

# **Biocombustibles Densificados: Análisis de su Posible Producción en una Empresa Maderera en Colombia**

**Almonacid Sánchez, Andrés Fernando.**

**Abstract:** En este artículo se presentan los resultados de un estudio hecho para la ejecución de un proyecto de biocombustibles sólidos en Colombia. Se centra en buscar una solución, dentro del marco de las energías renovables, a una problemática ambiental generada por el almacenamiento de residuos sólidos al aire libre. Usando dichos residuos se plantea la fabricación de biocombustibles sólidos como un proyecto piloto de desarrollo y a su vez se hace un pre-estudio de su posible comercialización en el mercado energético colombiano.

**Palabras Clave:** Biomasa, biocombustibles sólidos, Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), pre-tratamientos, pelets y briquetas.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de manera incontrolada a la atmósfera es la causa fundamental y científicamente comprobada del calentamiento global. Éste fenómeno acelerado presente en nuestro planeta durante los últimos cien años y las consecuencias catastróficas que ello conlleva fueron el motivo principal para que la Conferencia de las Partes haya aprobado el protocolo de Kyoto en el año 1997. Los países altamente desarrollados e industrializados son los principales actores con la mayor responsabilidad del deterioro del planeta en dicho aspecto. Por eso mismo, el protocolo de Kyoto propone metas claras en reducción de dichas emisiones para los países desarrollados con el fin de mitigar y disminuir los efectos generados por el calentamiento global.

El protocolo de Kyoto define el Mecanismo para un Desarrollo Limpio (MDL), como una herramienta de ayuda de los países industrializados hacia los de menor nivel de industrialización [9]. A través de él se busca promover en los países pobres a basar su desarrollo industrial con prácticas de bajo impacto ambiental y a su vez contribuir al objetivo último de la Convención. Los países llamados a cooperar por medio de este mecanismo son los enunciados en el Anexo I del protocolo de Kyoto. Su cooperación esta basada en el desarrollo y financiamiento de proyectos en países en vía de desarrollo que tengan como resultado reducciones certificadas de las emisiones. Los países cooperantes pueden contabilizar dichos certificados para contribuir al cumplimiento de los compromisos adquiridos al momento de ratificar el Protocolo.

El hecho de que Colombia haya ratificado el protocolo de Kyoto mediante la ley 629 de 2.000, pone al país en una situación privilegiada para ser

benefactor del MDL. Tanto el sector público como el privado pueden participar en el desarrollo y planeación de proyectos que capturen o reduzcan las emisiones de GEI. Cada uno de los sectores de acuerdo a su actividad específica puede identificar oportunidades de aplicación de MDL mediante mejoras en: uso de energías renovables, transporte, generación, uso y distribución de energía, cambio a combustibles alternativos, disposición y manejo de residuos sólidos y diferentes actividades forestales.

En este estudio se ejemplifica la oportunidad, de una empresa del sector maderero colombiano, de aprovechar una problemática ambiental propia como oportunidad de explotación que abarca casi en su totalidad las mejoras descritas anteriormente.

Este trabajo se desarrolla para un caso específico, no tratado anteriormente, de un aserradero en Colombia, que como producto de su actividad comercial éste ha ido acumulando y almacenando grandes cantidades de residuos (corteza, aserrines, polvillo, viruta etc.) al aire libre. Dicha situación se ha convertido hoy en un problema de tipo ambiental y el objetivo fundamental es darle una solución enmarcada dentro de las posibilidades de explotación del MDL.

El método usado en este proyecto esta compuesto de diferentes pasos: el primero es el conocimiento del problema y las bondades de los biocombustibles sólidos, tercero caracterización de los residuos almacenados. Se plantean diferentes tipos de solución de aprovechamiento energético se determina cuales son los requerimientos técnicos, económicos y ambientales. Por ultimo comparación de las alternativas, selección y factibilidad.

En el trabajo reportado aquí se plantea la posible construcción de una planta densificadora que tome como materia prima los residuos madereros almacenados y los convierta en biocombustibles sólidos (pelets o briquetas) para ser posiblemente explotados dentro del mercado energético colombiano.

## **2. METODO DE DESARROLLO**

Aunque el proyecto está basado en información específica suministrada por una empresa maderera en particular, la metodología que se presenta debe permitirle al lector reproducirla y aplicarla para problemáticas de similar condición.

