



**TESIS DE GRADO  
EN INGENIERIA INDUSTRIAL**

**PELLETS DE MADERA: UNA FUENTE DE  
ENERGIA RENOVABLE**

Autor :

Juan Pablo Nojek Barbieri

41180

Director de Tesis :

Ing. Pedro del Campo

2009



## **AGRADECIMIENTOS**

Escribir las últimas líneas de este trabajo me hace sentir una combinación de fuertes sensaciones. Pero sin duda, por sobre cualquiera de ellas, tengo una enorme satisfacción de haber alcanzado esta etapa, tan importante, de mi carrera profesional.

No hay palabras que puedan describir mi profundo agradecimiento hacia quienes hicieron posible que este momento llegara. No sólo a quienes me han acompañado día tras día, sino también a quien ni tuvo el tiempo de saber lo mucho que me ayudaría, mi madre. Quiero agradecer la fuerza que me ha brindado mi padre y el orgullo que siento por su temple de apoyar sin restricciones a sus hijos. Agradecerle a María, que es quien hace que eso sea posible.

Tampoco puedo dejar de mencionar a mis hermanos, quienes me supieron pasar todas sus experiencias y hacer sentir el valor de la familia.

A mis amigos de siempre, que con su amistad y confianza me han sabido dar palabras de fuerza para seguir en esta tarea y no bajar los brazos.

No quiero dejar de agradecerle a quien hizo despertar mi interés por el tema, además de la ayuda que me supo brindar, el Lic. Darío Rodríguez.

Finalmente, por todo el tiempo y dedicación que me dio y porque supo orientarme cuando lo necesité, quiero agradecerle especialmente a mi tutor: el Ing. Pedro del Campo.



## RESUMEN

La intención de esta tesis es mostrar el uso que se le podría dar a los residuos generados por los aserraderos para la elaboración del pellet de madera. Además, demostrar los beneficios que tiene éste último frente a los combustibles tradicionales como así también los beneficios económicos que traería su uso.

Con lo expuesto en el párrafo anterior se intenta levantar el interés por parte de inversionistas que estén dispuestos a apostar por este nuevo combustible bioenergético. El futuro energético, sin duda, se basa en la generación de energía a partir de combustibles que no dañen, o que disminuyan el daño generado, al medio ambiente.

El capítulo 2 presenta al pellet con sus características físicas y muestra la importancia que tiene la biomasa como fuente de energía. Finalmente, se muestra la disponibilidad de biomasa, como para ser utilizada en este tipo de proyectos, en nuestro país.

Luego, se presenta el proceso industrial necesario para llegar a la obtención del pellet. En cuanto a la maquinaria, sería necesaria una inversión de 550 mil dólares como para poder comenzar con una producción de 1.200 toneladas por mes.

En el capítulo 4 se hace una comparación entre las diferentes fuentes de energía, es en este capítulo donde se pueden observar los atributos que tiene el pellet como combustible. Los beneficios se marcan al momento de tener en cuenta el volumen que cada uno de los combustibles analizados ocupan, sobretodo frente a los combustibles sólidos y gaseosos. Además, sus atributos de *combustible verde* se pueden observar cuando se comparan las emisiones generadas en la combustión por cada uno de los diferentes combustibles. Por último, en este capítulo, se calcula el costo que tiene la unidad de energía, el kwh, obtenida a partir de cada uno de los combustibles utilizados para la comparación. De donde se concluye que el pellet es, luego del gas natural, la forma más económica de obtener energía, tanto en el sector industrial como el residencial, con un valor de \$ 0,105 y \$ 0,122 por tonelada respectivamente.

En el capítulo que le sigue se analizan los diferentes mercados del pellet, dando una visión de los principales mercados del mundo como así también de la situación del mercado en América Latina. Finalmente se deja marcada la competitividad del pellet de madera a partir de sus fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que presenta.

En el capítulo 6 se presenta una aplicación práctica del uso de pellets en el sector agroindustrial argentino. A partir del análisis se puede concluir que se podrían generar ahorros muy importantes a partir de su utilización como combustible dentro de esta industria. Por lo general, para el secado de granos o semillas se utiliza el gas natural, gasoil o gas licuado de petróleo. Si se incorporara al pellet dentro de los combustibles utilizados, los beneficios económicos que se podrían obtener se verían de manera inmediata. Sobretodo para aquellas industrias que no se encuentran abastecidas por la red nacional de gas natural. Además, se hace también, una proyección a nivel nacional

de los ahorros que podría obtener la agroindustria con el uso de los pellets como combustible para secar los granos. Llegando a la conclusión de que los ahorros podrían alcanzar los 33 millones de pesos.

Finalmente, para concluir el trabajo, se realizó un análisis de sensibilidad en base a las principales variables que inciden sobre el costo de producción. De éste análisis se concluyó que el precio de la materia prima, en primer medida, y el costo logístico luego, son las variables que más repercuten sobre el costo de elaboración del combustible.

## SUMMARY

The intention of this thesis is to show how the waste generated by the sawmill could be used for the manufacture of wood pellets. Furthermore, demonstrate the benefits that this latter has, compared to traditional fuels as well as the economic benefits that its usage would bring.

As described in the preceding paragraph, the intention is to raise the interest of investors willing to bet on this new bioenergetic fuel. The energetic future, no doubt, is based on the generation of energy from fuels that do not harm, or diminish the harm created to, the environment.

In chapter 2 the physical characteristics of the pellet itself are shown, and also the importance of biomass as an energy source. Finally, it is shown the availability of biomass that could be used in such projects in our country.

Then, it is presented the industrial process that is required to obtain the pellet. As for the machinery, it would be required an investment of 550 thousand dollars to begin with a production of 1,200 tones per month.

In Chapter 4 a comparison is made between different energy sources, this chapter shows the attributes that the pellet has as a fuel. The benefits appear at the time of taking into account the volume that each of the fuels analyzed require, especially compared to solid and gaseous fuels. Furthermore, its attributes of green fuel can be observed when comparing the emissions generated in the combustion of each of the different fuels. Finally, in this chapter, it is estimated the unit of energy cost, the kwh, obtained from each of the fuels used for comparison. It concludes that the pellet is, after natural gas, the cheapest way of obtaining energy in both the residential and industrial scenario, with a value of \$ 0.105 and \$ 0.122 per tone respectively.

In the chapter that follows discusses the various pellet markets, giving a vision of the world's major markets as well as the market situation in Latin America. Finally, is shown the competitiveness of wood pellets from their strengths, weaknesses, opportunities and threats it presents.

