

JOSÉ ANTONIO LA CAL HERRERA

**APLICACIÓN DE LA
BIOENERGÍA EN EL ÁMBITO
INDUSTRIAL:
una visión práctica**

Valorización energética de biomasa residual
bajo modelos de bioeconomía circular



Madrid • Buenos Aires • México • Bogotá

© José Antonio La Cal Herrera, 2023

Reservados todos los derechos.

«No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.»

Ediciones Díaz de Santos

Internet: <http://www.editdiazdesantos.com>

E-mail: ediciones@editdiazdesantos.com

ISBN: 978-84-9052-505-0

Depósito Legal: M-22065-2023

Fotocomposición y diseño de cubiertas: P55 Servicios Culturales

Printed in Spain Impreso en España

ÍNDICE

Prefacio // Javier Díaz	XIII
I. INTRODUCCIÓN A LA BIOENERGÍA	I
1.1. Biomasa y bioenergía.....	1
1.2. Clasificaciones de la biomasa.....	3
1.3. Caracterización físico-química de la biomasa residual	13
1.4. Requerimientos básicos para la biomasa.....	15
1.5. Actividades y procesos generadores de biomasa.....	16
1.6. Suministro de biomasa. Garantías	18
1.7. Resumen de aspectos clave. Biomasa y CO ₂	19
1.8. Ventajas del uso de biomasa como energía renovable.....	20
2. PROCESOS DE CONVERSIÓN FÍSICA DE LA BIOMASA	25
2.1. Introducción.....	25
2.2. Fragmentado mecánico	26
2.3. Secado.....	28
2.3.1. Natural.....	28
2.3.2. Industrial	29
2.4. Densificado	33
2.5. Torrefacción	36
2.6. Tipología de proyectos.....	37
3. TECNOLOGÍAS Y PROCESOS DE CONVERSIÓN QUÍMICA DE LA BIOMASA	41
3.1. Introducción.....	41
3.2. Digestión anaeróbica	43
3.2.1. Biomasa Residual Húmeda, BRH.....	43
3.2.2. Digestión anaeróbica y biogás	47
3.2.3. Codigestión.....	48
3.2.4. Depuración de biogás (<i>upgrading</i>)	50
3.2.5. Generación de biogás en vertederos de RSU	53
3.2.6. Tipologías de proyectos de biogás	57
3.3. Fermentación alcohólica: el bioetanol. Producción y principales usos	60

3.3.1. Introducción a los biocarburantes	60
3.3.2. Definición de bioetanol y proceso de obtención	61
3.3.3. Usos del bioetanol	62
3.3.4. Tipos de bioetanol	63
3.3.5. Normativa aplicable al bioetanol	63
3.3.6. Ventajas e inconvenientes del bioetanol	63
3.3.7. El mercado del bioetanol en el mundo	64
3.4. Transesterificación: el biodiésel. Producción y aplicaciones	64
3.4.1. Definición y materias primas	64
3.4.2. Normativa aplicable	65
3.4.3. Usos y aplicaciones	65
3.4.4. Mercado del biodiésel	66
3.5. Combustión	67
3.5.1. Introducción	67
3.5.2. Principales aplicaciones	70
3.5.3. Equipos para la combustión de biomasa: ámbito doméstico y terciario	72
3.5.4. Equipos para la combustión de biomasa: ámbito industrial	80
3.5.5. Redes de calor con biomasa	85
3.5.6. Cocombustión	86
3.5.7. Otras aplicaciones: ciclos ORC, hibridación y captura de CO ₂	89
3.5.8. Tipología de proyectos de combustión de biomasa residual	92
3.6. Pirólisis	94
3.6.1. Introducción, etapas y productos obtenidos	94
3.6.2. Tipos y principales tecnologías	97
3.6.3. Requerimientos para la biomasa	99
3.6.4. Mercado para la pirólisis como tecnología	100
3.6.5. Tipología de proyectos de pirólisis de biomasa lignocelulósica	100
3.7. Gasificación: introducción	101
3.7.1. Clasificación de los procesos de gasificación	103
3.7.2. Tipos de gasificadores. Ventajas e inconvenientes	104
3.7.3. Condicionantes técnicos	110
3.7.4. Productos obtenidos	115
3.7.5. Ventajas en comparación con la combustión	118
3.7.6. Gasificación de residuos	123
3.7.7. Tipología de proyectos de gasificación de biomasa	125
4. BIOPRODUCTOS. PRINCIPALES APLICACIONES	129
4.1. Introducción	129
4.2. Biocombustibles sólidos	130
4.2.1. Estándares de calidad para los biocombustibles sólidos	132
4.2.2. El mercado actual de la biomasa. Precios	133

