



Proyecto n° UNIDO 100288/GEF 4747

Contrato n° 42834

## **GUÍA TÉCNICA SOBRE APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE BIOMASA DE ORIGEN FORESTAL EN REPÚBLICA DOMINICANA**

Santo Domingo, 6 de octubre de 2020



## ÍNDICE GENERAL

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
PLANTEAMIENTO INICIAL Y OBJETIVOS .....	5
BIOMASA.....	11
BIOMASA FORESTAL.....	16
FINCAS ENERGÉTICAS .....	21
CUANTIFICACIÓN DE LA BIOMASA FORESTAL.....	27
CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DE LA BIOMASA.....	29
<b>DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA. GLOSARIO DE TÉRMINOS .....</b>	<b>32</b>
<b>APROVECHAMIENTOS FORESTALES .....</b>	<b>44</b>
INTRODUCCIÓN .....	44
TIPOS DE APROVECHAMIENTOS .....	45
INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN .....	47
FACTORES.....	48
SISTEMAS DE TRABAJO EN BOSQUE .....	48
EXTRACCIÓN DE LA BIOMASA DEL BOSQUE: OPERACIONES .....	51
<b>MAQUINARIA .....</b>	<b>57</b>
INTRODUCCIÓN .....	57
SISTEMAS DE APILADO Y RECOGIDA .....	60
ASTILLADORAS .....	63
PRETRITURADORAS Y TRITURADORAS .....	69
CRIBAS.....	72
EMPACADORAS .....	74
OTROS EQUIPOS PARA EL TRABAJO FORESTAL .....	75
<b>IMPACTOS NEGATIVOS.....</b>	<b>77</b>
IMPACTOS GENÉRICOS Y FRECUENTES: MEDIDAS CORRECTORAS .....	77



IMPACTOS MÁS ESPECÍFICOS: CONSIDERACIONES .....	79
REFLEXIONES FINALES .....	83
Bibliografía .....	84
LISTADO DE TABLAS .....	85
LISTADO DE FIGURAS .....	85
LISTADO DE FOTOGRAFÍAS .....	85
ENLACES WEB .....	87
AGRADECIMIENTOS .....	88



## INTRODUCCIÓN

### **ANTECEDENTES**

La Ley Sectorial Forestal de la República Dominicana, núm. 57-18. G. O. No. 10924 del 11 de diciembre de 2018 en su artículo 34, recoge la certificación de instalación y operación de industrias forestales que cumplan con los requerimientos de la presente ley, su reglamento y normas complementarias. Dichas industrias serán autorizadas a operar mediante un certificado de instalación y operación de industrias forestales. Este certificado aplica solo a las industrias que procesan materia prima sin transformación previa.

En su párrafo II recoge que los bosques con fines energéticos serán regulados en el reglamento de la ley en cuestión.

Es igualmente menester expresar, que dicho reglamento se encuentra en proceso de redacción por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, sin embargo para los fines de la presente Guía que funciona con carácter indicativo y no obligatorio, la Ley sobre el fomento a las energías renovables en la República Dominicana (Ley 57-07) y su reglamento (Decreto 202-08), establecen una definición y diferenciación importante entre la figura de "Fincas energéticas" y "biomasa de origen residual como subproducto de procesos industrializados".

La diferenciación radica en dos cuestiones fundamentales. La primera hace referencia a los incentivos económicos a los que se puede acceder en el caso de las fincas energéticas (Reglamento (Decreto 202-08) artículo 2, párrafo I, literal g).

En segundo lugar, en lo que se refiere a biomasa residual, el manejo de la misma surge como respuesta a otorgar un adecuado fin a aquellos subproductos, bien de origen forestal o industriales, cuya vida útil en su forma original no permiten un uso adicional, por ende, a los fines de maximizar su funcionalidad, se utiliza en muchos casos en aspectos energéticos. En este escenario, el artículo 96 del Reglamento de la Ley 57-07 establece el criterio de que los: "residuos de biomasa o subproductos de biomasa procedentes de procesos industriales dedicados a la obtención de biocombustibles", son característica indicativa de los auto productores de electricidad.

## PLANTEAMIENTO INICIAL Y OBJETIVOS

La gestión de la biomasa forestal primaria, es decir, la que se genera en los bosques como consecuencia de un aprovechamiento forestal o en las llamadas “fincas energéticas”, desde su recogida hasta que se convierte en energía, es un proceso complejo que requiere una correcta planificación y el empleo de tecnologías eficientes para conseguir su optimización, tal y como se puede apreciar en el esquema de la siguiente figura.

Figura 1: Procesamiento de biomasa forestal. (CNE y Proyectos y Estructuras AJ, 2017)



La biomasa forestal primaria se define como la fracción biodegradable de los productos y residuos generados en los bosques y que son procesados con fines energéticos. Los principales materiales vegetales que constituyen esta fracción son:

- Productos derivados de tratamientos silvícolas:
  - *Ramas y ramillas* procedentes de trabajos de poda.
  - *Arboles procedentes de cortas de aclareos / raleos* (edades tempranas), primeros raleos, cortas fitosanitarias o árboles afectados por incendios forestales. Ramas y troncos de árboles mal formados.

- Restos de cortas: Ramas y rabeones procedentes de cortas finales antes de la regeneración de los bosques y de cortas intermedias (segundos, terceros y cuartos raleos).
- Desbroces de matorral: Limpieza de matorrales leñosos arbustivos y subarbustivos en masas arboladas.
- Cultivos energéticos leñosos: Se realizan con plantaciones de alta densidad y turnos muy cortos, seleccionando las especies según la cantidad de biomasa que producen. Como ejemplos cabe citar Populus, Salix, Acacia, Eucalyptus, Leucaena, etc.

*Fotografía 1: Biomasa primaria de origen forestal. (La Cal Herrera J. A.)*



El objeto de la presente Guía Técnica es recoger los principales aspectos técnicos que afectan a la gestión sostenible de la biomasa residual de origen forestal en el país y a la procedente de las denominadas “fincas energéticas”, desde su extracción en los bosques hasta los puntos de consumo, bien como energía final (térmica y/o eléctrica), bien para la producción de biocombustibles o bioproductos de alto valor agregado.

De una manera más directa que el usuario final de la misma pueda observar los distintos destinos que pueda tener la biomasa ya sea desde el punto de vista de finca energética como desde el aspecto residual

La baja densidad aparente<sup>1</sup> que tiene la biomasa forestal hace que su transporte sea costoso y que requiera de grandes espacios de almacenamiento. Es necesario, en la mayoría de los casos, someterla a procesos de conversión física, previos a su uso final, tales como astillado, secado o densificado que faciliten su manejo y manipulación y que reduzcan los costes asociados a su logística (extracción, transporte y distribución). La heterogeneidad de la biomasa, así como la aplicación que se le vaya a dar, determinan un tipo de pre-tratamiento u otro.

La extracción de la biomasa forestal primaria del bosque consta de varias operaciones básicas para su traslado a fábrica o a planta industrial una vez que se encuentra esparcida sobre el terreno, algunas de las cuales son las siguientes:

- Carga directa de la biomasa forestal en camiones de transporte. Esta opción no es la más común pues requiere un exceso de volumen para el poco peso de la biomasa forestal primaria. En su caso es necesario un astillado y transformación en planta.
- Astillado directo en el bosque y traslado en contenedor hasta fábrica. Es una de las opciones que más se emplea para la extracción de la biomasa del bosque, debido a sus menores costes, si bien depende en gran medida de los accesos, los cuales limitarán la capacidad de carga del camión.
- Empacado. Recogidos los residuos con un autocargador, son trasladados a planta mediante transporte en camión donde se procede a su astillado y posterior transformación o uso.

En los esquemas de la figura siguiente se pueden observar, de una manera gráfica, las opciones anteriormente descritas.

---

<sup>1</sup> 1 m<sup>3</sup> aparente de astillas = 0.33 m<sup>3</sup> de madera en rollo. Fuente: Manual de combustibles de madera. AVEBIOM.



Figura 2: Esquemas de producción de biomasa forestal y flujo bosque-industria. Hakkila, 2004



Fotografía 2: Astillado y carga de residuos forestales en campo (La Cal Herrera J. A.).



Según la *Terminología Unificada sobre Dendroenergía (UWET)*<sup>2</sup>, publicada por la FAO en su programa de asociación comunidad europea 2000-2002, la clasificación de los productos forestales considerados como biomasa forestal son: *leña, astillas, pellets, briquetas, carbón vegetal, licores negros, y otros combustibles de madera*. En la presente Guía se considerará a la astilla como el principal producto a obtener del aprovechamiento de la biomasa residual primaria.

<sup>2</sup> La FAO define la dendroenergía o la energía procedente de la biomasa forestal como toda la energía obtenida a partir de biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos primarios y secundarios derivados de los bosques, árboles y otra vegetación existente en terrenos forestales. (Terminología Unificada sobre Dendroenergía (UWET). Informe realizado para la FAO en marzo de 2001.

Algunos de los problemas que plantea la extracción de la biomasa procedente de los restos de cortas o tratamientos silvícolas es el aumento de erosión en laderas de pendiente acusada, la disminución de la fertilidad y del contenido de materia orgánica y la posible compactación del suelo. Hay que realizar una adecuada selección del terreno, evitar una extracción excesiva de nutrientes, emplear técnicas de aprovechamiento adecuadas y correctamente ejecutadas y elegir los momentos adecuados para la extracción.

Para realizar una correcta planificación y ejecución de los trabajos de extracción, transporte y suministro es necesario que el sector forestal en su conjunto esté debidamente cualificado y dotado de los correspondientes medios técnicos y materiales.

La clave, pues, consiste en determinar el sistema de cosecha que se utiliza para la extracción de la biomasa del bosque. Se trata de un problema básicamente de operaciones, es decir de método y de maquinaria a emplear para realizarlas de manera que se compatibilice el rendimiento económico para el que las lleva a cabo, con la preservación del bosque, sin producir impactos negativos sobre el mismo.

*Figura 3: Logotipo del proyecto Bioenergía Industrial. (ONUDI, 2016)*



Y ello, con la finalidad de disponer de un documento de carácter técnico que sirva de soporte y apoyo a todos los agentes involucrados, tanto públicos como privados, en el sector de la biomasa en República Dominicana, para el desarrollo de su actividad de una forma competitiva en términos económicos y sostenible desde un punto de vista medioambiental, de acuerdo con la legislación vigente en materia forestal y de energías renovables del país.

Por tanto, es fundamental una adecuada planificación del aprovechamiento correspondiente, así como los medios técnicos y humanos necesarios para poder llevarlo a cabo en las mejores condiciones de competitividad y sostenibilidad, teniendo en cuenta en todo momento los innumerables inputs que aporta el bosque y su entorno a la sociedad.

La Guía se estructura en torno a los siguientes 6 bloques:

1. Contextualización de biomasa, biomasa forestal y fincas energéticas.
2. Glosario de términos y definiciones aplicables a los sectores forestal y energético.
3. Aprovechamientos forestales: instrumentos de planificación, factores, trabajos a desarrollar, etc.
4. Extracción de biomasa: operaciones básicas (apeo o corte de madera, extracción y arrastre, astillado/triturado y transporte a planta o punto de consumo)
5. Maquinaria a utilizar: astilladoras, tractores, empacadoras, etc.
6. Impactos negativos y buenas prácticas

Para la realización de la misma se ha revisado bibliografía existente en el país sobre la materia, consultado con empresas y especialistas del sector forestal y energético tanto de República Dominicana como de otros países como Chile o España; así como con representantes de instituciones del país vinculadas con la biomasa en general y al sector forestal en particular (MARN, CNE<sup>3</sup>, MEM<sup>4</sup>, Cámara Forestal Dominicana, etc.).

Los potenciales beneficiarios de la Guía Técnica son los siguientes:

- a) Las diferentes administraciones con competencias en materias forestal y energética (MARN, MEM, CNE, etc.).

---

<sup>3</sup> Comisión Nacional de Energía

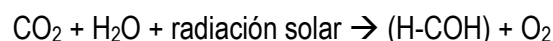
<sup>4</sup> Ministerio de Energía y Minas

- b) Técnicos que desempeñen sus funciones en los ámbitos forestal, medioambiental o energético, entre otros.
- c) Empresas forestales de toda la cadena de valor de la biomasa forestal: transporte y logística, astillado, peletizado<sup>5</sup>, viveros forestales, industriales de la madera, etc.
- d) Propietarios y gestores de bosques y de fincas energéticas.
- e) Estudiantes de ramas de ingeniería forestal, energética e industrial, graduados en medio ambiente, etc.
- f) Sociedad civil en general, con interés en la conservación y uso sostenible de los recursos naturales, así como de los bienes y servicios que ellos se deriven.

## **BIOMASA**

De una forma genérica, por biomasa se entiende el conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma. La amplia variedad de materiales que caben en esta definición tienen un nexo en común, y es que todos derivan del proceso de la fotosíntesis, directa o indirectamente. Esta es la razón por la que son considerados como una fuente renovable, porque se presentan de una forma periódica y no limitada en el tiempo.

La energía que puede obtenerse de estos materiales procede, por tanto, de la radiación solar, la cual es aprovechada por las plantas verdes, que mediante reacciones químicas captan el CO<sub>2</sub> de la atmósfera y lo transforman en materia orgánica, según una reacción del tipo:



La energía solar se ha transformado en energía química, que se acumula en determinados compuestos orgánicos, y que puede ser usada, directamente o mediante procesos de

---

<sup>5</sup> La peletización es un proceso de compactación de material lignocelulósico de unas determinadas condiciones (granulometría pequeña y humedad inferior al 12% en base húmeda "bh") para obtener unos cilindros de entre 6 y 30 mm de diámetro y de entre 10 y 70 mm de longitud. La compactación facilita la manipulación, disminuye los costes de transporte y aumenta su valor energético por unidad de volumen.

transformación, como materia prima para la obtención de bienes de consumo o a partir de los subproductos y residuos que se generan.

Desde el punto de vista energético, la biomasa se puede clasificar en cuatro grupos según su origen:

- A. Natural, que es la que producen los ecosistemas naturales y cuya explotación es incompatible con la preservación del medioambiente y de los ecosistemas.
- B. Residual, que incluye una serie de materiales que pueden ser utilizados para la generación de energía térmica y/o eléctrica o para la obtención de bioproductos tales como residuos agrícolas y forestales, de industrias agroalimentarias y de la madera, fracción orgánica de los residuos sólidos, lodos de las depuradoras de aguas residuales, estiércoles, purines y otros efluentes ganaderos, etc.

*Fotografía 3: Biomasa residual de origen agrícola (restos de podas). (La Cal Herrera J. A.)*



- C. Cultivos energéticos, que son unos cultivos de plantas de crecimiento rápido destinadas únicamente a la obtención de energía o como materia prima para la obtención de otras sustancias combustibles. Este tipo de plantaciones con fines energéticos reciben diferentes denominaciones tales como: plantaciones dendroenergéticas, con fines

energéticos o lignocelulósicas, fincas energéticas o, en inglés, Short Rotation Woody Crops, SRWC. Ejemplos de cultivos energéticos son el chopo (*Populus nigra*), la Paulownia o la Acacia mangium, entre otros (depende de la región y el país).

- D. Excedentes agrícolas, es decir, cultivos que no sean empleados para la alimentación humana o animal, como por ejemplo los cereales para la obtención de bioetanol.

Fotografía 4: Fincas energética de República Dominicana (*Acacia mangium*). (La Cal Herrera J. A.)



La biomasa residual es la interesante desde el punto de vista de su posible aprovechamiento como fuente de energía de origen renovable, compatible tanto con la conservación del medio ambiente, como con la rentabilidad económica y social; junto con los cultivos energéticos. Ambos serán abordados en la presente Guía.

Esta biomasa se puede agrupar de muy diversas maneras, si bien una de las clasificaciones más extendidas es atendiendo a su origen:

- a) Agrícola: pajas, cáscaras, huesos, tallos y zuros de maíz, restos de podas, cascabillo de café, jícara de coco, etc.
- b) Forestal: restos de ramas, cortezas, copas, astillas, etc.
- c) Ganadera: estiércol, purín, gallinaza, etc.
- d) De industrias agroalimentarias y de la madera: aserrín, costeros, recortes, bagazos, vinazas, cascarilla de arroz, etc.
- e) Urbano: lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), fracción orgánica de Residuos Sólidos Urbanos, RSU, etc.

Según su estado, se puede hablar de biomasa sólida, grupo en el que quedaría encuadrada la de origen forestal, líquida, como efluentes orgánicos industriales, lodos o purines, o gaseosa (biogás y gas de síntesis o sintegas<sup>6</sup>).

Otra clasificación es de acuerdo a su composición, en este caso la biomasa se puede clasificar en amilácea, cuyo componente principal es el almidón, caso de los restos de paja de cereal o los restos de tubérculo de patata, oleaginosa, como las semillas de girasol, alcoholígena, caso de la caña de azúcar, el sorgo dulce o la remolacha; y la lignocelulósica, formada por celulosa y hemicelulosa fundamentalmente y de la que forman parte residuos forestales y los cultivos energéticos leñosos.

