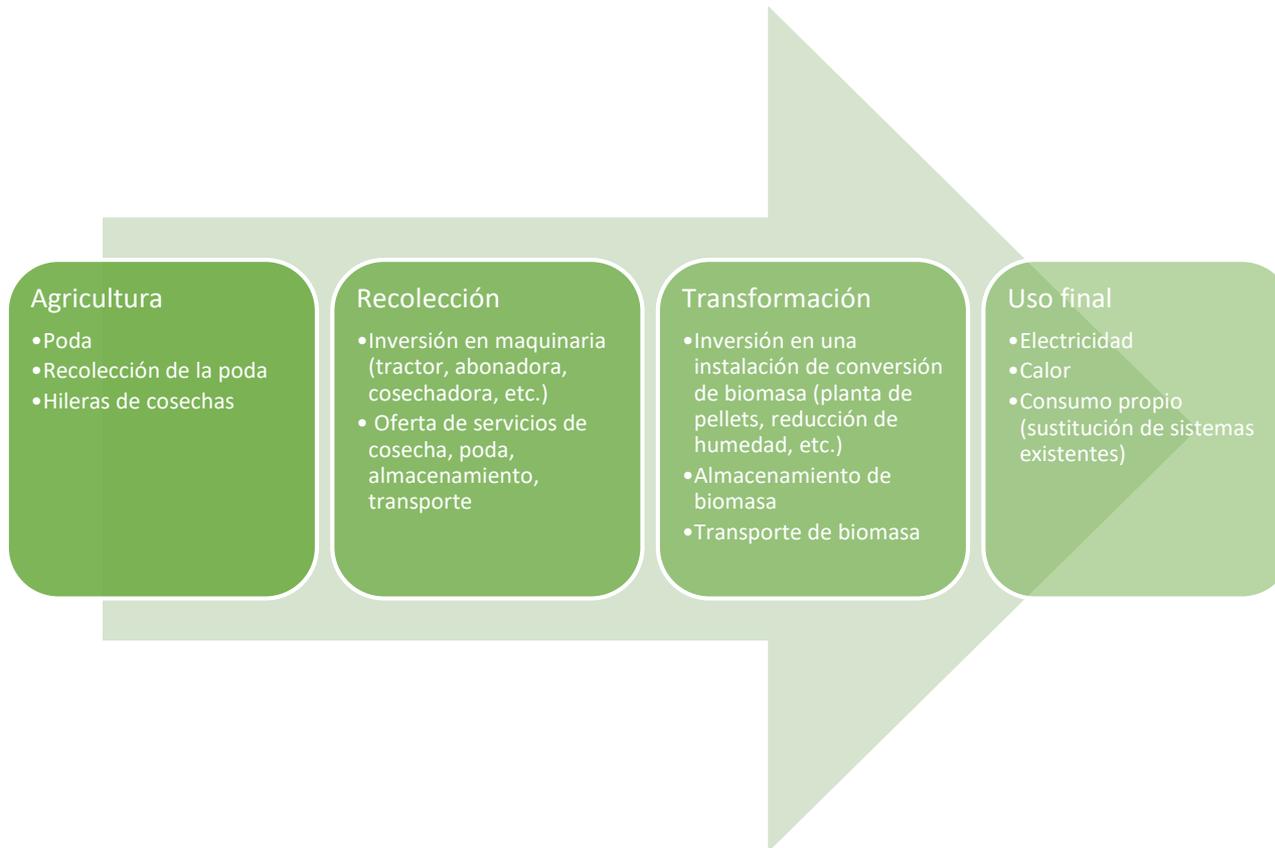


## Índice:

1. **Tipos de agrobiomasa**
2. **Combustión de la biomasa**
3. **Tecnologías de combustión de la agrobiomasa**
  - 3.1 Tipos de tecnología
  - 3.2 Innovaciones principales
  - 3.3 Casos de éxito de combustión de la agrobiomasa
4. **Operación de las instalaciones de agrobiomasa**
  - 4.1 Problemas técnicos habituales y soluciones
  - 4.2 Agronergy: «Diseño para la resolución de problemas»
5. **Emisiones generadas en el proceso de combustión de la agrobiomasa**
  - 5.1 Tipos de compuestos, problemas asociados y límites de emisiones
  - 5.2 Marco normativo
6. **Tipos y fuentes de recursos y logística de recolección**
  - 6.1 Fuentes de localización de recursos (herramientas útiles y mapeo)
  - 6.2 Logística de recolección**
  - 6.3 Costes de recolección y maquinaria necesaria



