



Food & Bio Cluster  
Denmark

# El uso de paja para producción de energía

Tecnologías, políticas y  
la innovación en Dinamarca

SEGUNDA EDICIÓN



Este proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del Acuerdo de subvención No 818369

AgroBioHeat

**Food & Bio Cluster  
Denmark es el clúster  
nacional de alimenta-  
ción y biorecursos en  
Dinamarca.**



# Sobre Food & Bio Cluster Denmark

Somos una plataforma colectiva para la innovación y el crecimiento tanto de las empresas danesas e internacionales como de las instituciones basadas en el conocimiento. Promovemos una mayor cooperación entre los centros de investigación y las empresas y ofrecemos a nuestros miembros acceso a redes, financiación, desarrollo empresarial, proyectos e instalaciones.

Ofrecemos varios servicios de consultoría, por ejemplo, procesos de innovación, redacción de solicitudes de financiación blanda, organización de giras temáticas y misiones empresariales, redacción de informes sobre diferentes temas dentro de nuestras áreas de especialización, y mucho más.

Para más información, visite [www.foodbiocluster.dk](http://www.foodbiocluster.dk).



**Food & Bio Cluster**  
Denmark



Este proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del Acuerdo de subvención No 818369

## Publicación

Esta publicación realizada por el Food & Bio Cluster Denmark es una edición actualizada de "Straw to energy - status, technologies and innovation in Denmark 2011" ("El uso de paja para producción de energía" – estatus, tecnologías e innovación en Dinamarca 2011). La actualización forma parte del proyecto AgroBioHeat, que ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud de un acuerdo de subvención No 818369. Este documento refleja únicamente las opiniones de los autores. La Agencia Ejecutiva de Innovación y Redes (INEA por sus siglas en inglés) no se responsabiliza del uso que pueda hacerse de la información que contiene.

El proyecto AgroBioHeat tiene como objetivo promover soluciones de calor con agrobiomasa en áreas rurales de Europa. La agrobiomasa es un recurso grande, subexplotado, que puede apoyar el logro de los objetivos europeos de energía y clima y promover el desarrollo rural y la economía circular.

Para obtener más información sobre el proyecto, por favor visite [www.agrobioheat.eu](http://www.agrobioheat.eu).

En cooperación y traducido a su idioma por AVEBIOM y CIRCE.



### TÍTULO

Paja para su uso como energía (2ª edición)

### PUBLICADO POR

Food & Bio Cluster  
Dinamarca  
Agro Food Park 13  
8200 Aarhus N Dinamarca

### FOTO DE PORTADA

Flemming Nielsen/  
Story2Media ApS

### DISEÑO Y MAQUETACIÓN

Diseñadora Gráfica  
Trine Elmstrøm  
[www.danskdesignrum.dk](http://www.danskdesignrum.dk)

### FOTOS

Torben Skøtt/Biopress,  
Jørgen Hinge/Instituto  
Tecnológico Danés, Cormall  
A/S, Linka Energy, Kirsten  
Krogh, Adam Weller,  
Staramaki y Food & Bio  
Cluster Dinamarca

### AUTORES

Torben Skøtt/BioPress,  
Jørgen Hinge/Instituto  
Tecnológico Danés y Louise  
Krogh Johnson/Food & Bio  
Cluster Dinamarca

### REVISIÓN

Manolis Karampinis/  
Centro de Investigación y  
Tecnología Hellas (CERTH),  
Grecia y Gunnar Hald  
Mikkelsen/ Food & Bio  
Cluster Dinamarca

# Índice

<b>Introducción</b>	<b>4</b>		
		Tamaño de la caldera	27
		Depósito de inercia	27
<b>La paja como fuente de energía</b>	<b>7</b>	<b>Calefacción del barrio</b>	<b>29</b>
<b>La política energética - Una herramienta importante</b>	<b>8</b>	<b>Calefacción urbana o district heating</b>	<b>30</b>
Reajuste del sistema de energía	9	Manejo de la paja en la planta de calefacción urbana	31
Acuerdos internacionales sobre la mitigación del cambio climático	9	Diseño de la caldera	32
Objetivos nacionales	11	¿Pacas enteras o paja triturada?	32
Independencia de los combustibles fósiles	11	Consideraciones ambientales	32
<b>La paja como combustible</b>	<b>12</b>	<b>Paja para plantas de cogeneración</b>	<b>35</b>
Fuentes disponibles de la paja	12	Manipulación de paja en planta	35
Europa	15	Combustión de parrilla	36
El rendimiento depende de la variedad	15	Combustión de polvo inyectable	36
Manipulación de la paja	15	Lecho fluido circulante	36
Rastrillaje	16	Co-combustión	37
Empacado	16	Retos	38
Pellets, briquetas y triturado de paja	17	<b>Otras aplicaciones de la paja</b>	<b>39</b>
La carga y descarga de camiones y camionetas	17	Gasificación	39
Transporte de campo	18	Paja a bioetanol	40
Almacenamiento descentralizado	18	El concepto "Inbicon" para Bioetanol	40
Transporte por carretera	19	El concepto de bioetanol BioGasol	41
Descarga en la planta	19	Paja en plantas de biogás	42
Aspectos de salud y seguridad	19	Pretratamiento mecánico	43
		Filtro de lecho profundo, compostaje y ensilaje	43
		Otros métodos de pretratamiento	43
		Fuel oil de paja	43
		Materiales de construcción de paja	43
<b>Aspectos de sostenibilidad de la combustión de la paja</b>	<b>21</b>	<b>Creando crecimiento verde a partir de la paja en el futuro</b>	<b>45</b>
Efectos de la retirada de la paja	21		
Aplicación de las cenizas de la combustión de la paja	22		
Aplicación del biocarbón y el biofertilizante	23		
<b>Calderas de paja a pequeña escala</b>	<b>24</b>	<b>Directorio de empresas con experiencia y tecnologías en paja</b>	<b>46</b>
La eficiencia y el medio ambiente	26		

**La mayor ventaja de usar paja en el sector energético es que es un combustible neutro en emisiones de CO2.**



# La paja como fuente de energía

La paja puede ser una fuente importante de energía renovable, como se describe en el ejemplo de Dinamarca.

El uso de la paja para la producción de energía en Dinamarca ha aumentado significativamente desde los años 80, pero todavía hay más de dos millones de toneladas de excedente de paja disponibles, y si se cultivan las variedades adecuadas, el excedente podría ser aún mayor. En los últimos años, algunas organizaciones ecologistas -entre otras- han cuestionado el creciente uso de la biomasa para la producción de energía. Sin embargo, cuando se trata de paja (así como de otros residuos y subproductos) de los que hay un excedente considerable, su utilización como fuente de energía tiene mucho sentido.

La mayor ventaja de la utilización de la paja en el sector energético es que se trata de un combustible neutro en emisiones de CO<sub>2</sub>, y por lo tanto no contribuye a aumentar el contenido de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Hace sólo unas décadas, la paja se consideraba un residuo problemático, del que los agricultores querían deshacerse lo más rápidamente posible. La parte de la paja que no se utilizaba como alimento o cama se quemaba típicamente en los campos después de la cosecha. Sin embargo, en 1991, la quema de rastrojos se convirtió en ilegal, y desde entonces se ha prestado más atención a la utilización de la paja con fines energéticos.

Gracias a políticas específicas y a los avances tecnológicos, Dinamarca se ha convertido en un líder mundial en la utilización de la paja con fines energéticos. La paja representa más del 2% de la producción de consumo bruto de energía danesa y alrededor del 10% de la producción de energía renovable. En la actualidad, la paja se utiliza principalmente como combustible en plantas agrícolas, en plantas de calefacción urbanas y en grandes plantas de energía y de cogeneración. En el futuro, a medida que las nuevas tecnologías maduren y sean más rentables, la paja también podrá utilizarse para la producción de biocombustibles líquidos y gases renovables, así como una materia prima para diversos materiales y productos biobasados.

La presente guía se centra en el sector de la energía de la paja en Dinamarca, cuya prominencia es una característica única del país. Sin embargo, cabe señalar que hay varios ejemplos de utilización de la paja para la energía más allá de Dinamarca, a menudo, pero no siempre, desarrollados con tecnologías danesas. Se puede encontrar más información sobre casos concretos en el Observatorio de la Agrobiomasa ([www.agrobiomass-observatory.eu](http://www.agrobiomass-observatory.eu)) del proyecto AgroBioHeat.

# La política energética - Una herramienta importante

La paja no habría tenido su lugar actual en la producción de energía danesa si no hubiera habido voluntad política de explotar este abundante recurso renovable en el sistema energético.

**Hoy en día, casi todos los partidos del Parlamento están de acuerdo en que Dinamarca debe ser independiente de los combustibles fósiles en 2050.**

Durante décadas, los gobiernos daneses han incentivado el uso de las energías renovables. En 1976, Dinamarca lanzó su primer plan energético "Política Energética Danesa 1976" y desde entonces se ha dado a conocer por una política energética activa que hace hincapié en el uso eficiente de la energía, el ahorro de energía y la energía sostenible. Hoy en día, casi todos los partidos del Parlamento están de acuerdo en que Dinamarca debe ser independiente de los combustibles fósiles en 2050.



*A partir de 1993, se exigió a las centrales eléctricas que tomaran 1,4 millones de toneladas de biomasa por año, de las cuales al menos 1 millón debería ser de paja. FOTO Torben Skøtt, BioPress.*





Desde la década de 1980 ha habido una descentralización de la producción de energía danesa, y hoy en día muchas plantas más pequeñas generan electricidad y calefacción urbana. **FOTO** Kirsten Krogh.

## Reajuste del sistema de energía

El sistema energético danés, que en la década de 1970 se basaba casi exclusivamente en el petróleo y el carbón importados, se caracteriza hoy en día por una gran diversificación de las diferentes fuentes de energía. Se ha producido una expansión continua de las energías renovables, incluyendo la energía eólica, los residuos, el biogás y la paja. Los pasos que han allanado el camino para este desarrollo incluyen recargos en el precio de la energía, acuerdos políticos que apoyan el establecimiento de ciertos tipos de energía sostenible, así como la exención de impuestos sobre la biomasa. En particular, esto último ha significado que un gran número de hogares, granjas y plantas de calefacción urbana optaron por cambiar petróleo por biomasa.

En 1993, una amplia mayoría parlamentaria aprobó un plan de acción sobre la biomasa, que exigía a las centrales eléctricas la utilización de 1,4 millones de toneladas de biomasa por año, de las cuales 1 millón de toneladas era de paja. Se suponía que los objetivos se alcanzarían en el año 2000, pero el acuerdo se revisó varias veces y no fue hasta 2009 cuando se consiguió, con la apertura de una nueva central eléctrica para 170.000 toneladas de paja por año en la isla danesa de Funen (Fyn).

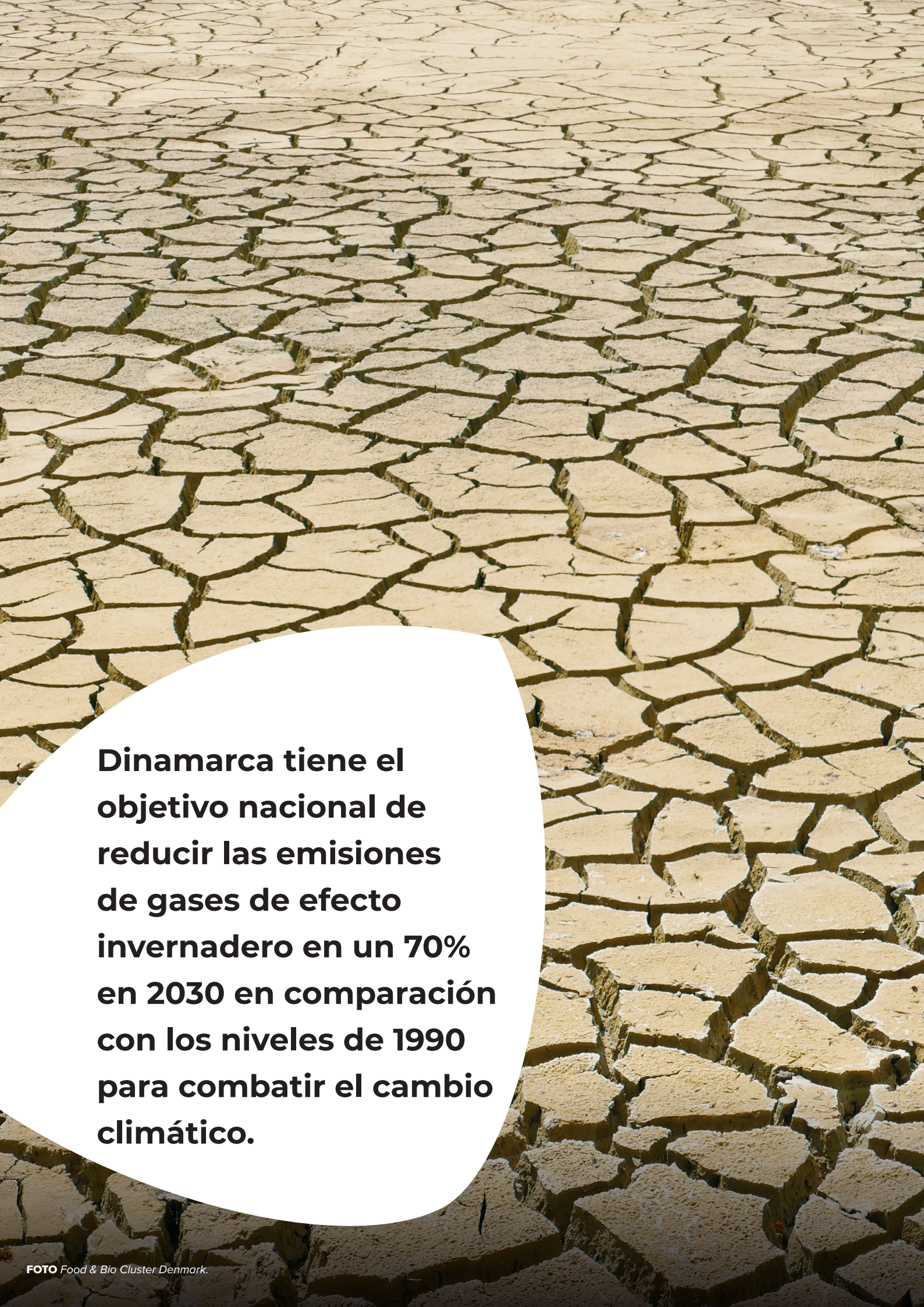
Desde los años 80, ha habido una descentralización de la producción de energía danesa. La producción de electricidad se lleva a cabo en todo el país, en lugar de sólo en unas pocas centrales. La calefacción urbana basada en el exceso de calor ha contribui-

do a que Dinamarca sea uno de los países con mayor eficiencia energética del mundo. Esto se debe a que ha sido posible mantener el consumo de energía de una manera casi constante, mientras que el crecimiento económico ha sido de alrededor del 80% desde 1980.

En 1990, el Parlamento danés aprobó la llamada Ley de Suministro de Calefacción, que otorgó al Ministro de Energía la autoridad para regular la elección del combustible en las plantas de calefacción urbanas y en las plantas descentralizadas de cogeneración. Como resultado de ello, un gran número de plantas de calefacción urbana que usaban carbón y gas natural como combustibles se convirtieron en plantas de producción combinada de calor y electricidad, mientras que varias plantas de calefacción urbana más pequeñas se pasaron a los biocombustibles.

## Acuerdos internacionales sobre la mitigación del cambio climático

Hace algunas décadas, la política energética se consideraba principalmente un asunto nacional, pero hoy en día son -en gran medida- los acontecimientos internacionales los que marcan la pauta de la política danesa en este sentido. La evolución de los mercados mundiales de la energía, la liberalización del sector de la energía y las obligaciones relativas al Protocolo de Kioto y al Acuerdo de París han tenido y siguen teniendo una repercusión considerable en el sector energético danés.



**Dinamarca tiene el objetivo nacional de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 70% en 2030 en comparación con los niveles de 1990 para combatir el cambio climático.**

Dinamarca es una de las pocas naciones que ha ratificado el artículo 3.4 del Protocolo de Kioto, lo que significa que los cambios en el contenido de carbono del suelo deben incluirse en las cuentas del clima. Esto puede llegar a ser importante para el uso de la biomasa con fines energéticos, en particular la paja, porque la utilización de la paja reduce la reserva de carbono del suelo, mientras que los cultivos energéticos perennes como el sauce aumentan la cantidad de carbono en el suelo. Sin embargo, la falta de almacenamiento de carbono al retirar la paja de las tierras de cultivo puede compensarse con el cultivo de las cosechas de otoño, y el ahorro de CO<sub>2</sub> por el uso de la paja con fines energéticos es significativamente mayor que el efecto que causa la falta de almacenamiento de carbono.

En 2016 Dinamarca ratificó el Acuerdo de París y asumió el compromiso de trabajar para limitar el calentamiento global a un nivel muy por debajo de los 2°C y continuar los esfuerzos para limitarlo a 1,5°C en comparación con los niveles preindustriales. La contribución de Dinamarca al acuerdo se negocia a través de la UE.

## Objetivos nacionales

A nivel nacional, el Parlamento danés aprobó una nueva ley sobre el clima en 2019 que establece el objetivo de reducir en un 70% las emisiones de gases de efecto invernadero para el año 2030, uno de los objetivos más ambiciosos del mundo. No se menciona específicamente el uso de la paja - o la biomasa - para alcanzar este objetivo.

Por un lado, se menciona específicamente la necesidad de que el sector agrícola reduzca sus emisiones de gases de efecto invernadero; el uso inteligente de la paja y otro material vegetal residual podría ser una de las herramientas para mejorar la huella de carbono global de la agricultura. Por otra parte, los investigadores y las organizaciones ambientales insisten cada vez más en que, a largo plazo, la biomasa debería utilizarse para la producción de productos de alto valor en lugar de energía.

## Independencia de los combustibles fósiles

En septiembre de 2010, la Comisión Danesa del Clima publicó un informe que mostraba que Dinamarca puede independizarse de los combustibles fósiles para el año 2050 y que esto es posible sin afectar negativamente a la economía.

Según la Comisión Danesa del Clima, los elementos centrales de un sistema de energía verde serán:

- Ahorro de energía
- Las turbinas eólicas marinas, que pueden suministrar gran parte de la electricidad y que se convertirán en la base del futuro sistema de energía
- La biomasa, que desempeñará un papel importante; en parte como combustible en el sector del transporte, y en parte para la producción de electricidad y calor cuando haya un déficit de turbinas eólicas.
- Calefacción de distritos urbanos y bombas de calor para la calefacción de las casas
- Electricidad y biocombustibles para el sector del transporte
- El uso inteligente de la electricidad, donde el consumo es capaz de seguir la producción en mayor medida que en la actualidad

Los análisis de la Comisión Danesa del Clima muestran que costará alrededor del 0,5% del PIB hacer un cambio completo a un sistema de energía verde, más o menos lo mismo que costará si seguimos usando carbón, petróleo y gas. Esto se debe a que nuestro sistema energético actual se volverá más caro debido a los mayores costos de los combustibles fósiles y las cuotas de CO<sub>2</sub>. Esto compensará en gran medida las inversiones en nuevas tecnologías energéticas necesarias para ser autosuficientes empleando solo energía renovable.

# La paja como combustible

En general, la paja contiene entre un 14 y un 20% de agua, que se vaporiza durante la combustión. La materia seca consiste en alrededor un 50% de carbono, 42% de oxígeno, 6% de hidrógeno, así como pequeñas cantidades de nitrógeno, azufre, silicio, álcalis, cloruro y otros.

Cuando la paja se utiliza como combustible, el contenido de agua no debe superar el 20%. Si el contenido de agua es mayor, existe el riesgo de que las pacas de paja se vuelvan demasiado duras y compactas. Del mismo modo, un alto contenido de agua aumenta el riesgo de condensación y corrosión.