4.2.3. El precio del CO ₂	136
4.3. Biochar	138
4.4. Biomateriales (bioproductos, bioactivos, bioplásticos, etc.).....	142
4.5. Biomasa torrefactada.....	143
4.6. Biocombustibles líquidos.	144
4.6.1. Bioetanol.....	144
4.6.2. Biodiésel.....	147
4.6.3. Bio-oil.....	147
4.7. Gases renovables. El biohidrógeno	150
5. MODELOS DE NEGOCIO BASADOS EN LA BIOENERGÍA	157
5.1. Gestión de un proyecto de bioenergía. Aspectos a considerar	157
5.2. Tipología de modelos de negocio: proyectos tipo	158
5.3. Sustitución de caldera de gas por biomasa en edificio	159
5.4. Instalación de producción de biocombustibles sólidos (astilla/hueso)	162
5.5. Cogeneración con gas natural para secado	164
5.6. Planta de generación eléctrica con biomasa según Rankine.....	166
5.7. Planta de producción de biogás.....	169
5.8. Planta de gasificación de biomasa seca en modo autoconsumo	171
5.9. Cocombustión biomasa-carbón	173
5.10. Planta de producción de biochar a partir de pirólisis.....	174
5.11. Caldera de vapor para usos industriales bajo el modelo ESE/ESCO	175
5.12. Aprovechamiento biogás de desgasificación de vertedero de RSU.....	178
6. CONCLUSIONES	181
6.1. Bioenergía, bioeconomía y economía circular	181
6.2. La cadena de valor de la biomasa: valor social	183
6.3. Innovación, sostenibilidad y competitividad en la industria.....	184
6.4. Bioenergía, descarbonización y reducción de emisiones	186
7. BIBLIOGRAFÍA.....	191
Enlaces de interés	192

PREFACIO

Si hay algunas cualidades innatas en la mayoría de los integrantes del sector de la bioenergía en nuestro país, son la persistencia y la perseverancia, y José Antonio La Cal (“Pepe La Cal”) las encarna perfectamente, porque hace más de 25 años que viene trabajando por el desarrollo de la bioenergía en una Comunidad como Andalucía, y una provincia como Jaén, que gracias a Pepe La Cal, estará siempre ligada a los primeros pasos del aprovechamiento energético de la biomasa del olivar, que sin duda alguna es la biomasa que primero se comenzó a valorizar industrialmente (y en esto sin duda alguna tuvo mucho que ver el autor de este libro).

La verdad que la petición del autor para que prologara su libro sobre las *Aplicaciones de la bioenergía en el ámbito industrial, una visión práctica*, me sorprendió muy agradablemente, pues nada es más fácil que hablar sobre una parte importante de mi vida en los últimos treinta años, y sobre todo, como siempre digo, “porque yo me lo creo” y es por esto que coincido con el autor de este libro en que la biomasa es imprescindible para entender el desarrollo de las energías renovables en Andalucía, sobre todo en lo referido a la valorización energética de la biomasa procedente de la cadena de valor del olivar.

Esto que comento en el párrafo anterior no es sino la realidad de una vida dedicada a la puesta en valor de una biomasa, que fue durante mucho tiempo un problema, un grave problema, y profesionales con José Antonio La Cal se empeñaron en convertir el problema en una oportunidad. Y aquí estamos, con un sector, el olivarero, liderando la producción de energía renovable con los subproductos de la extracción del aceite de oliva y un aprovechamiento muy a tener en cuenta de los restos de podas de los millones de olivos que trufan la campiña andaluza y de otras comunidades autónomas de nuestro país.

No cabe duda de que la biomasa tiene que jugar un papel cada vez más importante en la sustitución de los combustibles fósiles en las industrias, y esto es algo que debemos tener muy en cuenta al leer este estupendo libro que ahora sale a la luz, pues el objetivo no es otro que mostrar de forma práctica y sencilla la gran cantidad de ventajas y soluciones que aporta la bioenergía con sus diferentes tecnologías, ya sea en forma de biocombustibles sólidos, líquidos o gaseosos.