## Conjunto de operaciones que tienen lugar a lo largo de la cadena de valor



- A continuación, se indican las actividades necesarias para el suministro de la agrobiomasa desde su punto de producción hasta las instalaciones de generación calor:
  - Cosecha/recolección
  - Manipulación en campo y transporte
  - Almacenamiento
  - Carga y descarga en vehículos de transporte por carretera
  - Procesamiento de la biomasa
  - Transporte



- La cadena de suministro de la biomasa presenta una serie de características que la diferencian de una cadena típica:
  - Disponibilidad estacional
  - Materiales de baja densidad
  - Equipos especialmente diseñados de recolección y manipulación



- Necesidades estacionales de recursos
- Mayor necesidad de equipos de transporte/manipulación y espacio de almacenaje
- Complejidad estructural de la cadena de suministro



Aumento de costes de la cadena de suministro y necesidad de diseño específico

- Existen tres grupos de actores clave que participan en la cadena de valor de la biomasa. Aquí vemos los tipos de actores, su interrelación y funciones principales.



Función principal:

Hallar la mejor forma de ahorro en la gestión de labiomasa  
Establecer un diálogo y colaboración con los siguientes actores de la cadena

Agricultores

Cooperativas

Productoras de fruta/aceituna/uva

**CONSUMO PROPIO**

Calor en explotaciones agrícolas

Calor en invernaderos

Demanda energética para procesamiento de alimentos/piensos

Función principal:

Establecer un diálogo y acuerdos con el productor del residuo de biomasa  
Organizar la logística y el procesamiento para preservar la calidad y mantener un bajo coste

Empresas de agroservicios

Empresas de servicios forestales

Proveedores de biomasa

Minoristas de residuos

Empresas de servicios energéticos

Instalaciones transformadoras de biomasa

Plataformas de biomasa

Servicios públicos

Función principal:

Exigir a los proveedores unos parámetros de calidad a cumplir  
Garantizar que esta biomasa pueda utilizarse en sus instalaciones previo a la inversión por parte de cualquier actor