La presencia de cloro y álcalis puede ser un problema en la combustión, ya que pueden provocar el desarrollo de cloruro de sodio y cloruro de potasio, que son muy agresivos y causan corrosión en las calderas y tuberías, especialmente a altas temperaturas. El objetivo es utilizar paja con un bajo contenido de materia nociva, y aquí el clima juega un papel importante. La paja, que ha estado expuesta a mucha lluvia después de madurar (especialmente después de la cosecha), y se ha vuelto gris ("desgastada"), es mucho menos agresiva que la paja amarilla, que sólo ha estado expuesta a una cantidad limitada de lluvia.

El contenido de cenizas puede variar entre el 2-10%, siendo la media del 4-5%. La paja que ha sido cultivada en suelos arenosos normalmente tiene el menor contenido de cenizas, mientras que la paja cultivada en los valles suele tener el mayor contenido de cenizas.

## La paja gris es mucho menos corrosiva en la caldera que la paja amarilla.

El valor calorífico es mayor cuando el contenido de cenizas es más bajo, por lo que puede ser una ventaja utilizar la paja de suelos arenosos para fines de calefacción.

La ceniza procedente de la quema de paja puede volverse viscosa a 600 grados, lo que es importante para las centrales eléctricas, donde se prevé una alta temperatura de vapor para obtener una gran eficiencia eléctrica. Nuevos tipos de calderas y mejores aleaciones de acero han reducido el problema a lo largo del tiempo, pero las centrales eléctricas siguen considerando la paja como un combustible más problemático que la madera.

### Fuentes disponibles de paja

Hay algunas dudas sobre la disponibilidad actual y futura de la paja para la producción de energía. La agricultura no sólo suministra materia prima al sector energético, sino que también tiene que producir alimentos y piensos y mostrar consideración por la protección de la naturaleza, la biodiversidad, la lixiviación de nutrientes y la reserva de carbono del suelo. Si el agricultor opta por arar la paja en el suelo, entonces aumentará el contenido de carbono del suelo, lo que repercutirá en los registros climáticos como se ha mencionado en la página anterior.

A lo largo de los años, se han realizado varios análisis sobre la disponibilidad de paja en Dinamarca y en el extranjero. Aunque puede haber grandes diferencias entre los estudios, hay un acuerdo general de que los recursos son mucho mayores que el consumo actual.



	Paja amarilla	Paja gris	Astillas de madera	Hulla
Contenido de agua	10-20%	10-20%	40-50%	12%
Cenizas	4%	3%	1%	12%
Carbono	42%	43%	50%	59%
Hidrógeno	5%	5%	6%	4%
Oxígeno	37%	38%	38%	7%
Cloruro	0.75%	0.20%	0.02%	0.08%
Nitrógeno	0.35%	0.41%	0.30%	1.00%
Azufre	0.16%	0.13%	0.05%	0.80%
Poder calorífico	14.4 MJ/kg	15.0 MJ/kg	10.4 MJ/kg	25.0 MJ/kg

**TABLA 1**

Parámetros a tener en cuenta para el uso como combustible de la paja, las astillas de madera y la hulla. La paja amarilla se recoge inmediatamente después de ser cosechada, mientras que la paja gris ha sufrido lluvias antes de su recogida.

Sin embargo, la manipulación y el transporte de la paja pueden ser muy costosos, de modo que aunque los recursos sean abundantes, puede que no haya un incentivo económico para utilizar la paja. Aunque la madera se ha convertido hoy en día en un producto para obtener energía que se comercializa a nivel internacional, la paja se sigue comercializando principalmente a nivel local. En principio, nada impide que los pellets de paja se vendan a través de las fronteras, aunque esto no ocurre realmente.

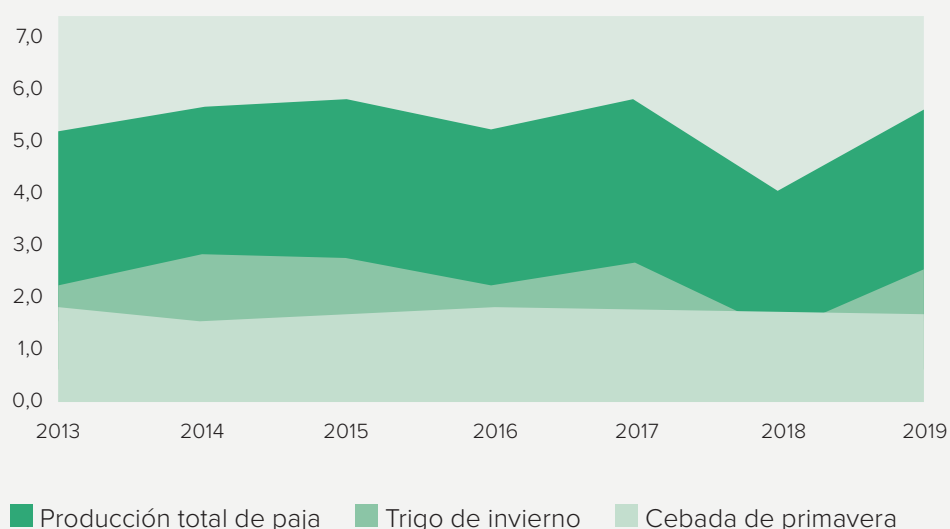
En Dinamarca, hubo una producción total media de paja de aproximadamente 5,5 millones de toneladas por año entre 2013-2019, de las cuales 3,4 millones de toneladas se utilizaron en la agricultura y con fines energéticos. Como resultado, hay un excedente de paja anual de unos 2,1 millones de toneladas. Sin embargo, el año 2018 destaca con una producción de sólo unos 4 millones de toneladas debido a la grave sequía de ese año, lo que demuestra que el cambio climático puede influir en la estabilidad del suministro.

La pregunta, sin embargo, es con qué precisión se estima el excedente de paja, y cuánto puede variar el excedente de un año a otro. Cuanta más paja se necesite para la producción de energía, más importante será que las predicciones resulten correctas para asegurar el suministro.

El consumo de paja para piensos y ropa de cama puede variar mucho de un año a otro, pero a lo largo de un período más largo no hay grandes variaciones. Sin embargo, una mayor tendencia a arar la paja en los campos sí que puede reducir el suministro de paja con fines energéticos, especialmente si las iniciativas para seguir arando la paja tienen lugar a nivel político.

La superficie dedicada a los cereales ha demostrado ser relativamente constante, aunque puede haber variaciones importantes en el rendimiento de un año a otro. Las variaciones anuales son una de las mayores fuentes de inseguridad en el suministro de paja, aparte de los acontecimientos meteorológicos imprevistos.

### Producción de paja en millones de toneladas



**FIGURA 1**

Producción total de paja y para cultivos seleccionados en Dinamarca. Incluso un pequeño cambio en las proporciones entre los granos da como resultado una variación significativa en la producción de paja. Cada vez que la cantidad de paja de trigo se modifica en 1 kg por cada 100 kg de grano, la producción total de paja de trigo en Dinamarca cambia en 47.000 toneladas. Fuente: Estadísticas de Dinamarca.



## Europa

A nivel europeo, Helin et al. han estimado la cantidad anual de paja en 33,4 millones de toneladas (peso seco), siendo Francia y Alemania, con mucho, los mayores productores. En la tabla 2 se incluyen también Ucrania y los países balcánicos. Sin embargo, ésta parece ser una estimación bastante conservadora, ejemplificada por el hecho de que el excedente anual danés en un "año normal" es de 2,1 millones de toneladas en comparación con los 1,4 millones de toneladas estimados por Helin et al.

País	Potencial de paja disponible (1000 toneladas)
Francia	5474
Ucrania	5774
Alemania	5320
Italia	1142
Hungría	1356
Rumania	1032
Polonia	2252
España	1770
Reino Unido	2477
Serbia y Montenegro	413
República Checa	1480
Dinamarca	1409
Bulgaria	641
Austria	331
Grecia	303
Eslovaquia	496
Suecia	478
Croacia	101
Lituania	452
Finlandia	402
Bélgica	83
Bosnia y Herzegovina	0
Letonia	157
Portugal	0
Estonia	75
Eslovenia	0
Países Bajos	0
Albania	0
Luxemburgo	5
Chipre	0
Irlanda	0
Malta	0
Total	33423

**TABLA 2**

Cantidad anual de paja disponible para la UE27, Ucrania y los países balcánicos (Helin et al.)



*La relación entre la paja y el grano depende de la variedad. Si se selecciona el trigo de invierno más rico en paja, es posible aumentar la cantidad total de paja en 800.000 toneladas por año.*

**FOTO** Jørgen Hinge/ Instituto Tecnológico Danés.

## El rendimiento depende de la variedad

Los ensayos de campo con trigo de invierno en el año 2008 han demostrado que la relación entre la paja y el grano depende principalmente de la variedad. De diez variedades diferentes de trigo de invierno ensayadas, el rendimiento variaba de 35 a 53 kg de paja por 100 kg de grano, por lo que la elección de la variedad de trigo puede ser uno de los factores decisivos para obtener un mayor excedente de paja. Además, los ensayos de fertilización han demostrado que la proporción de paja en el trigo de invierno se reduce a medida que se utiliza más fertilizante, pero como la cantidad de fertilizante está fijada por normas oficiales, no se espera que esto tenga gran importancia en la práctica.

Como se ha mencionado, el rendimiento de la paja del trigo de invierno puede variar de 35 a 53 kg de paja por 100 kg de grano, por lo que teóricamente sería posible modificar la cantidad total de paja en 800.000 toneladas por año. En la práctica, se cultivan muchas variedades de cereales y las cifras ilustran las posibilidades de aumentar la cantidad total de grano eligiendo tipos con un alto rendimiento de paja.

## Manipulación de la paja

Para asegurar el suministro de paja a gran escala, de calidad satisfactoria y a precios razonables, la manipulación y el manejo de la paja debe realizarse con la mayor eficiencia posible. Los productores y compradores de paja siguen trabajando en la optimización de los diferentes elementos de las cadenas de suministro y en la organización del transporte y el almacenamiento de manera eficiente. Si bien la mayoría de los suministros siguen siendo en forma de grandes pacas, los esfuerzos de optimización han dado lugar, por ejemplo, a un mayor uso de los llamados pacas medianos-grandes, porque permiten un transporte por carretera más eficiente.

La manipulación de la paja se ha convertido en una disciplina independiente dentro de la agricultura, con maquinaria pesada utilizada principalmente por las grandes explotaciones agrícolas. Desde la década de 1980, cuando las grandes empacadoras llegaron al mercado, la agricultura ha invertido grandes cantidades de dinero en empacadoras, rastrillos, cargadores frontales, equipo de transporte e instalaciones de almacenamiento para poder suministrar paja al sector energético.



Rastrillaje y prensado de paja en el campo.  
**FOTO** Jørgen Hinge/Instituto Tecnológico Danés.

**Después de la cosecha, la paja se deposita en hileras en el campo y se aplican los siguientes elementos de manipulación en función de las condiciones meteorológicas y otros factores:**

- Rastrillaje
- Empacado
- Pellets, briquetas y triturado de paja
- La carga y descarga de camiones y camionetas
- Transporte de campo
- Almacenamiento descentralizado
- Carga para el transporte por carretera
- Transporte por carretera
- Descarga en la planta
- Registro del peso y del contenido de humedad
- Almacenamiento intermedio (en la planta)

### Rastrillaje

Si las condiciones climáticas son buenas durante la cosecha, la paja se puede empacar inmediatamente después de que la cosechadora combinada haya dejado las hileras en el campo. Si la paja está demasiado húmeda (normalmente con un contenido medio de humedad superior al 15%), hay que dejar que se seque en la hilera antes del empacado. Si, mientras tanto, se produce un chubasco, puede ser necesario volver a rastrillar. Los rastrillos modernos están diseñados para extender la hilera en todo el ancho del rastrillo (a fin de exponer una mayor cantidad de paja al secado al aire), o recoger/girar alrededor de la paja en hileras.

### Empacado

Hoy en día, las centrales eléctricas y las plantas de calefacción de distrito utilizan casi exclusivamente pacas grandes (grandes) o pacas grandes (medias). Las pacas pequeñas ya no se utilizan para la producción de energía (tal vez para plantas de calefacción de granjas muy pequeñas y viejas) y las pacas redondas sólo se utilizan para plantas de granjas especialmente diseñadas para ello.

Tipo de paca	Dimensiones L x A x A (cm)	Peso kg.	Densidad (kg/m3)
Pacas pequeñas	70-90 x 46 x 36	12-15	90-100
Pacas redondas	120 x 170*	220-270	100-120
Pacas grandes (mini)	200-240 x 80 x 80	200-250	110-150
Pacas grandes (medias)	230-250 x 120 x 90	450-650	160-230
Pacas grandes (grandes)	230-250 x 120 x 130	450-650	140-170

**TABLA 3**  
 Propiedades de las pacas de paja. \*Ancho x diámetro.



A lo largo de los años, ha habido muchos intentos de aumentar el peso de las pacas grandes, y los esfuerzos siguen en curso. El equipo a lo largo de la cadena de suministro debe ser modificado en consecuencia, y con las grúas ahora capaces de manejar un peso de pacas de alrededor de una tonelada, el camino está pavimentado para las pacas más pesadas.

Otra forma de mejorar la eficiencia de las cadenas de suministro de paja es que cada vez más plantas pueden recibir pacas grandes (medias), además de las pacas grandes "tradicionales". La principal ventaja es la reducción de los costos de transporte por carretera, ya que los camiones de carretera pueden transportar tres capas de pacas grandes (medias) en lugar de dos capas de pacas grandes (grandes). Dado que las pacas grandes (medias) pueden producirse con un peso casi igual al de las pacas grandes (grandes), es posible transportar casi un 50% más de paja en un camión, con lo que se reducen considerablemente los costos.

## Pellets, briquetas y triturado de paja

El empaqueo de la paja es el elemento de manipulación más caro de la cadena de suministro de la paja. Entonces, ¿sería interesante producir pellets o briquetas de paja en su lugar? ¿O incluso triturar la paja y manejarla como tal, sin empaquetar o peletizar?

Al peletizar o briquetar la paja, es posible hacer que la manipulación posterior de la paja sea más eficiente y, en la mayoría de los casos, más barata. Esto se debe a que los pellets/briquetas de paja tienen una mayor densidad y, por lo tanto, el transporte por carretera será más barato. Además, la descarga y el transporte de los pellets dentro de la planta pueden ser más eficaces, porque los pellets pueden soplarse a través de tuberías, de modo que no se necesitan grúas para descargar y manipular las pacas dentro y fuera del almacén intermedio de la planta. Sin embargo, para producir pellets, aún habría que empaquetar la paja y transportarla a una instalación de peletización, por lo que los costos totales serán más altos que los de las cadenas de suministro de pacas grandes y medianas, a menos que:

- La distancia de transporte sea muy grande, lo que hace factible el transporte marítimo de pellets, o
- Se sigue desarrollando el equipo para el peletizado directo sobre el terreno, de modo que no es necesario el empaqueo inicial (existe, pero no es rentable)

A principios del milenio, los pellets de paja se utilizaron a gran



Briquetas de paja. FOTO Food & Bio Cluster Denmark.

escala en la Central Eléctrica Amager de Copenhague. Los pellets se producían a sólo 50 km al sur de Copenhague en la fábrica de pellets de Køge Bio y los pellets se enviaban a Amager por agua, para evitar el transporte de camiones pesados con pacas de paja a través de Copenhague, y sin embargo la planta de Amager ahora utiliza pellets de madera en lugar de pellets de paja.

Se ha demostrado que el briqueteado de paja bajo alta presión tiene el efecto secundario positivo de que aumenta la digestibilidad de la paja en las plantas de biogás. Esto puede hacer factible la elección de este método de manipulación, si la paja está destinada a la producción de biogás.

A principios de los años noventa se hicieron experimentos con paja triturada, que se almacenaba en pajares en los campos para reducir los costos de manipulación de la paja. Las primeras pruebas sugirieron que el precio podría reducirse en un 50%, pero hubo demasiados problemas prácticos y el concepto se omitió a mediados de los años 90.



Descargando dos pacas de paja a la vez con un cargador de telescopio se reduce la carga de trabajo. FOTO Torben Skøtt, BioPress.

## La carga y descarga de camiones y camionetas

Para cargar la paja se utiliza un cargador frontal, una excavadora, una pala de tractor, un cargador telescópico o un minicargador. En principio, no hay una gran diferencia entre los tres primeros tipos, que se basan en un sistema de carga frontal.

Los cargadores telescópicos, por otra parte, tienen una mayor capacidad de elevación y pueden llegar más lejos para que las pacas de paja se puedan apilar en alto, lo que reduce los costos de almacenamiento. Por lo tanto, los cargadores de telescopio se están extendiendo cada vez más. El minicargador no es tan común, pero es muy flexible y puede utilizarse en lugares estrechos.

Como se observa en la figura 2, el trabajo es mayor cuando se carga con un cargador frontal y menor cuando se utiliza una pala de tractor y un cargador de telescopio, ya que siempre son capaces de cargar dos pacas a la vez. Convertido en toneladas, parece que hay una diferencia de 2,5 minutos por tonelada entre la carga con una pala de tractor y la carga con un cargador frontal. Aunque esto puede no parecer mucho, cuando se carga un millón de toneladas, que es la entrega anual hecha a las centrales eléctricas, resulta en un esfuerzo de trabajo extra de unas 41.000 horas. Las plantas más grandes generalmente descargan con una grúa portátil; más sobre esto en una sección posterior.

## Transporte de campo

El transporte en el campo se realiza con un tractor y un remolque. Se utiliza para el transporte al almacenamiento sobre el terreno u otro almacenamiento descentralizado (por ejemplo, en la explotación agrícola), y también a veces para el transporte por carretera hasta la planta si la distancia es bastante corta, normalmente menos de 10 km. Si la planta tiene la capacidad de recibir una cantidad determinada para su almacenamiento intermedio, algunas pacas pueden cargarse directamente en un camión/remolque para su transporte por carretera directamente a la planta.

## Almacenamiento descentralizado

Por lo general, las plantas sólo tienen capacidad de almacenamiento intermedio durante unos pocos días, por lo que la gran mayoría del consumo anual de paja tiene que almacenarse en instalaciones de almacenamiento descentralizadas. Existen diferentes métodos; algunos bastante baratos y otros bastante caros. Sin embargo, el precio por tonelada almacenada refleja con bastante exactitud la calidad de la paja extraída de un almacenamiento determinado, o puede haber un gran número de pacas desechables de almacenamientos baratos.

El almacenamiento bajo techo en graneros con paredes y suelo de hormigón proporciona paja de alta calidad, pero también es el tipo de almacenamiento más costoso, al menos si se deben establecer nuevas instalaciones con ese fin. Sin embargo, si se pueden utilizar edificios antiguos, puede ser la solución óptima para el suministro de pacas de paja de alta calidad. También se utilizan mucho los graneros sin paredes porque la exposición del lado de las pacas a las condiciones climáticas normales no suele afectar significativamente a la calidad. El envasado de la paja en largas pilas envueltas es cada vez más común. Es más barato que establecer instalaciones permanentes (un nuevo granero) y también más flexible. Se puede

tener una pila envuelta en el campo donde se produjo la paja (menos transporte de campo) y cerca de una carretera principal, lo que facilita la carga para el transporte por carretera; y si las pacas se entregan durante los meses posteriores a la cosecha, el campo puede estar listo para la siguiente cosecha a su debido tiempo. Sin embargo, una de las principales razones del aumento del uso del almacenamiento con envoltura es el desarrollo de equipo más eficiente en los últimos decenios. Cuando las primeras máquinas de envoltura apilaron dos grandes pacas uno encima del otro, el equipo para apilar hasta 12 pacas en transección es ahora estándar. Según los usuarios experimentados, hay pocas cosas que hay que tener en cuenta con respecto a los almacenes de envoltura. Si se establece el almacenamiento en la parte inferior del campo, existe el considerable riesgo de que la humedad penetre en el envoltorio desde abajo, por lo que debe establecerse en la parte más elevada del campo. Además, a veces el contenido de humedad de la paja puede provocar la condensación en el plástico, lo que hace que las pacas superiores se humedezcan más.

