

11. CULTIVOS ENERGÉTICOS. BIOCOMBUSTIBLES Y BIOPRODUCTOS

Jerónimo González Cortés

Luis Royano Barroso

Ana Isabel Parralejo Alcobendas

Juan Cabanillas Patilla

1. INTRODUCCIÓN

La investigación y la innovación impulsan el enfoque circular en los sectores agrícola y silvícola, a través de la aparición de nuevas ideas, así como del avance de las ya existentes. Por otro lado, la bioeconomía contribuye a la reducción del uso de materias primas fósiles, y a la producción de bioenergía y bioproductos, estrechamente vinculados a la producción alimentaria. Además, se facilita la aparición de nuevos modelos empresariales agrícolas y no agrícolas en los que la utilización de los restos procedentes de las cosechas se conviertan en materias primas para otras actividades empresariales. El enfoque de la economía circular permitirá mantener el empleo y crear puestos de trabajo (técnicos y personal de apoyo) en las zonas rurales.

Extremadura mantiene, gracias a la Central Nuclear de Almaraz, sus grandes hidroeléctricas y a su potente parque renovable solar, una posición privilegiada en el mercado productor energético español (Energía Extremadura. Anuario 2015, 2016). En cuanto al sector de la biomasa en la región extremeña, se trata de un elemento importante en la generación de energía renovable, tanto eléctrica como para usos térmicos en industrias y pymes, alojamientos turísticos y sector público. Extremadura dispone de este recurso, y su uso sostenible genera empleo, animando la actividad económica en zonas rurales, y además se obtienen beneficios ambientales y de gestión agrícola, ganadera y forestal. Como ejemplo, se pueden mencionar algunas acciones recientes sobre nuevas instalaciones de preparación y empleo de biomasa en Extremadura (Energía de Extremadura, 2016):

- El sector productor de tabaco en Extremadura continúa siendo uno de los más activos de la región en apostar por la biomasa. Un ejemplo reciente es el de la sociedad cooperativa Tabaco de Cáceres, la cual va a ampliar su centro colectivo de curado de tabaco en rama en Jarandilla de la Vera para doblar su capacidad con más del doble de las calderas de biomasa que tenía.
- Dos nuevas empresas convierten a Navalmoral de la Mata en la capital de la biomasa extremeña. Navalmoral dispone de tres plantas logísticas de biomasa.
- Monterrubio de la Serena cuenta con una red de calor alimentada con biomasa para dar servicio de calefacción y ACS a un colegio, una guardería y a la residencia de ancianos empleando hueso de aceituna como biocombustible.

El potencial de Extremadura en recursos biomásicos es muy importante. Los residuos agrícolas procedentes de podas y de cosechas pueden ser utilizados de forma sostenible para obtener energía y bioproductos de forma descentralizada. En el caso de los residuos biomásicos forestales hay una oportunidad de aprovechamiento de forma sostenible a nivel local, facilitando la rentabilidad de acciones de limpieza de biocombustible acumulado. En el caso de residuos ganaderos, se dispone de tecnología basada en procesos de digestión anaerobia para obtención de biogás, que reducen su carga contaminante y hacen que se pueda utilizar su digestato en la obtención de fertilizantes orgánicos, cerrando el ciclo de nutrientes. En la industria agroalimentaria extremeña también hay una serie de residuos biomásicos con aplicaciones para obtención de bioproductos y energía. A esta biomasa se puede sumar la procedente de cultivos agroforestales, cultivos mixtos, en los que parte de la biomasa tiene aplicaciones alimentarias, y otra fracción que se puede aplicar para obtener bioproductos y energía del campo. Entre estos cultivos estudiados y en estudio en Extremadura se pueden destacar cultivos oleaginosos en secano (colza y cártamo), cultivos agroforestales (chopo y paulownia) y mixtos (cultivo leñoso + leguminosa), cultivos para mejorar la digestión anaerobia de los residuos ganaderos (triticale y sorgo ensilados), y cultivos de microalgas fijadoras de CO₂ y depurar aguas residuales.

En Extremadura hay dos plantas de producción de electricidad con biomasa, de 20 y 16 MW de potencia, y calderas de biomasa para calefacción, agua caliente, y procesos agroindustriales de secado.

2. CULTIVOS ENERGÉTICOS Y CULTIVOS NO ALIMENTARIOS

2.1 El cultivo del cártamo

El origen probable del cártamo cultivado (*Carthamus tinctorius* L) se sitúa en un área bordeada por el este Mediterráneo y el Golfo Pérsico. Tradicionalmente, el cultivo se destinaba a la industria del colorante (amarillo y rojo), de especias y en medicina. Desde 1950, la planta se cultiva para aceite vegetal extraído de sus semillas. Los países con mayor producción de aceite de cártamo en el mundo son: México, India y Estados Unidos; le siguen Etiopía, Kazajistán, China, Argentina y Australia. El aceite de cártamo es ampliamente utilizado para el consumo humano y para la producción de biodiesel.

Tiene una raíz pivotante bien definida, que puede llegar hasta 2 metros de profundidad. Esta característica de raíz profunda, permite que la planta extraiga humedad y nutrientes de un considerable volumen de suelo. El cártamo es un cultivo de regiones cálido-templadas, aunque se ha extendido más ampliamente por la selección y mejora.