Hogares

Agroindustrias

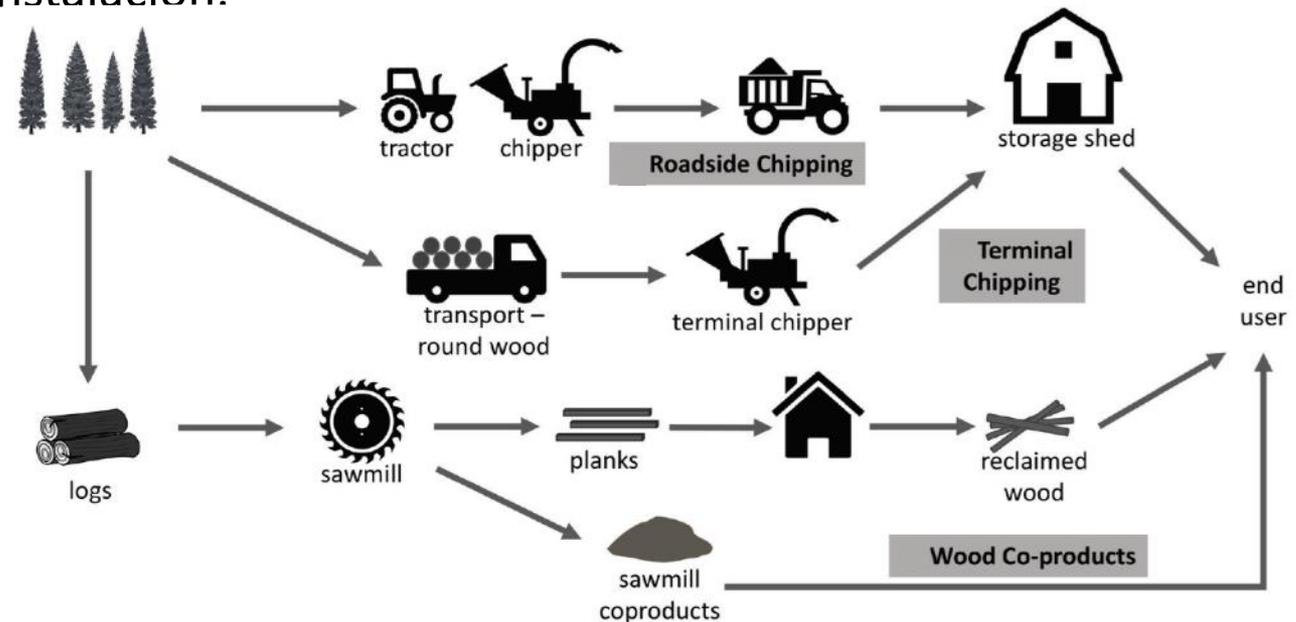
Calor industrial

Sector terciario

Redes de calefacción urbana

Centrales eléctricas y de cogeneración

- Resulta fundamental que las instalaciones generadoras de calor reciban un suministro constante de biocombustible que cumpla con los criterios de calidad fijados. Para ello, el sistema de suministro de biomasa deberá ser capaz de operar de manera eficiente y fiable.
- Una cadena de suministro de biomasa típica comprende una serie de procesos diferenciados. Dichos procesos pueden incluir la cosecha, manipulación, almacenamiento, transporte en campo o bosque, transporte por carretera y uso del combustible en la instalación.



<https://www.bioenergyconsult.com/biomass-collection/>  
<http://www.worldbioenergy.org/uploads/Factsheet%20-%20Biomass%20Supply%20Chains.pdf>

Ejemplo de distintas vías desde el recurso forestal hasta su transformación energética

- La recolección de la biomasa implica la recolección, el empaquetado y el transporte de la misma hasta un punto cercano para su almacenamiento provisional.



Embalado



Carga

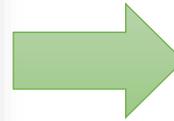


Astillado



Cosecha de cultivo entero

Preprocesamiento: es conveniente realizar una labor de preprocesamiento cuando sea posible dado que aumenta el precio del combustible a lo largo de la cadena de valor y, además, puede ser necesario o útil para reducir la contaminación o los gastos de transporte (mayor densidad, menor coste de transporte por unidad de volumen).



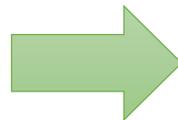
- Conminución: transportar un árbol entero no resulta eficiente, por lo que una conminución en el campo para obtener partes más pequeñas mediante triturado puede representar una alternativa interesante al facilitar el transporte. Las astilladoras solamente están indicadas para la parte aérea del árbol. Así pues, si se incluyen raíces y tocones, conviene emplear una machacadora o trituradora con el fin de evitar que la tierra y las piedras contaminen la biomasa.

Molido secuencial en dos fases

Separación neumática

Molienda fraccional

- Secado.
- Densificación: el secado y la densificación aumentan la densidad energética del combustible, haciendo que la quema sea más fácil y ecológica.



Diseño y análisis del sistema de suministro de recursos, "The Feedstock Logistics Design Case for Multiple Conversion Pathways" Pág. 47

<https://www.bioenergyconsult.com/biomass-collection/>

## FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DISTANCIA DEL TRANSPORTE

- La zona de captación del recurso de biomasa y la distancia asociada que deberá recorrer la biomasa entre puntos de almacenamiento e instalaciones generadoras de calor dependerá de una serie de factores clave, entre ellos:
  - el tamaño de la instalación y de la tecnología de transformación empleada;
  - el rendimiento obtenido del cultivo;
  - la proporción de tierra alrededor de la instalación sembrada con cultivos energéticos de biomasa o cultivos con potencial de biomasa como derivados (como la paja), o la densidad de bosque en el caso de combustible forestal;
  - la disponibilidad del material como recurso de biomasa (la paja, por ejemplo, se destina a otros usos, por lo que solamente una parte del total producido estará disponible para biomasa).
- Además de la relevancia del transporte en cualquier consideración relacionada con los sistemas de biocombustible debido a que permite un flujo adecuado entre el punto de producción y el de consumo, también es importante tener en cuenta los costes asociados.