In chapter 6 presents a practical application of the use of pellets in the Argentine agribusiness. It may be concluded from this analysis, that savings generated from its use as fuel could be very significant, within this industry. In general, for the drying of grain or seed it is used natural gas, diesel or liquefied petroleum gas. If the pellets could be incorporated within the used fuels, the economic benefits that could result would be immediate. Especially for those industries that are not being supplied by the national network of natural gas. Moreover, it is made a projection of national savings that could be obtained with the use of wood pellets as fuel for drying the grains. The conclusion is that savings could reach 33 million pesos.

Finally, to complete the work, it is made a sensitivity analysis based on the main

variables that affect the cost of production. From this analysis it was concluded that the price of raw material at first place, and then logistics costs, are the variables that have the greatest impact on the cost of preparing the fuel.

## INDICE

### AGRADECIMIENTOS

### RESUMEN

### SUMMARY

<b>INDICE .....</b>	<b>I</b>
<b>1. INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
1. OBJETIVO .....	1
2. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA .....	1
<b>2. MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>3</b>
1. ANTECEDENTES GENERALES .....	3
1.1 IMPORTANCIA DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA .....	3
2. ¿QUE ES UN PELLET DE MADERA? .....	4
2.1 CARACTERISTICAS / PROPIEDADES FISICAS DE LOS PELLETS .....	5
3. VENTAJAS EN EL USO DE PELLETS .....	8
3.1 PELLETS FRENTE A LA MADERA .....	8
3.2 PELLETS COMO COMBUSTIBLE .....	8
4. MATERIA PRIMA .....	9
4.1 LA INDUSTRIA FORESTAL EN ARGENTINA .....	9
4.1.1 Bosques nativos .....	10
4.1.2 Bosques cultivados .....	11
4.1.3 Producción forestal .....	12
4.2 RENDIMIENTOS FORESTALES .....	14
4.3 ESTIMACIÓN DE DESECHOS .....	16
<b>3. PROCESO DE PELLETIZADO .....</b>	<b>19</b>
1. PROCESO IDUSTRIAL .....	19
1.1 DIAGRAMA DE PROCESO DEL PELLETIZADO .....	19
2. TECNOLOGIA A UTILIZAR EN EL PROCESO DE PELLETIZADO .....	21
2.1 ALMACENAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA .....	21
2.2 SECADO .....	22
2.3 GRANULADO O MOLIENDA .....	23
2.4 PELLETIZADO .....	23
2.5 ENFRIAMIENTO .....	25
2.6 TAMIZADO Y CLASIFICACIÓN .....	26
2.7 ALMACENAMIENTO .....	27
2.8 ENVASADO .....	27
2.8.1 Bolsas .....	27
2.8.2 Pellets a granel .....	28
<b>4. FUENTES DE ENERGIA .....</b>	<b>29</b>
1. LA BIOMASA Y SUS PROCESOS DE TRANSFORMACION .....	29
1.1 COMBUSTIBLES UTILIZADOS PARA LA COMBUSTION .....	31
1.1.1 Combustibles Sólidos .....	31
1.1.2 Combustibles Líquidos .....	32
1.1.3 Combustibles Gaseosos .....	33
1.2 COMBUSTION DE LOS PELLETS .....	33
1.2.1 Poder calorífico .....	34
2. OTRA FUENTE DE ENERGIA .....	35
2.1 COBERTURA ELECTRICA EN EL TERRITORIO ARGENTINO .....	35
3. COMPARACION NUMERICA .....	36
3.1 PODER CALORIFICO .....	36
3.2 ENERGIA POR UNIDAD DE MASA O VOLUMEN .....	36
3.3 EMISIONES DE LA COMBUSTION .....	39

3.3.1 Contaminación debida al Carbono .....	39
3.3.2 Contaminación debida al Azufre .....	40
3.3.3 Contaminación debida al Nitrógeno .....	41
3.4 COSTO POR UNIDAD DE ENERGIA .....	42
3.4.1 Eficiencias energéticas .....	43
<b>5. ANALISIS DE MERCADO DE LOS PELLETS DE MADERA .....</b>	<b>45</b>
1. ASPECTOS CUALITATIVOS DEL MERCADO DEL PELLET .....	45
1.1 INTRODUCCION .....	45
1.2 CONSIDERACIONES INICIALES .....	46
2. MERCADO CONSUMIDOR DEL PELLET .....	46
2.1 ESTUFAS .....	47
2.2 SISTEMAS CENTRALIZADOS DE CALEFACCION .....	47
2.3 HORNOS INDUSTRIALES .....	48
2.4 GENERACION ELECTRICA .....	48
3. ¿COMO ES EL MERCADO EN EL MUNDO? .....	49
3.1 CONTEXTO EUROPEO .....	50
3.1.1 Mercados europeos .....	51
3.1.2 Tendencias del mercado europeo .....	52
3.2 CONTEXTO EN AMERICA LATINA: BRASIL, ARGENTINA Y CHILE .....	53
3.2.1 Mercados emergentes .....	53
3.2.2 Tendencias y precios .....	54
3.2.3 Mercado argentino .....	54
4. MERCADO PROVEEDOR Y DISTRIBUIDOR EN ARGENTINA .....	55
4.1 ORIGEN DE LA MATERIA PRIMA .....	55
4.2 DESTINO DEL PRODUCTO TERMINADO .....	56
5. COMPETIDORES .....	56
6. ANALISIS FODA .....	57
<b>6. UTILIZACION DE LOS PELLETS EN UN CASO PRACTICO .....</b>	<b>59</b>
1. CONSIDERACIONES INICIALES .....	59
1.1 MARCO CONTEXTUAL ARGENTINO .....	59
1.2 ESTIMACIONES Y CALCULOS .....	59
1.2.1 Proceso de secado de granos .....	59
1.2.2 Granos procesados y volumen .....	61
2. IMPACTO ECONOMICO EN LA SOCIEDAD .....	63
<b>7. ANALISIS DE SENSIBILIDAD .....</b>	<b>65</b>
1. VARIABLES A CONSIDERAR .....	65
1.1 COSTOS LOGISTICOS .....	65
1.2 PRECIO DE LA MATERIA PRIMA .....	66
1.3 INVERSIONES EN MAQUINARIA .....	66
1.4 TIPO DE CAMBIO .....	66
2. RESULTADOS OBTENIDOS .....	66
<b>8. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS .....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>73</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>91</b>

## 1. INTRODUCCION

### 1. OBJETIVO:

El objetivo de este estudio será analizar los beneficios obtenidos de la utilización de los residuos generados por la industria del aserrío para la generación de combustible, en forma de pellets de madera. Como así también, sus posibles usos y las ventajas energético ambientales frente a los combustibles tradicionales.