En el Instituto de Investigaciones Agrarias Finca La Orden – Valdesequera, perteneciente al CICYTEX, se viene trabajando desde hace años, en la adaptación de cultivos oleaginosos productores de aceite para la obtención de biocombustible líquido.

Nuestro principal objetivo es optimizar las técnicas de cultivo de estas plantas oleaginosas, para que puedan ser cultivadas en terrenos de secano en Extremadura con un balance económico y energético positivo. Otro objetivo, no menos importante que el primero, es ofrecer al agricultor de secano otros cultivos alternativos al monocultivo de cereal de invierno; sobre

todo en aquellas comarcas con suelos menos fértiles, donde el cultivo del girasol está muy limitado y, sin embargo, con el cártamo podemos encontrar un sustituto para la rotación de cultivos, con unos precios de la semilla en el mercado muy parecidos a los del girasol. En el cuadro 1 se reflejan los costes medios correspondientes a los cultivos de cártamo y colza.

CUADRO 1: Costes por hectárea en los cultivos del cártamo y la colza

Labores del cultivo	Coste ha ⁻¹ (euros)	
	Cártamo	Colza
Preparación del terreno (2 pases de chisel o vertedera)	70	70
Abono de fondo (300-400 kg 8-15-15 a 0,3 € kg ⁻¹)	90	120
Reparto de abono e incorporación con grada	30	30
Tratamiento herbicida	40	40
Semilla híbrida: cártamo (12 kg ha ⁻¹ a 2,5 € kg ⁻¹); colza (4 kg ha ⁻¹ a 15 € kg ⁻¹)	30	60
Siembra	45	45
Abono de cobertera: cártamo (200 kg ha ⁻¹ NAC 27% a 0,34 € kg ⁻¹); colza (300 kg ha ⁻¹ NAC 27% + 100 kg ha ⁻¹ sulfato amónico)	68	132
Reparto de abono de cobertera	18	18
Cosechadora y transporte del grano	70	75
SUBTOTAL	461	590
Gastos generales y valor del terreno	100	100
TOTAL DE GASTOS	561	690
TOTAL DE INGRESOS:		
rendimiento medio secano (cártamo 1800 kg ha ⁻¹ x 0,38 € kg ⁻¹ , colza 2000 kg ha ⁻¹ x 0,38 € kg ⁻¹)	684	760
* Margen Neto (sin considerar subvenciones)	123 €	70 €

En las campañas 2014-15 y 2015-16 se realizaron ensayos para evaluar la producción de grano en las condiciones agroclimáticas de Extremadura en parcelas de 1.000 m² aproximadamente. La producciones medias obtenidas en las campañas 2014-2015 y 2015-2016 fueron de 1.980 kg ha⁻¹ y de 1.200 kg ha⁻¹, respectivamente.

2.2. El cultivo de la colza

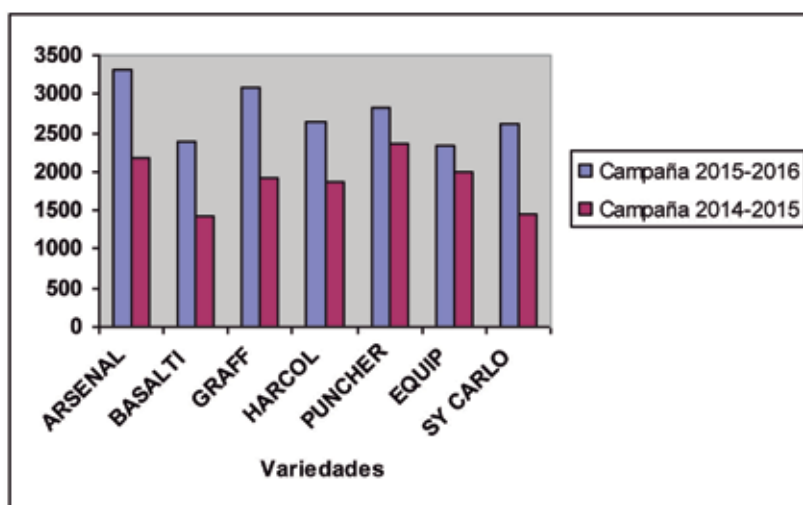
La colza (*Brassica napus* L. Var. *Oleifera*) es un cultivo oleaginoso tradicional de muchos países europeos como Francia, Alemania, Inglaterra, Polonia, etc... A nivel mundial, los mayores productores son Canadá (14.164.500 toneladas en 2011), China (13.426.000 toneladas) e India (8.179.000 toneladas).

El aceite de colza resulta una materia prima de interés para la industria del biodiesel, lo cual ha provocado el aumento de la superficie sembrada. Además, la colza se emplea para la obtención de aceite para consumo humano, torta proteica y forraje.

La colza prefiere suelos profundos con texturas arcillo-limosas con buena aireación y drenaje. El intervalo de pH deseable es de 5,5-7 aunque puede cultivarse en cualquier tipo de suelo, soportando incluso una cierta acidez. Del buen hacer en la siembra dependerá gran parte del éxito del cultivo. Se debe tener en cuenta que la siembra se ha de realizar lo más temprano posible en otoño, para que la colza alcance el estado de roseta (6-8 hojas verdaderas) antes de la llegada de las heladas invernales.

En el CICYTEX se llevan varios años trabajando con este cultivo con la finalidad de conocer toda la agronomía. En el siguiente gráfico se pueden observar las producciones de distintas variedades en las dos últimas campañas.