- La infraestructura de transporte suele implicar que el único medio posible para la recogida del combustible sea por carretera.

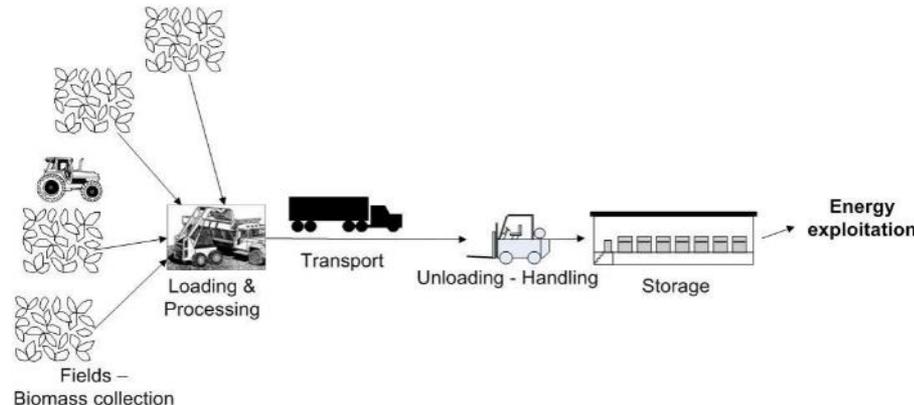
## IMPACTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA BIOMASA SOBRE LOS COSTES DE TRANSPORTE

- Al considerar los costes logísticos asociados a una carga concreta como un tipo de biocombustible, cabe tener en cuenta una serie de factores clave respecto a las características del producto:

- ratio entre volumen y masa;
- ratio entre valor y masa;
- características especiales.



- Existen diferentes opciones de almacenamiento, aunque se suele optar por la solución con el menor coste posible, sin reparar en el impacto que pueda tener sobre el coste total del sistema:
  - almacenamiento directo en el campo;
  - almacenamiento intermedio (entre el campo y la instalación), que implica pagar gastos de transporte dos veces;
  - almacenamiento próximo a la instalación (el almacenaje en las inmediaciones de la instalación es la única forma viable de acelerar el proceso de secado de la biomasa, pudiendo aprovecharse el calor acumulado sin consumir más energía).



Rentizelas, A. Tolis, A. Tatsiopoulos, I.P. (2009), 'Logistics issues of biomass: the storage problem and the multi-supplier biomass chain', *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, Vol. 13 (4), pp. 887-894 [\[Introducción interesante\]](#)

[https://www.researchgate.net/publication/223824022\\_Logistics\\_issues\\_of\\_biomass\\_The\\_storage\\_problem\\_and\\_the\\_multi-biomass\\_supply\\_chain](https://www.researchgate.net/publication/223824022_Logistics_issues_of_biomass_The_storage_problem_and_the_multi-biomass_supply_chain)



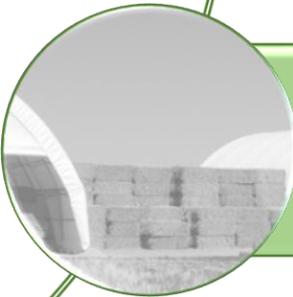
### Cosecha

- Embalado
- Apilado
- Cortado
- Cosecha de cultivo entero



### Transporte

- Distancia
- Propiedades de la biomasa
- Tiempo terminal



### Almacenamiento

- Almacenamiento en campo
- Almacenamiento intermedio
- Almacenamiento en instalación