### 2. IDENTIFICACION DEL PROBLEMA:

La industria forestal argentina se ha venido desarrollando considerablemente durante las últimas décadas, teniendo un especial desarrollo las especies de rápido crecimiento. De la mano de este desarrollo viene la cantidad de residuos que se generan con las distintas actividades y los “problemas” que esto trae aparejado.

Frente a esta situación surgen los siguientes interrogantes que determinan el problema a desarrollar:

- ¿Son utilizados los desechos provenientes de los aserraderos? ¿Cómo y en qué magnitud?
- ¿Qué alternativas de uso existen en la actualidad para este tipo de desechos?
- ¿Es viable la utilización de los pellets para la generación de energía?

Estos interrogantes llevarán a desarrollar una nueva vía de usos para este tipo de desechos que permiten la obtención de energía a partir de la combustión de ellos. Un tipo de energía “limpia” que puede ser utilizada tanto en grandes, medianas o pequeñas escalas.

Una de las ventajas más significativas de la utilización de pellets de madera es que contribuye a la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero, en especial de CO<sub>2</sub>. Favoreciendo, esto, al pellet frente a combustibles tales como el petróleo, el carbón y la leña.

#### *Esbozo de la solución:*

Lo que se analizará en este estudio será el proceso productivo necesario para la obtención de pellets de madera, los cuales se utilizarán como combustible para la generación de energía. Siendo éstos un combustible de madera comprimida que permite obtener una energía “verde” a partir de un recurso natural renovable, la llamada *bioenergía*.

Por otro lado, se realizará una comparación entre los diferentes tipos de combustibles utilizados hoy en día y la nueva alternativa propuesta. Determinando los posibles beneficios obtenidos a partir de su uso, como así también los beneficios económicos de llevar adelante un caso práctico de mediana escala.



## **2. MARCO CONCEPTUAL**

### **1. ANTECEDENTES GENERALES**

#### **1.1 IMPORTANCIA DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGIA**

Los países de América Latina, Argentina en particular, poseen valiosos recursos forestales, que contribuyen al desarrollo y bienestar de la sociedad; desde el punto de vista ecológico como fuente de diversidad biológica, protección de cuencas hidrográficas, hábitat de vida silvestre y mitigación de factores de cambio climático. Desde el punto de vista socioeconómico, a través de la generación de ingresos generando empleo, proveyendo alimentación, combustible y medicinas a las comunidades rurales.

El uso de combustibles de madera en América Latina indica que éstos juegan un papel significativo en la satisfacción de la demanda energética, tanto del sector doméstico (cocción, calefacción, calentamiento de agua), como del sector de pequeñas y medianas industrias rurales. El crecimiento poblacional, particularmente el del sector de bajos ingresos, la creciente escasez y suba de los precios de los combustibles sustitutos, y el potencial que ofrece el uso de los combustibles de madera como alternativa para reducir el consumo de combustibles fósiles y la emisión de gases de efecto invernadero, potencian su relevancia.

A partir de la crisis del petróleo en los 70' se inició en el ámbito mundial un proceso de investigación y análisis sobre el uso de biomasa para fines energéticos. Encontrándose la oportunidad de implementar ésta para una gran variedad de usos: cocción de alimentos y calefacción doméstica, y para actividades productivas artesanales, industriales y de servicios.

Cuando los recursos biomásicos son manejados apropiadamente, son totalmente renovables y minimizan la emisión de gases que generan el efecto invernadero. Esto es así porque si bien hay emisiones de carbono, éstas se originan en la misma proporción en la que fueron absorbidas desde el aire previamente por las plantas. En cambio, cuando lo que se quema son combustibles fósiles, se retira del subsuelo lo ya fosilizado en forma de carbón o hidrocarburos proveniente de seres vivos hace millones de años, para ser liberado a la atmósfera.

Los combustibles vegetales han constituido históricamente una importante fuente de energía para la generación de electricidad. La utilización como combustible de los residuos derivados de la industria de la madera es el ejemplo típico más representativo del sector. Los motivos principales que han incentivado el uso de estos combustibles en la generación eléctrica son de índole histórica, dado que en el pasado la generación de electricidad utilizando la combinación de caldera, motor a vapor y generador eléctrico era la solución más corriente disponible en el mercado; puesto que en la mayoría de los casos había una gran cantidad de combustibles vegetales que estaban disponibles

localmente y que constituían una solución rentable (principalmente en las zonas rurales).

Con el correr del tiempo, la penetración de los combustibles derivados del petróleo fue ganando mayor mercado hasta que la crisis energética iniciada en los años 70, y que continuó en los 80, renovó el interés por los biocombustibles. Los combustibles biomásicos, si bien han sido progresivamente desplazados por combustibles fósiles, mantienen en la generación de electricidad nichos de mercado importantes, encontrándose diversos sostenedores en el sector público y privado. Entre sus beneficios puede mencionarse que:

- Cuando están disponibles en calidad y cantidad constituyen, en general, una solución energética competitiva con otras alternativas que pueden dar lugar a proyectos rentables.
- La utilización de combustibles vegetales para la generación de electricidad constituye una nueva oportunidad para diversificar los mercados de las materias primas y productos provenientes del sector agrícola y forestal.
- Los fuertes cambios que se están produciendo en el sector energético a raíz de los cambios políticos, legislativos e institucionales (descentralización y desregularización del sector eléctrico) abren nuevas oportunidades a fuentes de energía alternativas; los combustibles biomásicos están en condiciones de competir con las fuentes energéticas convencionales (fósiles, hidráulica, nuclear, carbón mineral, entre otros).
- Los combustibles biomásicos aptos para la generación de electricidad son muchos y muy diversos. Cada uno de ellos posee propiedades fisicoquímicas específicas que los caracterizan y requieren soluciones tecnológicas particulares para su utilización eficiente y confiable.

## 2. ¿QUE ES UN PELLET DE MADERA?

Los pellets son un combustible a base de madera comprimida de forma cilíndrica. Por lo general el pellet se fabrica usando subproductos o residuos producidos en los aserraderos. Siendo las materias primas más comunes: el chip, la viruta y el aserrín.