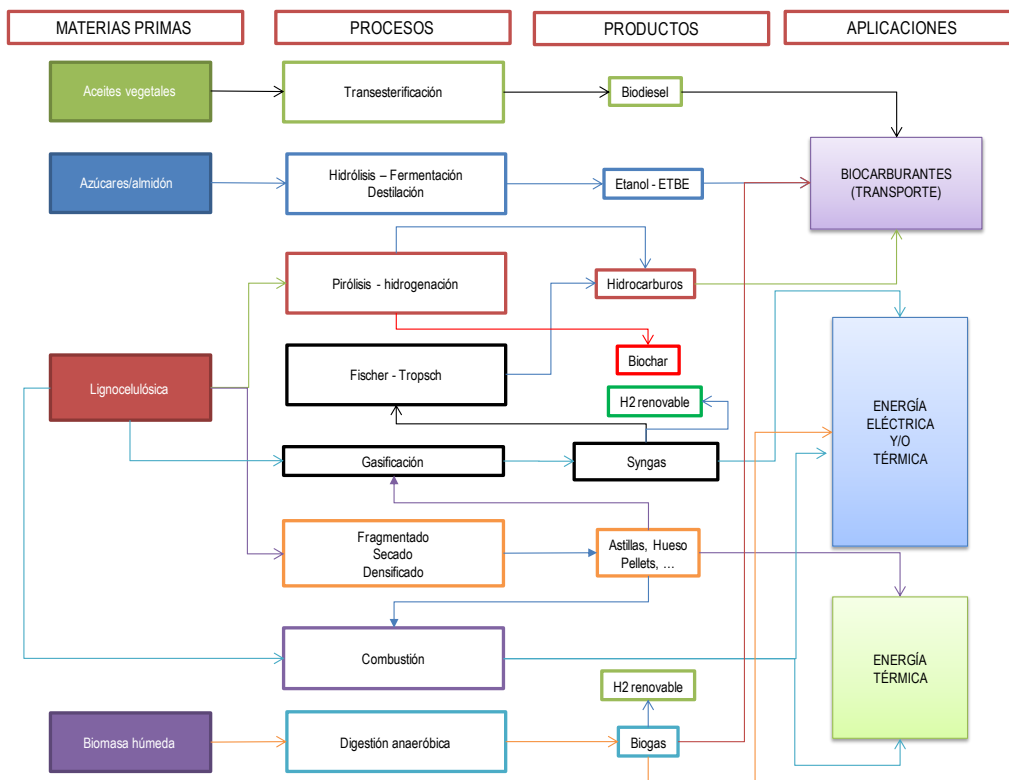
A partir de las diferentes tipologías de biomasa residual (amilácea, oleaginosa, alcoholígena, lignocelulósica, húmeda, seca, etc.), y en función de su composición química, origen, contenido en agua, etc., mediante un variado y amplio conjunto de procesos (termo y bioquímicos, biológicos, ...) y subprocesos, se obtienen productos para sectores tales como el transporte o el energético, entre otros. Incluso, en la actualidad se habla de gases renovables, obtenidos de la biomasa tales como el biogás o el sintegas, a partir de los cuales, a su vez, se pueden obtener productos de enorme valor añadido como el H<sub>2</sub>, por ejemplo.

---

<sup>6</sup> La denominación adoptada a nivel internacional para el gas de síntesis es "syngas".

En la Figura 4 se muestra un ejemplo de las materias primas que se pueden emplear como fuente de biomasa, los principales procesos a los que pueden ser sometidas, algunos de los productos que se obtienen y los sectores en los que se pueden aplicar.

Figura 4: Alternativas de valorización de la biomasa. (La Cal Herrera J. A.)



## BIOMASA FORESTAL

Se considera biomasa de origen forestal a la fracción biodegradable de los productos, subproductos y residuos procedentes de la silvicultura aplicada a la vegetación arbórea que cubre los bosques o terrenos forestales, así como de residuos forestales que se originan en el proceso de transformación realizado en las industrias primarias y secundarias de la madera.

En general, se considerarán como fuentes potenciales de materia prima para biomasa de origen forestal las siguientes:



- a) Los residuos forestales que se generen durante la aplicación de tratamientos silvícolas y aprovechamientos forestales autorizados.
- b) Los tocones residuales de la corta y extracción de los árboles en los proyectos forestales donde la pendiente no sea un impedimento para su uso y cuando sean tocones de especie que no tengan potencial de rebrote o que no sea conveniente promover su regeneración natural; como también, en aquellos suelos forestales que sea pertinente promover el subsolado del terreno y la viabilidad del establecimiento de la plantación de especies criollas y de especies pioneras para la recuperación ágil del suelo y de su cobertura.
- c) Los residuos de actividades en cultivos agroforestales: manejo, mantenimiento y renovación de cultivos de árboles frutales, cafetales, cacaoales y plantaciones de palma africana.
- d) Los residuos de industrias forestales que se originan en la industria primaria y secundaria de la madera, como son: corteza de troncos, aserrín, astillas, retazos de madera, cáscaras, frutos secos, residuos de la recolección y mecanización de las semillas forestales.
- e) Las plantaciones forestales tanto energéticas como de usos múltiples, manejadas con turnos de rotación cortos o turnos de rotación comercial.
- f) Los residuos provenientes de cortes y podas de árboles en labores de mantenimiento, embellecimiento y protección de vidas y propiedades en ciudades y carreteras.

La extracción de biomasa en forma de madera, leñas y otros productos ha sido uno de los principales aprovechamientos que históricamente se han llevado a cabo en los bosques, hasta la revolución industrial y la utilización de materiales fósiles como fuente principal de energía. Casi el 90 por ciento de la biomasa con la que se genera energía en el mundo es de procedencia forestal, aunque la gran mayoría está vinculada al aprovechamiento tradicional en forma de leña.

*Fotografía 5: Residuos forestales en el bosque. (La Cal Herrera J. A.)*



Sin embargo, el aprovechamiento de la biomasa forestal ha cobrado en los últimos años un nuevo protagonismo debido a su empleo como fuente de energía renovable. Al uso histórico como fuente de energía térmica se le han añadido otros usos y aplicaciones como la generación de energía eléctrica o la obtención de biocombustibles sólidos líquidos o gaseosos, tal y como se ha mostrado en la Figura 4.

La biomasa de origen forestal proviene de las actividades de aprovechamiento o cosecha forestal y de la necesidad de realizar trabajos de mantenimiento y limpieza de los bosques y las masas forestales, mediante aclarados, podas, limpiezas, etc.

Dentro de este grupo también se incluyen los residuos generados por la industria forestal (aserraderos, industrias de primera transformación, fabricantes de productos elaborados de madera, fabricantes de corcho y de pasta de papel). No obstante, la presente Guía solamente hará referencia a la biomasa forestal generada en los bosques, no así en la industria de transformación subsiguiente.

La biomasa forestal obtenida del aprovechamiento de bosques corresponde en muchos casos a un subproducto del objetivo principal, que suele ser extraer trozos de cierta calidad mínima, para aserraderos, plantas de contrachapado u otro. Lo anterior, expresado como valor monetario del producto a extraer y, especialmente, como “Valor en pie”, que le queda al propietario por los volúmenes extraídos, una vez descontados todos los costos en los cuales se incurrió.

La madera de menor calidad, que no cumple con el mínimo para ser aceptada en aserraderos u otras plantas, suele extraerse y comercializarse como biomasa, en diferentes formatos, siendo algunos de los más comunes la leña y las “astillas” (chips). Si bien el valor obtenido por el propietario por esta biomasa suele ser bajo, dependiendo de sus características físico-químicas y su aplicación final, su volumen puede ser alto y superar en varias veces al de los pocos trozos de calidad aserrable.

La biomasa forestal tiene su origen en la fotosíntesis realizada por las hojas de los árboles, donde la utilización de la energía solar, agua y CO<sub>2</sub> dan origen a compuestos orgánicos y a oxígeno. La capacidad de renovarse cuando es gestionada de forma sostenible a lo largo del tiempo, convierte la biomasa en una energía inagotable y con un balance de emisiones de CO<sub>2</sub> nulo.

Según su origen, recibe el nombre de:

1. Biomasa forestal primaria (BFP): fracción biodegradable de los productos generados en los bosques que son procesados con fines energéticos.

La biomasa forestal residual primaria se obtiene de forma indirecta como consecuencia del aprovechamiento de un producto con valor comercial (madera), como puedan ser las ramas y copas que proceden del aprovechamiento de un fuste maderable; pero también de forma directa al aplicar los tratamientos silvícolas siguientes:

- Cortas de regeneración sobre el arbolado (a hecho, por aclareo sucesivo uniforme, entresaca) dependiendo del temperamento de la especie y del objetivo de la masa.
- Cortas de mejora o tratamientos intermedios:

- **Raleos.** Los raleos son una práctica silvicultural que se aplica en los primeros estados de desarrollo, con la que se reduce el número de árboles en la plantación, con el objetivo de concentrar el crecimiento de los mejores individuos, En plantaciones densas las copas de los árboles son cada vez más pequeñas; una vez que las ramas de un árbol chocan con las ramas vecinas, el árbol no puede extender más su copa hacia los lados. En plantaciones sin raleo se observan árboles altos con copas y diámetros pequeños, lo cual no es deseable en una plantación destinada a la producción de madera para aserrío. El número apropiado de raleos depende del objetivo final de la plantación y del mercado para productos provenientes de los mismos.
  - Podas: sobre ramas tanto vivas como muertas que se realizan con diferentes objetivos: mejorar producción de fruto, de sanidad y rejuvenecimiento, de aprovechamiento (leña, ramón, etc.), prevención de incendios y derribos, etc.
  - Desbroces y descuajes del matorral.
- 2. Biomasa forestal secundaria (BFS): materia orgánica residual (costeros, aserrín, retestas, licores negros, recortes, cortezas, virutas, etc.) generada en los procesos de las industrias de transformación de la madera, tales como, serrerías, fábricas de pasta para papel, tableros, carpinterías e industrias del mueble.

No obstante, existe un tercer grupo que procedería de cultivos específicamente destinados a la producción de biomasa con fines energéticos, de ahí su nombre “*cultivos energéticos*” o “*fincas energéticas*”, tal y como se comentó anteriormente.

- 3. Cultivos energéticos: Se pueden clasificar de muchas formas, por el tipo de suelo donde crecen, por el tipo de producto que se cosecha, etc. Según su aprovechamiento final, los cultivos se pueden clasificar en:
  - Cultivos oleaginosos para la producción de aceites transformables en biodiésel.
  - Cultivos alcoholígenos para la producción de bioetanol a partir de procesos de fermentación de azúcares.

- Cultivos lignocelulósicos, para la generación de biomasa sólida susceptible de su uso para distintas aplicaciones:
  - Térmicas, como climatización de edificios, agua caliente sanitaria, y aplicaciones industriales (preparación de cualquier fluido de proceso).
  - Fabricación de combustibles más elaborados, con un valor añadido a la biomasa bruta, como astillas o pellets.
  - Cogeneración generalmente asociada a una actividad industrial o generación eléctrica simple.
  - Obtención de biocarburantes de segunda generación<sup>7</sup> (bioetanol o biodiesel)

Las características de la biomasa forestal pueden variar significativamente de acuerdo a lo siguiente: especie arbórea, parte de donde es extraída (ramas y puntas, raíces, troncos), tipo de matorral, grado de humedad presente, forma y modo de tratamiento, entre otros factores. Todas estas variables confieren características distintas a la biomasa y consecuentemente a su poder calorífico, condicionando el tipo de utilización más adecuado.

## **FINCAS ENERGÉTICAS**

Los cultivos leñosos para la obtención de biomasa con fines energéticos o como materia prima para la obtención de biocombustibles, consisten en plantaciones o siembras de especies con determinadas características, como son su elevado valor calórico, la rapidez de crecimiento y la capacidad de rebrote después de la corta, cuya principal finalidad es la de producir una mayor cantidad de biomasa por unidad de superficie y tiempo. En general, suelen ser manejadas como plantaciones forestales con turnos de rotación cortos, también denominados turnos de rotación comercial.

A nivel administrativo, se considerarán “fincas energéticas” aquellas superficies plantadas en que el instrumento de gestión forestal en vigor disponga que el objetivo principal de las mismas sea la

---

<sup>7</sup> Obtenidos a partir de procesos tecnológicos más eficientes y de materias primas que no se destinan a la alimentación y se cultivan en terrenos no agrícolas o marginales.

producción de biomasa con fines energéticos, siempre que cumplan con la legislación vigente en la materia.

Se trata de una alternativa energética centrada principalmente en el estudio e investigación del aumento de su rentabilidad energética y económica. El desarrollo de estos cultivos energéticos debe ir acompañado del desarrollo paralelo de la correspondiente industria de transformación de la biomasa en combustible. Por eso, la “agro energética”, que es como se ha denominado a esta disciplina, constituye una verdadera agroindustria, donde hace falta que la producción y la transformación estén estrechamente relacionadas, tanto desde el punto de vista técnico y económico, como geográfico.

A diferencia de lo que sucede con los cultivos usados como alimentos o como materia prima en la industria, no se necesita ningún requisito especial en cuanto a condiciones del suelo o condiciones climáticas se refiere. Al contrario, lo que se busca es el tipo de cultivo que mejor se acomode a las características del suelo y a las condiciones del lugar, intentando obtener la mayor rentabilidad económica y energética. Así, interesa conseguir un alto rendimiento en la transformación energética y una alta producción anual.

Entre los cultivos energéticos destinados a la producción de biomasa se suelen distinguir:

- Cultivos productores de biomasa lignocelulósica, apropiados para producir energía térmica mediante combustión directa en calderas, lo que permite utilizarlos en desecación y en generación de vapor. En el caso de República Dominicana destaca la Acacia mangium, si bien, como se verá más adelante, no es conveniente concentrar todas las plantaciones en una sola especie, especialmente tratándose de una variedad que no es originaria del país.

Fotografía 6: Finca energética de Acacia. (Nader)



- Los que se obtienen en estado líquido que pueden ser usados como carburantes de los motores de combustión interna, y que se adapten al estado actual de la técnica, tanto en los de encendido por compresión como por chispa, como son los aceites vegetales con diferentes grados de transformación y los alcoholes obtenidos por destilación.
- Cultivos de semillas oleaginosas: básicamente son cultivos de colza, soja y girasoles destinados a la obtención de aceites vegetales aptos para ser usados como carburantes en el sector de la automoción, y conocidos comúnmente como biocarburantes.

Es necesario realizar algunas consideraciones de carácter estratégico sobre las fincas energéticas, dado el grado de desarrollo que están experimentando en el país. Por un lado, la finca energética como negocio. Las plantaciones forestales son habitualmente inversiones y manejos intensivos de los terrenos, dentro de lo que corresponde al sector forestal, como utilizador de suelos destinados al crecimiento de árboles maderables. Es por ello que los propietarios de estos suelos esperan que esta inversión sea compensada con una rentabilidad razonable, dado el capital inicial a desembolsar, la utilización del suelo, el largo período de espera y los riesgos físicos y comerciales involucrados.

Por otra parte, la biomasa es generalmente uno de los productos de menor valor dentro de lo que puede entregar una plantación forestal. Es así que los trozos de mayor interés comercial, representados por la calidad aserrable; es decir, aquellos que pueden ir destinados a la industria de la madera en lugar de a biomasa con fines energéticos, aun cuando su precio puesto en la planta de procesamiento fuera solamente un 50% superior al de la biomasa, resulta un valor final superior, tal y como se puede apreciar en la tabla siguiente.

*Tabla 1: Valores comparables para un predio, sobre la base de una diferencia del 50% en el precio en destino de madera (USD/ton verde al 45%). (Weil, 2020).*

	<b>Biomasa</b>	<b>Trozo aserrable</b>
<b>Precio puesto en planta industrial</b>	48	72
<b>Transporte</b>	12	12
<b>Astillado</b>	10	-
<b>Corte y arrastre</b>	9	9
<b>Valor en pie (incl. utilidad)</b>	17	51

FUENTE: Weil, 2020

En este caso, se puede observar como el valor para el propietario sería el triple para el volumen aserrable, respecto al volumen que se utiliza como combustible en el formato de astillas (chips).

Otra contribución de las plantaciones forestales, especialmente válido para el caso del género Acacia, es la utilización de sus hojas como forraje para animales.

Por lo tanto, tanto el enfoque de una plantación forestal hacia la obtención de madera de mayor valor que la biomasa, así como también el aprovechamiento del follaje para alimento de animales,



permitiría no solamente una mayor rentabilidad para el propietario del suelo, sino que también mayor valor agregado y más empleo en la cadena productiva.

Las fincas energéticas pueden cumplir un papel importante como garantía del abastecimiento parcial de alguna planta de combustión en particular, caso de la recién inaugurada central de Punta Catalina<sup>8</sup>, la cual podría sustituir parte del carbón por biomasa de origen forestal, por ejemplo; como así también en la fijación de carbono durante su crecimiento. Sin embargo, es arriesgado enfocar el fomento de las plantaciones forestales solamente a la producción de biomasa.