## Índice:

1. **Tipos de agrobiomasa**
2. **Combustión de la biomasa**
3. **Tecnologías de combustión de la agrobiomasa**
  - 3.1 Tipos de tecnología
  - 3.2 Innovaciones principales
  - 3.3 Casos de éxito de combustión de la agrobiomasa
4. **Operación de las instalaciones de agrobiomasa**
  - 4.1 Problemas técnicos habituales y soluciones
  - 4.2 Agronergy: «Diseño para la resolución de problemas»
5. **Emisiones generadas en el proceso de combustión de la agrobiomasa**
  - 5.1 Tipos de compuestos, problemas asociados y límites de emisiones
  - 5.2 Marco normativo
6. **Tipos y fuentes de recursos y logística de recolección**
  - 6.1 Fuentes de localización de recursos (herramientas útiles y mapeo)
  - 6.2 Logística de recolección
  - 6.3 Costes de recolección y maquinaria necesaria**



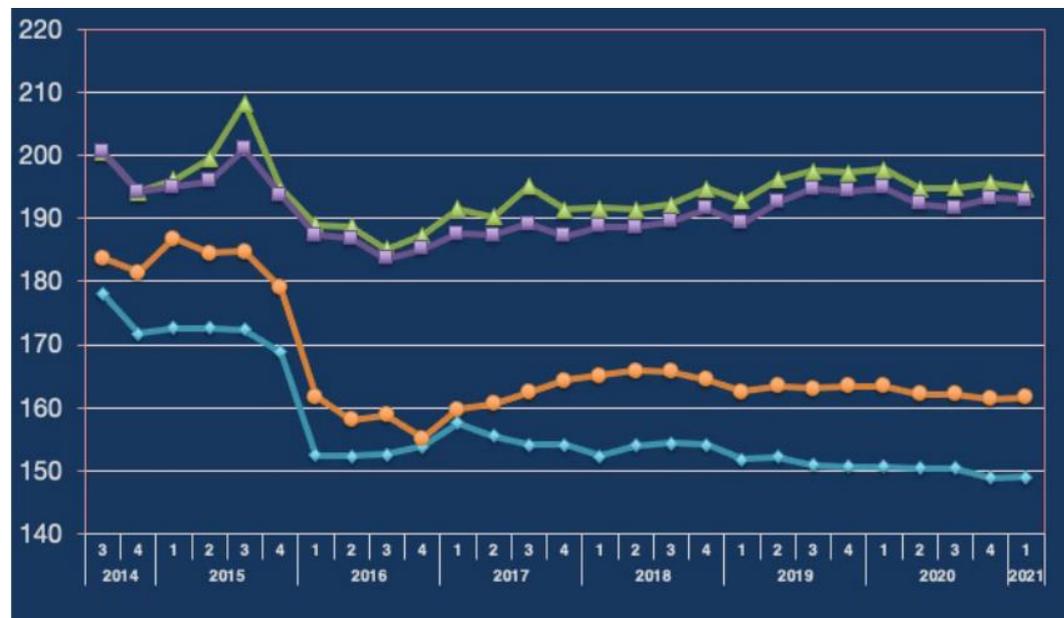
**Table 3 – Overview of the (distribution of) capital expenses and labour input.**

	Capital expenditure			Total, € ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup>	Labour, h ha <sup>-1</sup> y <sup>-1</sup>
	Establishment and planting	Harvesting, field transport and storage	Miscellaneous		
<b>Lignocellulosic crops</b>					
Poplar <sup>a</sup>	94%	5%	0%	143	5.1
Willow <sup>b</sup>	76%	23%	1%	156	5.1
Eucalyptus <sup>c</sup>	Not specified			172	5.1
<b>Herbaceous lignocellulosic crops</b>					
Miscanthus <sup>d</sup>	36%	64%	0%	576	6.6
Switchgrass <sup>e</sup>	13%	84%	3%	512	9.7
Reed canary grass <sup>f</sup>	36%	58%	6%	194	10.6
<b>Oil crops</b>					
Rapeseed <sup>g</sup>	29%	68%	3%	292	7.2
Sunflower <sup>h</sup>	35%	65%	0%	290	8.6
<b>Sugar crops</b>					
Sugar beet <sup>i</sup>	38%	59%	3%	839	8.8
<b>Starch crops<sup>j</sup></b>					
Wheat	47%	42%	11%	356	4.4
Rye	47%	42%	11%	356	4.4
Triticale		42%	11%	356	4.4
Corn	47%	42%	11%	356	4.4