Se conforman a través de una alta presión aplicada sobre una matriz y la propia lignina<sup>1</sup> hace de aglomerante. Este proceso le da una mayor densidad y una apariencia brillante, como si estuviesen barnizados. En su elaboración no se utilizan pegamentos ni ninguna otra sustancia química. Aunque, en algunos casos, se puede agregar bajos porcentajes de almidones, por ejemplo de papa, trigo o maíz. Estos se usan para lograr un mejor aglutinamiento y, por ende, mayor dureza en el producto final.

---

<sup>1</sup> La lignina es un grupo de compuestos químicos presentes en las paredes celulares de las plantas que actúa como aglutinante y a partir de él se crea la madera.



Foto 1.1. Pellets de madera.

## 2.1 CARACTERISTICAS / PROPIEDADES FISICAS DE LOS PELLETS

El pellet de madera, es una biomasa o combustible ecológico generado por la recuperación o utilización de subproductos derivados de la madera y catalogado como combustible de CO<sub>2</sub> neutro. Esta definición determina el valor de las emisiones a la atmósfera derivadas de la combustión, que en este caso son neutras. Es decir que el CO<sub>2</sub> emitido es igual al CO<sub>2</sub> que absorbieron esas plantas durante su crecimiento.

Existe una serie de organismos oficiales que marcan los requisitos mínimos que deben cumplir los pellets para ser considerados de calidad. Entre ellos se pueden mencionar los propuestos por el Pellet Fuel Institute<sup>2</sup> (PFI). El principal propósito de estos estándares es mantener la calidad en los mismos. Si bien estos estándares no son obligatorios para la comercialización, las empresas han tomado estas especificaciones propuestas por el PFI, con el fin de obtener calidad en el producto y eficiencia en la combustión.

En la siguiente tabla se pueden ver los valores estándares correspondientes a las principales propiedades de los pellets.

PROPIEDAD	VALOR
Tamaño	ø: 6 - 7,25 mm, largo: 10 - 36 mm
Contenido de Humedad	6 - 10%
Contenido de Ceniza	< 3%
Densidad a granel	> 639 kg/m <sup>3</sup>
Poder calorífico	> 4,7 kWh/kg (16,9 MJ/kg)
Comparaciones	
Fuel Oil	1.000 lts de oil = 2,1 tns de pellets 1 tn de oil = 2,5 tns de pellets
Chips	1 m <sup>3</sup> de chips = 0,28 m <sup>3</sup> de pellets 1 m <sup>3</sup> de chips = 0,18 tns de pellets

Tabla 1.1. Propiedades físicas de los pellets. Fuente: [www.pelletheat.org](http://www.pelletheat.org).

<sup>2</sup> Asociación sin fines de lucro integrada por productores y proveedores de la industria en Estados Unidos.

Por otro lado, dentro de los principales países productores de pellets en Europa, existen también estos estándares oficiales de calidad y cada uno de ellos tienen sus propias especificaciones, aunque bastante similares entre sí. Los países a mencionar son: Austria, Suecia y Alemania. Otros países con grandes producciones de pellets, como Dinamarca y Finlandia, han decidido no establecer estándares propios sino esperar a que se determinen los estándares que regulen su elaboración en toda la Comunidad Europea.

En la tabla 1.2 se pueden ver los estándares europeos y americanos para el pellet como combustible. Dentro de los estándares se mencionan las dimensiones, densidad, contenido de humedad y ceniza, poder calorífico y contenido de diferentes sustancias químicas. Como se puede ver, el único país que permite el contenido de agentes aglutinantes es Suecia.

Especificaciones	Austria ONORM M 7135		Suecia SS 18 71 20			Alemania DIN 51731			USA Pellet Fuel Institute	
	Madera comprimida	Corteza comprimida	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	5 categorías (largo y diámetro) [cm]			Grado	Grado Premium
Dimensiones	Pellets: 4 - 20 mm de diámetro, max.100mm de longitud.	Briquetas: 20-120 mm de diámetro, max.400mm de longitud.	Largo max. 4 veces el diámetro.	Largo max. 5 veces el diámetro.	Largo max. 6	HP1 > 30 HP2 15-30 HP3 10-15 HP4 < 10 HP5 < 5	> 10 6-10 3-7 1-4 0,4-1	6-7,5 mm diam. < 3,6 cm long.	6-7,5 mm diam. < 3,6 cm long.	
Densidad a granel			>= 600 kg/m3	>= 500 kg/m3	>= 500 kg/m3				>40 libras/pie3= 639kg/m3	
Durabilidad /finos (en %< 3mm)			<=0,8	<=1,5	<=1,5				<0,5 % a través de la pantalla de 3mm.	
Densidad unitaria (us)	>= 1,0 kg/dm3	>= 1,0 kg/dm3				1-1,4 kg/dm3				
Contenido de humedad	<= 12%	<= 18%	<= 10%	<= 10%	<= 12%	< 12%		<= 10%	<= 10%	
Contenido de cenizas	<= 0,5 %	<= 6,0%	<= 0,7%	<= 1,5%	<= 1,5%	< 1,5%		< 3%	< 1%	
Contenido total de humedad (en la entrega)			<= 10%	<= 10%	<= 12%					
Poder calorífico	>= 18,0 MJ/kg	>= 18,0 MJ/kg	>= 16,9MJ/kg >= 4,7kWh/kg	>= 16,9MJ/kg >= 4,7kWh/kg	>= 16,9MJ/kg >= 4,7kWh/kg	17,5-19,5 MJ/kg		>= 16,9MJ/kg >= 4,7kWh/kg	>= 16,9MJ/kg >= 4,7kWh/kg	
Sulfuros	<= 0,04%	<= 0,08%	<= 0,08%	<= 0,08%		<= 0,08%				
Nitrógeno	<= 0,3%	<= 0,6%				<= 0,03%				
Cloro	<= 0,02%	<= 0,04%	<= 0,03%	<= 0,03%		<= 0,03%				
Arsénico						< 0,8 mg/kg				
Cadmio						< 0,5 mg/kg				
Cromo						< 8 mg/kg				
Cobre						< 5 mg/kg				
Mercurio						< 0,05 mg/kg				
Plomo						< 10 mg/kg				
Zinc						< 100 mg/kg				
Halógenos orgánicos extraíbles						< 3 mg/kg				
Impurezas	Hecho solo de madera no contaminada.	Hecho solo de corteza no contaminada								
Agentes aglutinantes	Prohibido	Prohibido	La cantidad y la clase deben ser declaradas							
Punto fusión de ceniza			La cantidad y la clase deben ser declaradas							

Tabla 1.2. Estándares Europeos y Americano para la elaboración de pellets de madera. Fuente: European Pellet Centre.