Facilitar la comprensión de cómo y por qué se puede cambiar en una industria de utilizar gas, gasóleo, coque u otros combustibles fósiles, a la bioenergía, es el objetivo principal de este libro, y bajo mi punto de vista Pepe La Cal lo consigue de forma clara y sencilla, facilitando al lector interesado una panoplia de soluciones que están al alcance de muchas de la industrias que buscan no solo el ahorro económico, sino mejorar su imagen pública y cumplir con su parte en la descarbonización de nuestro país.

No hay muchos libros de consulta sobre bioenergía que sean prácticos, y este realmente lo es, por lo tanto agradezco como profesional que lleva muchos años en el sector de la Bioenergía, el esfuerzo del autor por acercar sus conocimientos sobre el tema de una forma tan accesible para los profanos en el mismo.

Javier Díaz
Presidente de AVEBIOM,
Asociación Española de Valorización de la Biomasa.
<https://www.avebiom.org/>

INTRODUCCIÓN A LA BIOENERGÍA

I.1. BIOMASA Y BIOENERGÍA

La definición más simple de bioenergía es “energía renovable obtenida a partir de la biomasa”, entendiéndose como tal toda materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía. No obstante, el término biomasa en el contexto energético puede definirse de varias maneras, que complementan la anterior. Entre ellas las siguientes:

- “Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía renovable, entendiéndose como tal que, por lo menos se consume a un ritmo inferior o igual al que se produce”.
- De acuerdo a la Directiva 2009/28/CE (ya derogada¹ aunque cuya definición es válida según el artículo 2 de la nueva) relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. La biomasa es “la fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de actividades agrarias (incluidas las sustancias de origen vegetal y animal), de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca y la acuicultura, así como la fracción orgánica de los residuos industriales y municipales”.

Además de bioenergía, de la biomasa se pueden obtener biocombustibles sólidos como astillas, pellets, bagazos, etc., y bioproductos tanto sólidos (biochar), como líquidos (biocarburantes y aceites pirolíticos) y gaseosos, o “gases renovables”. A continuación se describe cada uno de ellos, aunque serán abordados en profundidad en capítulos posteriores:

- Los biocombustibles sólidos proceden de biomasa de tipo lignocelulósico tal como astillas de madera, paja de cereales, zuro de maíz, bagazo de

¹ Sustituida por la DIRECTIVA (UE) 2018/2001 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (RED II). <https://www.boe.es/doue/2018/328/L00082-00209.pdf>

caña de azúcar, hueso de aceituna, cáscara de frutos secos, cascabillo de café, etc. Suelen utilizarse principalmente para aplicaciones térmicas en sectores domésticos e industriales (agua caliente, vapor, aceite térmico, etc.) y de generación eléctrica mediante ciclos de potencia (“plantas de biomasa”).

- Los bioproductos se pueden clasificar en:
 - Sólidos, como el biochar obtenido a partir de procesos de conversión termoquímica de la biomasa residual como la pirólisis y la gasificación.
 - Líquidos, compuestos por biocarburantes y bioaceites o aceites pirolíticos. Los primeros, como su nombre indica, son combustibles líquidos de origen renovable, procedentes de determinados tipos de biomasa, incluidos los cultivos energéticos, y destinados al transporte. Se utilizan como sustitutos (puros o mezclados en distintas proporciones) o aditivos de los carburantes convencionales (gasóleos y gasolinas). El aceite pirolítico se obtiene a partir de pirólisis de biomasa, y se puede emplear como combustible en aplicaciones industriales, o para la síntesis de productos químicos.
 - Gases renovables, que son gases producidos a partir de biomasa y entre los que se encuentran los 4 siguientes:
 - » Biogás, obtenido mediante un proceso de digestión anaeróbica y compuesto mayoritariamente por metano (CH_4), el cual puede emplearse para fines energéticos en calderas y/o grupos motogeneradores.
 - » Syngas procedente de la gasificación de la biomasa y compuesto principalmente por H_2 , CO_2 y CO , con algo de CH_4 y N_2 , dependiendo de si se utiliza o no aire para gasificar. Al igual que el biogás, se puede utilizar en calderas, motores, turbinas o cámaras de combustión. También, como se verá más adelante, para la síntesis de combustibles y productos químicos como H_2 , biocarburantes líquidos mediante la llamada síntesis de Fischer-Tropsch², gas natural sintético y metanol.
 - » Biometano a partir de la purificación del biogás denominado *upgrading* y con un contenido en CH_4 muy superior, del orden del 99%. Este, a diferencia del biogás, sí puede ser inyectado en la red de transporte de gas natural, por tratarse de gas natural “renovable”.
 - » Biohidrógeno o hidrógeno renovable, producido a partir del syngas o del biogás generados en procesos de conversión química de