GRÁFICO 1: Producción de variedades de colza en Extremadura (kg ha-1)



2.3. El cultivo del kenaf

El kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) es una planta rica en fibras cultivada desde hace mucho tiempo (3500-4000 AC). Actualmente, muchos países tienen mayor interés en la investigación y cultivo del kenaf por su amplia adaptabilidad ecológica (Monti y Alexopoulou, 2013). La investigación en Europa comenzó a principios de los años noventa, y los desarrollos del cultivo se han concentrado en la región Mediterránea. En el proyecto EUROKENAF se realizaron campos demostrativos en países Mediterráneos, obteniéndose resultados en rendimientos en materia seca de tallos entre 8 y 18 t ha-1 en Grecia; entre 12 y 17 t ha-1 en Italia; entre 13 y 24 t ha-1 en España, y entre 12 y 20 t ha-1 en Portugal. El cuadro 2 muestra los costes medios del cultivo de kenaf.

CUADRO 2: Costes por hectárea en el cultivo del kenaf

Labores del cultivo	Coste ha ⁻¹ (euros)
Preparación del terreno (2 pases de chisel o vertedera)	70
Abono de fondo (200 kg 8-15-15 a 0,3 € kg ⁻¹)	60
Reparto de abono e incorporación con grada	30
Tratamiento herbicida	36
Semilla (10 kg ha ⁻¹ a 10 € kg ⁻¹)	100
Siembra	45
Abono de cobertera (500 l ha ⁻¹ de N-20 a 0,32 € l ⁻¹)	160
Riego + Gastos de material riego por goteo	500
Recolección	80
Empacado (producción estimada de 20 t x 6 € t ⁻¹)	120
Gastos generales y valor del terreno	600
TOTAL DE GASTOS	1.805
TOTAL DE INGRESOS (rendimiento medio 20 t x 100 € t ⁻¹)	2.000
* Margen Neto (sin considerar subvenciones)	195

En la planta de kenaf directamente recogida del campo se evalúa la producción total de materia seca y la proporción en fibra larga y corta para su futuro aprovechamiento en materiales compuestos. En el cuadro 3 se presentan resultados del ratio fibra larga/fibra corta para el cultivo kenaf de las cosechas de los años 2014 y 2015, llevado a cabo en CICYTEX.

CUADRO 3: Resultados de cosechas de kenaf en CICYTEX en 2014 y 2015

Variedad	2014				2015			
	Producción total (kg m.s. ha ⁻¹)	Fibra corta (%)	Fibra larga (%)	Ratio fibra larga/fibra corta	Producción total (kg m.s. ha ⁻¹)	Fibra corta (%)	Fibra larga (%)	Ratio fibra larga/fibra corta
Raf	12.512	62,66	37,34	0,60	20.894	63,75	36,25	0,57
Efrac	22.519	60,46	39,54	0,65	16.235	60,25	39,75	0,66
142	15.933	73,34	26,66	0,36	15.976	65,75	34,25	0,52
Elal	20.570	62,00	38,00	0,61	23.983	70,50	29,50	0,42
Guliver	18.961	60,23	39,77	0,66	17.353	71,25	28,75	0,40
Chw-4	16.453	57,21	42,79	0,75	14.306	68,25	31,75	0,47

2.4. El cultivo del sorgo (biomasa y azucarero)

El sorgo fibra (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) es una especie C4. Las plantas C4 están adaptadas para un óptimo crecimiento bajo condiciones de temperatura (30-35 °C) mayores que para las plantas C3, y con más altas tasas de intercambio de CO₂, lo que les permite ser más eficientes en el uso del agua, ya que no tienen que abrir tanto sus estomas para la entrada de

CO₂. Existen ya técnicas agrarias adecuadas y en desarrollo, que persiguen mayores eficiencias en el uso del agua, tales como riego por goteo y riegos deficitarios.

El sorgo para producción de biomasa en el sur de Europa requiere la aportación de agua para una razonable productividad. Está bien adaptado al crecimiento en regiones áridas y semi-áridas. Entre las aplicaciones del sorgo en nuestras condiciones destacan su uso como pienso, forraje, fibra y materia prima para la obtención de biocombustibles.

En Texas A&M University's Agricultural Experiment Station están mejorando un sorgo tolerante a la sequía, que puede dar entre 37 y 50 t ha⁻¹ de materia seca (El Bassam, 2010). En ensayos de sorgo dulce y sorgo fibra realizados en Extremadura se han recogido producciones de biomasa aérea de 30 t ha⁻¹ de materia seca (González y Pérez, 2001).

El sorgo fibra puede alcanzar una altura de 3,5-4 m. Aunque el sorgo es de origen tropical, la planta está bien adaptada a regiones subtropicales y de clima templado, especialmente los híbridos de sorgo fibra, los cuales son capaces de crecer en los países del Noroeste de Europa. La fecha de siembra depende del clima de la zona, ya que el sorgo es sensible al frío. En Extremadura, el momento más adecuado para la siembra va desde finales de abril hasta junio. La densidad de siembra recomendada está entre 200.000 y 300.000 plantas ha⁻¹, con una separación entre filas de 40-50 cm.

Debido a la gran capacidad del sorgo fibra para movilizar nitrógeno del suelo, la fertilización nitrogenada no necesita exceder de 80-100 kg ha⁻¹, y debería ser ajustada a la contribución del suelo y al rendimiento esperado. La fertilización recomendada es de 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y 70 kg ha⁻¹ de K₂O.