### **2.1 Situación Actual**

El origen de los residuos madereros debe ser identificado dentro del proceso productivo normal

de un aserradero. Éste comienza con selección por su diámetro de tronco, su posterior corta y transporte a la plataforma de carga. Allí por medio de maquinaria especializada se le extrae al tronco la corteza generando de entrada el principal y mas abundante de los residuos. Pasa posteriormente a una serie de cortes que buscan darle la geometría básica dentro del proceso de producción generando residuos de diferentes tamaños y características. Posteriormente pasa la materia prima a un proceso de secado y una vez ésta se encuentra en condiciones óptimas pasa a una etapa de remanufacturado donde los cortes y desbastes son más precisos. En la Fig.1 puede apreciarse un esquema del proceso maderero.

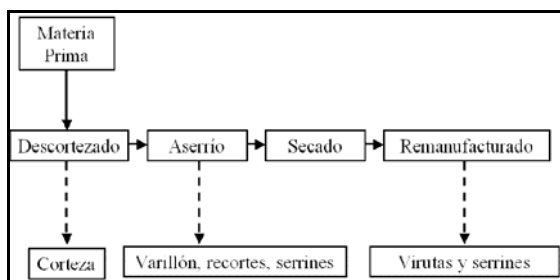


Figura 1. Esquema del proceso maderero.

Normalmente un aserradero produce entre 0,05 y 0,15 toneladas de residuos sólidos por tonelada de madera producida y transformada [2].

Los impactos ambientales negativos generados por el almacenamiento de residuos más importantes son:

- Emisión de partículas, perjudicial para las vías respiratorias de personas y animales.
- Formación de lixiviados, pueden contaminar el suelo y diferentes cuerpos de agua.
- Emisiones gaseosas o de foto-oxidantes, pueden generar daños en plantaciones o bosques vecinos [10].

## 2.2 Posibles Alternativas de Solución.

Dada la característica de los residuos madereros y del problema planteado ubican a la solución dentro de la biomasa residual seca. El origen de esa biomasa es la materia orgánica que se ha formado o se ha conseguido gracias a la transformación de la energía luminosa del sol, en energía química mediante la síntesis de materia durante un tiempo corto, capturando CO<sub>2</sub> de la atmósfera. Ese proceso descrito de manera general se conoce como fotosíntesis. Los procesos conocidos hoy para la explotación energética de ese tipo de recursos liberan el carbono (C) que ha sido acumulado en dicha materia durante el tiempo de formación de la misma, durante el crecimiento y desarrollo de la vegetación. El equilibrio ambiental queda garantizado cuando se asegura que existe un

crecimiento de nuevas plantas que capturan en igual proporción de nuevo el carbono liberado.

### 2.2.1 Soluciones energéticas

En la Fig. 2 se presenta un esquema de las posibles soluciones que se le pueden dar a los residuos generados en un aserradero por tecnología de explotación energética.

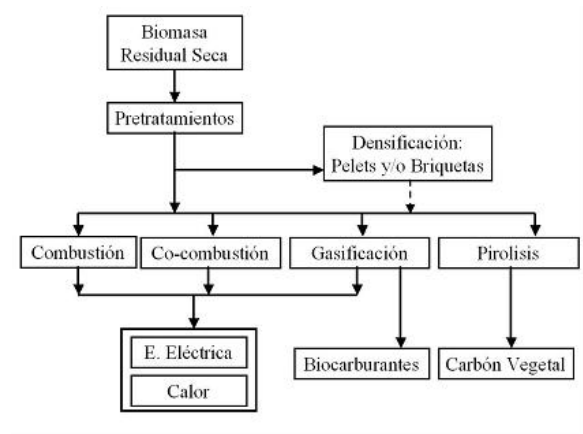


Figura 2. Posibles soluciones de aprovechamiento energético.

Para cualquier tipo de explotación energética de la biomasa residual seca se requiere que ésta tenga cierta preparación y homogenización. Esto se logra por medio de pretratamientos y su objetivo es permitir que los procesos de explotación sean más estables y eficientes. Los pretratamientos principales son la reducción de: tamaño de partícula y del contenido de humedad

La biomasa residual seca puede ser aprovechada básicamente después de haber sido acondicionada en procesos de combustión, co-combustión, gasificación y de pirolisis. Todo está sujeto a la tecnología especializada que se tenga a disposición. La densificación de la biomasa residual seca se presenta como una posible solución ya que con ella se esta generando un nuevo producto energético adecuado para ser utilizado en cualquiera de las aplicaciones mostradas en la Fig. 2.