La diversificación de especies. De acuerdo con los antecedentes disponibles, la única especie forestal consolidada para las fincas energéticas es la *Acacia mangium* y, en menor medida, la *Leucaena leucocephala*. Aunque se trata de una especie muy atractiva, por adaptarse a suelos pobres y fijar nitrógeno del aire, no es conveniente concentrar todas las plantaciones en una sola especie, especialmente tratándose de una variedad que no es originaria del país. Idealmente debieran haber 3 a 4 especies forestales diferentes (además de las gramíneas), que sustentaran un programa sólido a este respecto. En lo posible, incluir alguna especie nativa, previo el correspondiente análisis de factibilidad.

Para conseguir esta diversificación existen varias alternativas que podría asumir el Estado, considerando que el sector privado continuaría con la especie tradicional en el corto plazo. Entre las variantes se puede mencionar:

- Apoyo al mejoramiento genético de las nuevas especies.
- Asegurar la provisión de plantas, de alta calidad y bajos precios, de las nuevas especies.
- Subsidios diferenciados para la especie tradicional vs las nuevas, cuando se establezcan estos apoyos.

Otra consideración importante es la referente a generación térmica vs energía eléctrica. La **generación de electricidad** a partir de biomasa forestal ha ido perdiendo ventajas competitivas, especialmente en los últimos 5 años. Es así que los cambios tecnológicos han reducido

---

<sup>8</sup> La Central Termoeléctrica Punta Catalina está integrada por dos unidades de generación eléctrica de 376 MW brutos cada una, para un total de 752 MW brutos, ubicada en el Distrito Municipal de Catalina, Baní, Provincia Peravia, en República Dominicana. La Central genera energía a partir de la quema limpia de carbón mineral pulverizado.

significativamente el monto de la inversión por MW para tecnologías tales como solar fotovoltaica, eólica y concentrador solar de potencia (CSP).

Sin embargo, la biomasa conserva una gran ventaja como **provisión de energía térmica**, en donde compite muy bien, tanto en precio como por su carácter de renovable, con el petróleo y el gas. Además, el rendimiento energético de la transformación térmica es superior al eléctrico, un 80% aproximadamente frente a un 30%, respectivamente.

Consecuentemente, el fomento de la biomasa debiera estar enfocado hacia la energía térmica y, en forma ideal, hacia la cogeneración (electricidad + calor). Para ello es fundamental pensar en abastecer no solamente las actuales instalaciones industriales que requieren calor, sino que también planificar qué infraestructuras nuevas pudieran crearse y fomentarse, las cuales partan con su energía térmica provista por biomasa.

Precio final de biomasa vs coste. Durante un estudio realizado por la CNE se indica un precio de la biomasa forestal puesto en destino de USD 48/ton verde. Por otra parte, se señala un contenido de humedad típico del 45%, base verde. Consecuentemente la tonelada seca anhidra (BDMT<sup>9</sup>) tendría un costo de USD 87/ton. Este valor es elevado para estándares sudamericanos. La queja que expresan los proveedores probablemente tenga que ver con costos excesivos por algún motivo (p.ej. alto costo de maquinaria, falta de economía de escala, caminos que no permiten camiones de alto tonelaje, etc.).

La medición de la biomasa. La forma de medición de la biomasa, como tonelada verde a la llegada a la industria, si bien parece ser fácil de realizar y consolidada en el rubro, encierra el problema que incentiva a que los contenidos de humedad sean lo más altos posibles, dentro de lo que acepta el comprador. Se sugiere avanzar hacia un sistema que discrimine según sean los contenidos de humedad, bonificando los más bajos y aplicando penalizaciones a los más elevados. También existen lugares en donde la transacción se mide por volumen (m<sup>3</sup> estéreo<sup>10</sup>) y en el cual se establecen factores de conversión de este m<sup>3</sup> estéreo por BDMT, el cual se verifica cada cierto tiempo o cuando se produce un cambio en las especies o proveniencia.

---

<sup>9</sup> Bone Dry Metric Ton en inglés, tonelada métrica completamente seca en español.

<sup>10</sup> Es el volumen obtenido por la medición de una pila de troncos, incluyendo la cantidad de aire entre ellos.

La producción de pellets en el país. La producción de pellets de madera a nivel mundial está muy consolidada, existiendo básicamente dos mercados diferentes: el mercado industrial y el domiciliario. En ambos se presentan países especializados en su producción y en su consumo, lo cual tiene que ver no solamente con una gran economía de escala, sino también con una cadena logística que les permite contar con líneas férreas desde las plantas hasta los puertos y barcos de gran capacidad para el flete marítimo. Adicionalmente, la base principal de las producciones es el subproducto de la industria maderera, existiendo un bajo porcentaje que parte directamente de madera en rollo (rollizos) desde los bosques.

Consecuentemente, es complicado en la actualidad que República Dominicana pueda desarrollar una industria de pellets que sea competitiva a nivel mundial. De no existir un mercado doméstico que valore el pellet en comparación con la astilla, no se justificaría este tipo de producción, a una escala interesante.

*Fotografía 7: Pellets de madera de pino. (La Cal Herrera J. A.)*



## **CUANTIFICACIÓN DE LA BIOMASA FORESTAL**

En cuanto a la estimación de la biomasa forestal, existen numerosos procedimientos basados en métodos tales como teledetección, algoritmos de cálculo o mediciones directas, no obstante, como la biomasa está formada normalmente por tronco y ramas, pueden aplicarse técnicas dendométricas y estadísticas de muestreo para extrapolar los resultados al conjunto.

En el caso de árbol individual es necesario tomar datos de los siguientes indicadores dendométricos:

- a) Diámetro normal a 1.30 m (d)
- b) Altura del árbol, (h)
- c) Espesor de la corteza a la altura del diámetro normal (e)
- d) Densidad de la madera y la corteza tabulada por diámetros (dm) (dc)
- e) Coeficiente mórfico tabulado por especies y diámetros (f)
- f) Biomasa de ramas sin hojas tabulada por diámetros

La biomasa del árbol apeado, sin tener en cuenta ni tocón ni raíces, se compone de:

- Biomasa correspondiente al fuste sin corteza
- Biomasa de corteza
- Biomasa de las ramas sin hojas
- Biomasa foliar

A continuación, se explica cómo se calcula la biomasa de cada una de las partes del árbol.

- Biomasa correspondiente al fuste:

$$\text{Volumen con corteza (Vcc)} = (\pi / 4) \times d^2 \times f \times h$$

$$\text{Volumen sin corteza (Vsc)} = (\pi / 4) \times (d-2e)^2 \times f \times h$$

Si se tiene en cuenta el volumen del árbol sin corteza y la densidad de la madera se obtiene:

$$\text{Biomasa del fuste descortezado (kg)} = V_{sc} \times d_m$$

- Biomasa de corteza. Por diferencia entre el volumen sin descortezar y el volumen descortezado se obtiene el volumen de corteza, el cual, multiplicado por la densidad de la misma, permite estimar la cantidad de biomasa de la corteza.

$$\text{Volumen de corteza} = V_{cc} - V_{sc}$$

$$\text{Biomasa corteza} = \text{Volumen de corteza} \times d_c$$

- Biomasa de las ramas sin hojas. Suele ser un valor tabulado.

En resumen, la biomasa total será la suma de los tres: fuste + corteza + ramas sin hojas.

## **CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DE LA BIOMASA**

Las principales características a considerar y evaluar a la hora de analizar la viabilidad del aprovechamiento energético de la biomasa son las siguientes: composición química, humedad, contenido en cenizas, poder calorífico y densidad aparente.

- La composición química de la biomasa original se puede conocer realizando análisis de los elementos más importantes, como carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), azufre (S), y en algunos casos cloro (Cl). También contiene oxígeno (O), pero este elemento no se determina directamente, sino que se calcula a partir de la diferencia entre el peso total y la suma del resto de elementos más las cenizas.
- La humedad relativa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. La humedad de la biomasa puede medirse en base seca (h) o en base húmeda (H), ya que se puede considerar el peso húmedo de la biomasa húmeda (Ph) y el peso seco (Po) obtenido al pesar la muestra tras ser secada en una estufa, para evaporar el agua presente.

$$h = (Ph - Po) / Po \quad H = (Ph - Po) / Ph$$

Cuanto menor sea este contenido de humedad mayor será el valor calorífico de esa biomasa y su proceso de combustión, ya que primero hay que evaporar el agua antes de que el calor esté disponible. La mayoría de los procesos de conversión energética requieren valores de humedad relativa inferiores al 30%. Con valores superiores, en general, se hace necesaria la implementación de operaciones de acondicionamiento y secado previas al proceso de conversión de energía.

- El porcentaje en cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de materia prima. Conviene que su porcentaje con relación a la materia seca sea el menor posible para que los procesos de operación y mantenimiento de los equipos sean más simples y, por lo tanto, su coste.
- El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa y se expresa como la cantidad de energía por unidad física (ej. Joule por kilogramo). Es la energía que se libera en forma de calor cuando la biomasa se oxida completamente. De manera más concreta, el poder calorífico superior (PCS) es aquel calor que verdaderamente se produce en la reacción de combustión, y el inferior (PCI) el realmente aprovechable, producido sin utilizar la energía de la condensación del agua y de otros procesos. El PCI de un combustible se determina a partir del PCS, extrayendo el calor latente del agua formada de acuerdo a la siguiente expresión:

$$PCI = PCS - 2,5 (9H + H_2O)$$

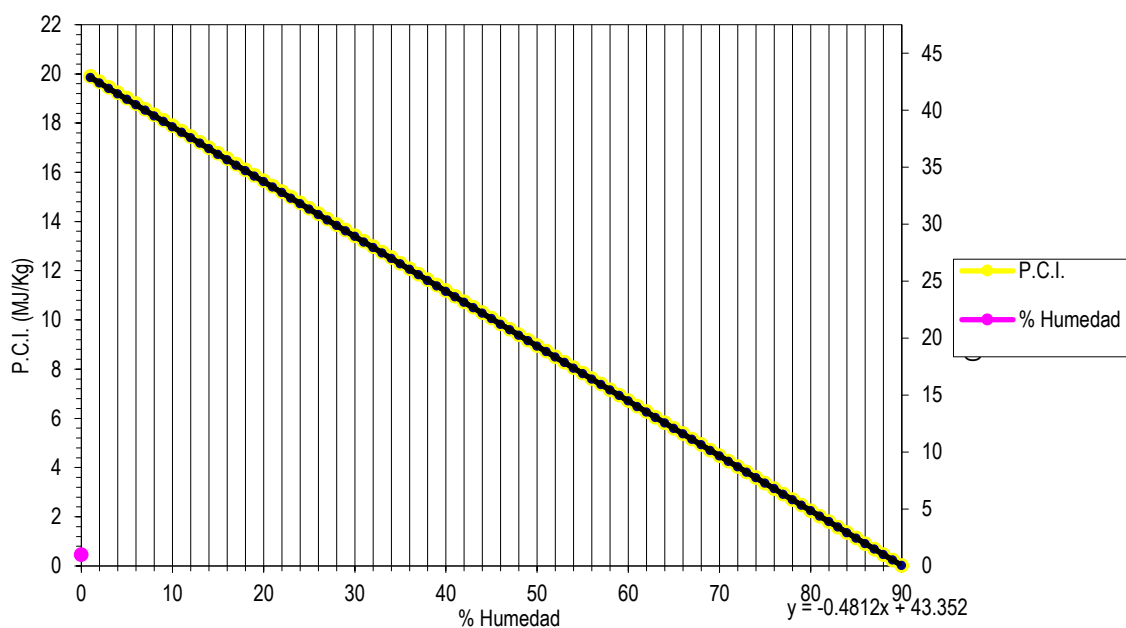
Donde:

- PCI es el Poder calorífico inferior (MJ/kg)
- PCS es el Poder calorífico superior (MJ/kg)
- 2,5 corresponde al calor de condensación del agua a 0°C (MJ/kg agua)
- 9 kg de agua que se forman al oxidar un kg de hidrógeno

El PCI es el parámetro que, junto con la humedad H (%) van a condicionar el precio final de la biomasa, independientemente de otros factores como la granulometría. De hecho,

suele establecerse una relación matemática para pagar la biomasa en función de su humedad y PCI, es decir, de su contenido energético. En el gráfico siguiente se puede apreciar dicha relación aplicada a otro tipo de biomasa, en este caso de origen agrícola como es la poda del olivo.

Figura 5: Poda de olivo: PCI vs Humedad (%). (La Cal Herrera J. A.)



- La densidad aparente se define como el peso por unidad de volumen del material en el estado físico que presenta. Los combustibles que presentan una densidad aparente elevada favorecen la relación de energía por unidad de volumen, ya que se requieren menores tamaños de los equipos y se aumenta el tiempo que transcurre entre cargas del equipo. Por el contrario, las materias primas de baja densidad aparente necesitan un mayor volumen de almacenamiento y transporte.

## DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA. GLOSARIO DE TÉRMINOS

Para facilitar la comprensión de la Guía, a continuación, se enumeran un conjunto de términos con sus correspondientes definiciones.

Agroenergética: Actividad agroindustrial para la transformación energética de la biomasa producida mediante cultivos específicos –cultivos energéticos–, o residuales de origen agrario, para producir biocombustibles sólidos, líquidos o gaseosos.

Apeo: es la separación del árbol -o de su parte aérea- generalmente del suelo. Es usual que se realice mediante el corte ligeramente por encima del cuello de la raíz, separando el tallo del sistema radical, aunque en bosques protectores se dejan tocones altos.

Aprovechamiento forestal: Dentro de este bloque se incluyen las operaciones derivadas de la parte más productiva del sector forestal. Son aquellas actividades relacionadas con el aprovechamiento directo de los recursos del bosque, como la madera, la leña, el corcho, los frutos, la biomasa, etc. y de las que se obtiene generalmente un beneficio económico. También forma parte de este bloque la operación sobre el balance de la madera, que relaciona las extracciones de madera y leña con el uso que se le va a dar a la misma en la industria de primera transformación, el comercio exterior y el consumo por tipo de producto (sierra, tablero, pasta, bioenergía, etc.). Por último, se incluye también la estadística de material forestal de reproducción, en la que se consideran las semillas recogidas y comercializadas y las plantas y estaquillas producidas.

Astilla: fragmento de superficie irregular, fina, alargada y puntiaguda, que se desprende de la madera, de un hueso, de un mineral, etc., o se forma en ellos, al partirlos o al romperse.

Autocargador: Vehículo destinado principalmente a la explotación forestal, consistente en un tractor con una grúa y una caja o remolque donde se almacena la carga. La misión de estos vehículos es el transporte de madera (o de la biomasa, en este caso) desde el bosque hasta los almacenes o aserraderos debido a que son capaces de moverse por pistas o caminos en los que otro tipo de vehículo sería incapaz.

Biodiésel: Biocombustible líquido obtenido a partir de una amplia variedad de materias primas como son los aceites vegetales, las grasas animales, los aceites usados y, en el futuro, los aceites producidos por algas. Cada materia prima se procesa de manera diferente y tiene unas



especificaciones de calidad diferentes. Para producir el biodiesel, el aceite es refinado y sometido a un proceso de transesterificación, (se combina el aceite con un alcohol ligero, normalmente metanol), como subproducto de la reacción química se genera la glicerina, que se emplea como materia prima de diferentes industrias, como la cosmética. El biodiesel puede usarse en su forma pura (100% biodiesel) o mezclado en cualquier proporción con diesel regular para su uso en motores de ignición a compresión. Estas mezclas son más usadas que el biodiesel puro y se designan con el acrónimo BX, en el que X es el % de biodiesel añadido al diésel mineral.

Bioetanol: El alcohol etílico o etanol es un producto químico obtenido a partir de la fermentación de los azúcares que se encuentran en los productos vegetales, tales como cereales, remolacha, caña de azúcar, sorgo, etc. Puede utilizarse como combustible solo, o bien mezclado en cantidades variadas con gasolina. El combustible resultante de la mezcla de etanol y gasolina se conoce como gasohol oalconafta. Dos mezclas comunes son E10 y E85, con contenidos de etanol del 10% y 85%, respectivamente. El etanol también se utiliza cada vez más como añadido para oxigenar la gasolina normal, reemplazando al éter metil ter-butílico (MTBE). Este último es responsable de una considerable contaminación del suelo y del agua subterránea. También puede utilizarse como combustible en las celdas de combustible. Como fuente para la producción de etanol en el mundo se utiliza fundamentalmente biomasa lignocelulósica

Biomasa: Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía”, es decir, cualquier sustancia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales que resultan de su transformación natural o artificial.

Biocombustible: Término con el cual se denomina a cualquier tipo de combustible que derive de la biomasa, bien sea sólido, líquido o gaseoso. Los principales tipos de biocombustibles sólidos son las astillas, los pellets o las briquetas; los líquidos el bioetanol, el biodiésel, el Biobutanol o biopropanol, entre otros; y, los gaseosos, el biogás, el syngas y el H<sub>2</sub> renovable.

Biochar: Es un derivado carbonado estable producido a partir de biomasa vegetal y/o animal, para su aplicación en agricultura sostenible. El Biochar se produce bajo condiciones térmicas reductoras mediante procesos termoquímicos (pirólisis, torrefacción, gasificación, ...). El biochar debe poseer una calidad bien definida y controlada, pudiendo aplicarse para mejorar las propiedades físicas, químicas y/o la actividad biológica del suelo. Para la producción de biochar se pueden emplear

una amplia variedad de materias primas orgánicas, sujetas a requisitos de sostenibilidad, como que no compitan con la cadena de alimentación humana o la nutrición animal y vegetal; y que procedan de una fuente sostenible para el medio ambiente y la protección del clima.