Algunos proveedores de paja todavía utilizan el almacenamiento abierto. Algunos cubren las pilas con plástico y mantienen la cubierta en su lugar teniendo una capa de pacas sobre el plástico, otros simplemente dejan la pila completamente abierta y expuesta a las condiciones climáticas. Esta es obviamente la forma más barata de almacenar grandes cantidades de paja. Sin embargo, si se elige esta opción hay que tener en cuenta que un número de pacas no puede ser comercializado a las plantas de calefacción o de cogeneración porque la calidad es demasiado pobre después del almacenamiento. Lo más probable es que la capa superior esté arruinada, y a menudo también la capa inferior porque ha absorbido la humedad del suelo. Si esas pacas pudieran usarse para la producción de biogás en su lugar, todavía podría ser una solución factible. Si no, puede resultar bastante costoso deshacerse de las pacas desperdiciadas en términos del esfuerzo que requiere dividir las pacas, esparcir la paja e incorporarla al suelo.

Manipulación de paja en minutos por paca

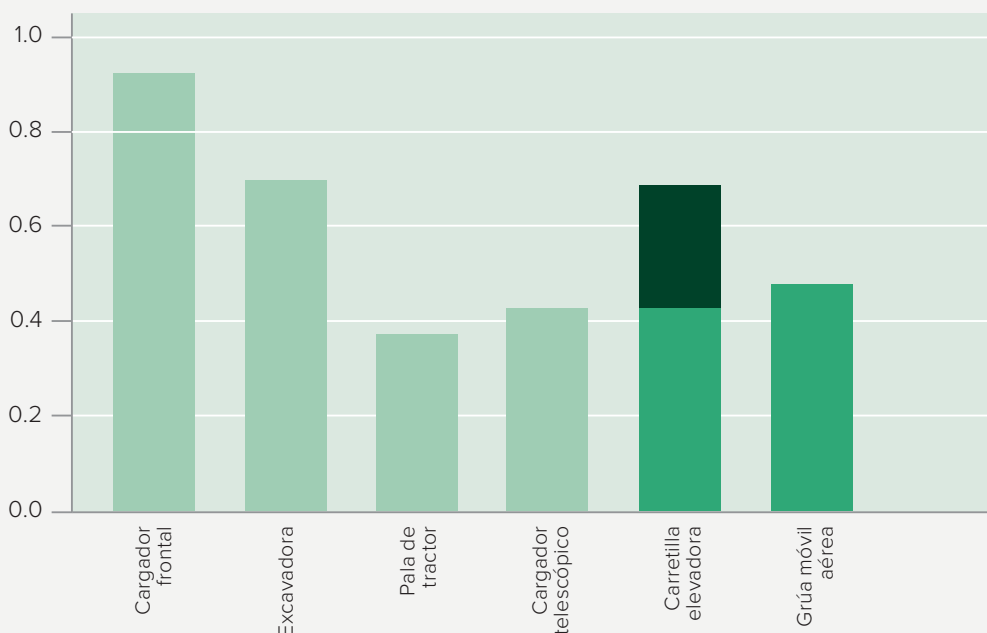


FIGURA 2

Consumo de tiempo para la carga y descarga de la paja. Cuando se descarga con una carretilla elevadora, se dedica tiempo extra a pesar y analizar el contenido de agua de la paja. Además, se debe emplear tiempo en mover las pacas si se quiere llenar completamente el almacén (Fuente: Centro de Tecnología de la Biomasa).

**Las plantas sólo tienen capacidad de almacenamiento intermedio durante unos pocos días, por lo que la gran mayoría del consumo anual de paja tiene que almacenarse en instalaciones de almacenamiento descentralizadas.**

### Transporte por carretera

El transporte por carretera puede hacerse con tractor y remolque. Si la distancia a la planta es corta, normalmente menos de 10 km, el transporte por carretera puede hacerse con tractor y vagón. A menudo, las instalaciones receptoras de la planta requieren que las pacas se carguen de una manera específica para el transporte - típicamente en capas de 6 (2 x 3) en el camión y/o remolque. Algunas plantas también requieren que las pacas se cubran con una red durante el transporte para evitar que el viento vuele la paja de las pacas.

### Descarga en la planta

Mientras que muchas plantas de calefacción de distrito más pequeñas siguen utilizando cargadores frontales para la descarga de las pacas de paja, las plantas más grandes han establecido la descarga automática mediante grúa, que levanta una capa entera de pacas del camión y el remolque y la coloca en el almacén intermedio de la planta. La misma grúa se utiliza para elevar las pacas del almacén intermedio a la(s) cinta(s) transportadora(s) que lleva(n) la paja a las trituradoras y la introduce en las instalaciones de calderas.

Muchas de estas grúas están equipadas con tecnología para el registro automático del peso y la humedad de las pacas, lo que reduce eficazmente el tiempo necesario para descargar y registrar un camión lleno de paja. El contenido de humedad se mide por medio de microondas. Si se utiliza un cargador frontal para la descarga, el pesaje de la carga suele realizarse en una báscula puente, mientras que el contenido de humedad de las pacas se registra manualmente con un medidor de humedad, en el que se inserta una sonda en las pacas de paja.

### Aspectos de salud y seguridad

El trabajo en el sector agrícola en general entraña algunos riesgos, y la manipulación de la paja no es una excepción. Aparte de tratar con maquinaria pesada, las pacas de paja en sí son pesadas



FOTO Food & Bio Cluster Denmark.

y deben ser manejadas con precaución. Por ejemplo, cuando se establecen pilas de pacas de paja - ya sea en graneros o al aire libre - es importante disponerlos en capas para reducir al mínimo el riesgo de que las pilas se desplomen.

Además, deben adoptarse medidas cuidadosas para evitar incendios, especialmente en almacenes con grandes cantidades. En Dinamarca existen reglamentos bastante estrictos en relación con: a) las cantidades de paja almacenadas en un almacén, b) las dimensiones de la pila, c) las distancias del almacén a los edificios y d) las vías públicas. La razón principal es que si una pila de paja se incendia, se ha demostrado que es virtualmente imposible apagar el fuego, por lo que todo lo que se puede hacer es controlar el fuego hasta que se quemara. Las medidas legales están destinadas a ello:


- a) Limitar la cantidad de bienes, que pueden convertirse en humo en un solo incendio
- b) Asegurarse de que el fuego puede ser contenido y controlado
- c) Asegurarse de que no se extienda a los edificios u otros almacenes
- d) Prevenir situaciones peligrosas en las carreteras causadas por el humo de un incendio.

La manipulación de la paja también puede producir mucho polvo - e incluso esporas de hongos - si la paja ha estado húmeda, por lo que puede haber problemas de salud si se trabaja continuamente en ambientes cerrados. Se debe aplicar una máscara antipolvo cuando se trabaja regularmente con la paja.



El contenido de humedad en la paja se controla antes de la descarga. Si el contenido de agua es superior al 25%, normalmente se rechaza.

FOTO Torben Skøtt, BioPress.



**El embalaje permite el almacenamiento descentralizado al aire libre sin dañar la calidad de la paja.**

# Aspectos de sostenibilidad de la combustión de la paja

La extracción de la paja para la producción de energía puede ser sostenible siempre que se apliquen las medidas adecuadas.

Como se mencionó en una sección anterior, la extracción continua de la paja del campo para su combustión año tras año puede dar lugar al agotamiento del contenido de carbono del suelo, en comparación con los campos en los que la paja se incorpora continuamente al suelo, ya sea directamente o después de haber sido utilizada en la producción animal como material de cama. Muchos años de investigación han demostrado que esto no es necesariamente un gran problema y que, aplicando cenizas de la combustión, muchos nutrientes y minerales pueden ser recirculados.

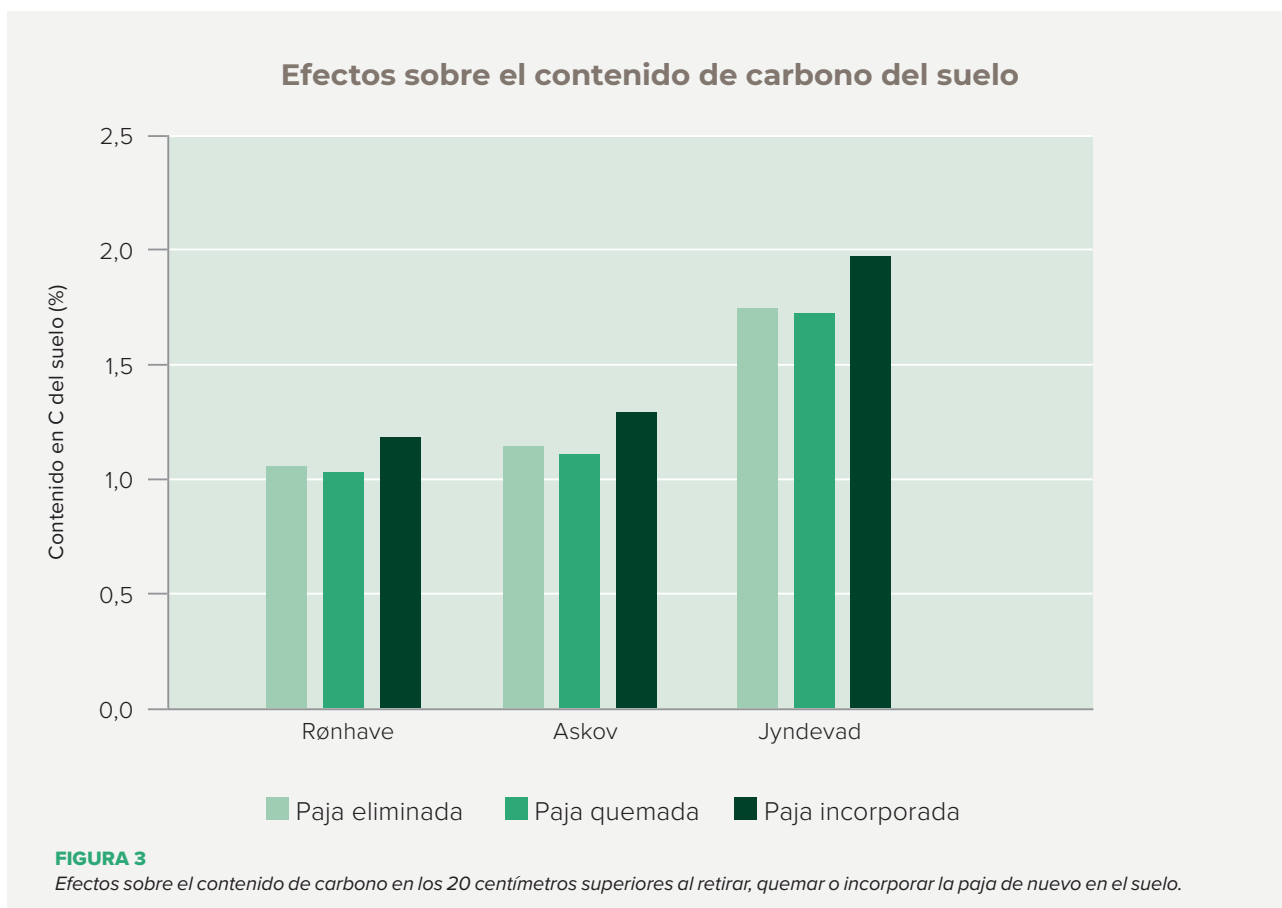
## Efectos de la retirada de la paja

En las estaciones de investigación danesas de Askov, St. Jyndeved y Rønhave se han realizado ensayos en los que, durante decenios, se ha retirado la paja de las parcelas a fin de comparar el contenido de carbono de esas parcelas con las parcelas en las que la paja se incorporó al suelo en el mismo período. Los resultados muestran

que el contenido de carbono del suelo en los 20 centímetros superiores es significativamente mayor cuando la paja se ha incorporado durante 36 años (Rønhave) y 29 años (Askov y St. Jyndeved), respectivamente.

Es evidente que existe un efecto significativo de la continua eliminación de la paja en la calidad del suelo, pero se debate entre los agricultores e ingenieros agrónomos daneses, qué efectos puede tener en el potencial de rendimiento de las zonas en cuestión. A corto plazo, el rendimiento no se ve afectado mientras se apliquen nutrientes a través de estiércol/purín animal y/o fertilizantes minerales. Muchos tienden a creer que el mayor desafío es un mayor riesgo de erosión y otros daños estructurales causados por un menor contenido de humus en el suelo.

En cualquier caso, se ha demostrado que el efecto de carbono de la eliminación de la paja puede compensarse mediante el uso de cultivos de cobertura después de la cosecha, que luego se incorporan al suelo.



Metal pesado	Umbral (mg por kg de materia seca)
Mercurio	0.8
Guía	120
Níquel	60
Cromo	100
Cadmio	5

**TABLA 4**  
Umbral de metales pesados.

## La ceniza de la combustión de la paja contiene varios nutrientes valiosos.

### Aplicación de las cenizas de la combustión de la paja

La ceniza procedente de la combustión de la paja contiene varios nutrientes valiosos -fósforo y potasio en particular- y, por lo tanto, es recomendable recircular la ceniza al suelo agrícola. Sin embargo, también hay algunas sustancias difíciles -principalmente metales pesados- en la ceniza, por lo que es importante regular la cantidad de cenizas que se recirculan a una zona determinada.

En Dinamarca, la aplicación de las cenizas procedentes de la combustión de biomasa -incluida la paja- se regula mediante "Bioaskebekendtgørelsen" (Decreto sobre el uso de la ceniza biológica para fines agrícolas), cuyo objetivo principal es controlar las cantidades de metales pesados aplicadas al campo. En el cuadro 4 se enumeran los valores umbral de los metales pesados en la ceniza.

Además de los valores umbral de los metales pesados, el decreto también establece que se puede aplicar un máximo de 0,8 g de cadmio por hectárea anualmente (como promedio a lo largo de cinco años) y que se puede aplicar un total de un máximo de cinco toneladas de ceniza (BS) por hectárea a lo largo de un período de cinco años.



FOTO Adam Weller.



Biocarbón. FOTO Food & Bio Cluster Denmark.

## Aplicación del biocarbón y el biofertilizante

En comparación con las cenizas de la combustión, el biocarbón de la gasificación/pirolisis de la paja u otros tipos de biomasa todavía contiene una cierta cantidad de carbono así como de nutrientes. Por lo tanto, desde el punto de vista agrícola, el biocarbón de las plantas de gasificación representa un fertilizante superior en comparación con las cenizas; sin embargo, como se describe más adelante, la gasificación de la paja es un proceso difícil, y las plantas de gasificación en gran escala para la paja son raras o inexistentes.

Superior al biocarbón es el biofertilizante procedente de la digestión anaeróbica en las plantas de biogás, que todavía contiene bastante carbono. Cuando la paja se digiere en una planta de biogás, normalmente entre el 40 y el 60% del material orgánico se convierte en metano y dióxido de carbono, por lo que aproximadamente la misma cantidad de carbono se recircula de nuevo al suelo con el biofertilizante. Esto, por supuesto, refleja el hecho de que el

rendimiento energético de la combustión de la paja es sustancialmente mayor que el de la digestión anaeróbica.

Otra característica del biofertilizante de las plantas de biogás es que, básicamente, todos los nutrientes de los sustratos que se introducen en la planta de biogás siguen estando en el biofertilizante después de la digestión. Durante la combustión, algunos nutrientes se pierden con el gas de combustión, especialmente el nitrógeno, y otros, como el fósforo, pueden quedar inmovilizados en las cenizas de la combustión a altas temperaturas. Así pues, aunque la paja no contiene mucho nitrógeno, el biofertilizante de la digestión anaeróbica puede considerarse un fertilizante mucho mejor que las cenizas de la combustión.

# Calderas de paja a pequeña escala

Las calderas individuales de paja han experimentado un rápido desarrollo desde que las primeras aparecieron en el mercado a finales de los años 70. La eficiencia se ha duplicado, mientras que la emisión de sustancias nocivas se ha reducido significativamente. Muchos agricultores daneses han optado por invertir en calderas ligeramente más grandes, de modo que sus vecinos puedan obtener calefacción barata y respetuosa con el medio ambiente a través de la red de calefacción urbana.

Tras la primera crisis energética de 1973, mucha gente empezó a buscar una fuente de calor más barata y fiable que el petróleo, y para los agricultores era natural dirigir su atención a la gran cantidad de paja, que en ese momento sólo se quemaba en los campos. A lo largo de los años 70, varios fabricantes de maquinaria comenzaron a producir calderas sencillas de paja, diseñadas para pacas pequeñas.

Más tarde, también se produjeron calderas de paja para pacas redondas y pacas grandes, y se desarrollaron plantas de calefacción automáticas que exigían una atención mínima.

En general, hay dos tipos de calderas de paja: las plantas de calentamiento manual, también conocidas como plantas de porciones, y las plantas de calentamiento automático. La planta de porciones es el tipo más simple de planta, en la que se alimentan manualmente pacas enteras de paja en la caldera (véase la figura 4). En el caso de una planta para pacas pequeñas, esto se suele hacer a mano, mientras que se suele utilizar un cargador frontal si se trata de una planta para pacas redondas o pacas grandes.

La caldera de una planta a porciones es relativamente barata y los costos de explotación son mínimos. Sin embargo, se debe dedicar mucho tiempo a la eliminación de las cenizas y al suministro de nuevo combustible.

## A portion plant straw-fired boiler with a storage tank

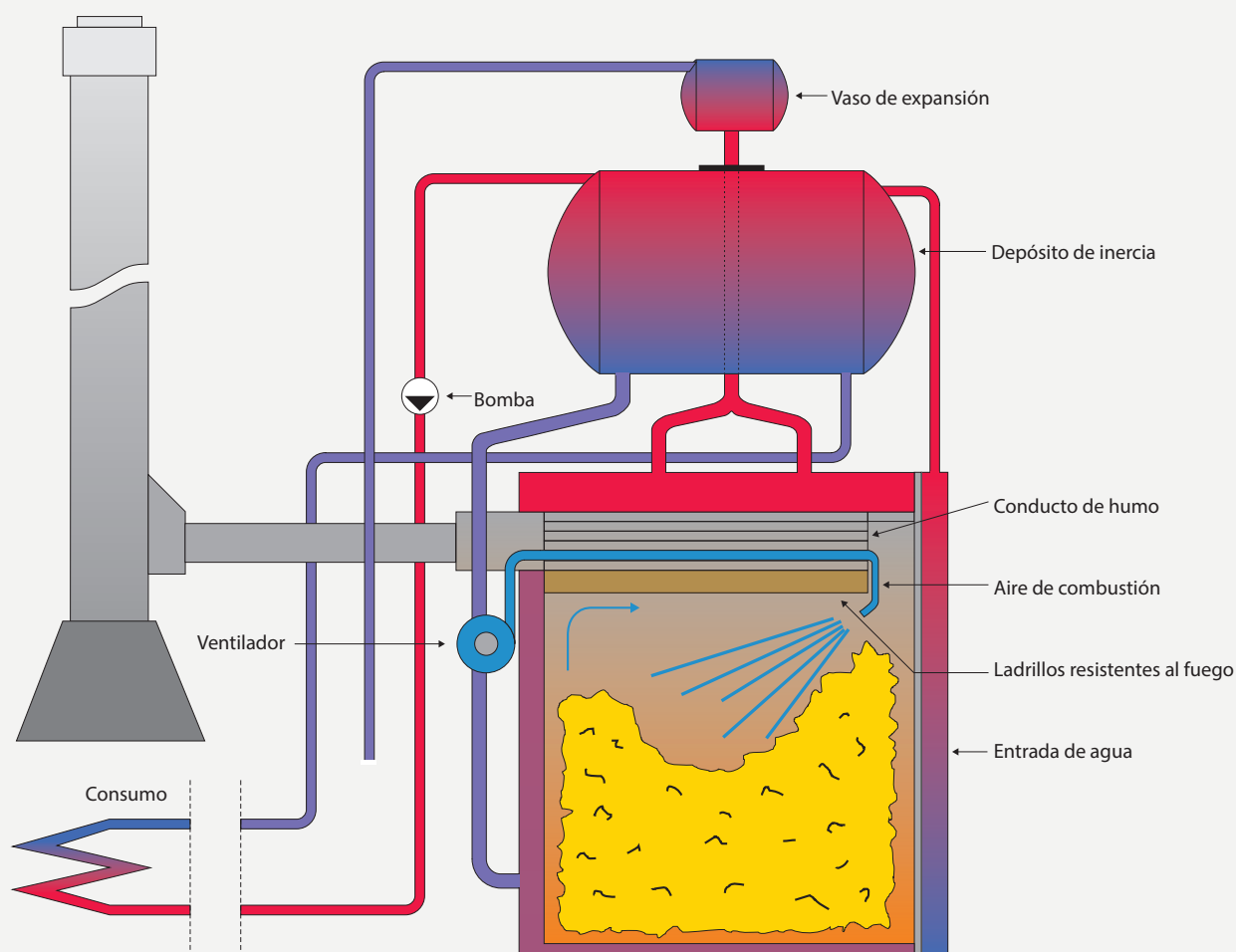


FIGURA 4

Una caldera de paja de una planta de porciones con un tanque de almacenamiento.