### **3. VENTAJAS EN EL USO DE PELLETS DE MADERA**

Una de las ventajas más significativas de la utilización de pellets de madera es que contribuye a la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero, favoreciendo la sustitución progresiva de combustibles como el petróleo, el carbón y la leña. Algunos de los contaminantes que resultan de la quema de los derivados del petróleo como fuente de calefacción o energía, son el monóxido de carbono, sulfuros, arsénico y dióxido de carbono.

#### **3.1 PELLETS FRENTE A LA MADERA**

En general, para la elaboración de los pellets se utilizan desechos de madera provenientes de los aserraderos, madera proveniente de los desmontes, ramas, etc. y son transformadas en estos pequeños pellets con características uniformes - tamaño, apariencia, densidad y humedad.

De esto surge la pregunta, ¿por qué no simplemente se queman los troncos de madera o la madera en su estado natural? Frente a este interrogante podemos destacar lo siguiente:

- El contenido de humedad en los pellets es considerablemente bajo (4% a 8% de agua, comparado con el 20% a 60% de la madera al natural)
- Una menor humedad en los pellets implica un menor peso para un espacio determinado. Por lo tanto, al transportar o al almacenar el producto se obtendrán grandes beneficios. Los pellets a granel se almacenan en silos estándares, obteniéndose así mayores eficiencias de almacenamiento.
- Los pellets tienen una muy buena manipulación a grandes escalas. Su tamaño y uniformidad, permite el uso de sistemas de transporte más eficientes. Pudiéndose transportar por medio de cañerías, ya sea por aspersión o mediante tornillos sin fin.
- La densidad que tienen los pellets es considerablemente mayor a la que tiene la madera al natural (700 kg/m<sup>3</sup> vs. 300 kg/ m<sup>3</sup>)

#### **3.2 PELLETS COMO COMBUSTIBLE**

Dentro de las ventajas del uso de pellets de madera como combustible, se pueden mencionar las siguientes:

- Reduce la dependencia en combustibles tales como el carbón, la leña, el petróleo y sus derivados de origen fósil.
- Es producido a partir de desechos de la industria forestal, por lo que su elaboración no ejerce presión sobre el medio ambiente y sus recursos naturales.
- Constituye una fuente de energía renovable.

- No presenta grandes variaciones en términos de precios de comercialización en el mercado internacional, a diferencia de lo que ocurre con otros combustibles de uso más tradicional.
- Produce una baja cantidad de residuos tanto sólidos como gaseosos al momento de su combustión.
- Constituye una alternativa en la generación de energía y calefacción en aquellas ciudades en las que existen restricciones en relación con las emisiones de gases, lo que ha derivado en la prohibición del uso de estufas a leña o chimeneas.
- Constituye una alternativa, también, en aquellos lugares en donde la red eléctrica o de gas natural no alcanza suministrar el servicio.

#### **4. MATERIA PRIMA**

La materia prima utilizada en la producción de pellets se basa en los residuos vegetales (biomasa forestal) proveniente principalmente de la transformación primaria y secundaria de la madera (aserrín y otros residuos). También existe la posibilidad de obtenerla directamente de los desechos obtenidos durante el procesamiento de la madera en la industria.

Al momento de analizar esta materia prima, hay dos parámetros muy importantes a considerar para determinar lo que será la calidad del producto final. Estos parámetros son la humedad y granulometría de la misma.

El contenido de humedad óptimo que tiene que tener la materia prima para ser procesada, debe estar dentro del 8 al 12%. La materia prima obtenida directamente de la industria presenta bajos porcentajes de humedad ya que, generalmente, es sometida a procesos industriales en los que se incluye el secado mismo de la madera. Por el otro lado, si la materia prima proviene directamente del bosque o de los aserraderos, habrá que secarla. El porcentaje de humedad que presenta la madera en su estado natural es superior al 50%.

Por otro lado, con respecto al tipo de madera, la madera blanda (pino, eucalipto, coníferas, entre otros) es considerada de mejor calidad que la madera dura (roble, algarrobo, entre otros). Esto se debe a que el primer tipo contiene mayor cantidad de lignina.

##### **4.1 LA INDUSTRIA FORESTAL EN ARGENTINA**

El inicio de la industria forestal se basó en los bosques nativos, pues las primeras forestaciones comerciales comenzaron en los años 30' y recién en los 50' se generaron forestaciones con miras a su uso industrial (principalmente para el rubro celulósico).

En los primeros años el estado fomentó con créditos blandos las forestaciones de alta

densidad de plantación con miras a suplir el déficit del rubro celulósico, pero lo que sucedió fue que las forestaciones poco a poco se fueron modificando con raleos, o densidades menores, para abastecer a otras industrias de madera sólida (postes, aserrado, laminados, etc.) con lo que se fueron agregando distintos propósitos, objetivos y, por ende, manejos de las mismas.

Este empuje inicial fue sufriendo poco a poco los avatares de la economía argentina. El país comenzó a declinar, las fábricas comenzaron a tener problemas de materia prima, los problemas financieros se agudizaron, y ya para la década del 80' comienzan a tomarse medidas que en definitiva atentaron contra la industria local. Por una parte el tipo de cambio (un dólar muy barato), la casi libre introducción de productos de China, Chile y Brasil, la falta de financiación, los altos intereses, más una descontrolada inflación, prácticamente acabaron con un gran sector de la industria local (tanto en lo forestal como en el resto de la economía).

Es así que se entra a los años 90 con varias empresas tambaleantes entre los vaivenes de la economía. Pero ante la aparición de la “globalización” se plantea un nuevo escenario, en el cual aparecen nuevas empresas de origen extranjero interesadas en los grandes crecimientos de las plantaciones, a la disponibilidad de tierras y algunas ventajas de fomento estatal, lo que llevaron a que grandes capitales compraran empresas debilitadas.

El nuevo siglo, merced a una situación cambiaria muy distinta, ha planteado un escenario donde las exportaciones abren una gran posibilidad. Es así como principalmente la madera de pino ha sido la gran protagonista, especialmente en Misiones y Corrientes. Además, se han desarrollado las exportaciones de productos con una primera remanufactura.