Biogás: gas combustible que se forma a partir de la descomposición de materia orgánica (biomasa). El compuesto que le da su valor energético es el metano, CH<sub>4</sub>, el cual representa entre un 50 y un 75% del gas. Casi todo lo demás corresponde a dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), pero suele tener otros compuestos, los cuales actúan como impurezas y puede ser necesario retirarlos, dependiendo del uso final. El biogás se produce en ausencia de oxígeno, por la acción de distintos tipos de bacterias, proceso que se conoce como digestión anaeróbica.

Briqueta: Biocombustible sólido similar al pellet, pero de mayor diámetro y longitud, el cual se suele usar como sustituto de la leña en estufas y chimeneas domésticas, principalmente. Pueden estar hechas, a diferencia de los pellets, de muy distintos materiales como cascarilla de arroz, virutas, serrín o cáscara de almendra, entre otros. Sus dimensiones oscilan entre los 50 mm a 130 mm de diámetro y entre 50 mm y 300 mm de longitud.

Cadena de custodia de los productos forestales: se define como el seguimiento de los productos forestales (madera, papel, corcho, cortezas, resinas...) durante las distintas fases del proceso productivo y su posterior comercialización, para poder asegurar la trazabilidad de los productos forestales desde el bosque hasta el consumidor final. Constituye la etapa posterior a la certificación de la Gestión Forestal Sostenible y es necesaria para crear un enlace informativo entre la materia prima incluida en un producto forestal y su origen.

Certificación Forestal: es un proceso voluntario por el cual una tercera parte independiente asegura, mediante un certificado, que la gestión de un bosque se lleva a cabo cumpliendo un conjunto de criterios y normas previamente establecidos. Lo que diferencia a las distintas certificaciones es, básicamente, los conjuntos de criterios acordados en que se basan, y las organizaciones que los han impulsado. Por encima de las certificaciones nacionales de bosques que hay en algunos países, los principales sistemas de certificación son tres: el del Consejo de la Administración Forestal (FSC), el Sistema Paneuropeo de Certificación Forestal (PEFC) y como sistemas aproximativos, pero no propiamente de certificación forestal las series 14.000 dentro de los Sistemas de Gestión Ambiental de la Organización Internacional por la Estandarización (ISO).

Certificación Forestal Sostenible, CFS: El concepto de Certificación Forestal se ensambla en uno más global, el de Gestión Forestal Sostenible (GFS). La Certificación Forestal asegura al consumidor que la madera, o cualquier otro producto forestal, procede de un bosque gestionado de manera responsable y sostenible. Es un proceso que requiere del cumplimiento y evaluación de requisitos. Así, una tercera parte independiente, cualificada y acreditada certifica que las prácticas de gestión forestal cumplen los estándares reconocidos internacionalmente.

Cogeneración: Producción combinada de energía eléctrica y térmica a partir de la misma fuente de energía primaria. Se considera un proceso de alta eficiencia energética, ya que permite recuperar hasta un 60% de la energía con respecto a los sistemas convencionales de producción de electricidad (generación convencional).

Corta: separación con herramientas cortantes de las partes del árbol objeto de aprovechamiento.

Dendroenergía: Corresponde a toda la energía obtenida a partir de biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos, primarios y secundarios, derivados de bosques, árboles y vegetación leñosa en general. La dendroenergía es la energía producida a partir de combustibles de madera como leña, carbón vegetal, pellets, briquetas, licor negro, etc., y depende del poder calorífico neto (PCN) del combustible (FAO, 2004). Desde esa perspectiva, las plantaciones dendroenergéticas corresponden a plantaciones de árboles establecidas con la finalidad de generar energía.

Dendrometría: trata de la medida de las dimensiones del árbol como "ente individual", del estudio de su forma y de la determinación de su volumen. Los árboles tienen una amplia variedad de tamaños y formas y hábitos de crecimiento. Estos pueden crecer como troncos individuales, masas multifustales, bosque bajo, colonias clonales, o complejos de árboles aún más exóticos. Hay dos parámetros básicos de medición habitual para caracterizar el tamaño del árbol: altura y diámetro a la altura del pecho.

Densidad aparente: Relación entre el volumen y el peso seco de un material, incluyendo huecos y poros que contenga.

Desembosque: Fase de la saca en la que se extrae la madera del bosque, transportándola hasta una pista, cargadero o playa de apilado, accesible a los medios de transporte vial o fluvial. La operación puede conllevar ciertos riesgos para el ecosistema forestal por lo que conviene ser

especialmente cuidadoso con la elección del método de saca. Así mismo, una buena planificación del aprovechamiento y una buena elección de la maquinaria empleada permite optimizar la productividad del aprovechamiento y garantizar la seguridad de los trabajadores.

Desramado: es la separación de las ramas del tronco a partir de su inserción con la finalidad de facilitar la saca y transporte y el aprovechamiento industrial posterior. Suele estar asociado al descope o despunte, que es la separación del fuste del rabeón, mediante un corte transversal en el tronco en el punto donde tiene un diámetro en punta delgada.

Efecto invernadero: Es el fenómeno por el que la energía solar recibida en cada momento por la Tierra que proviene de la radiación solar natural no puede volver al espacio. Es decir, cuando rebota sobre la superficie terrestre se queda atrapada en la Tierra por la barrera de los gases de efecto invernadero que forman una capa que no deja que este calor se vaya.

Empacadora: Máquinas que recogen la biomasa forestal y la compactan formando fardos cilíndricos de diámetro, longitud y peso variables, dependiendo del modelo. La logística del transporte de las pacas (generalmente cilíndricas) consiste en un sistema semejante al utilizado en el transporte de troncos de madera. Los camiones son los mismos y son cargados de la misma forma. El empacamiento de la biomasa tiene las siguientes ventajas: las pacas ocupan menos espacio físico que la biomasa en bruto, lo que permite una mayor capacidad de almacenamiento y transporte, las pacas pueden ser almacenadas sin perder su consistencia, el almacenamiento es más seguro, simple y barato existiendo menos riesgo de combustión espontánea. Las limitaciones al uso de empacadoras son que no pueden operar en terrenos de fuerte pendiente y la elevada inversión inicial que supone su adquisición.

Estéreo: Es el volumen obtenido por la medición de una pila de troncos, incluyendo la cantidad de aire entre ellos.

Existencias de biomasa: La definición del volumen de existencias hace referencia al fuste limpio (desde el tocón o contrafuertes hasta la punta de la copa o la primera rama principal) medido con corteza (volumen con corteza o VCC, excluidas, por tanto, las ramas) a la altura del pecho. Si se incluyen las ramas o se emplea una definición distinta es preciso advertirlo y tenerlo en cuenta al efectuar los cálculos.

Finca energética: plantación forestal de especies con alto valor calórico, destinadas exclusivamente a la producción de biomasa con fines energéticos y manejadas como plantaciones forestales con turnos de rotación cortos, también denominados turnos de rotación comercial. Se considerarán fincas energéticas aquellas superficies plantadas en que el instrumento de gestión forestal en vigor disponga que el objetivo principal de las mismas sea la producción de biomasa con fines energéticos, siempre que cumplan con la legislación vigente.

FSC, Forestal Stewardship Council: el Consejo de Administración Forestal, más conocido por sus siglas en inglés FSC, es una organización no gubernamental de acreditación y certificación con sede en Bonn, Alemania. La certificación FSC® (Forest Stewardship Council) es un proceso de evaluación al que se somete de forma voluntaria una Unidad de Gestión o empresa forestal, y que es realizado por una tercera parte independiente (entidad certificadora), a través de auditorías de campo y consultas con todos los implicados. Este proceso culmina con una declaración escrita o certificado FSC, que finalmente garantiza al consumidor que los productos forestales certificados proceden de bosques aprovechados de forma racional, de acuerdo a unos estándares internacionales que contemplan aspectos ambientales, sociales y económicos y que definen los niveles mínimos de buena gestión para los bosques de todo el mundo.

Fuste: Tronco de un árbol que alcanza un grosor notable de manera que de él pueden obtenerse trozas, rollos para chapa o postes de gran tamaño.

Gestión Forestal Sostenible, GFS: la administración y el uso de los bosques y los terrenos forestales en forma e intensidad que permita mantener su biodiversidad, productividad, capacidad de regeneración, vitalidad y potencial para desempeñar, ahora y en el futuro, importantes funciones ecológicas, económicas y sociales, a escala local, nacional y mundial, y sin causar perjuicio a otros sistemas (Resolución H1 de la Conferencia de Helsinki, 1993). Es precisamente en esta Conferencia donde surgen los “Criterios Paneuropeos de Gestión Forestal Sostenible” que fueron desarrollados posteriormente en la Conferencia de Lisboa de 1998. La gestión forestal sostenible supone una ampliación de los objetivos clásicos de ordenación silvícola de persistencia, rendimiento sostenido y máximo de utilidades de las masas forestales para poder adoptar un enfoque en el que se consideren aspectos como la población de los espacios forestales, la conservación del suelo, la calidad del agua o la diversidad biológica, entre otros.

Inventario forestal: Es un procedimiento para obtener información de la cantidad y calidad del recurso forestal y contribuye a evaluar y diagnosticar el estado de los bosques. Inventariar un bosque consiste en describir de manera completa y detallada cómo es y cuál es su estado en el momento de realizar cualquier tipo de intervención silvicultural. El informe de inventario forestal tiene por objetivo recabar la mayor información posible sobre la biodiversidad, el estado de los bosques, el régimen de propiedad y protección y su estado legal. Otro de los aspectos del inventario forestal consiste en estudiar y plantear una previsión de cómo podrían evolucionar el bosque y las posibilidades de la obtención de bienes y servicios de forma sostenible. Finalmente, una de las partes principales que debe incluir es cuantificar el volumen y la biomasa existente.

Lignocelulosa: es el componente mayoritario de la pared celular de las plantas, producida como consecuencia de la fotosíntesis y fuente renovable de carbono. La biomasa lignocelulósica es en la actualidad la más atractiva y prometedora fuente alternativa de energía renovable. Es el componente estructural mayoritario de las plantas maderables y no maderables. La lignocelulosa está constituida por tres polímeros estructurales: lignina, celulosa y hemicelulosa. Las propiedades químicas de sus componentes hacen de ella un substrato de enorme valor biotecnológico.

Motosierra: Herramienta eléctrica que posee una cadena unida a un conjunto de dientes de sierra, la cual se emplea para cortar troncos, talar árboles o para podar arbustos. Dada su gran capacidad y comodidad, se utiliza en reemplazo de otras herramientas, como el hacha y el tronizador.

Ordenación de bosques: disciplina forestal que se encarga de determinar las existencias de un determinado producto, cuantificando su tasa de renovación o crecimiento espacialmente, y proponer el método de aprovechamiento que compatibilice mejor los criterios económicos, técnico-silvícolas y de respeto medioambiental a la masa forestal a lo largo del tiempo.

Procesadoras y autocargadores: Son tractores forestales adaptados para el desarrollo de trabajos específicos. Aunque en un principio la configuración normal era 4 x 4, en la actualidad se tiende hacia vehículos multi-tracción, 6 x 6, 8 x 8 e incluso tracción independiente a cada rueda. Dichos diseños les permiten una elevada movilidad en terrenos en pendiente y bajo condiciones de tracción difíciles. Al efectuar el trabajo con una grúa hidráulica su riesgo de vuelco es elevado, pero en la práctica son máquinas que se hallan limitadas a desarrollar su trabajo sobre zonas llanas o con dotación de infraestructuras adecuadas. Las procesadoras portan una grúa hidráulica

dotada de un cabezal procesador multifunción, que supone un auténtico robot forestal: mediante una hoja de motosierra corta el árbol, procediendo a continuación a su desramado, descortezado y troceado en trozas predeterminadas. Los autocargadores también disponen de una grúa hidráulica que recoge las trozas y las va depositando sobre su remoque. Tras su llenado, se desplaza hasta el cargadero donde procede a descargar la madera recolectada.

Pellets: Biocombustibles sólidos obtenidos a partir de madera la cual ha sido previamente sometida a varios procesos como molienda, secado y compactado entre otros, normalmente sin la adición de aditivos. Son de forma cilíndrica y suelen medir 6 mm de diámetro y no más de 45 mm de longitud. Se caracterizan además por su elevado PCI, su baja humedad y su muy bajo contenido en cenizas, entre otros factores. Existe un estándar de calidad denominado ENPLUS utilizado por las empresas para certificar la calidad del producto.

Plantaciones dendroenergéticas: cultivos de plantas leñosas (herbáceas o arbustivas) destinados principalmente a la producción de energía, o como materia prima para la obtención de combustibles líquidos o gaseosos. Tienen la ventaja de que la cosecha puede realizarse con maquinaria diseñada para obtener altos rendimientos a bajo costo. Estos cultivos permiten la producción de materia prima uniforme y continua a escala industrial, pudiendo además establecerse cultivos con especies adaptadas a diferentes sitios” (FAO, 2004).

PEFC, Programme for the Endorsement of Forest Certification: Es el sistema de certificación forestal más implantado en el mundo. El objetivo de PEFC es asegurar que los bosques del mundo sean gestionados de forma responsable, y que su multitud de funciones estén protegidas para generaciones presentes y futuras. Para ello cuenta con la colaboración de propietarios y empresas del sector forestal, que, apostando por la certificación de sus bosques e industrias, están asegurando la sostenibilidad del sector.

Plan de manejo: Es el documento técnico que cumple con los requisitos de la Ley Sectorial Forestal No. 57-18, el cual contiene el conjunto de acciones y procedimientos que tiene por objeto el ordenamiento de un predio para el logro del manejo forestal sostenible, y que incluye las actividades de cultivo, protección, conservación, restauración y aprovechamiento de los recursos, de tal manera que se respete la integridad funcional y las capacidades de carga de los ecosistemas de los que forma parte.

Plan Técnico: Es uno de los instrumentos de gestión forestal, cuyo objetivo es planificar en el tiempo y el espacio los aprovechamientos, los usos y las mejoras en los terrenos forestales a nivel de finca o bosque. Este tipo de documento deberá adecuarse a los planes de ordenación de los recursos forestales cuando existan y, en el caso de que no existan, deberán revisarse y adaptarse en el momento que éstos se aprueben por la autoridad competente.

Plantaciones de uso múltiple: Se incluye en esta categoría plantaciones que no siendo establecidas originalmente como energéticas, pudiesen ser utilizadas para estos fines, ya sea en parte o en su totalidad, debido a situaciones de mercado, de crecimiento y desarrollo de plantación, entre otras.

Poder calorífico: El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de masa de combustible. Es la cantidad de calor que entrega un kilogramo, o un metro cúbico, de combustible al oxidarse en forma completa. La magnitud del poder calorífico puede variar según como se mida. Según la forma de medir se utiliza la expresión poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI).

Poder calorífico superior (PCS): Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y se contabiliza, por consiguiente, el calor desprendido en este cambio de fase.

Poder calorífico inferior (PCI): Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de 1 kg de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua de la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor.

Posibilidad forestal: Concepto asociado a la producción forestal sostenible, que se entiende como aquello que se puede extraer del bosque (biomasa, en este caso) sin comprometer su capacidad productiva. Es decir, no se deberá extraer más biomasa de una unidad dasocrática que la que se especifique como posibilidad en su correspondiente plan de manejo o proyecto de ordenación.

Proyecto de ordenación: Instrumento de gestión forestal que plasma la organización temporal y espacial del uso de los recursos del bosque atendiendo a criterios de sostenibilidad y persistencia de la masa. Incorpora, entre otros aspectos, una descripción detallada del estado legal del bosque, sus características naturales y un inventario exhaustivo de los recursos aprovechables para la



estimación precisa de sus rentas. Asimismo, debe contemplar una planificación cuidadosa de las actuaciones a llevar a cabo conforme a un plan bien definido el cual será revisado de manera periódica por la autoridad competente. A diferencia del Plan Técnico o Plan de Manejo, aplica a bosques de mayor extensión o cuando se requiere de un inventario forestal preciso.

Raberón: En un fuste, la parte más delgada que resulta de la operación de despunte, no aprovechable por la industria maderera.

Resalveo: Tratamiento silvícola de los bosques poblados con encina, alcornoque, rebollo o melojo y quejigo, con presencia simultánea de árboles procedentes de semilla y cepa o raíz, mediante el que se eliminan, selectivamente, parte de los brotes de cepa y raíz de cada edad, dejando y formando, mediante poda ligera, los mejores en número adecuado a las características del lugar.

Residuo forestal: Cualquier resto orgánico procedente de aprovechamientos de maderas, leñas u otros, de tratamientos silvícolas (podas, cortas, desbroces, etc.) y de eliminación de desastres naturales llevados a cabo en masas forestales, pudiendo o no destinarse a fines energéticos.

Aserrín: Polvo o conjunto de partículas que se desprenden de la madera al aserrarla.