### 2.3 Densificar: Pelets o Briquetas

La densificación de la biomasa residual seca, permite alcanzar beneficios o mejoras en el transporte, la manipulación, la homogenización, y el almacenamiento de la misma.

Una de las dificultades para el impulso de las energías renovables es la imposibilidad de que éstas sean acumulables. El acopio de la biomasa densificada, permite almacenar considerables cantidades de energía reduciendo la necesidad de

espacio, y posibilitando fácilmente que se mantenga siempre seca.

La densificación puede además generar beneficios económicos al aumento de la densidad alcanzado, la reducción de los costos de transporte es evidente. Se ha reducido el volumen y en el contenedor del transportador aumenta la posibilidad de llevar mayor cantidad de biomasa en un solo recorrido. El precio pactado con el transportista estará basado en la capacidad volumétrica del vehículo y en el número de kilómetros recorridos durante el trayecto.

La densificación ha suscitado durante los últimos años un interés creciente en los países en vías de desarrollo como una técnica para el aprovechamiento tanto de residuos como de una “nueva” fuente de energía. Actualmente en estos países se comercializan más en forma de briquetas pretendiendo sustituir a la madera como combustible [10].

El proceso de compactación consta de cinco etapas básicas: secado, molienda, densificado o compactado, enfriado y almacenado. La Fig. 3 muestra de manera esquemática dicho proceso.

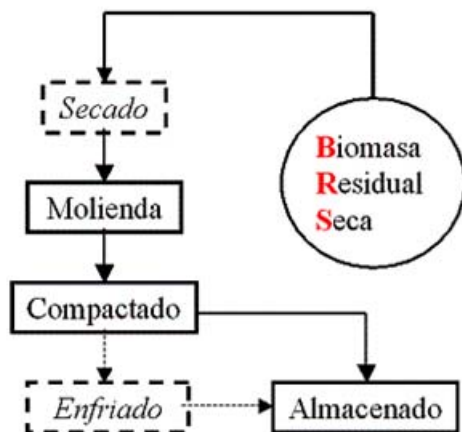


Figura 3. Esquema del proceso de compactación de la biomasa residual seca.

El primer proceso, el secado, es el más importante ya que como requerimiento para la fabricación de cualquiera de los dos biocombustibles es necesario definir el contenido de humedad de los residuos madereros por ser procesados: 10-12% en base húmeda [5]. Durante el proceso de compactación la materia prima experimenta alta presión y elevadas temperaturas que pueden reducir su contenido de humedad finalmente dos puntos porcentuales por debajo de su condición de entrada, es decir entre 8-10% también en base húmeda. La energía necesaria en forma de calor se determina y se ajusta de acuerdo a ese parámetro: antes y después, siendo éste fundamental durante todo el proceso de compactación.

El siguiente paso es la molienda que busca homogenizar el tamaño de partícula antes de ingresar a la compactación y a los demás procesos de conformación.

Existen para este problema dos grupos de materia prima por ser procesada: la producción diaria de residuos y los residuos madereros almacenados, que por su condición de origen y de producción en el tiempo presentan características diferentes.

### 2.3.1 Pelets

Son cilindros de biomasa comprimida cuyo diámetro máximo es de 25 mm y poseen una longitud que puede variar entre 1-7 cm. Algunos fabricantes utilizan aditivos con el fin de mejorar el proceso y para que exista una mayor cohesión entre las partículas que conforman los pelets [1]. Las desventajas de esto radican en el aumento en los costos de producción y que químicamente se pueden estar adicionando elementos que podrían alterar negativamente la composición de los gases emitidos durante su posterior aprovechamiento energético.

En la Tabla 1 [4] se hace una comparación entre la gasolina (combustible fósil) y la madera en diferentes estados (sólida, aserrín y pelets).