Actualmente, se nota una desaceleración de este mercado debido a que el principal destino, USA, ha bajado notablemente los precios. El eucaliptus todavía continúa en gran medida en el mercado, incluso aprovechando los vacíos que había dejado el pino.

#### **4.1.1 Bosques nativos**

Las eco-regiones hacen que se cuente con una interesante gama de tipo de bosques. El inventario satelital de bosques nativos efectuado en 2002, por la Secretaría de Medioambiente y Desarrollo Sustentable, da cuenta que Argentina posee 33,2 millones de hectáreas de bosques nativos, siendo que algunas estimaciones a principios del siglo pasado hablaban de 70 y hasta 100 millones de has. (aunque no se disponía de la tecnología con la que se cuenta hoy en día).

Este deterioro de las masas boscosas, al igual que en el resto de Sudamérica y parte de Centroamérica, no ha sido por la tala indiscriminada de los madereros sino mas bien por el continuo avance de las fronteras de la ganadería y la agricultura sobre las tierras forestales. Esta tendencia sigue sucediendo aún hoy, siendo el caso más candente el

avance del cultivo de la soja.

Del relevamiento obtenido, se identifican los siguientes tipos de formaciones boscosas<sup>3</sup>:

- Selva Misionera: 1,4 millones de ha.
- Selva Tucumano-Boliviana: 3,7 millones de ha.
- Parque Chaqueño: 23,4 millones de ha.
- Espinal: 2,6 millones de ha.
- Subantárticos: 2,0 millones de ha.

**Total 33,1 millones**

Tal lo comentado, la disminución de superficies boscosas se ha debido principalmente al avance de la ganadería y agricultura, mientras que la tala selectiva no planificada ha resultado en la disminución de la calidad florística de los bosques y la merma de su valor industrial.

Es importante destacar que para ciertos usos y en determinados nichos de mercado los productos de madera nativa siguen siendo muy buscados y valorizados. Manejados correctamente son la base del asentamiento de poblaciones rurales en forma sostenible, generando mano de obra y desarrollo regional.

Mientras que uno de los puntos “débiles” de estos bosques es que tienen ciclos muy largos, por lo tanto tardan mucho tiempo en recuperarse de malas intervenciones.

#### **4.1.2 Bosques cultivados**

Coincidiendo con las regiones ecológicas más favorables, aunque sin quitarle el protagonismo a las tierras destinadas a la agricultura y ganadería intensiva, se han desarrollado las plantaciones forestales con especies de rápido crecimiento.

Estos asentamientos forestales se crearon merced a distintos sistemas de promoción y fomento por parte del estado, teniendo variados resultados. Los principales planes de promoción desarrollados en las últimas décadas fueron los siguientes:

- Créditos blandos por parte del gobierno (inicio de los 70); sin mayores resultados.
- Desgravación impositiva (a partir de 1974); obteniendo buenas tasas de plantación, pero trayendo problemas de abusos impositivos.
- Créditos derivados de la ley 21.695 (década del 80 hasta mediados de los 90’); poco impacto.
- Fomento a la plantación con la ley 25.080 (fines de la década del 90); resultados de gran envergadura.

<sup>3</sup> Ver Anexo A para mapa detallado.

Actualmente se está en una etapa de recesión debido a fallas en la implementación de este sistema, principalmente debido a demoras en los pagos.

La Argentina cuenta con un total de 1,12 millones de hectáreas de bosques cultivados. Y de este total, tal como se muestra en la tabla 4.1, las provincias de Misiones, Corrientes, Entre Ríos y delta del río Paraná en la provincia de Buenos Aires, proporcionan un 80% de la superficie cultivada.

Superficie de bosques cultivados					
Provincia / Región	Coníferas	Eucaliptus	Salicáceas	Otras	Totales
	hectáreas				
<b>Totales</b>	<b>655.987</b>	<b>278.832</b>	<b>109.404</b>	<b>71.432</b>	<b>1.115.655</b>
Misiones	313.721	24.911	-	46.316	384.948
Corrientes	232.461	95.773	-	810	329.044
Entre Ríos	11.712	90.048	15.919	13.386	131.065
Buenos Aires	6.905	36.920	47.826	8.118	99.769
Patagonia	48.320	-	19.595	695	68.610
Noroeste	6.898	16.054	204	756	23.912
Centro	34.221	12.095	2.483	-	48.799
Resto	1.749	3.031	23.377	1.351	29.508

Tabla 4.1. Superficie de Bosques cultivados. Fuente: Inventario Forestal 2002 - SAGPyA

### 4.1.3 Producción Forestal

La disponibilidad de datos correspondiente a la producción de madera en la Argentina se encuentra segmentada según el lugar de origen de la misma, ya sea a partir de bosques nativos o cultivados. Es por esto que los datos provienen de diferentes fuentes y las actualizaciones son diferentes. Es decir, para el caso del volumen de madera obtenido en la Argentina proveniente de bosques nativos, la última actualización corresponde a volúmenes del año 2006. Mientras que para el caso de madera proveniente de bosques cultivados los datos son del año 2005.

#### *Volúmenes de Bosques Nativos*

La producción total de madera en Argentina para el año 2006, como se puede ver en la tabla 4.2, fue de 4.306.869 toneladas, un 3% menos que el año anterior. En dos de las seis regiones analizadas (estepa patagónica no registró extracciones en el año 2005) se registraron incrementos en la producción, mientras que las otras cuatro tuvieron una disminución en el volumen. El Parque Chaqueño con una producción de 3.596.693 toneladas aportó el 84% de la madera total extraída en el país.

Producción primaria por región forestal - Bosques Nativos						
Región forestal	2001	2002	2003	2004	2005	2006
	toneladas					
Bosque Andino Patagónico	112.287	115.129	116.581	144.332	147.502	160.225
Espinal	125.234	102.364	93.405	111.459	149.391	95.494
Estepa patagónica	4.079	996	3.083	-	-	28
Monte	22.101	30.207	17.822	22.736	58.512	70.086
Parque Chaqueño	2.674.168	2.410.123	3.109.211	4.462.871	3.610.512	3.596.693
Selva Misionera	206.770	298.303	250.979	301.616	360.912	302.901
Selva Tucumano Boliviana	96.800	70.237	95.686	65.142	102.675	81.442
<b>Total</b>	<b>3.241.439</b>	<b>3.027.359</b>	<b>3.686.767</b>	<b>5.108.156</b>	<b>4.429.504</b>	<b>4.306.869</b>

Tabla 4.2. Producción anual por región. Fuente: Series Estadísticas Forestales 2000-2006 - SAyDS

Del análisis de la participación de cada producto en el total de madera extraída en el año 2006 (tabla 4.3), surge que la leña fue el más representativo alcanzando el valor de 3.027.0371 toneladas, lo que significa un 70%. En segundo lugar, con 1.181.124 toneladas, el producto rollizo representó el 27%. Siguiendo en orden de importancia se encuentran los postes con el 2% y, finalmente, los otros productos (rodrigones, estacones, varillas y puntales) no alcanzan el 1%.