Skidders o arrastradores: Son los tractores forestales por antonomasia, encargados en la gran mayoría de las explotaciones forestales de transportar las trozas desde el punto de apeo hasta el cargadero. Como características genéricas, se pueden definir como tractores de dos ejes, permanentemente traccionados, articulados y de potencia no superior a 175 CV.

Silvicultura: Conjunto de actividades relacionadas con el cultivo, el cuidado y el aprovechamiento de los bosques, así como de las técnicas que se aplican a las masas forestales para poder obtener de ellas una producción óptima, prolongada y sostenible, de bienes y servicios demandados por la sociedad. Estas técnicas se pueden definir como tratamientos silvícolas, cuyo objetivo es garantizar dos principios básicos: la persistencia y mejora de la masa (continuidad en el tiempo y aumento de su calidad) y su uso múltiple.

Trazabilidad: Conjunto de aquellos procedimientos preestablecidos y autosuficientes que permiten conocer el histórico, la ubicación y la trayectoria de un producto o lote de productos a lo largo de la cadena de suministros en un momento dado, a través de unas herramientas determinadas.

Sintegas: También llamado “Gas de Síntesis”, es un combustible gaseoso obtenido a partir de sustancias ricas en carbono (hulla, carbón, coque, nafta, biomasa) sometidas a un proceso químico a alta temperatura (gasificación). Contiene cantidades variables de monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H<sub>2</sub>), además de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>. Una vez tratado, puede ser empleado para su uso en calderas de gas, grupos moto-generadores o turbinas de gas para la producción combinada de energía térmica y/o eléctrica (cogeneración). También para la obtención del llamado “hidrógeno renovable” o “verde”.

Tocón: Base del árbol que queda en el suelo después del apeo.

Tromel: Criba rotativa que permite tratar una corriente de material y conseguir una clasificación granulométrica de las partículas que la componen.

Trozado: el corte del tronco en trozas de dimensiones prefijadas. Las dimensiones varían en función del método que vaya a utilizarse para transportar la madera desde el bosque hasta la fábrica. Interesaría cortar las trozas de grandes longitudes para madera de sierra, lo que permitiría obtener tabloncillos de grandes dimensiones, pero estas trozas en el bosque serían muy difíciles de manejar. Por otra parte, si las trozas van a ser transportadas en un camión en el sentido perpendicular a la dirección de marcha, su longitud viene limitada por el ancho de la caja (aprox. 2.50 metros). El trozado se puede hacer a pie de tocón o en cargadero. A su vez, se puede hacer de forma manual, mediante motosierra, o de forma mecanizada. Las máquinas procesadoras realizan la medición de las trozas automáticamente (aunque con poca fiabilidad) y su corte es completamente perpendicular al eje del árbol, como es de desear.

Troza: Sección del fuste o de las ramas más gruesas de un árbol apeado una vez desramado y trozado.

Turno de Rotación: Número planificado de años que transcurre entre la formación o regeneración de una masa y el momento de su corta final. La edad en el momento de la corta se denomina edad de aprovechamiento cuando coincide con el turno y edad de corta cuando no coincide con él. En los sistemas de aprovechamiento por entresaca se utilizan en lugar de edad de aprovechamiento, los términos edad media de explotación o edad media de aprovechamiento.

## APROVECHAMIENTOS FORESTALES: BIOMASA RESIDUAL

### **INTRODUCCIÓN**

Los bosques albergan importantes recursos naturales de carácter renovable cuya gestión ordenada y racional, basada en las leyes naturales, son fuente de valiosos y fundamentales recursos renovables para el hombre. Se pueden aprovechar recursos tales como el corcho, la madera, los pastos para producción ganadera, la floración para la producción de miel a través de la apicultura, las leñas y la biomasa para la producción de energía, biocombustibles y bioproductos, los hongos (setas y trufas), diversos frutos (piña, castaña, etc.), etc.

Uno de los retos de futuro para los aprovechamientos del bosque pasa por el desarrollo de la cadena bosque-energía. Sin embargo, por lo general hasta ahora no viene resultando rentable el aprovechamiento de la biomasa forestal residual con fines energéticos. Esto es debido a los altos costes de extracción y la ausencia de un mercado consolidado a nivel local o comarcal al biocombustible forestal que pueda acoger el recurso disponible.

El correcto estado de los bosques, especialmente aquellas masas que fueron creadas a través de reforestación, requiere la realización de una serie de actuaciones periódicas encaminadas a su preservación, mejora y productividad, entendiéndose ésta desde el punto de vista de los llamados beneficios directos antes citados: madera, leñas, frutos, etc., y también de los indirectos: protección de suelos, sostén de flora y fauna, paisajismo, esparcimiento, etc. Mediante estas intervenciones, que actúan favorablemente respecto a la reducción de la inflamabilidad de los bosques y del riesgo de plagas y enfermedades, se consigue una paulatina mejora cualitativa y cuantitativa de sus productos.

En numerosas ocasiones, especialmente sobre aquellas masas arboladas implantadas mediante reforestación y que no han alcanzado la edad suficiente para estabilizarse, es cuando la silvicultura se encuentra más motivada para lograr su preservación, equilibrio y desarrollo mediante las actuaciones pertinentes. En estas circunstancias se genera una gran cantidad de biomasa forestal residual que habitualmente ha sido rechazada por la industria tradicional de la madera. Esto ha motivado una ralentización de las operaciones silviculturales para evitar que la falta de evacuación de los productos residuales originase una problemática compleja, inasumible desde el punto de vista ambiental, que comprometiera los pretendidos beneficios.

Sin embargo, el sector energético es perfectamente capaz de movilizar y asumir este producto, cerrando así el círculo que ofrece mayor estabilidad y perspectivas a los bosques, generando riqueza y empleo, contribuyendo además al cumplimiento de los compromisos que el país tiene adquiridos a nivel internacional en materia de utilización de energías renovables y reducción de emisiones de gases “efecto invernadero”.

Para que cualquier aprovechamiento sea sostenible es necesario implementar herramientas de planificación tales como los proyectos y planes técnicos de ordenación de bosques, los programas anuales de aprovechamientos forestales o los planes de manejo, entre otras figuras.

Cualquier aprovechamiento forestal, incluido aquel que tenga como destino la producción de biomasa, debe realizarse de acuerdo con la legislación vigente y conforme a los proyectos de ordenación, documentos de planificación forestal o directrices de gestión que les sean de aplicación con objeto de garantizar la sostenibilidad del recurso y, por tanto, su carácter renovable.

## **TIPOS DE APROVECHAMIENTOS**

Existen un conjunto variado de tipos de aprovechamientos forestales, algunos de los cuales se muestran a continuación:

1. Menor, el cual se suele subdividir de acuerdo a lo siguiente:
  - a) De madera y leña cuando afecta a una superficie inferior a 25 ha, con una densidad de extracción inferior a 150 árboles por ha de diámetro normal mayor a 7,5 cm y que no se repite sobre la misma fina o parcela en 5 años.
  - b) De corcho que afecte a una extensión inferior a 2 ha y que no se repita sobre la misma finca en 5 años.
  - c) De pasto en una superficie inferior a 300 ha y con una carga ganadera inferior a 0,2 unidades de ganado mayor (UGM) por ha en cualquier época del año.
  - d) Cualquier aprovechamiento apícola.

- e) Todos los de frutos, micológicos y de plantas aromáticas, medicinales, alimentarias y ornamentales, cuando tengan finalidad comercial o no se consideren consuetudinarios.
  - f) La recogida de fruta cualquiera que sea la cantidad y no más de 6 kg por persona y día de setas u otros hongos.
  - g) De resina que afecte a una superficie inferior a 5 ha y que no se repita sobre la misma finca o parcela en 5 años.
  - h) De madera de especies de crecimiento rápido cuyo turno sea inferior a 20 años, como es el caso de la Acacia mangium.
2. Planificado: aquellos aprovechamientos contemplados en un instrumento técnico de gestión forestal aprobado y vigente, que es el que aplica para el caso de biomasa cuyo origen sean los residuos forestales.
  3. De leña destinado a consumo propio. la leña dedicada al uso doméstico propio, con un límite anual por finca de 20 estéreos u 8 toneladas pesadas en verde. No se considera consumo propio la leña destinada usos industriales o comerciales.
  4. Procedente de circunstancias extraordinarias. Aquellos aprovechamientos que se realizan como consecuencia de daños causados por eventos climáticos excepcionales o por otras circunstancias sobrevenidas o siniestros y cuya finalidad sea restaurar el estado original.
  5. Cinegético. Este aprovechamiento se realizará conforma a la normativa vigente en materia de caza. Su autorización y supervisión corresponde al Servicio de Caza y Pesca.
  6. De plantaciones forestales temporales. Este aprovechamiento se realizará conforme a lo establecido en la legislación vigente.
  7. Otros: obras de carácter no forestal debidamente autorizadas, trabajos de defensa de infraestructuras, bienes inmuebles o cultivos y tratamientos silvícolas.

***A los efectos de la presente Guía solamente van a aplicar el aprovechamiento menor de madera y leña, el de especies de crecimiento rápido y el planificado. INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN***

Los dos instrumentos de planificación más comúnmente utilizados son los proyectos de ordenación y los planes técnicos o de manejo. A continuación, se describe cada uno de ellos.

1. Un proyecto de ordenación es un instrumento de gestión forestal que plasma la organización temporal y espacial del uso de los recursos del bosque atendiendo a criterios de sostenibilidad y persistencia de la masa. Incorpora, entre otros aspectos, una descripción detallada del estado legal del bosque, sus características naturales y un inventario exhaustivo de los recursos aprovechables para la estimación precisa de sus rentas. Asimismo, debe contemplar una planificación cuidadosa de las actuaciones a llevar a cabo conforme a un plan bien definido el cual será revisado de manera periódica.

Dentro de esta planificación se incluye un programa de usos y aprovechamientos en el que se detallará para cada recurso su correspondiente programa, en este caso de aprovechamiento de biomasa.

2. Por su parte, los planes técnicos, o planes de manejo, también deben incluir los correspondientes programas de aprovechamientos, aunque con un nivel de detalle inferior. Este instrumento se utiliza para la ordenación de bosques no públicos.

Tanto los proyectos de aprovechamiento como los planes técnicos pueden agrupar varios bosques o fincas forestales para su gestión conjunta. Ambos concretan los aprovechamientos a realizar, especificando lugar de los mismos y cuantía aproximada de recurso, en este caso biomasa.

## ***FACTORES QUE CONDICIONAN EL APROVECHAMIENTO FORESTAL***

Existen un conjunto de factores que pueden condicionar el aprovechamiento, algunos de los cuales son los siguientes:

- Pendiente, que limita el uso de un determinado tipo de maquinaria y la ubicación de los cargaderos, además de favorecer impactos ambientales negativos relacionados con la erosión.
- La presencia de vaguadas, barrancos y otras irregularidades del terreno, que pueden limitar la realización de determinado tipo de trabajos.
- La geología y, en consecuencia, el tipo de suelo, pues combinados con la climatología definen la capacidad portante del suelo; la cual, a su vez, afecta a la transitabilidad de las máquinas.
- La presencia de zonas ambientalmente sensibles por su valor científico, recreativo, cultural o paisajístico, etc.
- El historial de enfermedades y plagas del bosque, que puede condicionar el tipo de trabajos, así como la época de realización de los mismos.

## **SISTEMAS DE TRABAJO EN BOSQUE**

En cuanto a los trabajos a realizar sobre las masas forestales, es conveniente conocer la combinación de medios y la secuencia de fases más efectiva para el aprovechamiento considerado. Por ejemplo, la secuencia más típica de fases de un aprovechamiento maderero podría ser la siguiente: señalamiento, apeo, desramado, descortezado, trozado, apilado, desembosque, limpieza de la zona de corte y transporte.

Estas operaciones no tienen por qué darse en este orden, ni siquiera todas en el mismo bosque. En la tabla siguiente se muestra un ejemplo de 5 modalidades de aprovechamiento maderero, que también se podría aplicar al caso de la biomasa.

Tabla 2: Ejemplo de aprovechamiento maderero. (La Cal Herrera J. A.)

Método	Fases
1	Apeo desembosque desramado carga transporte trozado apilado
2	Apeo desembosque desramado y trozado apilado carga transporte
3	Apeo y desramado desembosque carga transporte trozado apilado
4	Apeo, desramado y trozado desembosque carga transporte

Figura 6: Secuencia típica de un aprovechamiento forestal. (La Cal Herrera J. A.)





Para el caso específico de la extracción de la biomasa forestal no existe un óptimo sistema de trabajo, porque dependerá de numerosos factores, los cuales ya han sido citados en la presente Guía, tales como el tipo de especie forestal, el tratamiento realizado sobre la misma, el tipo de suelo, la pendiente, los accesos, el aprovechamiento posterior de los residuos, etc. Lo que sí es cierto es que hay que compatibilizar dos cuestiones muy importantes: la rentabilidad económica del proceso y la sostenibilidad del bosque, medida por el impacto generado en el mismo como consecuencia de la extracción de la biomasa.

Algunos ejemplos de sistemas de trabajo a desarrollar podrían ser los siguientes:

- Sistema de trabajo 1: Raleos (sistema de saca de árboles enteros no comerciales). Empleo de autocargadores multi-árbol, saca de árbol entero y astillado fijo en cargadero.
- Sistema de trabajo 2: cortas, saca de restos y astillado fijo en cargadero.
- Sistema de trabajo 3: Cortas y astillado de restos móvil
- Sistema de trabajo 4: Cortas, empacado y astillado en fábrica.
- Sistema de trabajo 5: Extracción de tocos y pre-triturado fijo en cargadero. Transporte y preparación posterior en fábrica o planta.

Al final, la elección de un sistema u otro vendrá determinado, además de lo anteriormente citado, por el tipo de maquinaria (forestal y para el transporte) que disponga el promotor del aprovechamiento forestal, así como por la distancia a planta. Y habrá de tenerse en cuenta también la pérdida de humedad que sufre la biomasa entre el momento de su recogida y su aprovechamiento final.

El coste final se compondrá, por lo tanto, de los siguientes conceptos.

- Coste unitario operaciones básicas: apeo, trozado, desembosque, apilado, ...
- Coste unitario astillado (fijo o móvil)
- Coste de transporte a planta

Y este coste final, expresado normalmente en USD/t deberá ser competitivo en función del aprovechamiento posterior al que vaya a ser sometida esa biomasa: combustión, pirólisis, gasificación, generación eléctrica o térmica, producción de vapor, etc.

## ***EXTRACCIÓN DE LA BIOMASA DEL BOSQUE: OPERACIONES***

La situación de los residuos para su recolección o recogida depende básicamente del tipo o tipos de trabajos silvícolas que se hayan realizado previamente en el bosque (podas, raleos, selección de rebrotes, limpieza, etc.) y de los medios y maquinaria empleados para ello. Asimismo, los medios de corta dependen no sólo de las labores realizadas sino también del tipo de vegetación existente, accesibilidad y pendiente del terreno. Las máquinas más utilizadas son procesadoras y motosierras manuales.

Las procesadoras son tractores forestales con elevada movilidad, los cuales portan una grúa hidráulica dotada de un cabezal procesador multifunción el cual, mediante una hoja de motosierra, corta el árbol, procediendo a continuación a su desramado, descortezado y troceado en trozas predeterminadas.

*Fotografía 8: Procesador forestal. (La Cal Herrera J. A.)*



En la mayor parte de los casos los residuos quedarán extendidos de forma dispersa. Para optimizar la recogida de estos restos se hace necesaria la integración de las operaciones de recolección y concentración de los residuos.

Las operaciones básicas a las que pueden ser sometidos los residuos forestales son las siguientes:

- 1) Recogida y apilado de los residuos en el bosque (concentración). Esta operación tiene como finalidad amontonar o apilar los residuos en un punto específico próximo a la zona de astillado. En determinados casos, es posible que no sea necesario, siendo el residuo directamente astillado.
- 2) Acondicionamiento para su transporte:
  - a) Empacado: En ocasiones, los residuos son empacados y extraídos directamente del bosque, para reducir así su volumen, y, por tanto, los costes asociados a su logística.
  - b) Astillado: Esta operación tiene por finalidad reducir el volumen de la biomasa, para optimizar los costes y obtener un producto apto para el mercado; aunque puede ser sometido a procesos posteriores tales como secado (natural o forzado), triturado o densificado, en función de la demanda. Estas operaciones se realizan en planta industrial, no en campo.
- 3) Transporte y almacenamiento:
  - a) A cargadero: En este caso la astilla será trasladada a un punto del aprovechamiento, en el cual será de nuevo cargada en un vehículo de mayor capacidad para su traslado a planta.
  - b) A planta industrial para pre-tratamiento: En este caso la biomasa es cargada y transportada directamente a planta en camiones de mayor capacidad, normalmente de piso móvil.