Tabla 1. Comparación energética combustible fósil vs. Biomasa

Combustible	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	PCI [MJ/Kg]	$\rho \cdot \text{PCI}$ [MJ/m <sup>3</sup> ]	Fracción
Gasolina	680	48,00	32.640	1,00
Madera sólida	300	17,50	5.250	6,22
Aserrín	100	17,50	1.750	18,65
<b>Pelets</b>	<b>600</b>	<b>17,50</b>	<b>10.500</b>	<b>3,11</b>

### 2.3.2 Briquetas

La geometría de la sección de las briquetas varía según la maquinaria empleada, suelen ser macizas de base circular,  $\frac{1}{4}$  de círculo, cuadrada, hexagonal, rectangular y octogonal. El diámetro suele estar entre los 7,5-9,0 cm y la longitud entre los 50 y los 80 cm. [1]. Una condición que se les impone es que la longitud de la briqueta no puede exceder cinco veces su propio diámetro.

Un punto a favor de la fabricación de briquetas está en que el proceso no es tan exigente con el tamaño de partícula lo cual disminuye los costos de producción si se compara con la fabricación de pelets.

## 2.4 Determinar Capacidad y Costo de Producción

La capacidad de producción de biocombustibles sólidos está dada principalmente por el ritmo de generación de residuos madereros durante el proceso productivo. Es clave determinar el contenido de

humedad requerido para su densificación. En este caso es 12% en base húmeda. Una vez se conocen las condiciones iniciales de la materia prima (para cualquiera de los dos grupos: producción normal y almacenados) puede estimarse cuales son las necesidades energéticas en la primera parte del proceso: el secado, para llegar a ese indicador de contenido de humedad establecido. Si se utiliza un secadero tipo tambor rotatorio se estima que por cada Kilogramo de agua evaporada se requieren 3.100 KJ de energía térmica [6]. El flujo de materia prima parcialmente seca será lo que determine la producción nominal de la planta. En el mercado, la maquinaria para la densificación de los residuos y la molienda, viene diseñada con una capacidad determinada y es imposible encontrar maquinaria que se ajuste directamente a las necesidades planteadas dentro del estudio de cualquier proyecto. Se debe tener en cuenta diferentes alternativas que permitan estimar el tiempo en el cual se agotan los residuos almacenados generadores de los problemas ambientales.

Para determinar el costo mínimo de producción por tonelada se debe contemplar: la vida útil de los equipos, su costo de inversión, su mantenimiento, el costo por el consumo energético, mano de obra y operación, el costo mismo de la materia prima, entre otros.

## 2.5 Comercialización del Nuevo Producto.

Antes de plantearse la instalación de una planta de combustibles densificados debe estudiarse si su posible mercado está lo suficientemente cerca para que se justifiquen los costos de producción junto con los de transporte. Se recomienda que el radio de acción y distribución de una planta como éstas no exceda los 70 Km [3]. Por lo tanto debe generarse un estudio de mercado que permita conocer periféricamente que empresas estarían interesadas en incorporar el biocombustible dentro su ciclo de aprovechamiento energético, preferiblemente en la generación de calor.

## 3. Análisis de los Resultados Obtenidos

Ante la problemática ambiental presente en el aserradero, el proyecto plantea una solución implícita (no hacer nada con los residuos) y dos soluciones claras y explícitas: fabricar pelets o briquetas. Técnicamente las dos últimas son posibles pero para la primera opción deben evaluarse los costos generados por mantener el problema ambiental.

### 3.1 Situación actual

Se hizo un levantamiento de información para caracterizar las dos fuentes de materia prima y es mostrada en la Tabla 2. Se listan los residuos generados y las zonas marcadas en azul son del primer grupo (residuos diarios) y los marcados en

amarillo son los residuos almacenados. Se cuantifica cuales serían sus respectivas cantidades de agua contenidas a la entrada (1) y a la salida (2) del secadero teniendo como objetivo un 12% de humedad, la energía térmica requerida para ello y la energía disponible en el segundo grupo en caso de pensar aprovecharla como combustible en el secado.

Tabla 2. Situación Actual de los Residuos por Grupos

Residuo	P1	P2	E Req	A1	A2	E Req.	E Disp.
	[Kg/h]	[Kg/h]	[KJ/h]	[Kg.]	[Kg]	[MJ]	[MJ]
Corteza	450	409,09	1.268.182	495.000	450.000	1.395.000	5.775.000
Aserrín	17	7,73	23.955	35.712	32.465	100.643	446.400
Viruta	125	107,95	334.659	52.704	47.913	148.529	658.800
Retal	150	129,55	401.591	184.500	167.727	519.955	2.521.500
<b>Total</b>	<b>742,00</b>	<b>654,32</b>	<b>2.028.386</b>	<b>767.916</b>	<b>698.105</b>	<b>2.164.127</b>	<b>9.401.700</b>

## 3.2 Capacidad y Costo de Producción

### 3.2.1 Capacidad de Producción

De acuerdo a la capacidad nominal de la maquinaria existente en el mercado para la densificación de los residuos maderos se plantea en el proyecto tres ritmos de producción: 1200 Kg/h, 800 Kg/h y 650 Kg/h. Con las condiciones iniciales y para cada una de las propuestas se estima la cantidad de energía requerida por unidad de tiempo y el tiempo mismo en el cual se consumen las existencias de materia prima almacenada. La Tabla 3 presenta los resultados.