Nota: Valores indicativos

Fuente: <https://edepot.wur.nl/352633> Potencial de los recursos de biomasa y costes asociados, REFUEL

	Pellets	Huesos de aceituna	Astillas de madera
<b>Bolsa de 15 kg</b>			
€/tn	290,67	194,7	-
€/kWh	6,1	4,09	-
<b>Bolsa de pellets</b>			
€/tn	282,12	192,94	-
€/kWh	5,92	4,05	-
<b>Granel en volquete</b>			
€/tn	235,89	149,09	-
€/kWh	4,95	3,13	-
<b>Granel en camión cisterna</b>			
€/tn	259,83	161,6	111,54
€/kWh	5,45	3,39	2,53



*Evolución del precio medio de huesos de aceituna (€/tn) en España. Fuente: AVEBIOM, Índice de precio de FRUTOS OLEOSOS para uso doméstico en España*

Fuente: AVEBIOM, Índice de precios de FRUTOS OLEAGINOSOS para uso doméstico en España

- Procesadoras: las procesadoras, cuya aplicación principal es apeaar y trocear la parte maderable, también pueden trocear las ramas grandes y las copas, para facilitar el posterior trabajo del manejo de los residuos.
- Autocargadores: sirven para realizar el desembosque de los materiales, ya sean maderables o con destino energético. Generalmente, este medio de saca se usa junto con otros equipos.
- Maquinaria para el astillado y triturado: se utiliza para reducir el volumen de distintos tipos de biomasa:
  - astilladoras estáticas;
  - astilladoras semimóviles;
  - astilladoras móviles (remolcadas o autopropulsadas).



- La maquinaria agrícola puede clasificarse según la labor para la que sirve:
  - Equipos de labranza: su finalidad es preparar el suelo arable o cama de siembra, que son los 30 cm más superficiales donde se da el máximo desarrollo radicular de las plantas, mediante la descompactación del suelo. Entre 2000 y 40.000 €, con un precio medio de 31.000 € en función de la tecnología usada y la capacidad.
  - Equipos de abonado: entre 500 y 70.000 € dependiendo de la capacidad y de la tecnología empleada en la maquinaria, con un precio medio de 10.500 €.
  - Equipos de siembra, plantación y trasplante: entre 4.500 y 43.000 €, con un precio medio de 16.000 €.
  - Maquinaria de cosecha y empacado/triturado.

- Maquinaria de forraje y procesamiento

Segadoras (5.000-180.000 €)	Alternativas	Cuchilla simple
		Cuchilla doble
	Rotativas	Eje horizontal (mayales)
		Eje vertical (discos, tambores, mixtos)
Rastrillos (3.000-150.000 €)	Accionados por toma de fuerza	De molinete horizontal, de cadenas de soles
	Accionados por eje horizontal por toma de fuerza	Horquillas verticales y horizontales, peines oscilantes
Accionadores	De rodillos (10.000-60.000 €)	
	De dedos	
Empacadoras	Empacadora cuadrada (20.000-100.000 €)	
	Empacadora redonda (10.000-50.000 €)	
Picadoras (5.000-20.000 €)		
Peletizadoras	Peletizadora móvil	
	Peletizadora estática	

Fuente de precios: Tractorhouse.es



Segadora: 2020 Krone  
EC320CV - 18.500 €

Rastrillo: 2021 AGRO-MASZ  
BT40 - 10.000 €



Trituradora de balas: 2019  
KUH N PRIMOR 3570M -  
15.000 €



Trituradora delantera  
con descarga en  
remolque agrícola



Trituradora trasera con  
descarga en remolque  
agrícola



Trituradora trasera con  
descarga en contenedor  
elevador delantero



Trituradora automóvil

Múltiples sistemas y soluciones  
en el mercado



Trituradora  
remolcada con  
descarga en  
sacos



Trituradora  
remolcada con  
descarga en  
remolque agrícola



Trituradora  
remolcada con  
contenedor de  
vertido/basculante  
integrado



Trituradora remolcada  
con contenedor  
basculante integrado  
para descarga en  
altura