Para la concentración de los residuos se pueden utilizar los siguientes métodos:

- Tractor autocargador: utilizado en bosques de buena accesibilidad, baja pendiente y superficie poco abrupta. El tractor autocargador se va desplazando por la parcela para la recogida y posterior concentración de los residuos. Estos son apilados a los lados de la pista forestal en una zona de acopio o cargadero.
- Tractor de arrastre: Se utiliza en bosques más abruptos con elevadas pendientes. La concentración de los materiales debe realizarse recurriendo a sistemas de extracción por cable. Los operarios, de forma generalmente manual, realizan la concentración de los residuos atándolos al cable y arrastrándolos con el tractor hasta el lugar apropiado.
- Caballería: En zonas de inaccesibilidad para las máquinas forestales, con pendientes superiores al 50 %.
- Manual: por la acción exclusiva del hombre, en zonas especiales, como procedimiento auxiliar y complementario

El uso de un método u otro depende fundamentalmente de las características del terreno, del trabajo forestal realizado, del tipo de residuos generados y su situación posterior a las operaciones de corta.

Una vez el material está concentrado, el siguiente proceso es el del acondicionamiento del residuo para su transporte. La baja densidad aparente de la biomasa forestal residual dificulta y encarece su manipulación y transporte. Por esta razón, las tecnologías de recogida se basan en la formación de unidades de alta densidad mediante el astillado o la comprensión de los residuos.

Se distinguen básicamente tres opciones:

- a) Astillado con astilladoras transportables. Las astilladoras transportables son máquinas que van montadas sobre camiones, y realizan el astillado en una posición fija en la pista forestal. Con el empleo de una grúa de pinzas se colocan los residuos en la plataforma de alimentación. A medida que se va astillando, mediante un sistema de descarga continuo las astillas se depositan en contenedores de transporte independientes, que posteriormente, son transportados con camiones adecuados a la planta.

- b) Astillado con astilladoras móviles: Las astilladoras móviles son tractores capaces de desplazarse por el interior de las explotaciones hasta el lugar donde se encuentran los residuos, por tanto, no es necesario el uso de tractor autocargador para una concentración previa. Se pueden distinguir una amplia gama de modelos en el mercado. Estas astilladoras poseen un depósito propio para el almacenamiento temporal de la astilla producida. Cuando este depósito se llena se procede a su vaciado en contenedores de acopio situados en las pistas forestales, por tanto, la máquina debe interrumpir el astillado y desplazarse a distancias variables hasta los contenedores cada vez que termina un ciclo. Los contenedores se cargan en camiones para su transporte hasta planta.
- c) Empacado: Las empacadoras de residuos forestales son máquinas que permiten la compresión, enrollado y atado de los residuos formando balas o pacas cilíndricas de dimensiones establecidas. El empacado resuelve problemas logísticos que el aprovechamiento de los residuos forestales plantea. El aumento de la densidad aparente de los residuos provoca la reducción de los costes de transporte, facilita la manipulación y optimiza el almacenamiento por tiempo indefinido. Los residuos se concentran previamente mediante tractores autocargadores o de arrastre en los laterales de la pista forestal o en el cargadero, lugares accesibles para la empacadora. La alimentación de las mismas se realiza a través de una pinza adaptada propia de la máquina que deposita los materiales en el dispositivo de compresión, donde, tras el aumento de la densidad, los materiales quedan ligados mediante una cuerda plástica, formando las pacas con forma cilíndrica. Las pacas son dispuestas, mediante la grúa de pinzas, en pilas, a la espera de un camión de transporte convencional a planta. Antes de su aprovechamiento energético, las pacas son astilladas en astilladoras estáticas instaladas de forma permanente en la planta.

En cualquiera de los sistemas anteriormente mencionados, los residuos transportados a la planta de aprovechamiento se almacenan al aire libre en zona prevista para tal fin y antes de su utilización como combustible pueden ser sometidos a procesos de secado, astillado o molienda.

Los sistemas de extracción expuestos anteriormente no son eficaces al 100 %, es decir, se producen pérdidas en la manipulación de los residuos por la variedad de formas y tamaños de

éstos. Esto provoca que una gran cantidad de residuos se quede en el bosque, lo cual es positivo, ya que los restos contribuyen con su descomposición al aporte de materia orgánica al suelo.

Por otra parte, el tráfico y uso de maquinaria para extraer la biomasa forestal provoca la erosión y pérdida del suelo. Por ello, se han de utilizar técnicas apropiadas y minimizar los pasos de la maquinaria en pistas, calles, vías, etc.

*Fotografía 9:Empacadora forestal. (La Cal Herrera J. A.)*



En el caso de las “Fincas Energéticas” el planteamiento es totalmente diferente, porque el sistema de cosecha o aprovechamiento dependerá de los intereses del propietario, si bien deberá contar con los correspondientes permisos y autorizaciones por parte de la autoridad competente, en este caso el MARN.

El sistema de extracción de biomasa del bosque es similar al de un aprovechamiento forestal, una vez los troncos están en el suelo, son alimentados con un tractor de pinzas a una astilladora tipo Vermeer fija o semifija de gran tamaño para optimizar la producción. La astilla es cargada en un camión de piso móvil para ser llevada a destino.

Fotografía 10: Chipeado de astilla en finca energética. (La Cal Herrera J. A.)



Fotografía 11: Plataforma de chipeado en finca energética. (Reyes Quiñones, J. 2020)



## MAQUINARIA

### INTRODUCCIÓN

La gestión racional y sostenible, tanto desde el punto de vista ambiental como económico, de los bosques a nivel internacional pasa por la necesaria mecanización de los trabajos forestales, entre los que sin duda se incluyen los aprovechamientos de biomasa.

*Fotografía 12: Aprovechamiento de biomasa en bosque. (La Cal Herrera J. A.)*



Las máquinas y aperos utilizados en la ejecución de los trabajos forestales en general son los siguientes:

- Feller buncher (talador apilador): Es la máquina de corte con ruedas utilizada para el raleo y la tala final. Es un vehículo motorizado con un accesorio que puede recoger y cortar un árbol antes de talarlo. A diferencia del procesador, éste además desrama y tronza.



- Skidders: Empleados como medio de desembosque en semi-arrastre de fustes enteros para el aprovechamiento maderero y de biomasa. Trabajan por calles de desembosque o vías de saca, recogiendo las trozas o árboles completos apeados.

*Fotografía 13: Feller buncher. (La Cal Herrera J. A.)*



*Fotografía 14: Skidder forestal. (La Cal Herrera J. A.)*



- Autocargadores: Empleados como medio de desembosque del aprovechamiento maderero y de biomasa. Trabajan por calles de desembosque o vías de saca, recogiendo las trozas a pie de calle, previamente apiladas.

*Fotografía 15: Autocargador. (La Cal Herrera J. A.)*



- Procesadoras: Se trata de máquinas cuya función principal es la recogida de madera mediante el procesado de árboles, incluyendo la corta, el desramado, el ronzado, el despuntado, el descortezado y el apilado de troncos. Su acción se complementa con el desemboscado con “skidder” o con cargadores de troncos sobre remolques especiales, en los que también se pueden incorporar elementos para el empaclado.
- Astilladoras: Como se verá en el apartado siguiente, se trata de equipos para la fragmentación mecánica de la biomasa forestal de cara a su posterior aprovechamiento. El astillado de la biomasa tiene la ventaja de mejorar el transporte, el almacenamiento y el secado. Se puede realizar en diferentes puntos de la cadena de abastecimiento: a pie de pista, en cargadero o bien en planta.

Fotografía 16: Astilladora forestal. (La Cal Herrera J. A.)



Otro tipo de máquinas y equipos que se utilizan en aprovechamientos forestales para la extracción de biomasa son retroexcavadoras (con pinza, con cazo o garra, mini-excavadoras, etc.), tractores (orugas y neumáticos con diferentes aperos como cables, astilladoras acopladas o cabestrantes) y camiones (piso móvil o con carro con capacidades de carga de hasta 24.000 kg).

## **SISTEMAS DE APILADO Y RECOGIDA**

La situación de los residuos para su recolección o recogida depende básicamente del tipo o tipos de trabajos silvícolas que se han realizado (podas, raleos, selección de rebrotes, limpieza, etc.) y de los medios y maquinaria que se han empleado. Asimismo, los medios de corta dependen no sólo de las labores realizadas sino también del tipo de vegetación existente, accesibilidad y pendiente del terreno.

Las máquinas más utilizadas son procesadoras y motosierras manuales. En la mayor parte de los casos los residuos quedarán extendidos de forma dispersa. Para optimizar la recogida de estos restos se hace necesaria la integración de las operaciones de recolección y concentración de los mismos.

Para la concentración de los residuos se pueden utilizar los siguientes métodos:

- a) Tractor autocargador. Utilizado en bosques de buena accesibilidad, baja pendiente y superficie poco abrupta. El tractor autocargador se va desplazando por la parcela para la recogida y posterior concentración de los residuos. Estos son apilados a los lados de la pista forestal en una zona de acopio o cargadero.

*Fotografía 17: Tractor autocargador. (La Cal Herrera J. A.).*



- b) Tractor de arrastre. Se utiliza en bosques más abruptos con elevadas pendientes. La concentración de los materiales debe realizarse recurriendo a sistemas de extracción por cable. Los operarios, de forma generalmente manual, realizan la concentración de residuos atándolos al cable y arrastrándolos con el tractor hasta el lugar apropiado.

Fotografía 18: Tractor forestal de arrastre. GUIFOR11



- c) Con caballería. En zonas de inaccesibilidad para las máquinas forestales y con pendientes superiores al 50%. También en áreas especialmente protegidas como parques naturales o nacionales, reservas, etc.
- d) Manual. Por la acción exclusiva de humanos, en zonas especiales, como procedimiento auxiliar y complementario, nunca principal.

El uso de un método u otro depende fundamentalmente de las características del terreno, del trabajo forestal realizado, del tipo de residuos generados y su situación posterior a las operaciones de corta.

Una vez el material está concentrado, el siguiente proceso es el del acondicionamiento del residuo para su transporte. La baja densidad aparente de la biomasa forestal residual dificulta y encarece

---

<sup>11</sup> Importador para España de maquinaria forestal John Deere. Amplia gama de autocargadores, procesadoras y demás maquinaria para aplicaciones forestales. <http://www.guifor.com/es/inicio>

su manipulación y transporte. Por esta razón, las tecnologías de recogida se basan en la formación de unidades de alta densidad mediante el astillado o la comprensión o densificación de los residuos.

*Fotografía 19: Astilla forestal. (La Cal Herrera J. A.)*



## **ASTILLADORAS**

Con el astillado se consigue aumentar la densidad del residuo facilitando su secado natural, y economizando en su transporte. Las astilladoras se pueden clasificar según su sistema de tracción que, a su vez, está relacionado con el tamaño y capacidad de proceso. Las astilladoras forestales pueden ser de dos tipos: de disco o de tambor.

Las astilladoras de disco tienen las cuchillas montadas radialmente en un disco giratorio, sobresaliendo ligeramente con un cierto ángulo sobre la superficie del disco, que normalmente actúa también, por medio de unas aletas dispuestas en su cara opuesta, como ventilador o ciclón, para enviar las astillas proyectadas a través del tubo de la cañonera.

En estas máquinas, las cuchillas atacan tangencialmente a los troncos, con lo que las astillas son de peor calidad y mayor relación longitud – grosor. Las astilladoras de disco son las más

habitualmente empleadas para la eliminación de residuos, dado que la calidad de la astilla tiene menor importancia y que sus requerimientos de potencia, especialmente para materiales como ramas o copas que no son muy grandes, no son tan altos como para su empleo industrial. Además, a igualdad de potencia y velocidad, sus rendimientos en materia astillada son mayores.

Para este uso, son normales los equipos móviles, acoplables a toma de fuerza de tractor agrícola de entre 70 y poco más de 100 CV. La alimentación es con frecuencia manual o mecanizada mediante grúas hidráulicas ligeras, en cuyo caso el tractor tiene algo más de requerimiento de potencia.

Las astilladoras de tambor son las más empleadas para la elaboración de biomasa de origen forestal, y su órgano de corte es un cilindro rotatorio o rotor con una longitud entre 900 mm y algo menos de 2 metros, con dos a cuatro cuchillas de disposición tangencial, que actúan contra una contra cuchilla de presión, y frecuentemente sobre el material que es empujado por un rodillo de alimentación dentado. El diámetro del rotor limita el diámetro del material a astillar, que está comprendido entre  $1/3$  y  $2/5$  de aquel.

Aunque su velocidad es similar a la del disco de las astilladoras de disco, sus requerimientos de potencia son bastante mayores, por lo que su rendimiento es menor, si bien la calidad de la astilla, al ser el corte perpendicular al eje de las fibras, es mayor, y la astilla producida es más homogénea y tiene una relación longitud - anchura menor. A diferencia de las astilladoras de disco, el ciclón para impulsar las astillas por la cañonera es independiente del rotor.

Las astilladoras de tambor pueden ser a su vez de varios tipos:

- Astilladoras semifijas: son remolcadas por un camión, con características de movilidad similares a las trituradoras o pre trituradoras (aunque suelen trabajar en presencia de la cabeza tractora, abundando menos las máquinas semi-móviles). Siempre llevan un motor propio y, aunque por su mecanismo de actuación requieren menos potencia y consumo que las trituradoras o pre trituradoras, suelen tener potencias superiores a los 300 CV.
- Astilladoras móviles, pueden ser acoplables a un tractor agrícola de cierta potencia (normalmente, más de 100 CV y con frecuencia más de 150) o bien pueden ser acoplables o estar integrados en el chasis de un autocargador, caso en el que suelen contar con un

potente motor propio. En este último caso, la alimentación siempre es mecanizada, con una grúa hidráulica, y la tolva o mesa de alimentación puede ser lateral o frontal, lo que tiene importantes consecuencias en la organización del trabajo, en bosque y especialmente en cargadero. Frecuentemente, al igual que en muchas trituradoras, el sistema de alimentación es simple, con un solo rodillo de alimentación, o con menos frecuencia mixto, compatibilizando una cinta transportadora con un rodillo de alimentación. En todo caso, la astilladora móvil debe remolcar un contenedor de astillas, dado que su función es obtener las astillas en el interior de la masa, y no expulsarlas. Si se trabaja en bosques grandes, con mayores distancias de desembosque y mayores costes fijos, es conveniente que el contenedor de astillas sea basculante, para permitir que sea un vehículo lanzadera auxiliar, más barato, el que desembosque las astillas, propiciando que la astilladora móvil se dedique a astillar.

Dentro de las astilladoras móviles, es posible encontrar una amplia tipología de equipos, como a continuación se cita:

- Sobre chasis de ruedas y remolcada, con alimentación con giratoria. Apta para trituración de troncos de hasta 46 cm de diámetro con una producción de entre 10 y 15 t/h. Puede ser de tambor o de disco con sistema de alimentación automático de velocidad variable. De difícil maniobrabilidad y con imposibilidad de instalación de criba posterior.
- Móvil arrastrada. Dispone de una chimenea móvil que permite la descarga de las astillas a una tolva o remolque.
- Autoalimentada sobre autocargador. Apta para trituración de troncos. Presenta una tolva de acumulación de astilla auto descargable, capaz de producir 100 m<sup>3</sup> de astilla a la hora.



Fotografía 20: Astilladora sobre chasis de ruedas y remolcada. Morbark.



Fotografía 21: Astilladora móvil arrastrada. (La Cal Herrera J. A.)



Fotografía 22: Astilladora autoalimentada sobre autocargador. (La Cal Herrera J. A.)



- Sobre chasis de ruedas y remolcada. Astilladora horizontal con diferentes elementos e corte (cuchillos, martillos o dientes) y capacidad de triturar ramas de hasta 46 cm de diámetro. Provista de cinta de alimentación y descarga.
- Acoplada a tractor a través de la toma de fuerza (540/1.000 rpm). Presenta una tobera de salida de la astilla móvil para facilitar la descarga.

Las astilladoras móviles, por su reducido tamaño, tienen gran facilidad de acceso a las explotaciones forestales. Tal y como se ha comentado anteriormente, pueden ser de dos tipos:

- Astilladoras remolcadas: son de tamaño pequeño, remolcadas y accionadas mediante la toma de fuerza de un tractor. Pueden procesar entre 1.000 y 10.000 kg/h.
- Astilladoras autopropulsadas: son equipos de mayor dimensión, con tracción autónoma y con producciones que van de 5.000 a 20.000 kg/h.

Fotografía 23: Astilladora sobre chasis de ruedas y remolcada. (La Cal Herrera J. A.)



Fotografía 24: Astilladora acoplada a tractor. (La Cal Herrera J. A.)



Otra clasificación de los sistemas de astillado puede ser la siguiente:

- a) Astillado con astilladoras transportables. Las astilladoras transportables son máquinas que van montadas sobre camiones, y realizan el astillado en una posición fija en la pista forestal. Con el empleo de una grúa de pinzas se colocan los residuos en la plataforma de alimentación. A medida que se va astillando, mediante un sistema de descarga continuo las astillas se depositan en contenedores de transporte independientes, que posteriormente, son transportados con camiones adecuados a la planta de aprovechamiento energético.
- b) Astillado con astilladoras móviles. Las astilladoras móviles son tractores capaces de desplazarse por el interior de las explotaciones hasta el lugar donde se encuentran los residuos, por tanto, no es necesario el uso de tractor autocargador para una concentración previa. Se pueden distinguir una amplia gama de modelos en el mercado. Estas astilladoras poseen un depósito propio para el almacenamiento temporal de la astilla producida. Cuando este depósito se llena se procede a su vaciado en contenedores de acopio situados en las pistas forestales, por tanto, la máquina debe interrumpir el astillado y desplazarse a distancias variables hasta los contenedores cada vez que termina un ciclo. Los contenedores se cargan en camiones para su transporte hasta planta.