Tabla 3. Tres Opciones de Capacidad de Producción

	1200 Kg/h	800 Kg/h	650 Kg/h
E requerida. [MJ/h]	3.375	2.300	1.728
Tiempo [Semanas]	25.8	49.0	46.6

La opción que mejor se ajusta al problema es la resaltada en amarillo. Allí se plantea excluir el residuo de corteza del primer grupo como materia prima y se justifica de la siguiente manera:

- La cantidad de corteza generada como residuo bastaría para aportar la energía necesaria, por medio de su combustión, para el secado parcial de los residuos generados y la materia prima almacenada en el secadero (eficiencia del 80%). Para tal fin son requeridos 56.172 MJ/semana y la corteza está en capacidad de brindar aproximadamente 3,6 veces esa cantidad (201.600 MJ/semana).
- Dado que se requieren aproximadamente 573 Kg/h de materia prima para completar la capacidad nominal de la planta, se lograría dar disposición a la materia prima

almacenada en un tiempo aproximado de 47 semanas.

### 3.2.2 Costos de Producción.

Para las dos alternativas de densificación se estimaron los costos de producción para un total de 1.622 toneladas producidas por año. La producción de pelets muestra un mayor costo debido a que se requiere un equipo adicional (pulverizador) con el fin de obtener un tamaño de partícula mas fino comparado con en el proceso de briquetas. En el primer proceso la molienda antecede al secado, como puede apreciarse en la Tabla 4.

Tabla 4. Situación Actual de los Residuos por Grupos

Biocombustible	Pelets		Briquetas	
	Unidad	€año	€(t*año)	€/año
Molienda	5.620	3	N/A	N/A
Secado	25.528	16	25.528	16
Pulver/Molienda	14.316	9	5.620	3
Densificadora	17.528	11	14.840	9
Enfriadora	5.959	4	5.959	4
<b>Total</b>	<b>68.951</b>	<b>43</b>	<b>51.947</b>	<b>36</b>

La fabricación de briquetas presenta la mejor opción si de acuerdo a costos de producción se tuviese que tomar la decisión.

### 3.3 Desarrollo de Mercados para Biocombustibles en Colombia

Los países que han desarrollado mercados para los biocombustibles sólidos han centrado su oferta en cubrir las necesidades de calor en las temporadas de invierno. Colombia por su posición geográfica carece de las estaciones y por lo tanto no puede explotar esa posibilidad para el desarrollo de mercado.

La industria debe ser el escenario adecuado para el impulso de los biocombustibles ya que en el país un poco mas del 34% del consumo de energía primaria es de carbón. El proceso debe hacerse gradualmente y puede plantearse iniciar con procesos de Co-Combustión en diferentes industrias sin perder eficiencia energética y con mejoras en las emisiones [7]. Los costos de adaptación para las calderas cuando operan en Co-combustión son inferiores al 50% del coste de una central nueva de biomasa como único combustible [8].

Las empresas más numerosas, del sector industrial colombiano, cuyo combustible principal es el carbón, son las cementeras y las ladrilleras. Otro sector importante para ser sometido a un estudio mas detallado es el de generación termoeléctrica.

Para hacer un estudio de mercado sería muy importante conocer:

- Un censo de las empresas ubicadas por el sector cercano al punto de producción

dentro de un radio determinado por los costos en el transporte.

- El tipo de tecnología utilizado para el abastecimiento energético de las posibles empresas candidatas con el fin de determinar tanto si los pelets o las briquetas son el combustible idóneo para el proceso como las adaptaciones necesarias en los equipos.
- Brindar un producto que mantenga su calidad energética y características constantes con el fin de dar fiabilidad a las empresas cliente.