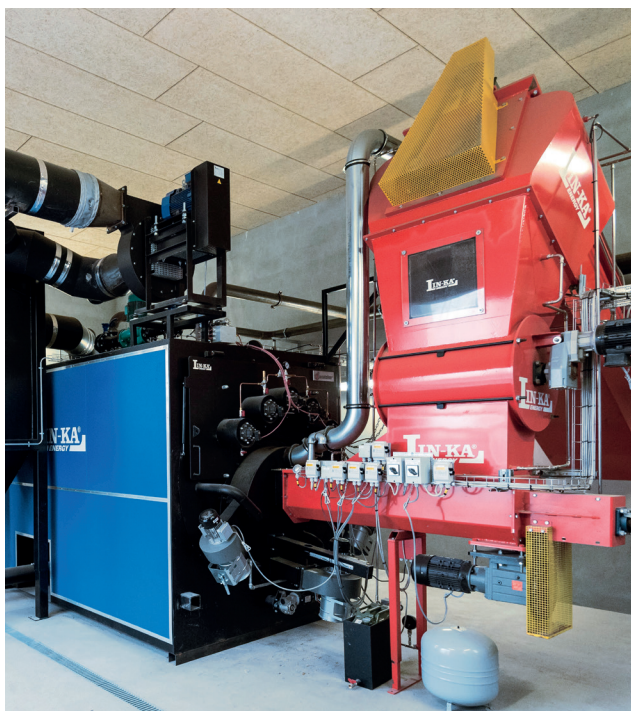


Planta de porciones para grandes pacas. **FOTO** Torben Skøtt, BioPress.

## ¿Manual o automática?

Las plantas de calefacción automáticas consisten en una caldera de paja y un sistema de alimentación, que incluye una cinta transportadora- llamado carril de paja y un colector, que muele la paja antes de que sea conducida a la caldera por medio de un tornillo sinfín o un soplador.

Estas plantas suelen ser más caras que las plantas de calefacción manual, y los costos de funcionamiento son más elevados, pero a cambio, la necesidad de atención es mínima.



Planta automática de 800 kW de Linka Energy. **FOTO** Linka Energy.



Las plantas de porciones se instalan a menudo en un edificio separado para reducir los riesgos de incendio. **FOTO** Torben Skøtt, BioPress.

## La eficiencia y el medio ambiente

La eficiencia de las primeras calderas de paja era a menudo tan baja como el 30- 40%, lo que resultaba en una mala combustión y en la contaminación de la chimenea. Sin embargo, en 1976, el Instituto Danés de Investigación Agrícola comenzó a probar las calderas de paja y a ayudar a los fabricantes con el desarrollo de productos. Además, a fin de acelerar el desarrollo, el Organismo Danés de Energía puso en práctica un plan de subvenciones en 1995, en el que la cuantía de la subvención dependía de la eficacia de la caldera. Esto condujo a mejoras significativas de las calderas de paja, y la eficiencia aumentó del 30-40% original a más del 80% (véase la figura 5).

Mientras tanto, a medida que las calderas se volvían más eficientes, las emisiones de monóxido de carbono disminuyeron significativamente. El monóxido de carbono no es dañino para el entorno en pequeñas dosis por sí mismo, pero indica cuánto contaminan las calderas en general. Si hay mucho monóxido de carbono en el humo, también se emitirán otras sustancias nocivas. Ejemplos de ello son el hollín y el alquitrán, este último compuesto por diversos ácidos orgánicos y los llamados HAP, que son cancerígenos.

La presencia de estas sustancias es prueba de una combustión incompleta, y la manera más sensata de eliminarlas es mejorar la combustión, de modo que las sustancias se quemen mientras que al mismo tiempo se utilice mejor el combustible. Esto es posible asegurando una alta temperatura en la cámara de combustión. La paja y otros tipos de biomasa crean gases, que no se encienden hasta que la temperatura ha alcanzado alrededor de 800-900 grados. Si la temperatura baja demasiado, los gases no se quemarán

antes de que sean emitidos por la chimenea, lo que lleva a una mala economía de calefacción y a emisiones innecesarias.

Las calderas de paja más antiguas suelen estar compuestas por una cámara refrigerada por agua, con la chimenea en un extremo, mientras que el aire de combustión se inyecta en el extremo opuesto. Basándose en este sencillo diseño, habrá una tendencia a que el humo se emita a través de la chimenea sin ser quemado. Afortunadamente, esto puede remediarse y muchas de las nuevas calderas están diseñadas de tal manera que los gases son forzados a pasar por delante de las boquillas de aire, lo que asegura una probabilidad mucho mayor de ignición y conversión en calor, en lugar de contaminación del entorno.

## Si la temperatura en la cámara de combustión es demasiado baja, los resultados son una mala economía de calefacción y emisiones innecesarias.

Eficiencia energética de las calderas de paja en porcentaje

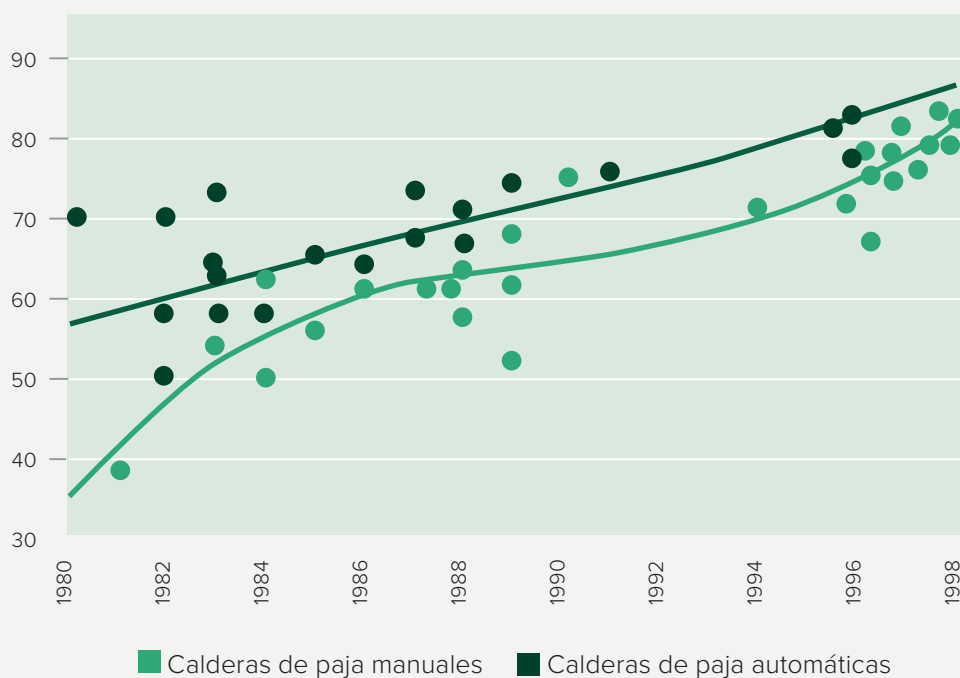


FIGURA 5

Eficiencia de las calderas de paja de combustión manual y automática en el período 1980-1998, en el que el Centro de Investigación Agrícola de Dinamarca, Bygholm, realizó pruebas periódicas. Fuente: Centro Danés de Investigación Agrícola.

## Tamaño de la caldera

Muchas personas están tentadas de comprar una caldera de paja que es más grande de lo necesario. Sin embargo, esto no es una buena idea y a menudo conduce a una economía de calefacción pobre y un mal impacto ambiental. La elección correcta es una caldera, que es ligeramente demasiado pequeña para cubrir las necesidades de calefacción en los días más fríos. Una caldera de paja es más eficiente con una carga completa, y por lo tanto, cuanto más grande sea la caldera, mayor será el riesgo de que funcione con cargas parciales durante la mayor parte del año.

El tamaño óptimo de la caldera será típicamente alrededor del 75% de las necesidades en el día más frío. En los pocos períodos del año en que la caldera de paja no puede cubrir el consumo, una caldera de gasóleo o una calefacción eléctrica pueden complementarla.

## Depósito de inercia

Las plantas de combustión manual deben estar siempre equipadas con un depósito de inercia, de manera que el calor no tenga que ser utilizado necesariamente a la misma velocidad que se produce. Especialmente en verano, donde el consumo de calor es bajo, un depósito de inercia puede ayudar a asegurar una buena combustión. El depósito de inercia suele ser un tanque separado colocado encima de la caldera, pero también puede ser una unidad completa con una caldera y un depósito de inercia. El depósito normalmente debería contener 60-80 litros de agua por cada kilo de paja que pueda contener la sala de calderas.

Muchas de las plantas automáticas podrán lograr una mejor combustión si están conectadas a un depósito de inercia. La demanda de calefacción de un día completo puede producirse en alrededor de 6-8 horas, y puede reducir muchos de los arranques y paradas de la caldera, que de otra manera daría lugar a una mala combustión.





# Calefacción del barrio

Hoy en día, más del 60% de todos los hogares daneses están conectados a la red de calefacción urbana o district heating, pero el mercado de las plantas de calefacción de distrito tradicionales (es decir, los pueblos o ciudades más grandes) está más o menos cubierto.

Puede ser difícil para los pueblos pequeños obtener beneficios con una planta de calefacción de distrito, y un nuevo término ha evolucionado llamado calefacción de barrio. En principio, puede ser cualquier hogar que suministre calor a sus vecinos, pero en la práctica, a menudo son los agricultores los que deciden invertir en una caldera de paja más grande que la necesaria para su propio consumo con el fin de suministrar calor a sus vecinos.

Al igual que las plantas de cultivo, la caldera de paja debe tener un tamaño que permita suministrar el 70-80% de las necesidades de calefacción en el día más frío. Esto da la mejor economía de calefacción en el curso de un año completo - tanto en el invierno como en el verano cuando el consumo es mínimo. Durante el período invernal, se puede utilizar una caldera de gasóleo como complemento, y suele estar diseñada de manera que pueda soportar todo el consumo en caso de avería de la caldera.

Las plantas de calefacción de barrio existentes en Dinamarca varían desde unas pocas casas y hasta 70-80 casas. La gran mayoría son establecidas por agricultores, que tienen cantidades considerables de paja a su disposición, y son capaces de entregar calefacción barata a sus vecinos como resultado.

Las experiencias con la calefacción de vecindario son generalmente muy positivas. Para los granjeros, típicamente habrá una ganancia económica, los consumidores están felices de recibir calefacción barata, y el hecho de que se pueda comprar calefacción barata puede hacer que el olor de la granja cercana sea más fácil de aceptar.

## Para que la calefacción de vecindario sea un éxito, considere lo siguiente:

- Los edificios deben estar tan cerca como en las zonas urbanas normales, para evitar demasiadas pérdidas por las tuberías de transmisión
- Los consumidores a gran escala como escuelas, asilos o empresas marcan una gran diferencia para la economía del proyecto
- Los consumidores deberían poder lograr un ahorro financiero sustituyendo las calderas de gasóleo por calefacciones de barrio.
- Se debe garantizar a los consumidores precios de calefacción baratos y estables durante al menos 10 años

# Calefacción urbana o district heating

Las plantas de *district heating* alimentadas con paja pueden ser una alternativa barata y respetuosa con el medio ambiente frente a otros tipos de calefacción, especialmente si la planta se sitúa en una zona con un gran excedente de paja.

Hace algunos años, había una tendencia de las plantas de calefacción urbana a favorecer las astillas de madera como combustible, pero desde una perspectiva económica no hay mucha diferencia entre los dos combustibles hoy en día.

Las plantas de calefacción urbana a base de paja han sido construidas en Dinamarca desde 1980, y hoy en día, hay alrededor de 55 plantas en funcionamiento. Varias de las plantas han sido construidas en estrecha cooperación con los agricultores locales, y en algunos casos, los agricultores han sido responsables de la construcción, así como de la operación de la planta. El efecto de las plantas varía desde unos 500 kW hasta 12 MW, y los diseños técnicos abarcan una amplia gama, aunque por supuesto hay elementos que se utilizan generalmente en todas las plantas.

En un momento dado, había 61 plantas de calefacción de paja en Dinamarca, pero alrededor del año 2000, varias plantas optaron por sustituir las calderas de paja por calderas de astillas de madera. La razón principal fue la disminución de los precios de la viruta de madera, debido a una considerable importación de madera del

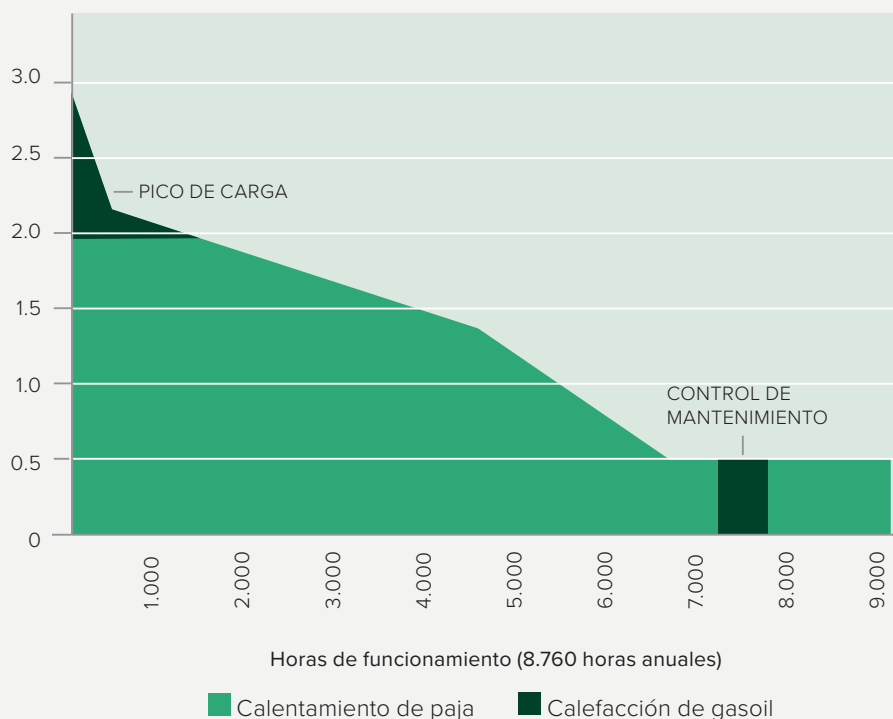
Báltico. Además, varias plantas tuvieron malas experiencias con los contratos originales con los proveedores de paja. Muchas de las primeras plantas de paja habían optado por concertar contratos a largo plazo e indexados con los agricultores, lo que dio lugar a precios bastante elevados a medida que pasaba el tiempo. Hoy en día, la paja se comercializa principalmente en un mercado abierto mediante licitación, lo que la ha hecho más competitiva y ha dado lugar a la expansión de las plantas de calefacción a base de paja una vez más.

La cuestión de si una planta de paja o de astillas de madera es la más factible depende en gran medida de las circunstancias locales. El comercio de paja es principalmente regional, mientras que las astillas de madera se han convertido en un producto básico internacional. Si la planta está situada en una zona con un gran excedente de paja, puede proporcionar bajos precios de calefacción y mayores ingresos a los agricultores locales. Por lo general, la paja es un combustible más barato que las astillas de madera en Dinamarca, aunque las inversiones de la planta son ligeramente más caras y los gastos de explotación ligeramente más elevados.



FOTO Torben Skøtt, BioPress.

## Requerimiento de energía en MW



### FIGURA 6

La caldera de paja debe ser dimensionada, para que pueda cubrir alrededor del 70% de la carga máxima. Cuando hay un pico de carga o un control de mantenimiento, la demanda de calefacción se cubre con una caldera de gasoil. El gráfico muestra la distribución de la paja y el gasoil para una central de calefacción urbana de 3 MW con una fuente de paja de 2 MW: Centro de Tecnología de la Biomasa.

## La planta debe ser dimensionada para cubrir alrededor del 70% de la demanda máxima.

Al igual que en el caso de las plantas agrícolas, es conveniente dimensionar la planta de manera que la caldera de paja cubra alrededor del 70% de la demanda máxima de consumo (véase la figura 6). En base a esto, la caldera funcionará a cerca del 25% del efecto máximo en verano, lo que mejora la eficiencia.

Si la caldera de paja es demasiado grande, la planta funcionará con carga parcial durante gran parte del año, lo que significa una menor eficiencia y un impacto ambiental negativo. Se puede utilizar un depósito de acumulación de calor para nivelar las variaciones a lo largo del año y, en los casos en que en invierno la caldera de paja no pueda cubrir las necesidades de calefacción, se puede complementar con una caldera de gasóleo.

## Manejo de la paja en la planta de calefacción urbana

Hoy en día, todas las plantas de calefacción urbana alimentadas con paja utilizan grandes pacas o "medias" pacas que son 30 cm más bajas que las grandes pacas. Normalmente es el agricultor o un contratista agrícola quien gestiona el suministro de paja a la central de calefacción, aunque en algunos casos, la central de calefacción gestiona por sí misma el transporte y almacenamiento de las numerosas toneladas de paja. El transporte suele hacerse con un tractor, si el proveedor se encuentra cerca (<5-10 km) de la planta de calefacción, y con un camión para distancias más largas.

La descarga en la planta suele realizarse con un cargador telescópico o con una carretilla elevadora, que normalmente descarga dos pacas a la vez. Varias carretillas elevadoras nuevas están ahora equipadas con "brazos de agarre" especiales que agarran las pacas más alejadas. De esta manera, la carga de un camión puede ser vaciada desde un lado del camión.

El pago de la paja se hace según el peso y el contenido de agua. El pesaje de la carga de paja se realiza en una báscula o en una llamada báscula de plataforma. La báscula puente es la más rápida con la que se puede trabajar, ya que sólo se hace dos veces, mientras que la báscula de plataforma requiere que el montacargas suba a la báscula con cada carga. Sin embargo, una báscula puente es de 2 a 3 veces más cara que una báscula de plataforma, por lo que es el equilibrio entre el consumo de tiempo y la inversión lo que determina qué solución es la más adecuada para cada planta.

Antes de descargar, se mide el contenido de agua con un dispositivo montado en una lanza puntiaguda, que se puede insertar en la paca de paja individual. Un contenido de agua del 14-15% es óptimo. Si el contenido de agua es del 18-20%, algunas plantas reducirán el precio y si el contenido de agua es del 25% o más la mayoría de las plantas rechazarán la paja por completo. Por lo general, también se rechazará la paja verde y húmeda.

La nave de almacenamiento de paja requiere mucho espacio y, como consecuencia, la mayoría de plantas solo tienen espacio para el consumo de una semana a plena carga. Por lo general, se colocan cuatro pacas apiladas una encima de la otra en áreas marcadas, por lo que la grúa puede poner automáticamente las pacas en una cinta transportadora, llamada línea de paja, desde donde se transportan las pacas a una trituradora o directamente a la caldera. Algunas plantas más pequeñas no tienen grúa y las pacas deben colocarse manualmente en la línea de paja.