El sorgo fibra es una planta anual que tiene que ser cosechada en otoño. Su biomasa se puede emplear como biocombustible. En el cuadro siguiente se encuentran los costes medios del cultivo de sorgo para biomasa.

CUADRO 4: Costes por hectárea en el cultivo del sorgo

Labores del cultivo	Coste ha ⁻¹ (euros)
Preparación del terreno (2 pases de chisel o vertedera)	70
Abono de fondo (400 kg 8-15-15 a 0,3€ kg ⁻¹)	120
Reparto de abono e incorporación con grada	30
Tratamiento herbicida	40
Semilla híbrida (10 kg ha ⁻¹ a 2,5 € kg ⁻¹)	25
Siembra	45
Abono de cobertera (200 kg ha ⁻¹ NAC 27% a 0,34€ kg ⁻¹)	68
Reparto de abono de cobertera	18
Riego + Gastos de material riego por goteo	550
Siega e hiladora	100
Empacado (producción estimada de 25 toneladas)	375
SUBTOTAL	1.441
Gastos generales y valor del terreno	600
TOTAL DE GASTOS	2.041
TOTAL DE INGRESOS (rendimiento medio 25 toneladas x 90€ t⁻¹)	2.250
* Margen Neto (sin considerar subvenciones)	209

2.5. El cultivo del cardo

El cardo (*Cynara cardunculus* L.) se puede considerar como una alternativa para ocupar parte de la superficie de secano en España. Esta planta pertenece a la familia de las Compuestas (Asteraceae), es una especie vivaz adaptada a las condiciones del clima mediterráneo. En su ciclo natural brota en otoño, pasa el invierno en forma de roseta y en primavera emite un tallo floral ramificado, que se seca en verano, permaneciendo vivas las raíces y yemas remanentes de la base del tallo. Al llegar el otoño estas yemas brotan y forman una nueva roseta para formar un nuevo ciclo de desarrollo que puede repetirse varios años. El cardo se caracteriza por poseer un sistema radicular que se desarrolla en profundidad mediante una o varias raíces pivotantes que le permiten obtener agua y nutrientes de zonas profundas.

Además de la aplicación energética de la biomasa lignocelulósica como combustible sólido renovable, el cardo tiene otros aprovechamientos como planta hortícola, como planta productora de pasta de papel y el empleo de sus flores para el cuajado de la leche en la elaboración de quesos (Torta del Casar y La Serena).

Durante varios años el cultivo del cardo ha sido estudiado en el Instituto de Investigaciones Agrarias Finca La Orden. En el cuadro 5 se pueden observar los resultados obtenidos.

CUADRO 5: Producción de biomasa aérea (kg ha⁻¹) en 4 ciclos de cultivo del cardo en Extremadura

Dosis de Nitrógeno, kg ha ⁻¹	Densidad de plantación, plantas ha ⁻¹	Año			
		1	2	3	4
0	15.000	15.020	10.153	6.060	7.920
	50.000	8.380	7.080	5.310	11.030
50	15.000	13.980	10.914	7.000	12.040
	50.000	8.420	11.903	8.200	13.040
100	15.000	13.170	12.892	8.320	10.880
	50.000	8.950	13.708	11.000	13.750

2.6. El cultivo de la paulownia

La paulownia es un árbol originario de China que fue introducido en Europa para uso ornamental, pero que a lo largo de los años y debido a las características que presentaba se le fueron atribuyendo otros usos. Posee un rápido crecimiento y elevada producción de madera en pocos años; además se adapta a amplios márgenes climáticos y edafológicos, siempre que el suelo no sea muy arcilloso y el nivel freático esté a 2 m de profundidad mínima, pues sus raíces son verticales y profundas y son sensibles a la asfixia radicular.

En España se cultiva la paulownia desde hace muy poco tiempo, por lo que las primeras plantaciones han sido a nivel experimental. Sin embargo, estas explotaciones aún no están en disposición de entregar madera en la mayoría de los casos. Las producciones de biomasa obtenidas en los distintos ensayos realizados en CICYTEX oscilan entre las 12 y las 18 t ha⁻¹ año⁻¹. En el cuadro 6 aparecen los costes medios de los cultivos de paulownia y chopo.

CUADRO 6: Costes por hectárea en los cultivos de paulownia y chopo

Labores del cultivo	Coste ha ⁻¹ (euros)	
	Paulownia	Chopo
Subsolado	140	140
Alzado	70	70
Abono de fondo: paulownia (700 kg 8-15-15 a 0,3 € kg ⁻¹), chopo (800 kg 9-18-27 a 0,4 € kg ⁻¹)	210	320
Reparto de abono e incorporación con grada	30	30
Aporcado	30	30
Plantación: paulownia (1666 plantas ha ⁻¹ a 1 € planta ⁻¹), chopo (6666 plantas ha ⁻¹ a 0,21 € planta ⁻¹)	1.666	1.400
Tratamiento herbicida	40	40
Material de riego por goteo	2.200	2.200
Destocoado	400	400
SUBTOTAL	4.786	4.630
Vida útil de la plantación de 16 años. Amortización	300	290
Gastos de mantenimiento (riego, abonado, tratamientos, etc)	425	425
Arrendamiento del terreno anual	400	400
Transporte y recolección anual	300	300
(Turno de corte cada 3 años. Gastos considerados para 100 ha de cultivo)		
TOTAL DE GASTOS	1.425	1.415
TOTAL DE INGRESOS (17 t año⁻¹ x 90 € t⁻¹ al 12 % humedad)	1.530	1.530
* Margen Neto (sin considerar subvenciones)	105	115

2.7. El cultivo del chopo

La madera de sierra para celulosa y para desenrrollo han sido los aprovechamientos más tradicionales de las choperas, normalmente a turnos cortos. A día de hoy, se plantean cultivos para la obtención de energía, con el mayor aprovechamiento posible de la biomasa aérea a turnos aún más cortos. Es decir, los turnos aplicados para conseguir ciertos diámetros en las leñas, que tienen sentido para facilitar su manejo hasta el consumo final, no son adecuados cuando se trata de triturar la biomasa en monte o pista.