Abrir la posibilidad de utilizar los biocombustibles sólidos en Colombia debería hacerse por medio de la participación de industrias que estén interesadas en los beneficios otorgados por el MDL.

### 4. Conclusiones

En el trabajo reportado en este artículo se encontró que Colombia por ser un país que ha ratificado el protocolo de Kyoto y debido a su situación de país en vía de desarrollo, debe tomar acciones inmediatas que le permitan convertirse en escenario para el desarrollo de proyectos apoyados por Mecanismo de Desarrollo Limpio consignado en el mismo protocolo.

Como complemento a este proyecto debe precisarse cuáles son los gastos generados por la situación ambiental actual ya que dependiendo de ellos se podría fortalecer la ejecución del proyecto o si definitivamente no hacer nada al respecto puede ser una alternativa viable que no genere problemas legales.

La ejecución de un estudio de mercado más profundo al presentado en este proyecto ayudará a tomar la decisión de cuál de los dos productos, briquetas o pelets sería factible introducirlo en el mercado energético colombiano. El siguiente paso es hacer un estudio in situ, mas detallado y completo para ampliar las expectativas de desarrollo del proyecto. A primera vista puede decirse que el estudio debe centrarse en la utilización de los biocombustibles sólidos generados como sustitutos parciales de carbón en empresas del sector energético colombiano o de materias primas para la construcción.

El desarrollo y final ejecución de un proyecto como el presentado en este estudio podría ser el primer impulso para otros proyectos que puedan desarrollarse mas adelante. Debe justificarse que el uso de biocombustibles sólidos no sea exclusivo para los países desarrollados y estos deben tomar importancia como alternativa conociendo las virtudes que tiene el país en cuanto a la velocidad para la producción de biomasa. La reforestación debe hacerse con especies propias de la región y debe garantizarse que ella sobrepase los niveles de explotación.

## 5. Agradecimientos

El autor quiere agradecer a la Fundación Carolina por apoyo durante el desarrollo de sus estudios (Master Europeo en Energías Renovables) en el Centro Politécnico Superior de la Universidad de Zaragoza durante los años 2003 y 2004. A Fernando Sebastián por su amable colaboración y por compartir sus conocimientos durante la realización de este proyecto.

## 6. Bibliografía

- [1] CAMPS, Manuel. MARCOS MARTIN, Francisco. HERNÁNDEZ ÁLVAREZ, Félix (2002). "Biocombustibles" Ediciones Mundi-prensa, Madrid. ISBN: 84-8476-017-0
- [2] COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE, (2000) "Guía para el control y prevención de la contaminación industrial" Santiago de Chile.  
<http://www.conama.cl/portal/1255/channel.html>
- [3] COTTON R.A, GIFFARD, A (2001). "Introducing wood pellet fuel to the UK". ETSU B/U1/00623/REP
- [4] LATIN AMERICA THEMATIC NETWORK ON BIOENERGY (2002). "Refined Bio-Fuels Pellets and Briquettes. Characteristics, uses and recent innovative production technologies". Published by: ETA, WIP and EUBIA
- [5] MARCOS MARTIN, Francisco (2000). "Biocombustibles sólidos de origen forestal" AEONOR, Madrid. ISBN: 84-8143-272-5
- [6] ROYO, J. SEBASTIÁN, F. CANALIS, P. RODRIGUEZ, N (2003). "The Torsional Chamber as an Alternative to the Technologies Usually Employed in Biomass Co-firing". CIRCE Foundation-Universidad de Zaragoza (Zaragoza-Spain)
- [7] ROYO, Javier (2004). "Co-Combustión". Fundación CIRCE Universidad de Zaragoza. Documentación de clase Master Europeo en Energías Renovables (Zaragoza-España)
- [8] SEBASTIÁN NOGUÉS, Fernando (2004). "Perspectiva global de la biomasa. Definiciones". Fundación CIRCE Universidad de Zaragoza. Documentación de clase Master Europeo en Energías Renovables (Zaragoza-España)
- [9] VALERO DELGADO, Alicia (2003). "Protocolo de Kioto". Fundación CIRCE Universidad de Zaragoza. Documentación de clase Master Europeo en Energías Renovables (Zaragoza-España)
- [10] VINTERBÄCK, Johan (2004). "Pellets 2002: the first world conference on pellets" Department of Forest Management and products, Swedish University of Agricultural Sciences (Uppsala-Sweden) Publicado por: Elseiver Ltda