## **PRETRITURADORAS Y TRITURADORAS**

Las pre trituradoras son máquinas cuyo mecanismo es robusto y resistente y no actúan por corte, sino por rotura por presión con superficie roma. Se utilizan para triturar, hasta tamaños no muy finos, materiales duros o que puedan tener clavos y otros metales, piedras, etc. Inicialmente, fueron diseñadas para el tratamiento de áridos y de residuos sólidos urbanos, aunque se emplean también para residuos de madera usada (palés, envases, etc.) y, en el terreno forestal, para el tratamiento de materiales con muchas impurezas, como los tocones.

Lo más común es que estas máquinas tengan alimentación superior directa sobre el órgano de trabajo, que está constituido por uno o dos tornillos lentos muy robustos, dispuestos horizontalmente, de forma generalmente paralela al eje longitudinal de la máquina y con longitudes

que frecuentemente superan los 3 metros, equipados con dientes fijos que rompen el material en fragmentos grandes.

Frecuentemente, estos equipos cuentan con una cinta transportadora-elevadora, destinada a depositar el material pre triturado en la tolva de otra máquina (o en un montón). A veces, en el transporte del material hasta su salida, se interpone una criba para rechazar los materiales más gruesos, que serán reintroducidos en la máquina.

Cuando el material resultante se destina a usos energéticos, estas máquinas están concebidas para su empleo en serie con otras, como cribas o separadores (trómeles, sopladoras, electroimanes...), y de trituradores que producen un material más fino apto para su consumo, una vez separadas las impurezas.

Los equipos más comunes están concebidos para trabajar en cargadero o parque de fábrica, aunque pueden realizar desplazamientos cortos y lentos.

Se pueden clasificar por su útil de pre triturado en equipos de un solo tornillo, donde los dientes actúan contra unas contra cuchillas que están constituidas por piezas dentadas o en forma de peine del propio bastidor de la tolva, por cuyos huecos entran los dientes del tornillo giratorio. Y equipos de doble tornillo, en los que los dos tornillos giran en sentido contrario, enfrentando los dientes de cada rodillo, que penetran en los huecos entre los dientes complementarios del otro y actúan, así como martillo y contra cuchilla simultáneamente, además de triturar contra las piezas fijas de ambos laterales del bastidor.

De acuerdo a su movilidad, pueden ser móviles, montados sobre tractores forestales y que se pueden desplazar dentro de los bosques. El equipo que se ha citado, no obstante, no está diseñado para el aprovechamiento de biomasa, sino para esparcirla después de pre triturarla, de modo que se facilite su incorporación al suelo forestal. Las semi-móviles son acoplables a camión, y requieren de la presencia de la cabeza tractora para el movimiento, con mecanismos que permiten cierta movilidad, tipo oruga o rodillo.

El uso forestal de estos equipos se restringe a los casos en que la presencia de piedras o metales no sólo impide el uso de equipos de cuchillas, sino que produciría un desgaste excesivo en las trituradoras de dientes locos o martillos, como tocones o palés.

Las trituradoras son máquinas diseñadas para reducir el tamaño de materiales no muy duros, a los que atacan por impacto de piezas metálicas, a menudo móviles (martillos o dientes articulados o no), montadas en la periferia de un cilindro giratorio que funciona a gran velocidad (no como los rodillos lentos de las pre trituradoras) con el fin de aprovechar la fuerza centrífuga para dar más efectividad al impacto del martillo o diente sobre el material a triturar.

Lo más común es que estas máquinas tengan los martillos o dientes montados sobre un rodillo metálico que gira alrededor de un eje horizontal que se dispone normalmente de forma perpendicular al eje longitudinal de la máquina, por lo que la longitud del rodillo triturador no suele superar los 2 ó 2,5 metros. Es un órgano análogo al que montan las desbrozadoras de martillos de eje horizontal. Es común que el sistema de alimentación sea mixto, compuesto por una cinta transportadora horizontal, que se desplaza en el sentido del eje longitudinal de la máquina, en dirección al rodillo de alimentación que completa esta labor. Normalmente, la cinta se encuentra como base de buena parte del remolque, en el caso frecuente de ser la trituradora remolcada por un camión, mientras que el rodillo de alimentación, giratorio y dentado, se encuentra en la parte delantera o trasera del remolque y es accionado por uno o dos cilindros hidráulicos para presionar y arrastrar los materiales empujados por la cinta contra el órgano triturador, que está cubierto para evitar las proyecciones.

En el caso más frecuente, la alimentación también es superior y/o trasera: o bien se depositan los materiales a triturar sobre la cinta o, preferentemente en el caso de materiales forestales largos, como árboles completos o copas, se empujan con la grúa en dirección al cilindro de alimentación. Por tanto, es normal que, al menos para usos forestales, se alimente con una grúa, que puede estar integrada en el conjunto o pertenecer a un vehículo auxiliar.

Muchas trituradoras presentan también, como las pre trituradoras, una cinta transportadora elevadora para la evacuación del material triturado, así como cribas para rechazar materiales demasiado gruesos.

Al igual que las pre trituradoras se pueden clasificar atendiendo a su útil de triturado (equipos de martillos o dientes articulados o dientes fijos) y a su movilidad (equipos semifijos acoplables a camión, que requieren de la presencia de la cabeza tractora para el movimiento y semimóviles: con mecanismos que permiten cierta movilidad, tipo oruga o rodillo).

El uso forestal de estos equipos suele ser un uso mixto con el industrial, especialmente útil si los materiales son duros, tienen cortezas de difícil astillado, presentan arena, u otras impurezas frecuentes, si bien se debe evitar su utilización para materiales muy sucios, como los tocones.

## **CRIBAS**

Las cribas son máquinas fijas o semifijas (en ese caso, remolcadas generalmente por una cabeza tractora de camión), cuyo fin es clasificar los materiales por granulometría y, en algunos casos, mediante criterios adicionales – como la separación de materiales metálicos, materiales ligeros aspirables, materiales rodantes como piñas, piedras no angulosas, nueces, etc.

Las cribas trabajan generalmente en dos fases, simultáneas o consecutivas. En la primera fase, se homogeneiza el material mediante movimientos de vibración, rotación, etc. (los movimientos más rápidos y sofisticados se dan en instalaciones fijas) y en la segunda fase se trabaja sobre la manta de materiales, de la que los más finos salen por cribado – los que tienen un tamaño que les permite atravesar una criba de orificios o el espacio graduable entre una serie de rodillos, discos o estrellas, impulsados por la gravedad y/o la fuerza centrífuga - , mientras que los materiales más gruesos son empujados fuera de la unidad de cribado por el propio movimiento, a veces ayudado por la gravedad.

Existen tres tipos fundamentales: tambor, estrellas o discos y separadores por aire.

Los tambores o “trómeles” son dispositivos cilíndricos huecos y giratorios, a través de los que se hace avanzar el material a cribar, con la ayuda de unos filetes de tornillo situados en la cara interior del propio tambor. Las paredes de dicho cilindro son cribas (de una o varias luces que van aumentando según avanza el material), que son atravesadas por los materiales suficientemente finos, por acción de la fuerza centrífuga y por gravedad.

Aunque existen cribas de tambor semifijas (y semi-móviles), en su mayoría son más bien máquinas de parque de fábrica que de cargadero de bosque. Las cribas de tambor se pueden combinar con cribas de estrella o vibratorias, dispuestas antes del tromel, para separar materiales demasiado gruesos y conseguir una separación más calibrada. También es característico, en instalaciones

fijas, situar después de la cinta por la que salen los gruesos del tambor, nuevos separadores de materiales ligeros – por aire – o de metales, materiales rodantes, etc.

El principio de las cribas planas de estrellas o de discos es el giro paralelo de una serie de rodillos equipados con numerosos discos o estrellas perpendiculares al eje de cada rodillo que, al girar, consiguen simultáneamente extender y homogeneizar la manta de materiales, hacerles avanzar perpendicularmente a los ejes de los rodillos, y empujar a la fracción más fina a atravesar el espacio entre rodillos para caer a una cinta transportadora inferior o a una criba más fina.

Aunque no tienen un uso en cargadero de bosque, los separadores por aire sí pueden ser de utilidad en una línea industrial de reciclado de residuos de madera u otros reciclajes. Su fundamento es la menor resistencia al soplado o aspiración de los materiales ligeros frente a los pesados, especialmente si presentan un elevado cociente entre superficie y volumen (por ejemplo, pedazos de papel). Así, si se dispone un ciclón soplador atacando a una columna de materiales que caen o un ciclón aspirador sobre una manta de materiales, se separarán los materiales más ligeros.

El uso forestal de estas instalaciones está restringido al pos tratamiento de materiales pre triturados que tienen abundantes impurezas duras – clavos u otros elementos metálicos, grandes piedras, etc. – que dañarían los órganos de tratamiento de astilladoras e incluso trituradoras. Por ejemplo, los tocones o los materiales de tipo palés reciclados. Por ello, frecuentemente se encuentran en los parques de materia prima de las industrias de trituración. Las diversas salidas de los materiales ya clasificados se producen generalmente a través de cintas transportadoras.

Las cribas de discos o estrellas son las más utilizadas para materiales forestales, especialmente en trabajos en cargadero de bosque, por su menor envergadura en comparación con los tambores, y porque son de fácil aplicación en serie con respecto a otras máquinas. Por ejemplo, se puede instalar una de estas cribas planas a la salida de una pre trituradora y encima de la mesa de alimentación de una trituradora, de forma que rechace los materiales gruesos producidos por la primera antes de entrar a la alimentación del tambor de la segunda. Los materiales rechazados podrían así realimentar la pre trituradora y/o pasar a otras líneas de separación de metales, piedras, etc.



## **EMPACADORAS**

Las empacadoras de residuos forestales son máquinas que permiten la compresión, enrollado y atado de los residuos formando balas o pacas cilíndricas de dimensiones establecidas. El empacado resuelve problemas logísticos que el aprovechamiento de los residuos forestales plantea. El aumento de la densidad aparente de los residuos provoca la reducción de los costes de transporte, facilita la manipulación y optimiza el almacenamiento por tiempo indefinido.

Los residuos se concentran previamente mediante tractores autocargadores o de arrastre en los laterales de la pista forestal o en el cargadero, lugares accesibles para la empacadora. La alimentación de las mismas se realiza a través de una pinza adaptada propia de la máquina que deposita los materiales en el dispositivo de compresión, donde, tras el aumento de la densidad, los materiales quedan ligados mediante una cuerda plástica, formando las pacas con forma cilíndrica.

Las pacas son dispuestas, mediante la grúa de pinzas, en pilas, a la espera de un camión de transporte convencional a planta. Antes de su aprovechamiento energético, las pacas son astilladas en astilladoras estáticas instaladas de forma permanente en la planta industrial.

Las ventajas que presenta el empacado son:

- Transporte de las balas con características similares a las de la madera en rollo.
- Manipulación y desembosque de las balas con medios convencionales (autocargadores) utilizados para la saca de madera.
- Posibilidad de almacenamiento por tiempo prolongado, tanto a pie de tocón como en cargadero o parque de fábrica, sin que se produzcan pérdidas cualitativas en las balas.

El principal inconveniente del empacado es que se trata de una operación adicional, con el consiguiente aumento del coste total del proceso.

Fotografía 25: Empacadora forestal (La Cal Herrera J. A.)



La tecnología de empaqueo tiene dos líneas de desarrollo: empaqueo continuo y discontinuo. El empaqueo continuo no tiene limitada la longitud de la bala. La formación de la bala se realiza mediante un sistema de compresión y aplastamiento de la biomasa forestal al forzarla a pasar por un cilindro continuo, donde se comprime y ata. La longitud de la bala se determina mediante un corte transversal realizado con una espada de motosierra convencional. En el empaqueo discontinuo la bala está acotada dimensionalmente por la estructura o capacidad de la cámara de empaqueo.

## **OTROS EQUIPOS PARA EL TRABAJO FORESTAL**

Tal y como se ha comentado en la presente Guía existen otros equipos de apoyo al trabajo forestal desarrollado por el conjunto de maquinaria descrito anteriormente. Los más usuales, aunque depende de muchos factores, son los siguientes:

- Cizalladoras, empleadas como medio de desembosque del aprovechamiento maderero y de biomasa, así como para el cizallado de la madera. Permiten el apilado de los árboles.
- Retroexcavadoras, utilizadas también como medio de desembosque o carga del aprovechamiento maderero y de biomasa.
- Tractores, igualmente empleados como medio de desembosque de biomasa, así como para el astillado.
- Camiones, para la saca de la madera y de la biomasa del bosque para su traslado a fábrica o planta.

## IMPACTOS NEGATIVOS

### ***IMPACTOS GENÉRICOS Y FRECUENTES: MEDIDAS CORRECTORAS***

Los impactos más frecuentes en los aprovechamientos forestales, en general, y en la extracción de biomasa en particular, así como las medidas de corrección aconsejadas son los siguientes:

- Sobre el suelo. La compactación, la desagregación del horizonte superficial y su posible pérdida con escorrentías fuertes, la presencia de rodadas producidas por el tránsito de maquinaria pesada (en especial sobre suelos arcillosos en época de lluvias) y la pérdida de fertilidad de los horizontes superiores con extracción intensa de material vegetal son algunos de los impactos más frecuentes en este sentido. También se puede producir un aporte de sedimentos a los cursos de agua, lo que provoca un aumento de sólidos en suspensión y consumo de oxígeno, en detrimento de la calidad de las aguas. Como medidas correctivas se pueden planificar las calles del aprovechamiento, disponiendo sobre ellas los restos de corta (que se pueden triturar posteriormente y esparcirlos para evitar la migración de nutrientes), limitar el paso de maquinaria pesada sobre suelos encharcados o en zonas de pendientes fuertes y aprovechar infraestructuras existentes como caminos o pistas forestales, etc. Es importante que en los planes técnicos o de manejo se identifiquen los puntos de desembosque e itinerarios para reducir el número y longitud de los desplazamientos, así como las zonas con alto riesgo de erosión con el objeto de restringir alguna actuación forestal si es necesario, o adecuarla al riesgo evaluado.
- Sobre los cursos de agua. Pueden producirse cambios en los parámetros del agua (disminución del oxígeno disuelto, aumento de la temperatura, eutrofización, aumento de la turbidez, etc.), mayor irregularidad en el caudal base de los ríos y arroyos y efecto de represa si no se eliminan los restos de corta adecuadamente. Uno de los efectos más importantes es el desvío de las aguas de escorrentía fuera del cauce natural, lo que provocaría erosión. como variaciones en el régimen hídrico de la cuenta. Medidas correctoras a implementar pueden ser la creación de zonas de amortiguamiento de impactos en las proximidades de los cursos de agua respetando los bosques de galería, eliminando adecuadamente los restos de corta, mantener y proteger la vegetación de los

márgenes de los cursos de agua y redes de drenaje naturales, no ejecutar operaciones forestales en la cercanía de los cursos de agua a menos de 30 metros a cada lado del cauce, no atravesar el cauce con maquinaria pesada, salvo en los puntos habilitados para ellos, no realizar labores de mantenimiento de máquinas en las proximidades de los cauces, etc. En los planes técnicos de aprovechamientos se deben identificar los cursos de agua y redes de drenaje naturales, con el objeto de planificar adecuadamente las obras para reducir la afectación a los mismos.

- Sobre la vegetación. Daños sobre especies raras o amenazadas, desaparición de especies o individuos refugio, daños a la regeneración natural regenerado y sobre la masa remanente que sean vía de entrada de enfermedades y plagas forestales. Es decir, se puede producir un efecto de pérdida de biodiversidad, por actuar periódicamente sobre la vegetación para que su presencia no suponga una competencia por la luz, el espacio el agua o los nutrientes sobre la plantación. Se pueden crear o habilitar zonas de exclusión de corta para proteger especies emblemáticas, no retrasar demasiado la extracción de árboles padre una vez conseguida la regeneración, vigilar los tranzones de resinación a muerte y descortezar los fustes como medida preventiva de enfermedades y plagas son algunas medidas correctoras que se deben aplicar.
- Sobre la fauna. Eliminación de refugios para la fauna, desaparición de especies piscícolas muy exigentes en la calidad del agua, problemas de alimento para la fauna a consecuencia de la reducción de especies productoras de fruto, problemas de ruido que ahuyenten a los animales o impidan la nidificación, etc. Medidas correctoras pueden ser dejar árboles extra cortables sin aprovechar, así como de aquellas especies que provean de alimento a la fauna local o desarrollar los trabajos con maquinaria fuera de las épocas de cría de especies en peligro o amenazadas.
- Paisajísticos. La presencia de restos de corta, los trabajos demasiado visibles desde las carreteras o los aprovechamientos hechos “con tiralíneas”, demasiado regulares en su aspecto, son algunos de los impactos paisajísticos más frecuentes. Medidas correctoras pueden ser crear áreas de amortiguación del impacto paisajístico en las zonas de trabajo que sean más transitadas o diseñar los aprovechamientos con perímetros irregulares. En la valoración del impacto paisajístico en un determinado espacio forestal se debe tener en

cuenta la vulnerabilidad paisajística del mismo, la cual depende de su fragilidad y calidad visual. Cuando mayores sean ambas, mayor será la probabilidad de provocar impacto visual por las diferentes actuaciones forestales. Es necesario identificar en los planes técnicos las zonas de mayor riesgo de impacto visual.