## Diseño de la caldera

Una caldera de paja está, obviamente, diseñada para paja, pero la mayoría de las plantas también podrán utilizar otros tipos de biomasa, siempre que sea un combustible seco. Varias plantas tienen experiencias positivas con la suplementación con cáscaras de grano, huesos de cereza y residuos de madera secos y limpios.

Las calderas de paja pueden tener diferentes diseños, pero generalmente las plantas están equipadas con una rejilla de vibración en la parte inferior, donde tiene lugar la combustión. La rejilla está dividida en varias zonas de combustión y se puede mover hacia adelante y hacia atrás, por lo que la paja ardiente se transporta hacia el punto de extracción de cenizas. La combustión puede dirigirse hacia cada zona dotándola de más o menos aire.

La mayor parte del contenido energético de la paja consiste en gases volátiles, que se queman en la cámara de la caldera por encima de la rejilla. El diseño de la cámara de combustión de la caldera y el control de la ventilación son cruciales para asegurar la correcta combustión de los diferentes gases, algunos de los cuales no empezarán su combustión hasta que haya una temperatura de alrededor de 800-900 grados Celsius. Los gases no quemados salen a través de la chimenea, lo que genera una baja eficiencia energética y una contaminación innecesaria.

Después de la cámara de combustión de la caldera, los gases de combustión pasan a través del convector, donde el calor se transfiere al agua, generalmente a través de una fila de tuberías verticales llenas de agua. La mayoría de las plantas están equipadas con el llamado economizador, una especie de intercambiador de calor capaz de extraer el último calor del humo antes de que pase a través de la chimenea.

## ¿Pacas enteras o paja triturada?

La gran mayoría de las plantas de District Heating (calefacción urbana) que se calientan con paja utilizan paja triturada, pero también hay algunas que utilizan "pacas de paja cortadas" y otras plantas en las que las pacas se arrojan directamente a la caldera, también llamado "encendido de puro". Este último sistema tuvo su edad de oro hasta la década de 1980, pero está disminuyendo rápidamente a medida que lucha por cumplir con los estándares ambientales actuales. El sistema con paja cortada consta de una caja de alimentación, que inclina la paca de paja verticalmente. Cuando se necesita nuevo combustible, una cuchilla hidráulica corta una rebanada de

la paca de paja, que luego se empuja hacia la caldera. Es un principio relativamente simple y se puede considerar como un cruce entre calentar con encendido de puro y calentar con paja triturada.

Para la paja triturada, simplemente se coloca una trituradora entre la línea de paja y la caldera. Las trituradoras pueden tener diferentes diseños, pero en principio se trata de devolver la paja a la misma condición que tenía antes de ser prensada. A lo largo de los años, se han realizado muchas pruebas para ver si la posibilidad de prescindir del proceso de empacado y triturado y transportar la paja directamente desde el campo a la planta de calefacción. Parece una solución obvia, pero los problemas prácticos para almacenar y manipular la paja suelta han sido tan grandes que se ha abandonado este sistema.

## Las calderas con paja triturada generalmente tienen una alta eficiencia y bajas emisiones.

Cuando la paja se tritura, es más fácil controlar la entrada de combustible y aire que cuando se tira en pacas enteras. Las inversiones y los costes operativos son un poco más altos que para las calderas de pacas enteras, pero esto normalmente se compensa con una mayor eficiencia. Las plantas con paja triturada siempre deben estar equipadas con un cierre de seguridad entre la trituradora y la caldera para evitar que el fuego se propague a la paja fuera de la caldera.

## Consideraciones ambientales

El impacto medioambiental de las plantas de calefacción urbana de paja atrae la atención de las autoridades locales, así como de la población local, que tiene un interés considerable en una planta sin problemas.



Las pacas de paja se colocan en el almacenamiento intermedio con una carretilla elevadora. Las pacas deben descargarse y colocarse dentro del área marcada en amarillo, de modo que la grúa las pueda recoger automáticamente del almacén.

FOTO Torben Skøtt, BioPress.





*Almacén de paja en la planta de calefacción urbana de Terndrup. El transporte desde el almacén hasta la caldera se realiza con una grúa controlada automáticamente. El almacén puede contener paja durante aproximadamente una semana de funcionamiento durante el invierno.*

**FOTO** Torben Skøtt, BioPress.

Todas las plantas de calefacción urbana que funcionan con paja en Dinamarca están equipadas con una bolsa de filtro o un filtro ESP el cual reduce la cantidad de cenizas volantes para que las partículas no se propaguen a la comunidad circundante.

El contenido de CO (monóxido de carbono) en el humo es una medida de la eficacia de la combustión. Un alto contenido de CO muestra una baja eficiencia. El humo huele y presumiblemente contendrá HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos) que son cancerígenos. Es relativamente sencillo medir el contenido de monóxido de carbono y las autoridades públicas tienen altos estándares sobre la cantidad de monóxido de carbono permitido en el humo.

Los óxidos de nitrógeno (NOx) en el humo pueden viajar a grandes distancias y convertirse, por ejemplo, en ácido nítrico, lo que puede provocar daños en bosques, lagos y edificios. Además, los compuestos de nitrógeno del aire pueden causar una fertilización excesiva de áreas naturales sensibles, como páramos y brezales. Además, los óxidos de nitrógeno pueden reducir la función pulmonar en personas con asma y bronquitis, pero en este caso el problema es especialmente el NO<sub>2</sub> y no tanto el NO. El NOx puede ser eliminado del humo, pero los sistemas de filtrado son caros y, por tanto, rara vez se instalan en plantas de calefacción urbana.

También es posible limpiar el humo en busca de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), pero como es el caso del NOx, los sistemas de filtrado son demasiado caros para que las plantas de calefacción urbana que funcionan con paja inviertan en la tecnología. Al limpiar el humo de dióxido de azufre, es posible evitar pagar un impuesto al azufre al estado, pero requiere inversiones tanto en plantas de desulfuración como en equipos de medición, lo que puede demostrar que las emisiones se mantienen por debajo de los valores máximos permisibles.

Se han realizado experimentos en varias plantas con la instalación de tecnología para la condensación de gases de combustión con el fin de lograr una mejor eficiencia, pero en la mayoría de los lugares se han abandonado después de algunos años de funcionamiento. En Høng, al norte de Slagelse, se instaló una planta completamente nueva para la condensación de gases de combustión, que puede mejorar la eficiencia en aproximadamente un 10% al tiempo que elimina el contenido de azufre. Si esto tiene éxito, podría convertirse en estándar tanto en plantas nuevas como antiguas, especialmente si es posible eximir a las plantas del impuesto al azufre sin tener que instalar equipos de medición costosos y complejos.



*Transportador de pacas de paja para carga automática.*

**FOTO** Cormall A/S.



**Dinamarca es  
líder mundial en  
producción  
combinada de  
calor y energía a  
partir de paja.**

# Paja para plantas de cogeneración

Las plantas de generación de calor y electricidad combinadas (cogeneraciones) basadas en paja son una especialidad danesa. Desde la década de 1980, se han solicitado considerables fondos de investigación para desarrollar tecnología que permita utilizar paja en plantas de carbón y establecer plantas de cogeneración alimentadas con paja o junto con otros tipos de biomasa.

Una planta de generación de electricidad consta aproximadamente de una caldera, un circuito de vapor, una turbina y un generador eléctrico. En la caldera, el combustible se transforma en calor, y la energía de éste se transfiere a un circuito de vapor y luego a la turbina, que está conectada a un generador eléctrico. Cuando el vapor ha pasado por la turbina, se condensa en agua por medio del agua de refrigeración del mar, tras lo cual vuelve a la caldera.

En una central eléctrica tradicional, solo el 40-45% del combustible se transforma en electricidad. El resto de la energía desaparece a través de la chimenea y junto con el agua de enfriamiento al mar. Una planta de cogeneración produce electricidad de la misma manera que una planta de energía estándar, pero en lugar de enfriar el vapor de la turbina con agua de mar, se utiliza agua de retorno de una red de calefacción urbana y, por lo tanto, se recalienta. Al producir tanto electricidad como calor, el 85-90% del combustible se puede aprovechar para fines energéticos y, como no se requiere agua de mar, las plantas se pueden colocar en cualquier ciudad con una demanda de calor suficientemente alta.

En Dinamarca, la producción combinada de electricidad y calor tiene una alta prioridad. Anteriormente, era normal tener plantas muy grandes ubicadas cerca de las grandes ciudades como Copenhague, Aarhus y Odense. Sin embargo, en 1986 el parlamento celebró un acuerdo político energético, que incluía la construcción de nuevas plantas combinadas de calor y energía descentralizadas para biomasa, residuos municipales y gas natural. Esto llevó a la construcción de la primera central eléctrica y térmica combinada de paja del mundo en Haslev en 1989.

Desde entonces se han construido otras diez plantas de combustión con paja. En Aarhus, se construyó una nueva planta de combustión de paja en Lisbjerg en 2017, lo que ayudó al municipio a eliminar completamente el carbón. La planta de 110 MW está diseñada para 100% paja, pero puede co-combustionar hasta aprox. 50% del aporte de calor como astillas de madera.

En 1993, el parlamento acordó el llamado Plan de Acción de Biomasa, que requería que las centrales eléctricas utilizaran 1,4 millones de toneladas de biomasa por año, de las cuales al menos 1 millón de toneladas deberían ser paja. Las experiencias de otros países eran muy limitadas en ese momento y abarcaban solo el uso de madera como combustible. Básicamente, la paja para la producción de energía era un concepto desconocido en el sector de la obtención de calor y era necesario impulsar un ambicioso programa de desarrollo y demostración. El programa resolvió muchos de los problemas iniciales, que afectaron a las primeras plantas hasta la década de los 90, y hoy, Dinamarca es uno de los países líderes en lo que respecta al uso efectivo de la paja para la producción de electricidad.

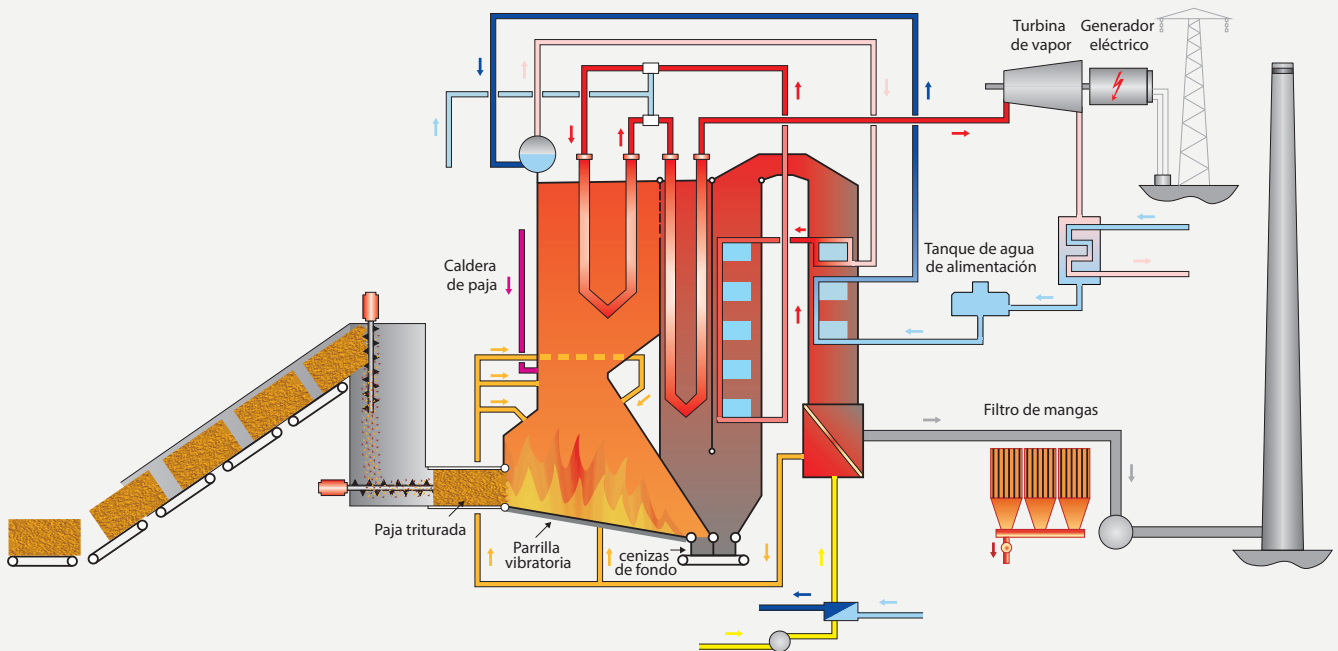
Los esfuerzos de investigación y desarrollo dentro de las plantas combinadas de calor y electricidad para paja se han centrado particularmente en la combustión de parrilla, combustión de polvo, sistemas de lecho fluido circulante y combustión de fundente donde la paja y el carbón se queman en la misma caldera.

## Manipulación de paja en planta

Las plantas de cogeneración manejan cantidades mucho mayores de paja que las plantas de calefacción urbana. Una planta como la de Funen, por ejemplo, consume 150-170.000 toneladas de paja al año, lo que equivale a más de 300.000 pacas grandes.

Para manipular grandes cantidades de paja, la mayoría de las plantas están equipadas con grúas automáticas que pueden levantar doce pacas a la vez. De esa forma, solo se necesitan dos elevadores para vaciar un camión y un remolque. Debido a que la grúa registra el peso y el contenido de agua al mismo tiempo, rara vez hay cuellos de botella en la entrada del almacenamiento de paja. El registro del contenido de agua se realiza mediante microondas, y una celda de carga en la grúa registra el peso de cada elevación.

## Diagrama esquemático de un bloque de la planta de energía de combustión de parrilla en la planta de Funen



**FIGURA 7**

Diagrama esquemático de un bloque de la planta de energía de combustión de parrilla en la planta de Funen.

Las pacas se cargan desde el almacén de paja hasta una cinta transportadora mediante una grúa, que luego las transporta a las trituradoras. El número de cintas transportadoras varía entre plantas, pero la mayoría de las plantas tienen cuatro cintas paralelas para poder manejar grandes cantidades de paja.

### Combustión de parrilla

La combustión de parrilla es la tecnología más extendida para la utilización de paja en las plantas de cogeneración danesas (ver figura 7). Como sugiere el nombre, la combustión tiene lugar en una parrilla en el fondo de la cámara de combustión de la caldera. En la mayoría de los casos, se refiere a una parrilla inclinada enfriada por agua, que vibra a intervalos regulares, moviendo la paja lentamente hacia la salida de extracción de cenizas. Una proporción menor de las cenizas, las cenizas volantes, pasa a través de la planta de calderas y se recoge en una bolsa de filtro, antes de que el humo pase a través de la chimenea.

En la mayoría de las plantas de combustión de parrilla, las pacas de paja se alimentan desde la sala de almacenamiento a través de una trituradora, después de lo cual la paja pasa a la rejilla mediante un sinfín. En algunas de las plantas más antiguas, sin embargo, las pacas se introducen directamente en la caldera según el llamado "principio de encendido de puros". Las pacas de paja no se parten, simplemente se queman de un extremo al otro. Parte de la paja se quema en la cámara sobre la rejilla, mientras que los restos caen sobre la rejilla donde se quema.

### Combustión de polvo inyectable

Las plantas de energía alimentadas con polvo de carbón se pueden reconstruir para combustión con pellets de paja en lugar de carbón. Esto requiere otras instalaciones de almacenamiento y el molino debe poder moler pellets de paja en lugar de carbón, pero en principio, la inyección del combustible en la caldera se realiza de la misma manera. La combustión de la paja puede provocar los mismos problemas de bloqueo y corrosión de los tubos del supercalentador de la caldera, por lo que puede ser necesario reducir la temperatura del vapor para prolongar la vida útil de la caldera.

### Lecho fluido circulante

En una caldera llamada de lecho fluido, es posible quemar paja junto con carbón. Aquí la combustión tiene lugar en un lecho de partículas arenosas flotantes, lo que permite una temperatura de combustión más baja que cuando se usa la combustión de flujo y la combustión de parrilla. Como resultado, se reduce la formación de NOx y es posible eliminar el azufre de los gases de combustión añadiendo piedra caliza en la caldera.

Las calderas de lecho fluido son flexibles en relación con la elección del combustible, pero son sensibles a las cenizas con un punto de fusión bajo, incluidas, por ejemplo, las cenizas de paja. La razón es que la ceniza fundida hace que las partículas de arena se peguen entre sí y que ya no floten. Como resultado, la paja puede representar como máximo el 50% del combustible total.

# La ceniza del carbón tiene, sin embargo, una influencia positiva reduciendo el efecto corrosivo de la ceniza de la paja.

Como se aprecia en las tecnologías de combustión en parrilla, ha habido muchos retos similares respecto al efecto de corrosión y de recubrimiento de las partículas del lecho fluido (con fracciones de baja temperatura de fusión). Además ha habido problemas relacionados con el desgaste en las superficies en contacto (tubos de paso), si bien son aspectos ya ha sido superados por medio de rediseño de los sistemas.

Los restos de lecho extraídos, y que contienen ceniza de carbón y paja, no pueden ser reutilizados. Este es uno de los factores que sólo se use co-combustión de carbón y paja en una central danesa.

## Co-combustión

Se suele conocer como co-combustión al uso de paja y carbón en quemadores de llama suspendida (quemadores de combustible pulverizado). En una planta existente, no es preciso instalar nuevos quemadores, o elementos. Se trata de substituir parte del carbón por paja, lo que implica ratios de inversión bajos. Por otra parte, las centrales de carbón cuentan ya con exhaustivos sistemas de limpieza de gases. Por ello las emisiones resultantes son muy bajas.

La co-combustión se desarrolló desde el principio de los años 90, con multitud de experimentos y campañas de pruebas en Europa, EEUU, Canadá, o Australia. En Dinamarca se puso en marcha a nivel comercial en la planta de Studstrup (junto a Aarhus), un referente mundial de la práctica durante 2 décadas. Se demostró que la co-combustión mejora sinérgicamente, reduce el contenido en inquemados, y permite mejor su uso con otros fines (cemento, árido para construcción, obra civil, etc.) Sin embargo en Studstrup se restringió su uso a un 13% en energía (20% en masa).

Durante los años de desarrollo de la co-combustión se puso mucho interés en conocer el impacto en los potenciales riesgos de corrosión en la caldera. Sin embargo se vio que el efecto corrosivo quedaba apantallado por el efecto sinérgico con los elementos de las cenizas del carbón, siempre que la fracción de paja utilizada no fuera muy elevada. En tal caso los efectos del cloro y los elementos alcalinos no se observan apenas en los depósitos hallados en las calderas.

*La central de Studstrup (cercana a Aarhus), la primera en co-combustionar pellets de madera y paja en Dinamarca.*

**FOTO** Torben Skøtt, BioPress.



La combinación de paja y carbón tiene asimismo un efecto beneficioso en los sistemas catalíticos de limpieza de gases utilizados para reducir las emisiones de NOx. En las plantas de combustión en parrilla estos sistemas eran dañados al desactivarse por la presencia de potasio. Sin embargo en los sistemas de llama suspendida el potasio queda atrapado en las cenizas del carbón, y resulta menos dañino.

En 2016 se decidió iniciar la reconversión de la planta de Studstrup a 100% biomasa, en concreto pellets de madera. Y desde 2019 la compañía operadora de la planta (Ørsted) ha demostrado que es posible re-emplazar sin problema hasta un 8-10% de los pellets de madera por pellets de paja.

## Retos

Uno de los grandes retos de la cogeneración con paja ha sido el diseño de las tuberías de intercambio de calor, ya que, con el fin de alcanzar una alta eficiencia, se precisa elevar el vapor en la caldera a temperaturas muy altas. La paja, al causar una bajada en el punto de fusión de cenizas, hace que el riesgo de corrosión y generación de depósitos en los bancos de tubos (intercambiadores) aumente.

En las primeras plantas, fue necesario con frecuencia, realizar paradas para realizar mantenimiento y limpieza de los intercambiadores. Sin embargo, en las nuevas plantas alimentadas con paja, se dota de mayor paso (distancia entre tubos en los sobrecalentadores) y de sopladores, de manera que el efecto combinado resulta en un aumento del tiempo operativo (sin paradas) de las plantas.