2 El proceso Fischer-Tropsch es un proceso químico para la producción de hidrocarburos líquidos (gasolina, keroseno, gasoil y lubricantes) a partir de gas de síntesis (CO y H_2). Fue inventado por los alemanes Franz Fischer y Hans Tropsch en el año 1920.

la biomasa. Se puede emplear para obtener energía en grupos motogeneradores o pilas de combustible³, en aplicaciones industriales en sectores tales como el vidrio, el cemento o el siderúrgico; y, en el sector de la movilidad (aérea, marítima y terrestre pesado). También como sistema de almacenamiento para aportar energía a la red cuando la oferta de renovables no cubra la demanda.

A modo de resumen, la Figura 1.1 ilustra lo anteriormente descrito.

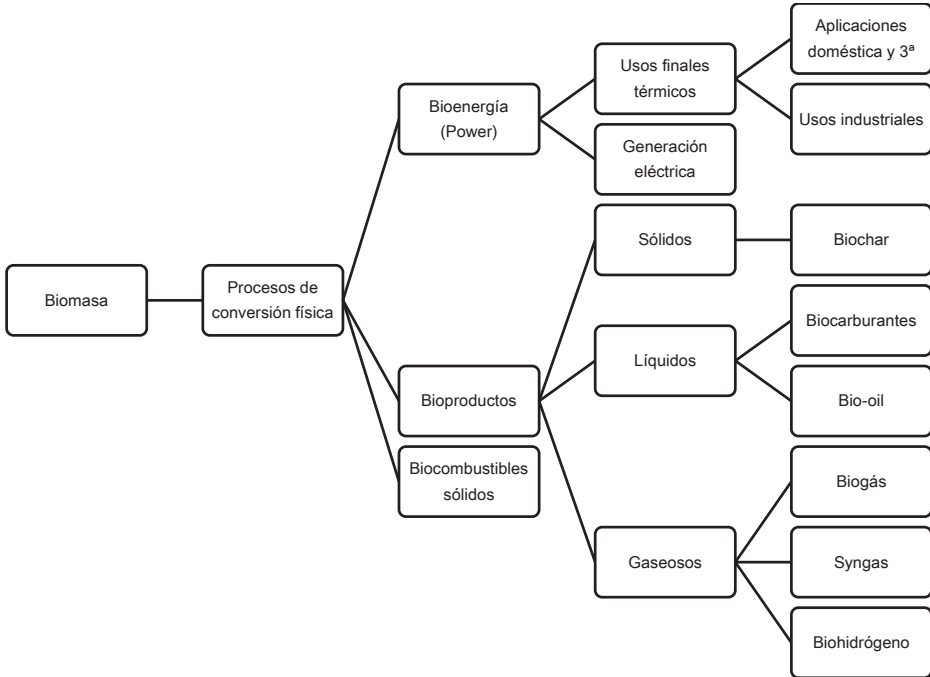


Figura 1.1. Relación biomasa-bioenergía. Elaboración propia.

En definitiva, se puede afirmar que “el sol es el padre de la biomasa, el viento y los ríos”. El sol es el motor que pone en marcha el ciclo del agua (energía hidráulica), provoca los desplazamientos de las masas del aire (eólica) y los productos vegetales (biomasa); por lo que todos, deben su existencia a las radiaciones solares. Y también, en última instancia, del petróleo, el gas y el carbón.

1.2. CLASIFICACIONES DE LA BIOMASA

Existen diversas y variadas formas de clasificar a la biomasa, siendo las más comunes o frecuentes las siguientes:

³ Una pila de combustible es un dispositivo electroquímico que transforma de forma directa la energía química en eléctrica. Parte de un combustible (generalmente hidrógeno) y de un comburente (oxígeno) para producir agua, electricidad en forma de corriente continua y calor.