Fuente: Material formativo de uP\_running - D4.1



Astilladora delantera



Astilladora  
remolcada con  
descarga en  
remolque agrícola



Astilladora remolcada  
con contenedor  
basculante integrado  
para descarga en  
altura



Astilladora  
remolcada con  
descarga en  
sacos

*Pocos sistemas y soluciones  
en el mercado*

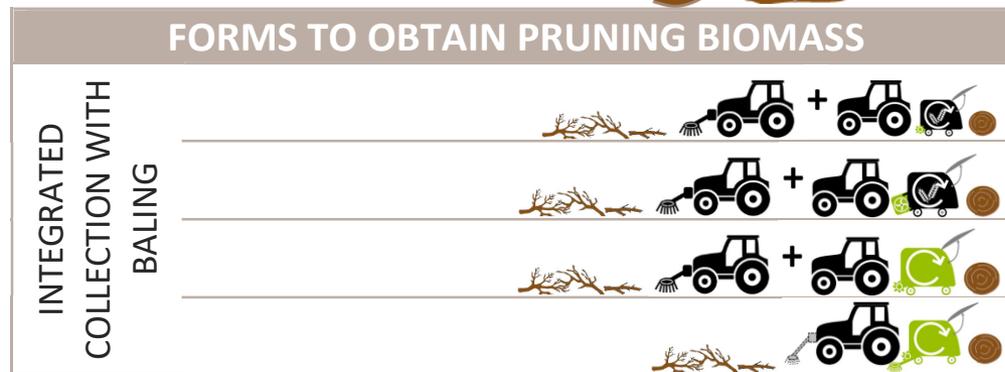
- Astilladoras de madera propulsadas para tractor: 1.000-10.000 € (AgriEuro)
- Astilladoras de madera/trituradoras de jardín de gasolina: 500-14.000 € (AgriEuro)
- Astilladoras de madera/trituradoras de jardín eléctricas: 200-1.400 € (AgriEuro)



Astilladora trituradora profesional para tractor Ceccato Tritone Mega Monster P.T.O.



Empacadora de poda (balas redondas pequeñas)  
con almacenamiento integrado



Empacadora redonda  
de heno utilizada para embalar la poda



Empacadora redonda de poda

Entre 10.000 y 150.000 € aproximadamente, con un precio medio de 50.000 €.



Empacadora cuadrada  
de heno para embalar la poda



Empacadora cuadrada de poda

Fuente: Material formativo de uP\_running - D4.1  
Fuente: Tractorhouse.es

- Viabilidad de la cadena de valor seleccionada
- Se evaluó la viabilidad económica según los actores identificados, los costes declarados y los resultados de rendimiento obtenidos durante las demostraciones.
- La tabla siguiente muestra un ejemplo de precios en el caso de estudio de la Cooperativa San Juan Bautista en España.

Descripción	CAPEX (€)	OPEX (€/año)	Ahorro (€/año)	Observaciones
<b>Poda y acarreo</b>	-	-	-	Lo habitual, evitando el tiempo necesario para la quema al mejorar el acarreo con el rastrillo
<b>Recolección y transporte</b>	-	2.426 €	-	Subcontratado
<b>Triturado</b>	-	4.662 €	-	Subcontratado
<b>Usuario final</b>	110.000 € (a confirmar por las empresas de servicios energéticos)	13.500 €	26.000 €	CAPEX: Inversión en una nueva caldera de biomasa, sistema de alimentación, zona de almacenamiento y cargadora para alimentar la tolva OPEX: Personal, fuel para la cargadora, gastos de mantenimiento, etc. Ahorro: Sustitución de combustibles fósiles

**Nota: Valores indicativos**



Promoting the penetration of agrobiomass heating in European rural areas

Gracias por su atención

## Beneficiarios principales



## Autores principales

Alessandro Carmona (CIRCE)

Jaime Guerrero (CIRCE)

Clara A. Jarauta Córdoba (CIRCE)



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under Grant Agreement No 818369. This document reflects only the author's view. The European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA) is not responsible for any use that may be made of the information it contains.