Según la normativa europea ISO 17225 la madera de chopo se caracteriza por tener:

- Ceniza 1.5 - 3.4 (%)
- PCS 4.600 - 4.800 (kcal/kg)
- PCI 4.300 - 4.500 (kcal/kg)
- Carbono 46 - 50 (%)
- Hidrógeno 5.7 - 6.5 (%)
- Nitrógeno 0.2 - 0.6 (%)
- Azufre 0.02 - 0.10 (%)

El rendimiento obtenido en biomasa en los ensayos realizados en CICYTEX para los clones AF2 y Viriato estuvieron entre las 12 y las 15 t ha⁻¹ año⁻¹.

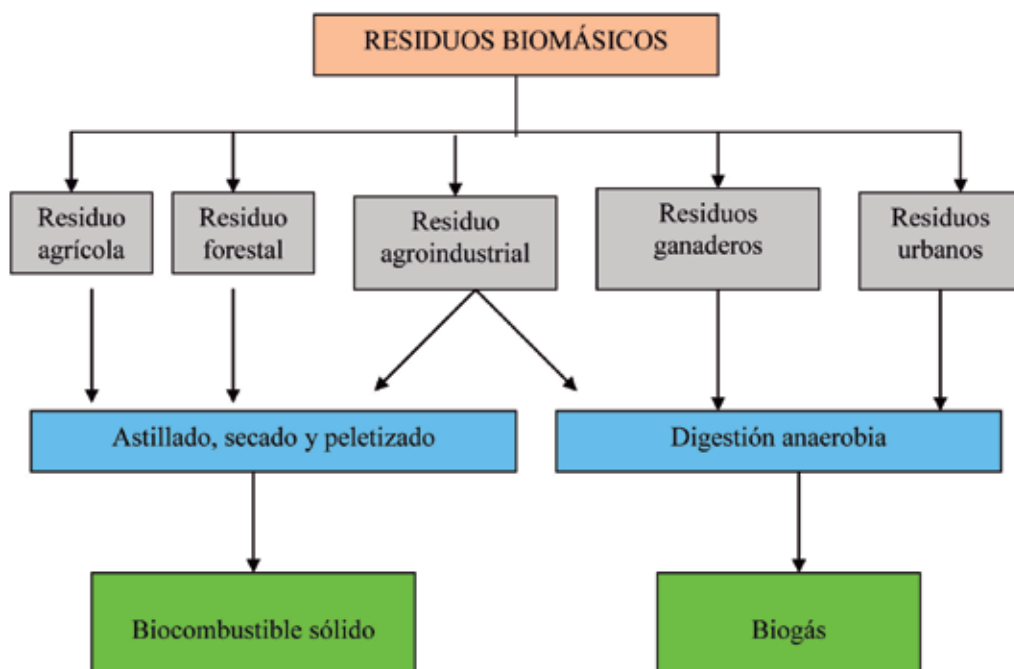
3. APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS BIOMÁSICOS EN EXTREMADURA

En la actualidad podemos hablar de un aumento en el interés por la reutilización energética de residuos biomásicos, promovido en gran medida por el incremento del coste (económico y medioambiental) de los combustibles fósiles.

Las instalaciones de producción energética con biomasa se abastecen de una amplia gama de biocombustibles, que van desde la biomasa procedente de cultivos energéticos al aprovechamiento de residuos de poda. La energía producida mediante biomasa puede destinarse a calefacción y producción de agua caliente en el sector doméstico, y calor y electricidad en el sector industrial.

En la actualidad, existen distintos procesos para la transformación de la biomasa con fines energéticos, gracias a los cuales conseguimos que dichos residuos queden acondicionados para su uso como biocombustibles sólidos o biogás.

FIGURA 1: Clasificación y transformación de los distintos residuos biomásicos



Debido a la heterogeneidad de los residuos biomásicos, la caracterización y determinación de las propiedades físicas, químicas y energéticas es imprescindible para seleccionar el proceso que mejor se adapte a su aprovechamiento energético.

La existencia de una gran variabilidad en la procedencia de los residuos biomásicos y las tecnologías disponibles para su transformación, permiten que los biocombustibles obtenidos sustituyan a cualquier combustible fósil actual de una forma eficiente, segura y más económica.

Dentro del grupo de los biocombustibles sólidos, los más importantes son los de tipo primario, constituidos por materiales lignocelulósicos procedentes del sector agrícola o forestal.

En la figura 1 se puede observar una clasificación de los distintos residuos existentes y sus posibles técnicas de transformación para su aprovechamiento energético.