La generación de depósitos en plantas alimentadas con paja puede ser un problema, especialmente cuando el vapor generado se obtiene a alta temperatura. El límite establecido en el pasado eran los 450 °C, con el fin de asegurar un buen tiempo de operación, la vida útil de la instalación, y unos costes de mantenimiento adecuados. Hoy en día el rediseño de sistemas permite llegar hasta los 540 °C (típico de las grandes centrales de gas o de carbón), ganándose con ello un aumento en la eficiencia notable. Aun así, sigue estando por debajo de los recientes avances en centrales de carbón supercríticas, que alcanzan temperaturas de vapor entre 580 y 600 °C.

Importantes esfuerzos se han dedicado a investigar la generación de depósitos y la corrosión derivada del uso de paja, como por ejemplo la proporción de potasio vaporizado y que termina formando parte de los depósitos en los sobrecalentadores (zonas de intercambio con vapor a más alta temperatura). Así mismo los mecanismos de corrosión asociados, viéndose que existe un mecanismo por el que a altas temperaturas los depósitos (con fases fundidas de cloruros alcalinos) inducen una captura del cromo, níquel y hierro de los tubos de acero. Ello causa una corrosión acelerada, debilitamiento de las tuberías, y la inducción de pinchazos o roturas. Se ha visto que aceros con entre 12 y 18% de cromo son los más adecuados. Alternativamente se ha estudiado la adición de aditivos para la reducción de la corrosión.

Se ha observado que resulta útil y efectiva en combustión de madera, pero resulta poco rentable en el caso de la combustión de paja debido al alto contenido de cenizas presente en la paja, y con ello, del volumen de aditivo necesario.

**Recientemente, la planta de Studstrup ha sido reconstruida para quemar pellets de madera y paja.**

# Otras aplicaciones de la paja

La combustión de paja, sea en aplicaciones de pequeña, mediana o gran potencia, es, de lejos, el uso más extendido de la paja con fines energéticos en Dinamarca.

Sin embargo, se han desarrollado y probado otras aplicaciones y métodos de conversión, como la gasificación y la producción de bioetanol. Las plantas piloto han estado funcionando durante largos períodos de tiempo e incluso se ha exportado tecnología para implantar nuevas plantas comerciales a gran escala en otros países, pero aún no se ha producido un despliegue masivo de estas tecnologías a escala comercial. Estas aplicaciones y tecnologías se describirán en la siguiente sección.

## Gasificación

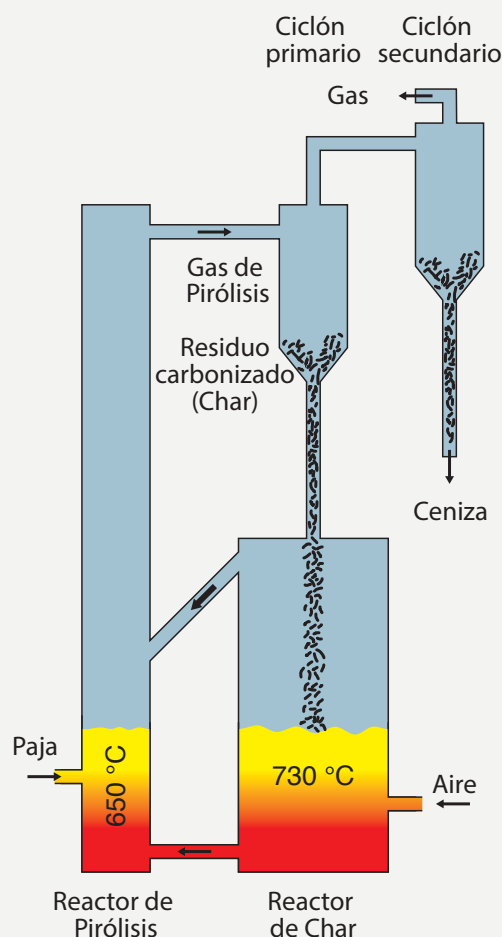
En una gasificación con lecho fluido circulante (CFB, por sus siglas en inglés), la biomasa se convierte en un gas combustible, que puede usarse en calderas con quemadores de gas, o en calderas de carbón pulverizado. De esa manera, se puede evitar introducir cenizas (con los elementos corrosivos asociados) en la caldera. Incluso el gas puede ser objeto de una limpieza previa a su combustión. Esto abre la puerta a usar biomasa variadas (incluyendo residuos), reduciendo los requerimientos de materiales en la caldera (recubrimientos especiales), al reducirse su exposición a sustancias problemáticas.

Los gasificadores de lecho fluido circulante requieren temperaturas de operación de 850-900 °C. Los restos agrícolas, implican un riesgo potencial muy alto de generar deposición. Así mismo el gas generado, al bajar su temperatura, causa la condensación y solidificación de las especies inorgánicas vaporizadas, generando problemas de deposición y corrosión. La compañía "Danish Fluid Bed Technology" ha desarrollado una tecnología denominada de baja temperatura (LT, "low temperature"). La biomasa se gasifica a una temperatura inferior a la del punto de fusión típico de las cenizas de la paja, resultando efectiva para gasificar biomasa herbácea. Al igual que en un gasificador tradicional de lecho fluido circulante, la biomasa se conduce a una cámara de reacción, donde se calienta

rápidamente en contacto con el lecho de arena y ceniza que circula por el sistema (ver figura 8). En el gasificador LT-CFB, la zona de reacción primaria es más pequeña y la temperatura se reduce con el fin de lograr una pirólisis rápida y no la gasificación completa del carbono fijo, que consume más tiempo.

Dada la baja presencia de oxígeno, la biomasa no entra en ignición, y debido a la temperatura, hasta un 80% de la misma se transforma en un gas de pirólisis, quedando el resto como fracción coquizada (carbono fijo), que termina de convertirse al reaccionar con aire (y vapor de agua) en un reactor separado.

## Cómo el gasificador LT-CFB convierte la paja en gas



### FIGURA 8

Funcionamiento del gasificador LT-CFB. La paja, añadida al fondo de la cámara de pirólisis se calienta a unos 650 °C. En ausencia de oxígeno, la paja no enciende, sino que se convierte en 80% de gas de pirólisis y 20% de carbono fijo ("char" en inglés). La corriente de partículas de arena circulantes arrastra el "char". Lecho y "char" se separan de la corriente de gases en un ciclón primario, recirculándose al fondo de la cámara de pirólisis a través de un reactor, que convierte el "char" en gas. Al convertir el "char" en gas combustible en una cámara separada, es posible mantener baja la temperatura del proceso, evitando con ello los problemas de deposición derivados del bajo punto de fusión de las cenizas de combustibles herbáceos. Adicionalmente, la fracción alcalina y el fósforo, quedan contenidos en la ceniza separada, pudiéndose reutilizar como fertilizante; el gas, con menor contenido de estos elementos, puede usarse sin provocar corrosión o depósitos en las calderas.

# La gasificación de la paja no es una práctica común todavía, pero algunas empresas ofrecen la tecnología y están trabajando para lograr un gran avance comercial.

El concepto se probó por primera vez en una planta experimental a pequeña escala en la Universidad Técnica de Dinamarca en el año 2000. Tres años después, se estableció una planta piloto de 500 kW que puede gasificar hasta cuatro toneladas de combustible por día. En 2011, Dong Energy (hoy llamado Ørsted) puso en marcha una planta de demostración de 6 MW en Kalundborg con el nombre de Pyroneer, suministrando gas a una planta de energía cercana. Sin embargo, en 2014, la planta cerró ante la ausencia de mercado para la tecnología, y no poder encontrar socios para explorar las posibilidades del mercado, a nivel nacional o internacional.



*La planta de etanol de segunda generación a escala industrial de 165 millones de euros de Versalis en Crescentino, provincia de Vercelli, Italia.*  
**FOTO** Food & Bio Cluster Denmark.



*La planta pionera de gasificación en Kalundborg.*  
**FOTO** Torben Skøtt, BioPress.

## Paja a bioetanol

La producción de bioetanol basada en grano de cereal o maíz, o en caña de azúcar es una tecnología bien conocida. Este tipo de plantas se encuentran distribuidas por Europa, Brasil, Estados Unidos, donde se producen grandes cantidades de bioetanol con el fin de usarse como sustituto o aditivo en gasolinas.

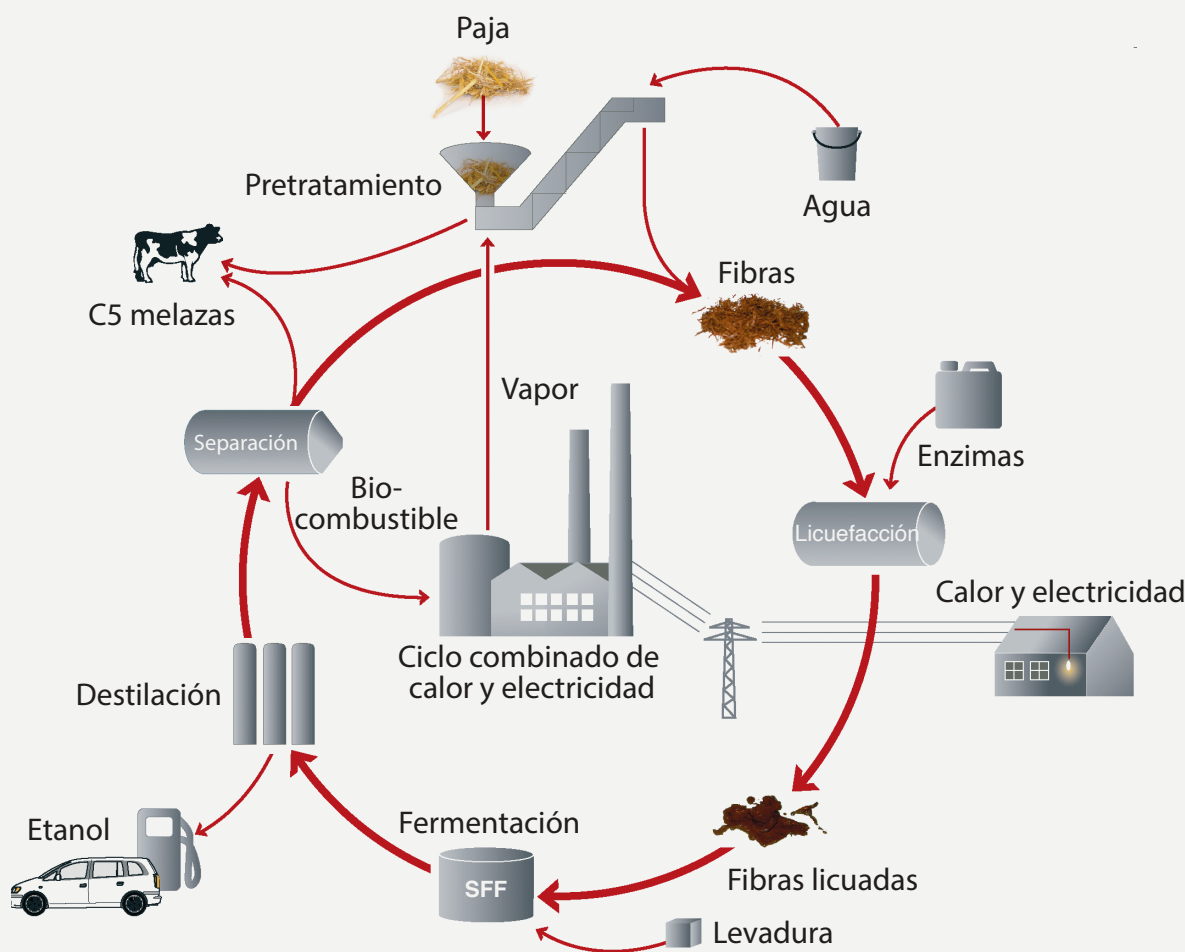
Sin embargo, la producción de bioetanol a partir de productos alimentarios para consumo humano o para fabricación de piensos ha sido criticada en los últimos años. Se teme que un uso masivo de bioetanol pueda tener impacto en los precios de los alimentos y empeore los problemas de hambrunas en los países o zonas empobrecidas. Especial foco de atención es el cambio indirecto en el uso de la tierra. Desplazar cultivo alimentario a energético, implica necesidad de más tierra cultivable, causando un efecto potencialmente devastador en la deforestación. Es por ello que se ha dado un paso decidido a desarrollar las denominadas tecnologías de 2ª generación, donde la producción de bioetanol se basa en productos no alimentarios. Si bien existen plantas en funcionamiento, estas plantas todavía son proyectos emblemáticos, sin tener a día de hoy una expansión comercial.

## El concepto “Inbicon” para Bioetanol

En noviembre de 2009, INBICON, subsidiaria de DONG Energy, estableció una planta cerca de Kalundborg, con capacidad para convertir 30.000 toneladas de paja al año en bioetanol, forraje y pellets (para uso energético). En ese momento, era una de las plantas más grandes del mundo para la producción de biocombustibles de segunda generación.

Un gran desafío fue desarrollar una tecnología que permitiera introducir la paja en un reactor, que opera a una presión de 15 bar y una temperatura de aproximadamente 185 °C. En el reactor, la paja se pre-trata, descomponiéndose posteriormente en sustancias azucaradas por medio de enzimas. El resto de los pasos del proceso





**FIGURA 9**

Diagrama esquemático de la planta de Inbicon para la producción de bioetanol a partir de paja. Uno de los elementos centrales es el pretratamiento de la paja, que se realiza con una presión de 15 bar y una temperatura de unos 185 °C. La planta está construida en conexión con una planta de energía, de modo que el exceso de calor se puede utilizar para la producción de etanol, y la planta de energía puede utilizar una parte de la biomasa de la planta de etanol como combustible.

es similar a una planta convencional de primera generación, donde el proceso central es la fermentación alcohólica del azúcar para generar el bioetanol (ver figura 9).

En 2013, el consorcio Beta Renewables 2G estableció una planta de producción de bioetanol de segunda generación a gran escala cerca de Crescentino en la región de Piemonte en Italia. La capacidad de producción de la planta prevista era de 40.000 toneladas de bioetanol al año. Sin embargo, la planta se cerró a fines de 2017. Entre otras causas, las dificultades para mantener una calidad satisfactoria de la paja se han citado como uno de los desafíos. En 2018, Versalis SpA (filial italiana de la empresa matriz Eni SpA, dedicada a petróleo, gas y energía) adquirió la planta. Con una inversión de otros 15 millones de euros se ha renovado la planta, y ha reiniciado la producción de bioetanol durante 2020.

La planta de INBICON en Kalundborg se cerró en 2014. En la primavera de 2020, la planta se vendió a la empresa RE Energy, que

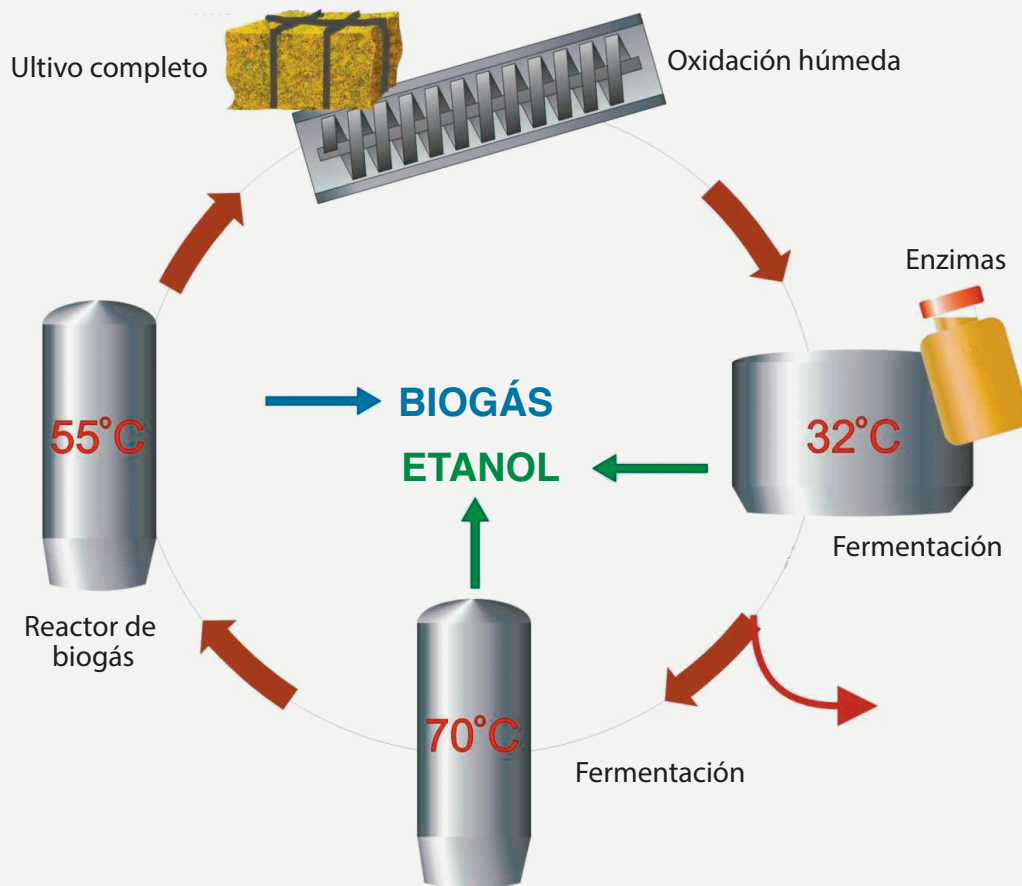
planea producir allí nuevamente bioetanol, aunque esta vez no a partir de paja.

## El concepto de bioetanol BioGasol

La empresa de desarrollo danesa BioGasol ha desarrollado otro concepto para la producción de bioetanol en la que los subproductos, además del biocombustible sólido, también incluyen combustibles gaseosos en forma de metano e hidrógeno. El principio de este proceso se ilustra en la figura 10.

El primer paso es un pretratamiento térmico de la paja introduciéndole oxígeno, tras lo cual se descompone la biomasa mediante enzimas. La fermentación que sigue se lleva a cabo en dos pasos, en el primero se convierte la celulosa y en el segundo paso se convierte la hemicelulosa en bioetanol. En el paso final del proceso, el agua y los restos de biomasa se llevan a un reactor, donde se producen metano e hidrógeno.

## Diagrama esquemático de la producción de etanol BioGasol



**FIGURA 10**

Diagrama esquemático de la producción de etanol BioGasol. En el pretratamiento de BioGasol, la biomasa se "abre" mediante el método de cocción a presión en una disolución suave de ácido o base. Como resultado, las cadenas de azúcar se vuelven accesibles para el tratamiento posterior con enzimas y / o fermentación. Además, BioGasol ha desarrollado un microorganismo termófilo modificado genéticamente, que es capaz de convertir el azúcar C5 en etanol, lo que aumenta el rendimiento de etanol de la paja en un 30-40%.

En septiembre de 2006, se inauguró una planta piloto llamada Maxi-fuel en la Technical University of Denmark. El plan era establecer una planta piloto más grande en la isla danesa de Bornholm, pero este plan no se ha realizado.

En conclusión, la producción de bioetanol de segunda generación a partir de paja aún no ha demostrado ser un éxito comercial en Dinamarca, aunque la tecnología parece estar bien documentada. En otras partes de Europa, se están produciendo desarrollos; Clariant está construyendo la primera planta insignia para su tecnología Sunliquid® para etanol celulósico a partir de paja en Rumania (se espera que comience a operar en 2020).

### Paja en plantas de biogás

En estos días, el enfoque en la conversión de paja sin combustión en Dinamarca se centra principalmente en la digestión anaeróbica en plantas de biogás. Se está trabajando mucho para optimizar el uso de la paja en las plantas de biogás como un medio para aumentar el contenido medio de materia seca en el material de entrada y, por tanto, aumentar el rendimiento de biogás.