- Riesgo de incendio forestal. El fuego es probablemente la mayor amenaza para los recursos forestales, y tienen un impacto negativo sobre todos los componentes del ecosistema, tanto el medio físico como el biológico o el humano. Cuando un bosque arde la pérdida de calidad paisajística es la consecuencia más fácilmente apreciable por la desaparición de la cubierta vegetal. También suelen acabar con la vegetación. La fauna también sufre sus efectos, produciendo una importante fragmentación de los hábitats, dificultando el libre desplazamiento de muchos animales. También tienen afecciones negativas el suelo, los acuíferos y la atmósfera (emisiones de CO<sub>2</sub>). Por ello, se debe evitar en todo lo posible el inicio de incendios y limitar o disminuir su propagación una vez declarados. Es fundamental no dejar residuos amontonados en medio del bosque porque pueden propagar fácilmente cualquier incendio. Es importante también mantener libres de residuos y biomasa los caminos y pistas forestales, así como las fajas cortafuegos. También es aconsejable ubicar los cargaderos en zonas limpias de vegetación y residuos, evitar la descarga de combustible de las máquinas, disponer de extintores en perfecto estado de funcionamiento y extremar las precauciones de todo el personal.

## ***IMPACTOS MÁS ESPECÍFICOS: CONSIDERACIONES***

Sin embargo, a nivel específico de extracción de biomasa residual primaria del bosque, los impactos se resumen a continuación:

### El suelo

Para que la cosecha de un bosque se realice como parte de un manejo forestal sostenible, es necesario considerar como el elemento más importante al suelo. Se trata del componente más frágil y difícil de recuperar. Una erosión, incluso moderada, podría hacer que tardara siglos para que dicho sitio volviera a tener la productividad original. Por lo tanto, antes incluso que las especies

arbóreas, es fundamental proteger este recurso. Para ello resulta clave considerar al menos la pendiente, el tipo de suelo y el régimen de precipitaciones. Dependiendo de estas tres variables será posible utilizar sistemas de madereo más intensos e invasivos, como los tractores forestales articulados (skidders) u otros más respetuosos, como las torres de madereo.

Otra repercusión que tendrá la conjugación de estas tres variables, es el porcentaje máximo del volumen en pie que es recomendable extraer, considerando que los árboles que permanecen en el bosque (y sin daño), después de la cosecha, protegerán al suelo de forma significativa.

Adicionalmente, la erosión potencial debiera condicionar también el tamaño de la superficie a cosechar.

#### Las Especies que componen el Bosque

Una vez asegurada la conservación del suelo, se debe velar para que la composición de las diferentes especies arbóreas que crecerán después de la cosecha, sea la que tenemos como objetivo. Aquí se produce una gran diferencia entre los dos tipos de bosque que podemos aprovechar, los nativos y los plantados.

En el caso de “bosques nativos que potencialmente pueden cosecharse en forma sostenible”, con muchas especies diferentes, si bien es posible considerar una reducción en su número, favoreciendo a las más interesantes, habitualmente resulta deseable mantener cierta variabilidad mínima. Adicionalmente, existen especies que requieren alta luminosidad para su reproducción, mientras otras se ven favorecidas por la semi sombra. Por lo tanto, una cosecha que pueda ser considerada sostenible para estos bosques, requiere un apoyo silvicultural importante.

Respecto a las plantaciones, sus limitaciones son mucho menores, dado que no hay la necesidad de equilibrar a diferentes especies. Aquí sí puede resultar importante definir un tamaño máximo de la superficie a cosechar, tanto por motivos de protección del suelo, como de protección del agua, paisaje y otros.

#### Los Caminos

La inversión en la construcción de los caminos forestales y su mantención corresponden a montos muy elevados, en proporción al valor de la madera a extraer anualmente. Es por ello que la mayoría

de las empresas pequeñas y medianas en Latinoamérica no disponen de esta infraestructura en la magnitud deseable.

Una densa red de caminos, con bajas pendientes, amplios radios de giro, buenos terraplenes y suficientes alcantarillas, permite cosechas forestales con mínimas erosiones. Además, tiene costos de extracción menores, lo cual hace viable la cosecha sostenible de los bosques. Al no contar con el capital de largo plazo suficiente, la red de caminos tiende a ser menor en cantidad y en estándares, favoreciendo la erosión y la extracción de volúmenes de madera mayores a lo que puede entregar el bosque indefinidamente.

#### El retiro de biomasa del bosque.

Cuando se justifica y decide cosechar un bosque, vale decir extraer la madera de alto valor (madera para aserradero y para alguna otra planta), surge la necesidad de decidir si se agrega a esta faena principal, una actividad que puede ser simultánea o posterior, de retirar también el resto que queda de cada árbol volteado.

Como argumentos a favor de la extracción de este saldo, denominado habitualmente "biomasa", se encuentra la mayor rentabilidad que se puede obtener del terreno, como también la economía de escala que se alcanza cuando se abarcan ambas calidades de madera. Entre estas últimas, se reparten costos fijos tales como supervisión, traslado de equipos de carguío, amortización de caminos, entre otros. Es así que, en muchas ocasiones, la extracción de ambos tipos de producto sí resulta rentable, mientras que retirar solamente uno de ellos no sería viable.

Otro argumento a favor es que pueden existir proyectos industriales que nazcan bajo la modalidad de contar con dicha biomasa. Por lo tanto, la industria que demanda está dispuesta a financiar actividades de mejoramiento de los bosques, construcción de caminos y otros. Consecuentemente, si bien para el propietario, desde el punto de vista de cuál es su ingreso y su costo directo pudiera ser poco rentable extraer la biomasa, tiene la ventaja de mejorar el capital que queda después de la cosecha. Lo anterior como un bosque con las especies deseadas y los individuos con mejores características genéticas, como también una adecuada red caminera.



Adicionalmente juega a favor del retiro de biomasa la reducción del riesgo y del peligro de incendios forestales, como así también la utilización de una energía renovable, que pudiera sustituir a combustibles fósiles, en alguna caldera u otro equipo de combustión.

Como argumento en contra del retiro de la biomasa está que este producto al permanecer en el bosque ayuda, en el largo plazo, a mantener e incluso a incrementar la materia orgánica que se incorpora al suelo, mejorando así su fertilidad. Adicionalmente, los minerales contenidos en la biomasa, si bien como porcentaje del total son bajos, provocan un retiro de estos elementos. Cabe señalar que, a diferencia del sector agrícola, no es habitual la fertilización de bosques, para restituir estas bajas de minerales.

Frente a la oposición al retiro de la madera de baja calidad (biomasa), se han ideado algunas medidas que tienden a compensar parcialmente esta desventaja. En Suecia p.ej., se recomienda dejar un 20% de este volumen en el bosque, como también reciclar las cenizas de las calderas, llevándolas de vuelta a los predios forestales.

#### Manejo forestal y valor escénico

En relación a los bosques nativos que potencialmente pueden cosecharse en forma sostenible, existen experiencias en los cuales el manejo forestal, que contempla la extracción de aproximadamente 1/3 del total de volumen en pie, tiene como consecuencia un nuevo bosque más vigoroso. Lo importante es que se haga con criterios técnicos, dejando árboles de alta calidad para la posterior regeneración. En determinadas circunstancias, los bosques nativos intervenidos en forma sustentable, constituyen paisajes de mayor preferencia visual para el público, que los bosques naturales o sin intervenir.

## REFLEXIONES FINALES

Algunas consideraciones a modo de reflexión a tener en cuenta para una gestión racional y sostenible de los bosques y fincas energéticas de República Dominicana son las siguientes:

- A. El aprovechamiento de la biomasa debe tener en cuenta el carácter multifuncional de los bosques y, especialmente, los servicios ambientales y ecosistémicos que aportan las formaciones forestales.
- B. La extracción de biomasa de los bosques y fincas energéticas debe ser una oportunidad integradora que permita crear empleo y riqueza, diversificando la actividad productiva de las zonas rurales, pero que debe evitar en todo momento efectos indeseados.
- C. Hay que hacer compatible el aprovechamiento del recurso biomasa con otros usos alternativos, especialmente la madera para aserrío y sus derivados.
- D. Mejorar el conocimiento y la técnica.
- E. Promover sistemas plurianuales de aprovechamiento de la biomasa forestal que permitan una adecuada planificación a las empresas forestales y a los potenciales consumidores de biomasa.
- F. Potenciar el uso de la biomasa para aplicaciones térmicas.
- G. Desarrollar sistemas de aprovechamiento de la biomasa forestal basados en la generación distribuida y en la obtención de bioproductos de alto valor añadido como el biochar. Aquí juegan un importante papel tecnologías de conversión termoquímica como la pirólisis y la gasificación, bajo sus diferentes modalidades.
- H. La extracción de biomasa puede no ser competitiva en términos económicos por sí sola, pero puede reforzar y complementar una gestión del bosque conjunta e integral.
- I. La biomasa como medio de mitigación del cambio climático y de cumplimiento de varios de los objetivos de desarrollo sostenible, ODS de la ONU.

## LISTADO DE SIGLAS

BDMT, Bone Dry Metric Ton

BFP, Biomasa Forestal Primaria

CNE, Comisión Nacional de la Energía

CSP, Solar Termoeléctrica de Concentración

CV, Caballo de Vapor (Horse Power en inglés)

EDAR, Estación Depuradora de Aguas Residuales

FAO, Organización de las Naciones Unidas de la Alimentación y la Agricultura

FSC, Forest Stewardship Council

GFS, Gestión Forestal Sostenible

H, Humedad

ISO, International Standard Organisation

Kg/h, kilogramo a la hora

kW, kilo Watt

MW, Mega Watt

kWh, kilo Watt hora

MARN, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales

MEM, Ministerio de Energía y Minas

MWh, Mega Watt hora

PCI, Poder Calorífico Inferior



PCN, Poder Calorífico Neto

PCS; Poder Calorífico Superior

PEFC, Programme for the Endorsement of Forest Certification

PTAR, Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

RSU, Residuos Sólidos Urbanos

SRWC, Short Rotation Woody Crops

USD, Dólar estadounidense

t/h, Tonelada por hora

UWET, Terminología Unificada sobre Dendroenergía

VCC, Volumen con corteza

## **Bibliografía**

- AVEBIOM. (s.f.). *Manual de combustibles de madera: producción, requisitos de calidad, comercialización*.
- Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. (2012). *Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad*. ITAGRA.CT.
- CNE y Proyectos y Estructuras AJ. (2017). *Estudio de la producción actual y potencial de biomasa en República Dominicana y su plan de aprovechamiento para la generación de energía*.
- Comisión Nacional de Energía. (s.f.). *Ley 57-07 sobre incentivo al desarrollo de fuentes renovables de energía y sus regímenes especiales. Reglamento Decreto 202-2008*. Santo Domingo: CNE.
- Gobierno de Navarra. (s.f.). *La biomasa forestal en Navarra. III Plan Energético de Navarra horizonte 2020*.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Gobierno de España. (s.f.). *Biomasa: maquinaria agrícola y forestal*. España: I.D.A.E.
- IRENA. (2019). *Solid biomass supply for heat and power. Technology brief*. International Renewable Energy Agency.
- Junta de Andalucía. (2012). *Manual de aprovechamientos forestales*. Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente.
- La Cal Herrera, J. A. (Dirección). (s.f.). [Película].
- Ley general sobre medio ambiente y recursos naturales 64-00*. (2000). Santo Domingo: Gobierno de la República Dominicana.
- Lozano Terrazas, J. L. (2016). *Gestión de los aprovechamientos del medio forestal*.
- Ministerio de Industria, Comercio y Turismo dGobierno de España y ASEMFO, Asociación Nacional de Empresas Forestales. (s.f.). *Guía para el uso y aprovechamiento de la biomasa en el sector forestal*. España.
- Nader, G. A. (Dirección). (s.f.). [Película].
- ONUFI. (2016). *BioElectricidad Industrial*. Obtenido de [www.bioelectricidad.org/](http://www.bioelectricidad.org/)

Tolosana, E., Ambrosio, Y., Laina, R., & Martínez Ferrari, R. (2008). *Guía de la maquinaria para el aprovechamiento y elaboración de biomasa forestal*. Universidad Politécnica de Madrid.

Velázquez Martí, B. (2019). *Aprovechamiento de la biomasa para uso energético*. España: Editorial Reverte.

Weil, E. (2020). *Manual de Modelo de Plantaciones Dendroenergéticas*. Santiago de Chile.

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Valores comparables para un predio, sobre la base de una diferencia del 50% en el precio en destino de madera (USD/ton verde al 45%). (Weil, 2020).....	25
Tabla 2: Ejemplo de aprovechamiento maderero. (La Cal Herrera J. A.).....	50

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Procesamiento de biomasa forestal. (CNE y Proyectos y Estructuras AJ, 2017) .....	6
Figura 2: Esquemas de producción de biomasa forestal y flujo monte-industria. Hakkila, 2004.....	9
Figura 3: Logotipo del proyecto BioElectricidad Industrial. (ONUJI, 2016).....	11
Figura 4: Alternativas de valorización de la biomasa. (La Cal Herrera J. A.) .....	17
Figura 5: Poda de olivo: PCI vs Humedad (%). (La Cal Herrera J. A.).....	32
Figura 6: Secuencia típica de un aprovechamiento forestal. (La Cal Herrera J. A.).....	50

## LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Biomasa primaria de origen forestal. (La Cal Herrera J. A.) .....	7
Fotografía 2: Astillado y carga de residuos forestales en campo (La Cal Herrera J. A.).....	9
Fotografía 3: Biomasa residual de origen agrícola (restos de podas). (La Cal Herrera J. A.).....	14
Fotografía 4: Finca energética de República Dominicana (Acacia mangium). (La Cal Herrera J. A.) .....	15
Fotografía 5: Residuos forestales en bosque. (La Cal Herrera J. A.).....	19
Fotografía 6: Finca energética de Acacia. (Nader) .....	24
Fotografía 7: Pellets de madera de pino. (La Cal Herrera J. A.) .....	28
Fotografía 8: Procesador forestal. (La Cal Herrera J. A.).....	52
Fotografía 9: Empacadora forestal. (La Cal Herrera J. A.).....	56
Fotografía 10: Chipeado de astilla en finca energética. (La Cal Herrera J. A.) .....	57
Fotografía 11: Plataforma de chipeado en finca energética. (Reyes Quiñones, J. 2020) .....	57
Fotografía 12: Aprovechamiento de biomasa en bosque. (La Cal Herrera J. A.).....	58
Fotografía 13: Feller buncher. (La Cal Herrera J. A.).....	59

Fotografía 14: Skidder forestal. (La Cal Herrera J. A.).....	59
Fotografía 15: Autocargador. (La Cal Herrera J. A.) .....	60
Fotografía 16: Astilladora forestal. (La Cal Herrera J. A.) .....	61
Fotografía 17: Tractor autocargador. (La Cal Herrera J. A.) .....	62
Fotografía 18: Tractor forestal de arrastre. GUIFOR .....	63
Fotografía 19: Astilla forestal. (La Cal Herrera J. A.) .....	64
Fotografía 20: Astilladora sobre chasis de ruedas y remolcada. Morbark.....	67
Fotografía 21: Astilladora móvil arrastrada. (La Cal Herrera J. A.) .....	67
Fotografía 22: Astilladora autoalimentada sobre autocargador. (La Cal Herrera J. A.).....	68
Fotografía 23: Astilladora sobre chasis de ruedas y remolcada. (La Cal Herrera J. A.).....	69
Fotografía 24: Astilladora acoplada a tractor. (La Cal Herrera J. A.) .....	69
Fotografía 25: Empacadora forestal (La Cal Herrera J. A.).....	76

## ENLACES WEB

<https://ambiente.gob.do/>

[https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/energia/cultivos\\_energeticos.asp](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/cultivos_energeticos.asp)

<http://www.asemfo.org/>

<https://www.bioelectricidad.org/>

<https://bioenergyeurope.org/>

<http://www.cesefor.com/>

<https://www.cne.gob.do/>

<http://diccionario.raing.es/>

<https://enplus-pellets.eu/es/>

<https://es.fsc.org/es-es/certificacin/tipos-de-certificados-fsc/certificacin-de-la-gestin-forestal>

<http://www.guifor.com/es/inicio>

<https://www.idae.es/>

<https://www.irena.org/>

<http://www.fao.org/home/en/>

<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/portalweb/>

<http://ods.gob.do/Home/Inicio>

[https://www.do.undp.org/content/dominican\\_republic/es/home/sustainable-development-goals.html](https://www.do.undp.org/content/dominican_republic/es/home/sustainable-development-goals.html)

<https://www.pefc.es/pefc.html>





## AGRADECIMIENTOS

Juan Reyes Quiñones, Presidente de Viveros Agroforestales Loma Grande.

George A. Naidier, Presidente de la Cámara Forestal Dominicana