El típico ecosistema silvopastoral mediterráneo (“dehesa o montado”) se extiende sobre un área de alrededor de 1,8 millones de hectáreas (55% de dehesa arbolada) en Extremadura. En todo esta superficie se genera una gran cantidad de residuos biomásicos. Los *Quercus* tienen una eficacia reconocida en la producción de leñas de alta calidad, la cual suele proceder de podas, siendo esta leña la que más se ha empleado en España para carboneo, obteniendo un producto de primera calidad.

Por otro lado, el olivar es un cultivo de gran importancia tanto a nivel nacional como regional (Extremadura). España es el país con mayor superficie de olivar, con 2.584.564 ha; Extremadura, con 265.000 ha, es la tercera región en superficie.

FIGURA 2: Poda de olivar



En los últimos años se han realizado varios estudios con el objetivo de evaluar la cantidad de residuos generados en la poda de olivar que, si bien dependen de diversas variables, se pueden considerar que están en torno a 1 t ha⁻¹, lo que supone una importante fuente potencial de biomasa residual para fines energéticos.

Extremadura cuenta con 86.000 ha de viñedo, de las que 50.000 se concentran en la comarca de Tierra de Barros. Los residuos del viñedo pueden cifrarse en torno a unas 86.000 t.

En el CICYTEX en los últimos años se han realizado diversos estudios sobre la caracterización de los distintos residuos existentes en Extremadura junto con algunos cultivos energéticos leñosos (cuadro 7), para ver sus posibles usos como biocombustibles sólidos, tanto para la generación de calor, agua caliente sanitaria y electricidad.

Por otro lado, los purines generados en el sector ganadero extremeño requieren una valorización que actualmente no reciben y de la cual los propios ganaderos se pueden beneficiar. Para ello, se lleva a cabo un proceso de degradación de la materia orgánica generada como residuo en condiciones anaeróbicas, es decir en ausencia de oxígeno.

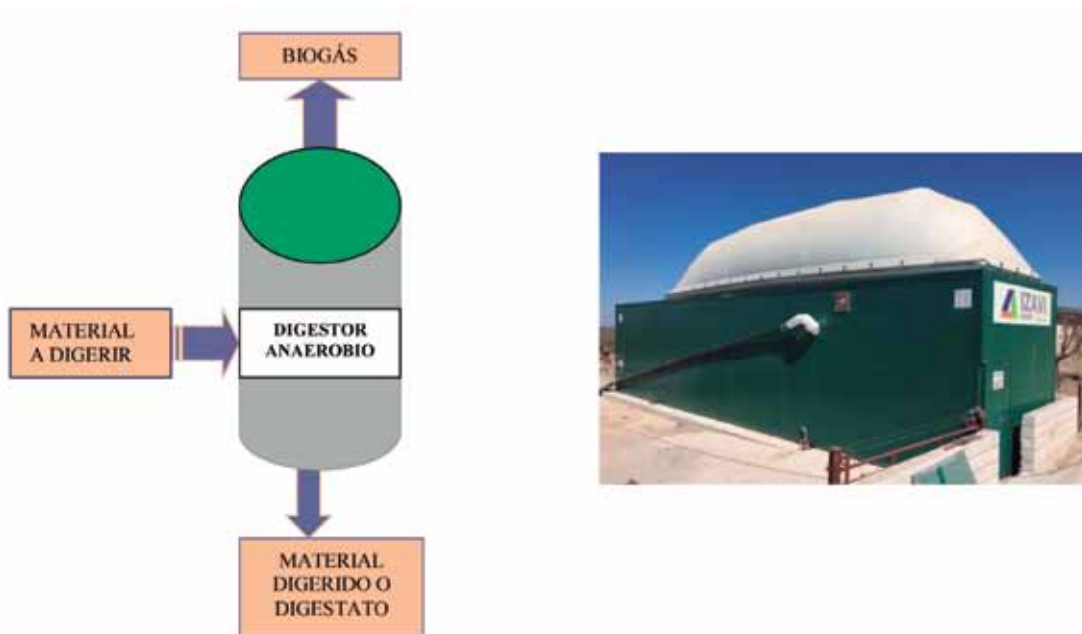
CUADRO 7: Caracterización de la biomasa residual de distintas especies leñosas

Especies	Cenizas (%)	Carbono (%)	Hidrógeno (%)	Nitrógeno (%)	Azufre (%)	PCI (kcal kg ⁻¹)
Olivo	2,81	48,77	5,94	0,32	0,02	4215
Encina	3,73	46,93	6,13	0,62	0,03	4211
Viña	5,29	42,40	5,43	0,81	0,02	4240
Ciruelo	1,30	47,12	6,13	0,21	0,01	4166
Almendro	2,33	47,73	5,87	0,28	0,01	4071
Chopo	2,00	46,40	6,01	0,30	0,02	4265
Paulownia	1,48	47,43	6,12	0,30	0,02	4249

Este proceso es conocido con el nombre de digestión anaerobia y se realiza en biodigestores en los que se controla la temperatura y composición del gas generado (biogás) a partir del residuo que se introduce. El biogás generado en un proceso de digestión anaerobia está compuesto por metano principalmente, en concentraciones situadas en un rango entre 50-70 %. El metano es un gas que por su naturaleza inflamable puede actuar como combustible en un proceso de combustión, y de esta manera ser aprovechado energéticamente. Tras el proceso de digestión anaerobia, se genera un líquido denominado digestato. La cantidad generada equivale aproximadamente a la cantidad de residuo orgánico que se ha introducido inicialmente. Este digestato es gestionado generalmente como un fertilizante líquido que se aplica en los campos agrícolas próximos a las plantas de biogás.