1. Biomasa “primaria” o “de calidad” (masas vegetales).
2. Biomasa “residual”, generada por los procesos productivos de sectores tales como el agrícola, el agroalimentario, el forestal, el ganadero; y, también en el ámbito urbano (gestión de residuos municipales y depuración de aguas principalmente). Esta es la tipología considerada en el presente texto.
3. Biomasa lignocelulósica, formada básicamente por celulosa, hemicelulosa y lignina, como por ejemplo, los restos de podas de cultivos leñosos (olivar, vid, frutales, almendros...).
4. Biomasa amilácea como paja de cereales, por ejemplo.
5. Biomasa azucarada, como por ejemplo, la procedente del cultivo de remolacha o de caña de azúcar.
6. Biomasa seca (con valores de humedad por debajo del 20-40%). Es el caso del hueso de aceituna, el bagazo de caña, la jícara de coco o el cascabillo de café, entre otros.
7. Biomasa húmeda (lodos de EDAR⁴, FORSU⁵ o purines de cerdo, por citar algunos ejemplos).

Quizás la clasificación de la biomasa más ampliamente utilizada y extendida sea atendiendo a su origen:

1. Residuos agrícolas tales como restos de podas de cultivos leñosos, restos de cultivos herbáceos, zuros de maíz, paja de cereales, etc.
2. Residuos forestales procedentes de cortas de pies maderables y de tratamientos silvícolas, así como de desastres naturales o de la realización de otros trabajos como cortafuegos o de mantenimiento de líneas eléctricas.
3. Residuos ganaderos tales como purines o estiércoles de ganado porcino o vacuno, gallinazas, etc.
4. Residuos y subproductos industriales, es decir, efluentes industriales de origen orgánico procedentes de mataderos, almazaras, extractoras de aceite de orujo, fábricas de aceite de palma, ingenios azucareros, producción de arroz y de café, etc.
5. Residuos urbanos. La parte considerada biomasa es la correspondiente a la fracción orgánica o FORSU compuesta principalmente por restos de comida, madera y papel y cartón.
6. Cultivos energéticos, que son aquellos cuya principal finalidad es la de obtener biomasa para fines energéticos y no alimentarios. Se pueden clasificar en los siguientes tres subgrupos:

4 Estación Depuradora de Aguas Residuales.

5 Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos.

- a. Alcohólicos, como por ejemplo, caña de azúcar, trigo, cebada o sorgo azucarero, que se usan para obtener bioetanol.
- b. Oleaginosos procedentes de semillas de girasol, colza, soja, palma, etc., para la obtención de biodiésel.
- c. Lignocelulósicos, que según el lugar se pueden citar los siguientes: *Populus* (chopo), *Cynara cardunculus* (cardo), *Acacia mangium* (véase Figura 1.2) o *Leucaena*, entre otros. Su destino principal es la generación de energía térmica y/o eléctrica en las llamadas “plantas de biomasa” o en centrales de cocombustión carbón-biomasa, como se verá más adelante. También se pueden emplear para la obtención de bioetanol, dando lugar al término “biocarburantes de 2ª generación”, que son aquellos obtenidos a partir de fuentes de biomasa de tipo residual, no primario o de calidad, para que no compitan con la producción de alimentos, como por ejemplo, restos de podas de cultivos leñosos o microalgas⁶, como se verá más adelante.

En el caso específico del biodiésel, también es posible obtenerlo a partir de aceites vegetales usados procedentes de restaurantes, comedores públicos, hoteles, cuarteles, hospitales, etc.

La ventaja de los cultivos energéticos, allá donde la legislación contempla su uso y aplicación como biomasa para fines energéticos⁷, radica en que permiten planificar un suministro de biomasa estable en el tiempo de una manera garantizada, lo que no sucede con otras fuentes de biomasa residual, puesto que, normalmente, son estacionales. Esto es ideal para proyectos de gran envergadura como centrales de biomasa, de cocombustión carbón-biomasa y proyectos industriales de producción de vapor, agua caliente sobrecalentada o aceite térmico en actividades productivas.

La razón es que esta tipología de proyectos, como se verá más adelante, consume importantes cantidades de biomasa, lo que requiere, para su viabilidad económica y financiera, una adecuada planificación logística sólida que garantice un suministro estable y seguro en términos de cantidad, calidad y coste a pie de planta.