Es importante remarcar que, dentro del valor correspondiente al volumen obtenido de leña se encuentra la leña que fue destinada para la obtención de carbón.

Productos forestales madereros por región - 2006 - Bosques Nativos					
Regiones	Rollizos	Leña	Postes	Otros Productos	Total
	toneladas				
<b>Bosque Andino Patagónico</b>	92.412	65.495	1.677	641	<b>160.225</b>
<b>Espinal</b>	3.224	89.278	2.992	-	<b>95.494</b>
<b>Estepa Patagónica</b>	-	28	-	-	<b>28</b>
<b>Monte</b>	335	69.435	132	184	<b>70.086</b>
<b>Parque Chaqueño</b>	715.915	2.788.030	81.095	11.653	<b>3.596.693</b>
<b>Selva Misionera</b>	292.284	10.617	-	-	<b>302.901</b>
<b>Selva Tucumano Boliviana</b>	76.954	4.488	-	-	<b>81.442</b>
<b>Total</b>	<b>1.181.124</b>	<b>3.027.371</b>	<b>85.896</b>	<b>12.478</b>	<b>4.306.869</b>

Tabla 4.3. Producción de productos forestales, año 2006. Fuente: Regiones Forestales 2006 - SAyDS

### *Volúmenes de Bosques Cultivados*

En la tabla 4.4 se puede observar la producción de los principales productos forestales por provincia. Es muy marcada la diferencia del desarrollo que se le da a la obtención del rollizo frente al resto de los productos forestales. Teniendo en cuenta la participación de cada uno de ellos, el producto rollizo representó un 97% con 7.790.129

de toneladas, siguiéndolo el poste, la leña y finalmente el resto de productos.

En cuanto al volumen por provincia también existe una marcada diferencia de la de mayor participación, Misiones. Dentro de los volúmenes aportados por cada una ellas, esta provincia aportó el 62% del volumen con 4.993.048 toneladas. Teniendo en cuenta lo que aportan el resto de las provincias, se puede observar que entre las provincias de Misiones, Entre Ríos, Buenos Aires y Corrientes se consigue casi el 90% del volumen obtenido en el país, 7.994.462 toneladas.

<b>Productos forestales por provincia - 2005 - Bosque cultivado</b>					
<b>Provincia</b>	<b>Rollizos</b>	<b>Leña</b>	<b>Postes</b>	<b>Otros Productos</b>	<b>Total</b>
			toneladas		
<b>Misiones</b>	4.992.073	635	196	144	<b>4.993.048</b>
<b>Entre Ríos</b>	708.618	-	129.518	11.277	<b>849.413</b>
<b>Buenos Aires</b>	707.717	-	-	-	<b>707.717</b>
<b>Corrientes</b>	536.156	-	6.066	1.042	<b>543.264</b>
<b>Córdoba</b>	334.555	20.000	36	1.504	<b>356.095</b>
<b>Santa Fe</b>	140.647	-	-	-	<b>140.647</b>
<b>Jujuy</b>	132.496	-	2.146	-	<b>134.642</b>
<b>Río Negro</b>	68.859	2.239	611	1.494	<b>73.203</b>
<b>Neuquén</b>	47.432	11.340	384	299	<b>59.455</b>
<b>Tucumán</b>	50.382	-	-	-	<b>50.382</b>
<b>Mendoza</b>	46.282	-	-	-	<b>46.282</b>
<b>Chubut</b>	15.372	12.828	261	298	<b>28.759</b>
<b>La Pampa</b>	9.531	1.615	409	-	<b>11.555</b>
<b>Total</b>	<b>7.790.129</b>	<b>48.657</b>	<b>139.627</b>	<b>16.058</b>	<b>7.994.462</b>

Tabla 4.4. Producción de productos forestales, año 2005. Fuente: Estadísticas Forestales 2005 - SAGPyA

## 4.2 RENDIMIENTOS FORESTALES

Los rendimientos obtenidos en la industria forestal, comparando volumen de entrada de materia prima versus volumen de salida de productos terminados, son bajos. Esto genera que la producción de residuos dentro de la industria sea de gran volumen. Estos residuos se componen desde los restos obtenidos en los desmontes (ramas, cortezas, etc.) hasta los restos obtenidos de la transformación primaria y secundaria de la madera (viruta, aserrín, polvo de lijado, recortes, etc.). Los residuos son generalmente utilizados como materia prima para la industria de la celulosa y tableros, para la generación de energía y para otros usos como cama de ganado, compost, etc.

Los complejos forestoindustriales más competitivos son aquellos que aprovechan integralmente todos sus recursos utilizándolos con diferentes fines, entre ellos, madera aserrada, tableros, celulosa, energía y usos no maderables. En la figura 4.1 puede verse un ejemplo de rendimiento del aserrado y fabricación de molduras en pino. En la primera transformación de la madera se obtiene un 41,8% de tabla seca y cepillada,

hasta llegar a un rendimiento de producto final (molduras y tableros alistonados) de poco menos del 30% respecto del rollizo con corteza.