A día de hoy, son muy pocas las comunidades autónomas que gozan de un número considerable de instalaciones de biogás, algo que repercute muy negativamente en el país ya que suponen una importante herramienta en la gestión de residuos orgánicos agroalimentarios por la estabilización de la materia orgánica y la generación de energía renovable a partir del biogás.

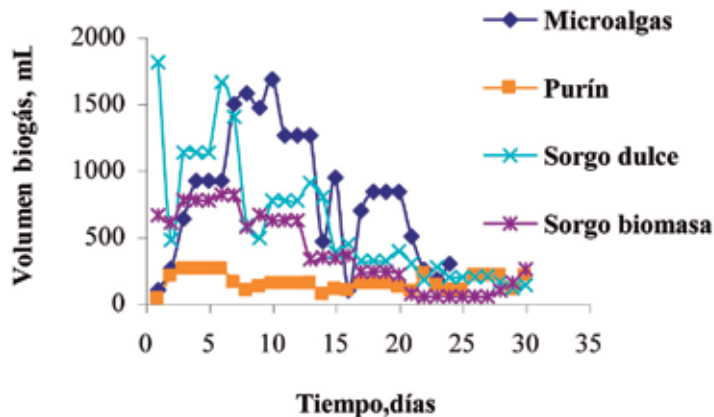
FIGURA 3: Cuadro resumen de un proceso de digestión anaerobia y 1ª planta de biogás agroindustrial en Extremadura (Fuente de Cantos)



Las explotaciones ganaderas en Extremadura no se concentran en una zona concreta sino que se sitúan descentralizadas como consecuencia de la gran extensión que posee la región. Ello supone un estudio de plantas generadoras de biogás a pequeña escala (Lukehurst y Bywater, 2015), lo que es una realidad ya en otros países. La descentralización de las plantas de biogás conlleva un aprovechamiento óptimo de los residuos disponibles en cada zona concreta. Debido a ello, en las explotaciones ganaderas se ha de realizar un estudio de los posibles residuos o productos a digerir anaerobicamente junto a los purines generados en lo que se conoce como proceso de co-digestión anaerobia (Dareioti y Kornaros, 2015). En el CICYTEX se caracterizan y realizan pruebas a pequeña escala de diferentes mezclas de residuos o productos para su posible digestión anaerobia. Posteriormente, se trasladan dichos experimentos a una planta piloto de biogás para confirmar los resultados obtenidos a pequeña escala. En la figura 4 se muestran resultados obtenidos de producción de biogás por diferentes residuos o sustratos estudiados en el centro de investigación.

La energía procedente del campo es utilizada en Extremadura y puede ser optimizada para generar calor, frío, electricidad y biocombustibles líquidos en zonas rurales.

FIGURA 4: Evolución en la producción de biogás de diversos sustratos estudiados en CICYTEX



4. BIOPRODUCTOS

El sector de los bioproductos posee un enorme potencial en cuanto a innovación se refiere por lo que se puede integrar perfectamente en la economía circular.

Un bioproducto está basado en recursos biológicos y se puede emplear en una amplia gama de sectores (construcción, automovilística, papel, productos textiles, biolubricantes, biofertilizantes...). En concreto, en Europa, en los nuevos modelos de coches, se han incorporado en las dos últimas décadas en parte de sus componentes polímeros de fibra natural reforzada. En la rama de la construcción, los compuestos de fibra de madera/PoliPropileno o fibra/PoliEtileno se usan actualmente en decoración y los compuestos de fibras naturales reforzadas se emplean además en la fabricación de puertas o marcos de ventanas. En general se usan para productos muy diversos, para embalaje, para dispositivos electrónicos tales como teléfonos móviles u ordenadores portátiles (Pickering et al., 2016).

Este tipo de productos son de elevada importancia debido a las ventajas que posee frente a un material fabricado a base de fibra de vidrio. Son materiales con una baja densidad y una elevada rigidez y resistencia mecánica, además del bajo impacto en el medio ambiente que provocan, requieren un mínimo coste de fabricación y poseen una excelente biodegradabilidad.

Este tipo de compuestos se fabrican a base de una fibra natural y una matriz, es decir, se trata de un material compuesto (Dayakar, 2015). La matriz se encarga de aportar resistencia frente a efectos medioambientales adversos a los que se pueda enfrentar el material compuesto, esto es refuerza a la fibra. Las matrices más comúnmente empleadas en compuestos de fibra natural son los polímeros por su peso ligero y su facilidad para ser procesados a bajas tempera-

turas. En el cuadro 8 se muestran valores correspondientes a algunas propiedades mecánicas de un material compuesto por fibra de kenaf y dos tipos de matriz distinta.

La posibilidad de obtener bioproductos con fibras vegetales mezclados con bioplásticos mediante tecnología 3D resulta una opción interesante, necesaria en Extremadura de I+D+i para facilitar su aplicación por las empresas.

CUADRO 8: Propiedades mecánicas de compuestos de fibras de kenaf y matrices de PLA y PHB

Matriz	Contenido en fibra de kenaf (% peso)	Resistencia a tracción (MPa)	Rigidez (GPa)	Resistencia a flexión (MPa)	Módulo de flexión (GPa)	Referencia
PLA	~80	223	23	254	22	(Ochi, 2008)
PLA	40	82	8	126	7	(Graupner y Mussig, 2011)
PHB	40	70	6	101	7	

PLA: Ácido PoliLáctico.