6 Las microalgas y las cianobacterias son microorganismos unicelulares que tienen la capacidad de realizar la fotosíntesis, es decir, son capaces de generar biomasa orgánica a partir de CO₂ y luz, usando al agua como dador de electrones, oxidándola a O₂.

7 Caso de la República Dominicana, entre otros, donde la legislación contempla el concepto de “fincas energéticas”

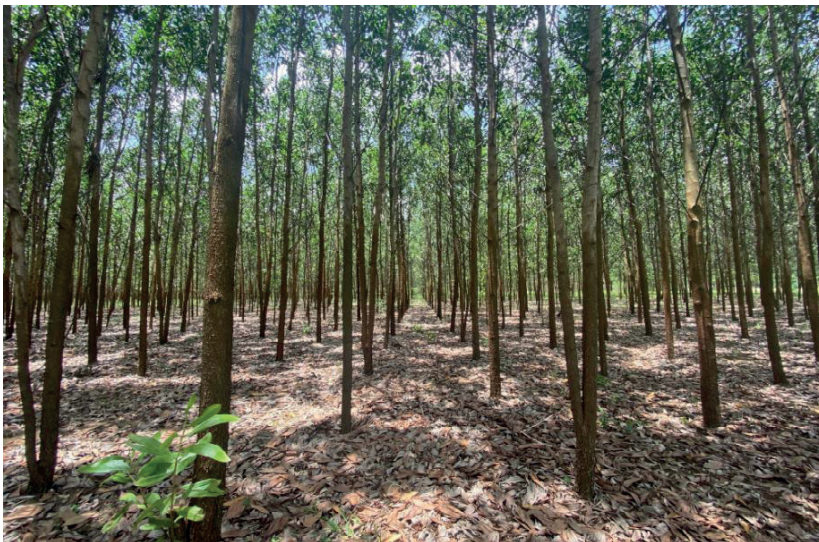


Figura 1.2. Finca energética de *Acacia Mangium* en República Dominicana.
Fuente: BIOLIZA.

A continuación, se muestran una serie de fotografías para ilustrar lo anteriormente expuesto. La primera corresponde a residuos herbáceos procedentes de invernadero en Almería, los cuales se generan en abundancia, si bien presentan una elevada dispersión y una baja densidad, lo que dificulta su gestión.



Figura 1.3. Restos de cultivos herbáceos. Fuente: BIOLIZA.

En la Figura 1.4 se muestran los restos forestales que quedan en el terreno después de una saca de madera y que deben ser gestionados adecuadamente para evitar incendios.



Figura 1.4. Residuos forestales. Fuente: BIOLIZA.

Una tipología de biomásas abundantes en Sudamérica es la jícara de coco, (Figura 1.5) en República Dominicana, la cual será sometida, en este caso, a un proceso de gasificación. En la Figura 1.6 se muestra el caso de restos de palma (raquis) en una industria de obtención de aceite.

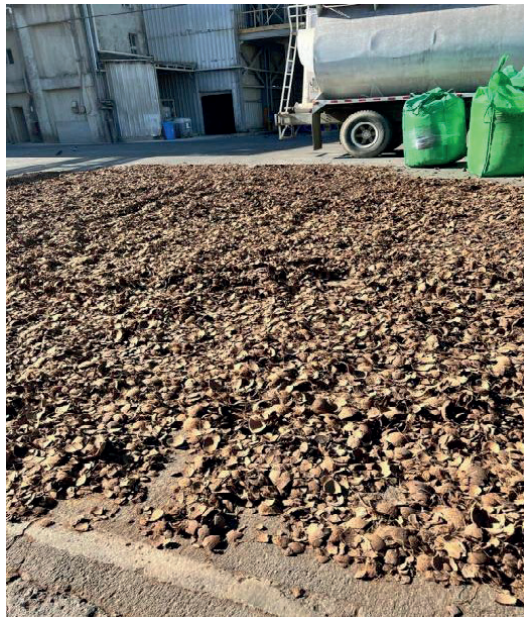


Figura 1.5. Jícara de coco para gasificación. Fuente: Latam Bioenergy.



Figura 1.6. Residuos de palma en industria aceitera. Fuente: BIOLIZA.