El principal sustrato de las plantas de biogás danesas es el estiércol y, desde finales de la década de 1980, los desechos orgánicos de las industrias agrícola y alimentaria se han utilizado para impulsar la producción de gas y la viabilidad de las plantas. Sin embargo, con el aumento en el número (y tamaño) de plantas en los últimos años, las fuentes de residuos orgánicos suplementarios se han acabado y las plantas están buscando otros sustratos como cultivos energéticos y residuos de cultivos. Sin embargo, los cultivos energéticos dedicados compiten con los cultivos alimentarios y forrajeros por la tierra y, por lo tanto, los cultivos energéticos como el maíz no se consideran una solución sostenible a largo plazo en Dinamarca. La paja, por otro lado, es un subproducto de la producción de granos y, como se explicó anteriormente, existe un superávit anual sustancial.

Cuando se usa en una planta de biogás, el rendimiento energético de la paja es solo alrededor del 60% de lo que se puede lograr mediante la combustión. Sin embargo, el gas tiene muchas más posibilidades de aplicación y los nutrientes se recirculan al campo, junto con parte del carbono, gracias al biofertilizante de la planta de biogás.



La digestión de la paja sin tratar en las plantas de biogás en condiciones estándar es bastante lenta y no es fácil mezclar la paja sin tratar con el estiércol líquido. Esto significa que se debe aumentar el tiempo de retención en los digestores (duplicarlo, en comparación con el tiempo de retención normal), o se debe pretratar la paja para aumentar la digestibilidad. Mientras que en Alemania, la tendencia ha sido construir plantas con mayor tiempo de retención, en Dinamarca se ha centrado principalmente en el pretratamiento de la paja para aumentar la digestibilidad.

## Pretratamiento mecánico

Se han desarrollado bastantes tecnologías para "abrir" la paja, a fin de que las bacterias tengan un acceso más fácil a los azúcares. En un informe preparado para el "Grupo de trabajo sobre biogás" de la Agencia Danesa de Energía, se menciona que el rendimiento de metano de la paja se puede aumentar entre un 10 y un 20% con tecnologías de pretratamiento como molino de martillos, briquetas, extrusoras y troceadoras. Cuando se agrega un filtro de lecho profundo a una troceadora, la biomasa se macera mediante cadenas giratorias en su interior.

## Filtro de lecho profundo, compostaje y ensilado

El uso de filtro de lecho profundo de producciones animales parece ser una forma fácil y factible de utilizar paja en plantas de biogás; la paja ya está mezclada con el estiércol, y la degradación, o "apertura" de la paja, ya ha comenzado antes de que la hoja profunda se introduzca en la planta.

En el informe mencionado anteriormente, también se menciona que el compostaje de la paja antes de la alimentación tiene un efecto positivo en el rendimiento de metano. Además, los resultados indican que la paja de mala calidad, es decir, demasiado húmeda para ser quemada o utilizada como pienso, puede utilizarse con buenos resultados en plantas de biogás.

Finalmente, se ha demostrado que el ensilado de la paja o el co-ensilado con otro material vegetal, por ejemplo hierba u hojas de remolacha, también aumenta la digestibilidad de la paja.

## Otros métodos de pretratamiento

Una de las tecnologías más conocidas para "abrir" la paja es la cocción a presión, que también se utiliza para la producción de bioetanol de segunda generación. Sin embargo, esto requiere

mucha energía y, por lo tanto, es costoso y no se considera factible como tratamiento previo de la paja para la producción de biogás. Lo mismo ocurre con el tratamiento enzimático.


## Fuel oil de paja

Otra forma de intentar utilizar la paja con fines energéticos es a través de la licuefacción hidrotermal, esencialmente también la cocción a presión. Esta es una tecnología que está siendo utilizada y desarrollada por algunas universidades y empresas privadas para crear productos "petrolíferos" a partir de biomasa. Una empresa derivada de la Technical University of Denmark (DTU), Kvasir Technologies, tiene una tecnología de licuefacción patentada para convertir la paja (y otras biomásas celulósicas) en fuel oil. Los estudios piloto están en curso y el objetivo de la empresa es comenzar la construcción de una planta comercial en 2023 si todo va bien. Este tipo de combustible sería muy adecuado para reemplazar el combustible en la industria naviera, que aún depende en gran medida de los combustibles fósiles, si puede competir en el mercado. Otra spin-out de DTU, MASH Energy, también está trabajando en la producción de productos de aceite combustible a partir de residuos agrícolas mediante pirólisis.

## Materiales de construcción de paja

Como se describió en los capítulos anteriores, la utilización de la paja para la producción de energía ha demostrado ser una solución viable en muchos niveles, y aún se están logrando avances en el desarrollo, la optimización y la implementación. Sin embargo, existe una creciente conciencia sobre la necesidad de un uso inteligente de los recursos biológicos; La energía renovable se puede producir a partir de la energía solar y eólica, mientras que la biomasa se puede utilizar para muchos otros fines. Con el mayor enfoque en el uso de materiales sostenibles, existe un interés considerable en el desarrollo de productos a base de paja para la industria de la construcción.

Una de las aplicaciones es simplemente usar pacas de paja como "ladrillos" para levantar paredes en una casa y luego cubrir la superficie, por ejemplo con arcilla, para evitar que las pacas de paja absorban humedad. Las casas de pacas de paja son bien conocidas en muchos países y puede encontrar empresas que ofrecen soluciones llave en mano para viviendas estándar. Para aplicaciones más amplias y complejas, varias empresas en la UE y más allá producen actualmente paneles de paja comercialmente. La investigación y el desarrollo en el uso de fibras de paja para materiales compuestos más ecológicos están en curso.



**La utilización en cascada (o jerarquización de usos) de la paja significa priorizar las aplicaciones de mayor valor antes de usarla como energía.**



*Staramaki es una empresa cooperativa social de Kilkis en el norte de Grecia que produce pajitas para beber a partir de paja de cereales, utilizando su propio proceso patentado. Staramaki, una alternativa natural a las pajitas de plástico, ilustra otra forma innovadora en la que la paja de cereales puede contribuir a la bioeconomía.*

**FOTO** Staramaki.








## Creando crecimiento verde a partir de paja en el futuro

Varios institutos de investigación daneses y agentes privados han intensificado la investigación y el desarrollo de tecnologías para la utilización en cascada de la paja (y otros tipos de biomasa). Esto incluye, por ejemplo, el fraccionamiento (seco o húmedo) de la biomasa con el fin de extraer primero productos de alto valor como fibras, polímeros, cera, etc. Luego, otras partes se pueden utilizar para productos alimenticios y, finalmente, residuos y desechos se pueden utilizar en plantas de biogás o para combustión. Muchos consideran que este tipo de biorefinado de la paja es la forma más sostenible de utilizar este valioso recurso a largo plazo. Sin embargo, muchas tecnologías de bio refinado aún no están (completamente) desarrolladas y listas para la producción a escala comercial y no lo estarán en los próximos años.

Mientras tanto, hay mucha paja en exceso en toda Europa, y necesitamos desesperadamente reducir nuestro consumo de combustibles fósiles para disminuir los impactos dañinos del cambio climático y cumplir con nuestros compromisos del acuerdo de París. El ejemplo danés muestra que la combustión de paja es una solución viable para la producción de electricidad y obtención de calor neutra en carbono en la actualidad. La tecnología está probada y es madura. Es de esperar que esta publicación sirva de inspiración para otros y que se pueda reproducir en cualquier lugar de Europa (o más allá) con una gran producción de grano y el deseo de un suministro de obtención de calor más ecológico y, en muchos casos, más barato. De paja a energía significa independencia de los combustibles fósiles y potencialmente empleos locales y crecimiento verde en áreas rurales.

# Directorio de empresas con experiencia y tecnologías de paja








(no es una lista completa; para obtener más información, consulte el [observatorio AgroBioheat](#)).

LOGO	CONTACTO	DESCRIPCIÓN	ÁREAS DE ESPECIALIZACIÓN	FABRICANTE / PROVEEDOR DE EQUIPOS	PRODUCTOR, OPERADOR Y USUARIO FINAL	OTROS (CONSULTORÍA, ASOCIACIONES DE INVESTIGACIÓN, ETC.)
 <p>ALCON ALHEAT WWW.ALCON.NU • +45 86662044</p>	<p>Alcon ALHEAT ApS Ole Rømersvej 15 DK-8670 Låsby</p> <p><a href="http://www.alcon.nu">www.alcon.nu</a></p>	<p>Más de 40 años de experiencia vendiendo y dando servicio a calderas de paja para interiores y exteriores que van desde 75kW a 1 MW en toda Europa.</p>	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA	●		
			PRETRATAMIENTO	●	●	●
			CONVERSIÓN	●	●	●
 <p>BYGGERI &amp; TEKNIK I/S Rådgivere   Arkitekter   Ingeniører 1913 1311   <a href="http://www.byggeri-teknik.dk">www.byggeri-teknik.dk</a></p>	<p>Byggeri &amp; Teknik I/S Birk Centerpark 24 DK-7400 Herning</p> <p><a href="http://www.byggeri-teknik.dk">www.byggeri-teknik.dk</a></p>	<p>Asesoramiento a la agricultura en materia energética, edificación, dimensionamiento de sistemas de obtención de calor, filiales etc.</p>	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			●
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN			●
 <p>C.F. Nielsen A/S</p>	<p>C.F. Nielsen A/S Solbjergvej 19 DK-9574 Bælum</p> <p><a href="http://www.cfnilsen.com">www.cfnilsen.com</a></p>	<p>Instalaciones de briquetas mecánicas y de extrusión para la producción de briquetas. Las materias primas, además de la madera, son residuos agrícolas como paja, cascarilla de arroz, miscanthus, etc. Se pueden entregar líneas de producción completas con capacidades de 200 kg / hy más.</p>	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			
			PRETRATAMIENTO	●		
			CONVERSIÓN			
 <p>CM BIOMASS COPENHAGEN MERCHANTS GROUP</p>	<p>CM Biomass Partners A/S Pakhus 48, Klubiensvej 22 DK-2150 Nordhavn</p> <p><a href="http://www.cmbiomass.com">www.cmbiomass.com</a></p>	<p>CM Biomass Partners A / S trabaja con una variedad de productos de biomasa, desde grandes productores y empresas de servicios hasta pequeños productores y distribuidores regionales. En la actualidad, somos una de las empresas independientes de comercialización y logística de biomasa más grandes del mundo. Implementamos soluciones logísticas multimodales que incluyen embarcaciones, barcazas, ferrocarriles, contenedores y camiones a granel, big-bags o sacos pequeños.</p>	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA		●	●
			PRETRATAMIENTO		●	●
			CONVERSIÓN		●	●
 <p>cormall</p>	<p>Cormall A/S Tornholm 3 DK-6400 Sønderborg</p> <p><a href="http://www.cormall.dk">www.cormall.dk</a></p>	<p>Cormall es una empresa danesa fundada en 1961, su principal área de actividad son los mezcladores de piensos dietéticos para la alimentación automática de ganado de leche, maquinaria de procesamiento de paja y tecnología de biomasa.</p>	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			
			PRETRATAMIENTO	●	●	●
			CONVERSIÓN			
 <p>DANSK ENERGI RÅDGIVNING</p>	<p>Danish Energy Consulting Garmestervej 18 B DK-8600 Silkeborg</p> <p><a href="http://www.danishenergyconsulting.com">www.danishenergyconsulting.com</a></p>	<p>Ofrece consultoría específica sobre optimización energética de calderas de paja e intercambiadores de calor, incluida la elección de soluciones técnicas y aplicaciones para posibles subvenciones. Además, el departamento y el laboratorio de biogás consultan sobre el uso de paja en la producción de biogás y realizan análisis biológicos para estabilizar y optimizar la producción de gas.</p>	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN			●
 <p>DANSK FJERNVARME</p>	<p>Dansk Fjernvarme Merkurvej 7 DK-6000 Kolding</p> <p><a href="http://www.danskfjernvarme.dk">www.danskfjernvarme.dk</a></p>	<p>Asociación comercial para proteger los intereses de las plantas de calefacción urbana danesas. El 64% (equivalente a 1,7 millones) de los hogares daneses se calientan con calor de las plantas miembros de la asociaciones de district heating de Dinamarca. Los miembros incluyen tanto las pequeñas plantas de calefacción urbanas locales como las grandes empresas.</p>	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			●
			PRETRATAMIENTO			●
			CONVERSIÓN			●

LOGO	CONTACTO	DESCRIPCIÓN	ÁREAS DE ESPECIALIZACIÓN			
				FABRICANTE / PROVEEDOR DE EQUIPOS	PRODUCTOR, OPERADOR Y USUARIO FINAL	OTROS (CONSULTORIA, ASOCIACIONES DE INVESTIGACIÓN, ETC.)
	Danish Straw Producers Axeltovej 3 DK-1609 København V  <a href="http://www.danskhalm.dk">www.danskhalm.dk</a>	Asociación de proveedores privados que tiene como objetivo servir a los intereses de los miembros. La asociación sigue de cerca el marco político y regulatorio para el uso de la paja, sigue el desarrollo de nuevas tecnologías para el uso de la paja, p. Ej. materiales, productos químicos y otros usos en la bioeconomía circular.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			●
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN			
	DSE Test Solutions A/S Sverigesvej 19 DK-8700 Horsens  <a href="http://www.dse.dk">www.dse.dk</a>	Desarrolla y produce medidores de humedad basados en microondas que monitorean los valores de humedad reales y promedio en biomasa empacada de todo tipo, incl. Paja. Estos son útiles para contabilizar cuándo se entrega la paja a la planta de energía, pero también para administrar la cantidad de pacas húmedas que entran en la caldera.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA	●		
			PRETRATAMIENTO	●		
			CONVERSIÓN	●		
	Farmer Tronic Industries A/S Nyskovvej 13 DK-6580 Vamdrup  <a href="http://www.farmertronic.com">www.farmertronic.com</a>	Desarrolla y fabrica medidores de humedad / sensores de temperatura / básculas y aplicaciones para la agricultura y la industria de cogeneración. A los usuarios profesionales se les ofrece un procedimiento de calibración que garantiza que los instrumentos cumplan con los requisitos más estrictos que se reflejan en los sistemas de gestión de calidad de las plantas combinadas de calor y energía.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA	●		
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN			
	FASTERHOLT Maskinfabrik A/S Ejstrupvej 22 DK-7330 Brande  <a href="http://www.fasterholt.dk">www.fasterholt.dk</a>	Remolques para pacas para rotoempacadoras y empacadoras de pacas.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA	●		
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN			
	Faust ApS Vester Fjordvej 2 DK-9280 Storvorde  <a href="http://www.faust.dk">www.faust.dk</a>	Faust diseña y produce calderas de paja y calderas de astillas manuales y automáticas de 140 kW a 2,5 MW.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN	●		
	Justsen Energiteknik A/S Grimhøjvej 11 DK-8220 Brabrand  <a href="http://www.justsen.dk">www.justsen.dk</a>	Fundada en 1959, Justsen Energiteknik A / S es un fabricante de equipos originales (OEM) que se especializa en sistemas de calderas alimentadas con biomasa. Las rejillas móviles refrigeradas por agua son el elemento clave de los sistemas de calderas Justsen. El alcance del suministro generalmente cubre todas las partes presurizadas, hardware y todas las partes / componentes integrales del sistema.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN	●		
	KF Halmfyr Hjulmagervej 12-16 DK-9490 Pandrup  <a href="http://www.kfhalmfyr.dk">www.kfhalmfyr.dk</a>	KF Halmfyr produce calderas de paja de cocción parcial probadas por el Instituto Tecnológico Danés. Las calderas se ajustan a las necesidades del cliente individual y se construyen en el exterior como edificio independiente.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN	●		

LOGO	CONTACTO	DESCRIPCIÓN	ÁREAS DE ESPECIALIZACIÓN	FABRICANTE / PROVEEDOR DE EQUIPOS	PRODUCTOR, OPERADOR Y USUARIO FINAL	OTROS (CONSULTORIA, ASOCIACIONES DE INVESTIGACIÓN, ETC.)
	Kinetic Biofuel Solbjergvej 19 DK-9574 Bælum  <a href="http://www.cfnielsen.com">www.cfnielsen.com</a>	Tecnología de pretratamiento de residuos agrícolas lignocelulósicos de cultivos, como la paja de cereales, que permiten la codigestión con abonos animales en una planta de biogás y alcanzar el potencial biocombustible teórico total de ambos recursos de biomasa.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			
			PRETRATAMIENTO	●		
			CONVERSIÓN	●		
	Kvasir Technologies Maskinvej 5 DK-2860 Søborg  <a href="http://www.kvasirtechnologies.com">www.kvasirtechnologies.com</a>	Kvasir Technologies tiene una tecnología patentada para convertir la paja (y otras biomásas celulósicas) en fuel-oil. El proceso es simple, económico y produce un combustible de calidad marina en un solo paso. Los estudios piloto están en curso y el objetivo es comenzar la construcción de una planta comercial en 2023.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN			●
	Danish Agriculture & Food Council Axeltorv, Axeltorv 3 DK-1609 Copenhagen V  <a href="http://www.lf.dk">www.lf.dk</a>	El propósito de esta organización es gestionar tareas comunes e intereses comerciales de agricultores y empresas alimentarias, incluida la producción, orientando el uso de la biomasa para la bioenergía y la bioeconomía circular.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			●
			PRETRATAMIENTO			●
			CONVERSIÓN			●
	Lekea – Dan Trim Højvejen 18 DK-8860 Ulstrup  <a href="http://www.lekea.dk">www.lekea.dk</a>	Diseñador y fabricante de calderas de combustión de paja manual. Calderas de paja de 48 kw a 130 kw para calefacción en agricultura e industria.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN		●	
	Linka Energy A/S Nylandsvej 38, DK-6940 Lem St.  <a href="http://www.linka.dk">www.linka.dk</a>	También desarrollan, producen, instalan y ponen en servicio plantas de biomasa totalmente automatizadas para producción de calor o vapor. Sus sistemas de combustión con paja están personalizados y diseñados para lograr la mayor eficiencia posible, al tiempo que maximizan la utilización del combustible. Ofrecen calderas de 100 a 15.000 kW, con varios sistemas de alimentación de combustible.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			
			PRETRATAMIENTO	●		
			CONVERSIÓN			
	MASH Energy ApS Fruebjergvej 3 DK-2100 København Ø  <a href="http://www.mash-energy.com">www.mash-energy.com</a>	La solución de gasificador MASH permite una producción de energía altamente eficiente, modular y rentable a partir de pellets de paja. Además, dependiendo de los requisitos del cliente, el proceso se puede configurar para producir un mayor rendimiento de biocarbón de gran valor para la enmienda del suelo o carbón activado para su uso en la purificación de agua y gas.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN	●		●
	ParkLand Maskinfabrik A/S Vejlemosevej 14 DK-4160 Herlufmagle  <a href="http://www.parkland.dk">www.parkland.dk</a>	Fabricación de remolques de paja para su fijación a grandes empacadoras para disponer de una recogida rápida y eficaz de grandes pacas en el campo. Los vagones también pueden equiparse con básculas para pesar pacas.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA	●		
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN			