PHB: Poli(3-HidroxiButarato).

5. IMPACTO ECONÓMICO, SOCIAL Y MEDIOAMBIENTAL EN LAS ZONAS RURALES

El hecho de disponer de una actividad no alimentaria para los agricultores abre nuevas posibilidades en sus explotaciones, al poder obtener biocombustibles a nivel local. Esta actividad permite generar ingresos adicionales en la explotación, o al menos reducir la dependencia de combustibles fósiles en zonas rurales. Estas acciones facilitan la mejora del comportamiento medioambiental del sector agrario y la prevención del cambio climático, con prácticas agrícolas beneficiosas para el clima y medio ambiente acordes con la PAC 2015-2020.

Los cultivos extensivos tradicionales tienen un gran peso en el sector agrario extremeño, aunque gran parte de ellos presentan escasa rentabilidad, lo que junto con las directrices de la actual PAC en materia de diversificación, hacen que la búsqueda de cultivos alternativos sea una cuestión fundamental. Entre estos cultivos alternativos están los cultivos no alimentarios para obtención de bioenergía y bioproductos.

La importancia del sector de cultivos extensivos en Extremadura se pone de manifiesto por los datos de su peso en la economía extremeña. El sector agrario representa más del 6% del valor añadido bruto de la economía y cerca del 9% del empleo regional (PDR Extremadura 2014-2020), suponiendo más del doble del peso que en la economía española. Los cultivos extensivos representan más del 20% de la producción final agraria y ocupan cerca del 50% del total de tierras de cultivo de Extremadura. Además, presentan un papel social muy importante ya que es una de las principales actividades que permiten fijar la población en áreas rurales, con

alto riesgo de despoblación, en una región con una densidad de población más de tres veces inferior a la media nacional.

En relación a la normativa comunitaria en materia de Política Agraria Común, el título III del Reglamento (UE) 1307/2013 introduce un pago por prácticas agrícolas beneficiosas para el clima y el medio ambiente, como suplemento del pago básico. Estas prácticas consistirán en actuaciones sencillas, tales como la diversificación de cultivos y la disponibilidad de contar con superficies de interés ecológico en las explotaciones, entre las que se incluyen las superficies dedicadas a agrosilvicultura. En la nueva PAC se consideran hectáreas admisibles a efectos de asignación y activación de los derechos de pago básico, las superficies forestales de corta rotación (por ejemplo, chopos o paulownias), en las que se realice una actividad agraria.

El aprovechamiento de residuos agrícolas, ganaderos, forestales y agroindustriales, y los cultivos para obtener biocombustibles y bioproductos pueden favorecer la generación de oportunidades de trabajo en el entorno rural, a través de la creación de centros locales de transformación. Todo este aprovechamiento energético de la biomasa permite reducir la huella de carbono, lo que está en perfecta consonancia con la Prioridad 5 de la Política de Desarrollo Rural de la UE (2014-2020): “Promover la eficiencia de los recursos y fomentar el paso a una economía baja en carbono y capaz de adaptarse al cambio climático en los sectores agrario, alimentario y forestal”.

La obtención de bioproductos y biocombustibles de forma sostenible y descentralizada genera, por tanto, un impacto económico, social y medioambiental muy positivo en las zonas rurales.

BIBLIOGRAFÍA

- Dareioti, M.A. y Kornaros, M. (2015): “Anaerobic mesophilic co-digestion of ensiled sorghum, cheese whey and liquid cow manure in a two-stage CSTR system: Effect of hydraulic retention time”. *Bioresource Technology*, nº 107; pp. 209-216.
- Dayakar, L. (2015) : *Effective properties of randomly kenaf short fiber reinforced epoxy composite*. Merrill-cazier library. Utah.
- El Bassam, N. (2010): *Handbook of bioenergy crops. A complete reference to species, development and applications*. Earthscan. London.
- Energía de Extremadura. Con todas las energías de nuestra región. <http://www.energiaextremadura.com>. Fecha de acceso: 11-8-2016.
- González, J. y Pérez, F. (2001): “ Ensayos de cultivos energéticos en Extremadura”. En: *Jornadas Técnicas Energías Renovables: la agricultura productora de biocombustibles*. Consejería de Agricultura y Medio Ambiente. Junta de Extremadura.
- Graupner, N. y Mussig, J. (2011): “A comparison of the mechanical characteristics of kenaf and lyocell fibre reinforced poly (lactic acid) (PLA) and poly (3-hydroxybutyrate) (PHB) composites”. *Composites: Part A*, nº 42 (12) ; pp. 2010-2019.
- Lukehurst, C. y Bywater, A. (2015): “Exploring the viability of small scale anaerobic digesters in livestock farming”. En: *IEA Bioenergy*.
- Monti, A. y Alexopoulou E. (2013) : *Kenaf: A multi-purpose crop for several industrial applications*. Springer. London.

- Ochi, S. (2008): “Mechanical properties of kenaf fibers and kenaf/PLA composites”. *Mech Mater*, nº 40 (4-5); pp. 52-446.
- Pickering, K.L. et al. (2016): “A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance”. *Composites: Part A*, nº 83; pp. 98-112.
- Programa de Desarrollo Rural de Extremadura. Período 2014-2020. Junta de Extremadura.