En las siguientes imágenes (Figuras 1.7-1.9) se muestran biomásas generadas por el olivar y sus industrias, en el primer caso orujo grasoso y húmedo o alperujo, principal subproducto de la producción de aceite de oliva; y, en la segunda, biomasa obtenida del astillado de los restos de poda de los olivos en el campo, una fuente de biomasa abundante aunque dispersa, que suele usarse para generación de energía eléctrica, principalmente.



Figura 1.7. Balsa de alperujo de aceituna. Fuente: BIOLIZA.



Figura 1.8. Residuos agrícolas leñosos (poda de olivar). Fuente: BIOLIZA.

En este caso, la imagen de la Figura 1.9 recoge una balsa de aguas residuales del proceso de repaso o 2ª centrifugación del alperujo en una industria oleícola.



Figura 1.9. Aguas residuales de industria oleícola. Fuente: BIOLIZA.

Otra fuente de biomasa abundante en Sudamérica es la cáscara de banano, que se genera en industrias agroalimentarias como es en este caso en la zona de Ecuador.



Figura 1.10. Cáscara de banano. Fuente: BIOLIZA.

Otras dos tipologías de biomasa típicas de América Central y América del Sur corresponden a la industria del aceite de palma, caso de la Figura 1.11 de una planta en Guatemala; y, de bagazo de caña de azúcar generada por un ingenio azucarero en República Dominicana (Figura 1.12).



Figura 1.11. Efluente orgánico de la industria del aceite de palma.
Fuente: BIOLIZA.



Figura 1.12. Bagazo de caña. Fuente: BIOLIZA.

La Figura 1.13 corresponde a madera de olivo obtenida durante el proceso siguiente a la poda, en la que se separa la fracción fina o “ramón” de la gruesa o “leña”. Este proceso se denomina “escamujado”.



Figura 1.13. Leña de olivo. Fuente: BIOLIZA

Otra fuente de biomasa, también citada, es la FORSU contenida en los RSU tal y como se aprecia en el vertedero o relleno sanitario de la Figura 1.14.



Figura I.14. Residuos sólidos urbanos. Fuente: BIOLIZA.

Por último, la Figura 1.15 muestra una fuente de biomasa de origen industrial, en concreto en un aserradero de madera de pino, y corresponde a astilla para fines energéticos.



Figura I.15. Astilla industrial. Fuente: BIOLIZA.

I.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA BIOMASA RESIDUAL

Los principales parámetros que se deben conocer de la biomasa residual antes de proceder a analizar cualquier alternativa de valorización se muestran en el siguiente cuadro.

No obstante, cuantas más propiedades y características se conozcan de la biomasa, mejor será a la hora de proponer la mejor y más eficiente alternativa de valorización, para evitar así problemas en la operación y reducir costes.

En cualquier proyecto de bioenergía es recomendable seleccionar una muestra y enviarla a un laboratorio acreditado para que pueda realizar los correspondientes ensayos en función de la aplicación posterior de la biomasa (usos térmicos, generación eléctrica, gasificación, pirólisis, etc.).

No se suele exigir lo mismo a una biomasa que va destinada a una planta de combustión que a un sistema de calefacción en un edificio o una instalación de gasificación. Lo ideal es seguir siempre las recomendaciones del fabricante y/o del tecnólogo de los equipos, algo que no suele ser costoso y que, como se ha indicado anteriormente, puede evitar problemas, retrasos y sobrecostes.

En la Figura 1.16 se muestra un esquema para la caracterización de una muestra de biomasa residual.

Una de las relaciones más directas es la del PCI (Poder Calorífico Inferior) de la biomasa con su humedad (H) expresada en %, la cual se muestra en la Figura 1.17, correspondiente a una biomasa de tipo lignocelulósico de origen forestal.

Tabla 1.1. Principales parámetros físico-químicos de la biomasa.
Elaboración propia.

FÍSICOS	Densidad real y aparente Humedad Distribución granulométrica	Influyen en la selección y el diseño de los equipos de manejo del material y la necesidad de pretratamiento
QUÍMICOS	Análisis elemental Análisis inmediato Componentes estructurales Composición de cenizas Fusibilidad de cenizas	Determinan el comportamiento de la biomasa durante los procesos de transformación
ENERGÉTICOS	Poder Calorífico Inferior, PCI	Determina la cantidad de energía aprovechable