LOGO	CONTACTO	DESCRIPCIÓN	ÁREAS DE ESPECIALIZACIÓN	FABRICANTE / PROVEEDOR DE EQUIPOS	PRODUCTOR, OPERADOR Y USUARIO FINAL	OTROS (CONSULTORÍA, ASOCIACIONES DE INVESTIGACIÓN, ETC.)
	PlanEnergi Jyllandsgade 1 DK-9520 Skørping <a href="http://www.planenergi.dk">www.planenergi.dk</a>	PlanEnergi es una empresa de consultoría independiente organizada como una fundación sin ánimo de lucro. Tienen conocimientos sobre cosecha, pretratamiento y conversión de paja para combinación de calor y energía, plantas de calefacción y digestión anaeróbica.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			●
			PRETRATAMIENTO			●
			CONVERSIÓN			●
	POMI Industri ApS Abildvadvej 5 DK-9610 Nørager <a href="http://www.pomi.dk">www.pomi.dk</a>	Productos: Acumulador de pacas para fijar a grandes empacadoras y lograr una recogida rápida y eficaz en el campo. Apilador de pacas que permite recoger y apilar con el mismo vehículo. Envolvedoras para pacas grandes; 5, 7 y 12 en cada pila.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA	●		
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN			
	Processbio A/S Fiskerhusvej 20 DK-4700 Naestved <a href="http://www.processbio.com">www.processbio.com</a>	Processbio suministra sistemas industriales de manipulación de pacas para grandes pacas de paja cuadradas, incluyendo puentes grúa, medidores de humedad, software de gestión de graneros informatizado, sistemas de descarga de camiones totalmente automatizados, sistemas de alimentación con partición, inclinación y distribución de pacas, así como desarmado y desbarbado. Capacidades que van desde 1 t/h hasta 75 t/h.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA	●		
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN			
	REKA A/S Vestvej 7 DK-9600 Aars <a href="http://www.reka.com">www.reka.com</a>	Produce plantas de combustión totalmente automáticas de 10-6500 kW para la mayoría de los tipos de combustibles sólidos (biocombustible) como paja, astillas de madera, pellets, virutas de madera, serrín, carbón, grano y cascarilla. Ha desarrollado una tolva de cadena para paja suelta y electrofiltro para la limpieza del humo de la combustión de la paja.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			
			PRETRATAMIENTO	●		
			CONVERSIÓN	●		
	Scanboiler Varmeteknik Vangvedvænget 1 DK-8600 Silkeborg <a href="http://www.scanboiler.dk">www.scanboiler.dk</a>	Aunque especializada en la venta y diseño de plantas de biocombustible para pellets de madera, astillas de madera y troncos de madera, con calderas de 10.5-1000 kW., Scanboiler también vende sistemas de energía solar y geotérmica.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN	●	●	●
	SEGES Agro Food Park 15 DK-8200 Aarhus N <a href="http://www.seges.dk/en">www.seges.dk/en</a>	SEGES tiene un amplio conocimiento sobre la producción de paja y cómo optimizar el rendimiento y la calidad de la biomasa para aplicaciones específicas. SEGES puede, a través de las propias empresas o cooperativas agrícolas, implementar de manera eficiente nuevos métodos de producción. La herramienta de detección de biomasa de SEGES puede cuantificar las cantidades de paja disponibles en un área geográfica de interés específica.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			●
			PRETRATAMIENTO			●
			CONVERSIÓN			●
	Stratek ApS Bragesvej 11 DK-8660 Skanderborg <a href="http://www.stratek.com">www.stratek.com</a>	Stratek está especializada en la preparación y procesamiento de paja para cualquier aplicación industrial como pelletizado, briquetado, empaçado y fabricación de piensos TMR, etc. Ofrece sistemas a medida para cualquier capacidad y acabado de producto. Su lista de productos contiene transportadores de pacas, trituradoras, desempacadoras, desencadenadores, sistemas de medición, despolvo, secadores de banda, empacadoras y ensacadoras.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			
			PRETRATAMIENTO	●		
			CONVERSIÓN			

LOGO	CONTACTO	DESCRIPCIÓN	ÁREAS DE ESPECIALIZACIÓN	FABRICANTE / PROVEEDOR DE EQUIPOS	PRODUCTOR, OPERADOR Y USUARIO FINAL	OTROS (CONSULTORÍA, ASOCIACIONES DE INVESTIGACIÓN, ETC.)
	Supertech Agroline ApS Maltgørervej 7 DK-5471 Søndersø  <a href="http://www.supertechagroline.com">www.supertechagroline.com</a>	Desarrolla y fabrica equipos portátiles para medir el contenido de agua y la temperatura en heno, paja y ensilaje en el rango de medición de contenido de agua del 8,5% al 80%.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA	●	●	
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN			
	Danish Technological Institute (DTI) Agro Food Park 15 DK-8200 Aarhus N  <a href="http://www.teknologisk.dk">www.teknologisk.dk</a>	DTI, con más de 20 años de experiencia en todos los aspectos de la producción y utilización de la paja, ofrece sus servicios a empresas danesas e internacionales con respecto a la optimización del rendimiento y la calidad de la paja, maquinaria y tecnología, logística, pretratamiento, conversión incluida la combustión, digestión anaeróbica, biorrefinación en nuevos productos y optimización de la economía.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			●
			PRETRATAMIENTO			●
			CONVERSIÓN			●
	Verdo Agerskallet 7 DK-8920 Randers NV  <a href="http://www.verdo.com">www.verdo.com</a>	Verdo cuenta con más de 100 años de experiencia en producción de energía, asesoramiento, desarrollo y servicio de soluciones energéticas llave en mano. En la actualidad, es uno de los principales proveedores de plantas de biomasa de alta eficiencia (paja, astillas de madera, pellets o residuos) con capacidades entre 1 y 20MW para la producción de calor y vapor.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN	●	●	●
	University of Copenhagen - Dept. of Geosciences and Natural Resource Management (IGN) Rolighedsvej 23 DK-1958 Frederiksberg C  <a href="http://www.ign.ku.dk">www.ign.ku.dk</a>	IGN trabaja en bioenergía, en áreas tales como la caracterización de combustibles, el análisis del contenido energético y las cenizas, la reutilización de nutrientes de las cenizas, la conversión a combustible líquido y cuestiones de sostenibilidad.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN			●
	Aarhus University Dept. of Engineering Research Centre Foulum Blichers Alle 20 DK-8830 Tjele Denmark  <a href="http://www.eng.au.dk/en">www.eng.au.dk/en</a>	La aplicación energética de la paja es un área de investigación en la Universidad de Aarhus. La Universidad ha llevado a cabo proyectos centrados en el desarrollo de nuevas tecnologías de calderas de paja y biomasa. Los temas clave han sido el aumento de la eficiencia energética, las bajas emisiones y la reducción del impacto ambiental. También son objeto de estudio la logística y la optimización de las cadenas de suministro.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			●
			PRETRATAMIENTO			●
			CONVERSIÓN			●
	CZECH REPUBLIC Step TRUTNOV a.s. Na příkopě 1047/17 110 00 Praha 1  <a href="http://www.steptrutnov.cz">www.steptrutnov.cz</a>	Step TRUTNOV a.s. ofrece los últimos avances en calderas de biomasa poniendo el acento en la rentabilidad económica y el cuidado medioambiental fundamental. La generación de electricidad a partir de biomasa presenta una tecnología atractiva en términos de economía para la generación combinada de calor y energía.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA	●	●	
			PRETRATAMIENTO	●	●	
			CONVERSIÓN	●	●	
	CZECH REPUBLIC TTS eko s.r.o. Průmyslová 163 674 01 Třebíč  <a href="https://www.ttsboilers.cz">https://www.ttsboilers.cz</a>	El desarrollo y construcción de la caldera de combustión de paja tipo VESKO-S se lleva a cabo en un rango de potencias de 2 a 5 MW y permite la quema de pacas de paja (de cereales, colza, heno, lino, acedera, etc.). La primera caldera VESKO-S se puso en funcionamiento en otoño de 2006 en Třebíč (República Checa).	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN	●		

LOGO	CONTACTO	DESCRIPCIÓN	ÁREAS DE ESPECIALIZACIÓN	FABRICANTE / PROVEEDOR DE EQUIPOS	PRODUCTOR, OPERADOR Y USUARIO FINAL	OTROS (CONSULTORÍA, ASOCIACIONES DE INVESTIGACIÓN, ETC.)
	LITHUANIA Ateenergy Verslininku str. 11A, Juodeliai Sirvintos regiona, Lithuania, LT-19131 <a href="http://www.strawcomfort.com">www.strawcomfort.com</a>	Ateenergy es uno de los mayores productores de pellets de paja del Báltico. Nuestra marca Strawcomfort ofrece pellets de paja regulares (8 o 10 mm) y pellets de paja triturados que se utilizan para la cama de los animales. Toda la materia prima es recolectada por nosotros mismos y los pellets son 100% naturales, sin aditivos y de altísima calidad.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA  PRETRATAMIENTO  CONVERSIÓN		<input checked="" type="checkbox"/>	
	ROMANIA Erpek IND Ltd. 527035 Bodoc 14/A Jud. Covasna <a href="http://www.biosistem.ro">www.biosistem.ro</a>	La empresa cuenta con una larga experiencia en el campo técnico, apoyándose en el diseño y fabricación en su propia concepción: I. Hornos de panadería y otros accesorios en el campo II. Plantas térmicas de biomasa automatizadas a base de residuos de biomasa y pellets.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA  PRETRATAMIENTO  CONVERSIÓN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
	UKRAINE Briquetting technologies 13306, Ukraine, Zhytomyr region, Berdychiv, st. Semenovskaya, 116 <a href="http://www.briq-tech.com">www.briq-tech.com</a>	Briquetting Technology Company desarrolla y fabrica productos para el briquetado y granulación de paja: prensas mecánicas de choque, granuladoras, secadores aerodinámicos y trituradoras de pacas de paja. Montamos líneas de briquetado y peletizado con productividad de 350 kg / h a 1200 kg / h.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA  PRETRATAMIENTO  CONVERSIÓN	<input checked="" type="checkbox"/>		
	UKRAINE Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine 2a, Marii Kapnist Str. Kyiv, 03057 Ukraine <a href="http://www.ittf.kiev.ua">www.ittf.kiev.ua</a>	El Instituto de Ingeniería Termofísica de NAS de Ucrania trabaja en el campo de la calefacción y realiza trabajos para la industria y el sector agroindustrial. Las direcciones importantes de las actividades científicas son la investigación de tecnologías de combustión de diferentes tipos de biomasa, incluida la paja, en calderas de pequeña y mediana capacidad; investigación de tecnologías de producción de biogás y pirólisis ablativa rápida de biomasa.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA  PRETRATAMIENTO  CONVERSIÓN			<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	UKRAINE SEC Biomass 03067, Ukraine, Kyiv-67, p/o 66 <a href="http://www.biomass.kiev.ua">www.biomass.kiev.ua</a>	El Centro de Ingeniería Científica "Biomass" Ltd. (SECB) proporciona consultas, realiza investigaciones, analítica e ingeniería en las siguientes áreas: tecnologías bioenergéticas, política bioenergética, potencial de biomasa, DH basado en biomasa, eficiencia energética.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA  PRETRATAMIENTO  CONVERSIÓN			<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
	UKRAINE ZAVOD KOBZARENKO, LTD Ukraine, 42500, Sumy region, Lypova Dolyna, Rusanivska street, 17 <a href="http://www.kobzarenko.com.ua">www.kobzarenko.com.ua</a>	Producción y venta de equipos para embalar, transportar, almacenar y calentar paja: Remolque para pacas cuadradas PT-16 KVADRO, remolques autocargadores para pacas redondas, remolques de plataforma, empacadoras, capturador de pacas, encintadora de pacas redondas, agrofibra para recubrimiento y almacenamiento cualitativo de paja, y generadores de calor de paja.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA  PRETRATAMIENTO  CONVERSIÓN	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	FRANCE COMPTE.R 4 Industry Street Arlanc, 63220 <a href="http://www.compte-r.com">www.compte-r.com</a>	COMPTE.R, fabricante de calderas de biomasa, ha desarrollado durante muchos años habilidades reales en el campo de la combustión de agrocombustibles. Para paja, mazorca de maíz, lino y residuos vitivinícolas, COMPTE.R ofrece alto rendimiento y soluciones bajas en NOx para la recuperación energética de subproductos agrícolas.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA  PRETRATAMIENTO  CONVERSIÓN	<input checked="" type="checkbox"/>		

LOGO	CONTACTO	DESCRIPCIÓN	ÁREAS DE ESPECIALIZACIÓN	FABRICANTE / PROVEEDOR DE EQUIPOS	PRODUCTOR, OPERADOR Y USUARIO FINAL	OTROS (CONSULTORÍA, ASOCIACIONES DE INVERSIÓN, ETC.)
	ITALY Biofact  <a href="http://www.biofact.eu">www.biofact.eu</a>	BIOFACT es una empresa de ingeniería que se centra en la predicción cuantitativa de problemas relacionados con las cenizas (escorias, incrustaciones, corrosión) en plantas de combustión. BIOFACT puede ayudar a los fabricantes de calderas y operadores de unidades de combustión de paja a predecir el alcance de la escoriación, las incrustaciones y la corrosión del combustible específico en cada planta de energía. Ningún combustible es siempre igual: la ceniza depende de la especie, el clima y la composición del suelo, la fertilización del combustible y la cosecha.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN			●
	AUSTRIA GILLES Energie- und Umwelttechnik GmbH & Co KG Koaserbauerstrasse 16, 4810 Gmunden <a href="http://www.gilles.at">www.gilles.at</a>	GILLES es uno de los pioneros en el campo de las energías renovables. Las tecnologías de 12.5 a 2500 kW se han desarrollado continuamente durante los últimos 28 años. Los sistemas de calefacción de biomasa totalmente automáticos se encuentran entre los más seguros y fiables de Europa.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN	●		
	AUSTRIA Polytechnik Luft- und Feuerungstechnik Hainfelderstr. 69 2564 Weissenbach (NÖ) <a href="http://biomass.polytechnik.com">biomass.polytechnik.com</a>	Proveedor líder mundial de biomasa avanzada para energía, soluciones de combustión, calor / cogeneración y plantas de carbonización. Estamos en condiciones de proporcionar a los clientes tecnología de puntera para el uso de biomasa como energía. Con más de 150 combustibles de biomasa y más de 55 años de experiencia, Polytechnik es un experto en generar energía a partir de biomasa renovable.	PRODUCCIÓN, COSECHA Y LOGÍSTICA			
			PRETRATAMIENTO			
			CONVERSIÓN			●

## Consorcio AgroBioHeat



**CERTH**  
CENTRE FOR  
RESEARCH & TECHNOLOGY  
HELLAS

CERTH es uno de los principales centros de investigación de Grecia. Entre sus áreas de especialización se incluyen actividades en fuentes de energía renovables, producción y utilización de biocombustibles sólidos, ahorro de energía y protección ambiental.  
[www.certh.gr](http://www.certh.gr)



AVEBIOM es la Asociación Española de Bioenergía que representa a todas las empresas de toda la cadena de suministro de la bioenergía en España.  
[www.avebiom.org](http://www.avebiom.org)



BIOS es una empresa austriaca de I + D e ingeniería con más de 20 años de experiencia en el campo de la utilización de biomasa energética.  
[www.bios-bioenergy.at](http://www.bios-bioenergy.at)



Bioenergy Europe (antes conocida como AEBIOM) es la voz de la bioenergía europea. Su objetivo es desarrollar un mercado de bioenergía sostenible basado en condiciones comerciales justas.  
[www.bioenergyeurope.org](http://www.bioenergyeurope.org)

# Consorcio AgroBioHeat



**Food & Bio Cluster**  
Denmark

Food & Bio Cluster Denmark es el clúster nacional danés de alimentos y recursos biológicos. Promovemos una mayor cooperación entre la investigación y las empresas y ofrecemos a nuestros miembros acceso integral a redes, financiación, desarrollo empresarial, proyectos, instalaciones y ofrecemos diversos servicios de consultoría.  
[www.foodbiocluster.dk](http://www.foodbiocluster.dk)



Fundación CIRCE es un Centro Tecnológico fundado en España en 1993, que busca aportar soluciones innovadoras en el campo de la energía para un desarrollo sostenible.  
[www.fcirce.es](http://www.fcirce.es)



PASEGES es una organización civil sin fines de lucro, establecida en 2005 en Atenas por la Confederación Panhelénica de Sindicatos de Cooperativas Agrícolas (PASEGES).  
[www.neapaseges.gr](http://www.neapaseges.gr)



La Cooperativa de Energía Verde (ZEZ) se estableció en 2013 como parte del proyecto "Desarrollo de Cooperativas de Energía en Croacia" implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en Croacia.  
[www.zez.coop](http://www.zez.coop)



El objetivo principal del Clúster es desarrollar el sector de la bioenergía en Rumanía y aumentar el interés hacia la producción y utilización de la biomasa.  
[www.greencluster.ro](http://www.greencluster.ro)



La UABIO se constituyó en 2013 como organismo público. El propósito de la actividad de la Asociación es crear una plataforma común para la cooperación en el mercado de bioenergía de Ucrania.  
[www.uabio.org](http://www.uabio.org)



AILE está trabajando en energías renovables y ahorro de energía en zonas agrícolas y rurales del oeste de Francia.  
[www.aile.asso.fr](http://www.aile.asso.fr)



White Research es una empresa de consultoría e investigación social especializada en comportamiento del consumidor, análisis de mercado y gestión de la innovación con sede en Bruselas.  
[www.white-research.eu](http://www.white-research.eu)



Agronergy es un PSE (proveedor de servicios energéticos) francés dedicado a la Calefacción Renovable.  
[www.agronergy.fr](http://www.agronergy.fr)



**El ejemplo danés muestra que la combustión de paja es una solución viable para la producción de electricidad y obtención de calor neutra en carbono en la actualidad.**



## Publicación

Esta publicación de Food & Bio Cluster Denmark hace balance del uso de la paja con fines energéticos en Dinamarca y proporciona una revisión de las tecnologías, políticas y soluciones innovadoras útiles en otros países con un excedente de paja no utilizado. También incluye una lista de empresas y organizaciones con habilidades y tecnologías específicas en la cadena de suministro de paja para energía.

Ha sido creado en el proyecto AgroBioHeat, que está cofinanciado por el programa Horizonte 2020 de la Unión Europea. AgroBioHeat trabaja para promover soluciones de calefacción de agro-biomasa económica y ambientalmente sostenibles en Europa.

## Acerca de Food & Bio Cluster Dinamarca

Food & Bio Cluster Denmark es el cluster nacional de alimentos y recursos biológicos de Dinamarca. Somos la plataforma colectiva para la innovación y el crecimiento en el clúster, tanto para empresas danesas como internacionales e instituciones basadas en el conocimiento. Promovemos una mayor cooperación entre la investigación y las empresas y ofrecemos a nuestros miembros acceso integral a redes, financiación, desarrollo empresarial, proyectos, instalaciones y ofrecemos diversos servicios de consultoría.

Visite [www.foodbiocluster.dk](http://www.foodbiocluster.dk) para obtener más información.

## AVEBIOM

La Asociación Española de la Biomasa (AVEBIOM) se constituyó en el año 2004 con el fin de promover el desarrollo del sector de la bioenergía en España. AVEBIOM es la unión de los actores principales del sector de la bioenergía que cubren toda la cadena de valor de la biomasa. El principal objetivo de la asociación es hacer crecer el consumo de biomasa con fines energéticos para que, de esta forma, crezcan nuestras empresas asociadas y su volumen de facturación.

En AVEBIOM damos visibilidad a las acciones y proyectos de avance del sector, defendemos los intereses del sector ante las administraciones europeas, nacionales regionales y locales, facilitamos contacto para generar colaboraciones, promovemos la innovación, participamos en proyectos y actividades para la eliminación de barreras y lograr un adecuado desarrollo del sector, divulgamos las oportunidades que ofrece el uso energético de la biomasa, y hacemos un seguimiento del mercado para facilitar información sobre el sector.

Visite [www.avebiom.org](http://www.avebiom.org) para obtener más información.

## CIRCE

CIRCE es un centro tecnológico fundado en 1993 en Zaragoza (España). Nuestra principal actividad está centrada en proporcionar soluciones innovadoras para un DESARROLLO SOSTENIBLE. El mayor activo de CIRCE es nuestro equipo multidisciplinar, formado actualmente por más de 200 personas altamente cualificadas. Trabajamos para mejorar la competitividad de las empresas mediante la generación de transferencia de tecnología a través de actividades de I+D y formación orientada al mercado en el ámbito de la sostenibilidad y eficacia de los recursos, las redes energéticas y las energías renovables. Nuestros números nos avalan, estamos involucrados en más de 70 proyectos de I+D a nivel nacional y europeo, y contamos con más de 250 clientes activos en nuestra cartera de clientes.

Visite [www.fcirce.es](http://www.fcirce.es) para obtener más información.



Este proyecto ha recibido financiación del programa de investigación e innovación Horizonte 2020 de la Unión Europea en virtud del Acuerdo de subvención No 818369