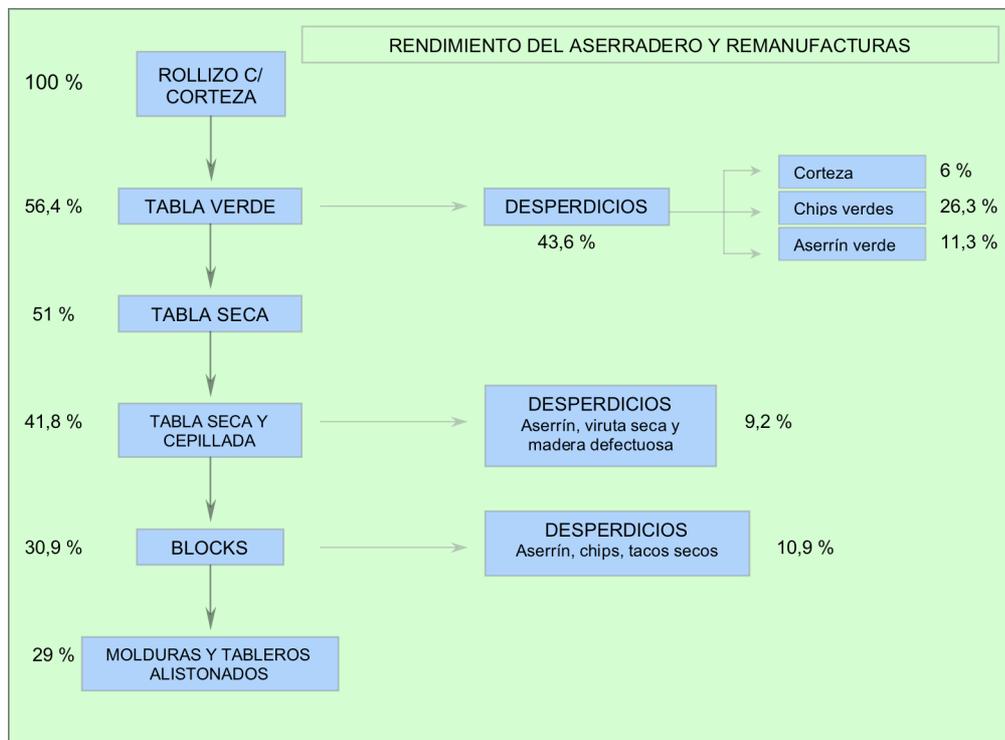


Figura 4.1. Rendimiento en aserradero. Fuente: INTI.

Estos valores obtenidos en la industria de la madera, del 41,8%, da una idea de la magnitud de la cantidad de residuos generados y el “problema” que esto puede traer aparejado. Tanto su manipulación como la ubicación física del mismo, van a generar un punto importante a considerar dentro de las industrias debido al espacio ocupado por éstos. Necesariamente, otro punto a tener en cuenta es el golpe que puede llegar a recibir la sociedad debido a la quema por no utilización, y en general, sin control de contaminantes emitidos.

Es un hecho que existe una preocupación creciente en la mayor parte de los países industrializados por los efectos del cambio climático provocado por la utilización, cada vez mayor, de combustibles que generan emisiones masivas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, siendo causa directa de lo que conocemos como calentamiento global.

La escalada de los precios de los principales combustibles, unida a los problemas que los combustibles fósiles están generando sobre el medio ambiente, está haciendo resurgir la utilización de este material bajo el nombre de biomasa (incluyendo tanto a la madera como así también a los restos orgánicos, como cortezas y residuos de la industria forestal) para la obtención de energía.

### 4.3 ESTIMACIÓN DE LOS RESIDUOS FORESTALES

En nuestro país, a diferencia de los países más competitivos, gran parte de los residuos generados por la actividad industrial forestal no tienen uso económico. Existen numerosas regiones que concentran Pymes de la industria del aserradero con baja o media escala de producción, que generan residuos que no tienen actualmente una alternativa de uso económicamente viable y, por otro lado, están alejados de las grandes empresas demandantes de residuos (celulosa, tableros y otros). Cabe destacar que no se trata de maximizar la generación de residuos provenientes del aserrado para transformarlos en pellets, por cuanto siempre es más rentable obtener, por ejemplo, un 5% más de tablas y remanufacturas y reducir de éste modo la cantidad de residuos (tabla 4.5). Sin embargo, aún mejorando los rendimientos, se plantea el problema de qué hacer con los residuos sobrantes.

Precios promedios de exportación Año 2006	
Producto	Precio por tn. FOB en U\$S
Pellets de madera	150
Madera aserrada	350
Remanufacturas	1.100

Tabla 4.5. Fuente: INTI - Madera y Muebles y Economía Industrial.

Las estadísticas existentes en cuanto a la disponibilidad de residuos biomásicos factibles de ser aprovechados para la elaboración de pellets son generalmente incompletas y poco actualizadas. Sin embargo, es posible hacer una estimación preliminar de éstos a partir de la información obtenida de las autoridades del sector forestal.

La tabla 4.4 muestra una estimación de la cantidad de desperdicios que se obtiene de la actividad forestal Argentina y no se les da un destino comercial. La industria del aserrío, que trabaja con maderas cultivadas, genera alrededor de 2,26 millones de toneladas de residuos anuales (58% de la materia prima ingresada) de los cuales se aprovecha sólo el 50% para uso en celulosa, tableros, etc., y el otro 50% se termina desperdiciando. Esto genera impactos negativos a nivel ambiental -quemados de residuos a cielo abierto, almacenamiento y descomposición-, y a nivel económico por la pérdida de ingresos extras que podrían generar la utilización de los residuos.

**Estimación de desperdicios de la actividad forestal implantada sin destino comercial (Tn)**

Extracción forestal Argentina: Año 2006	7.994.462
Consumo de leña, carbón y postes	- 188.284
Exportación Rollizos	- 31.532
Rollizos para celulosa *	- 1.273.033
Rollizos para tableros *	- 2.608.684
Total Rollizos para aserraderos	3.892.929
tabla aserrada (rendimiento 42%)	1.635.030
venta de chips de los aserraderos a la industria celulosa y tableros (50% de residuos)	1.128.949
<b>Total desperdicios en aserraderos sin destino comercial</b>	<b>1.128.949</b>

\* Valores correspondientes al año 2005

Tabla 4.4. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la SAGPyA.

Es decir, se trata de una cantidad importante de materia prima (1,13 millones de toneladas) que podría destinarse a proyectos diversos. Además, esta estimación es de mínima ya que si bien una parte de estos residuos es autoconsumida por las empresas para hacer funcionar las calderas de los secaderos o para la generación de energía eléctrica en centrales propias o cualquier otro fin, no fueron considerados en el cálculo los residuos secos de las numerosas carpinterías que existen en el país y aportan otro tanto. Tampoco los residuos del aserrado de maderas nativas, ni desperdicios de talas y raleos del bosque.



### **3. PROCESO DE PELLETTIZADO**

#### **1. PROCESO INDUSTRIAL**

El proceso de pelletizado depende exclusivamente de la calidad de la materia prima que se obtenga. Una instalación que reciba aserrín con una humedad superior al 10% deberá, en primer lugar, contar con un proceso de secado, necesario para su almacenamiento y comercialización; además de ser un parámetro crítico para el buen funcionamiento de la granuladora. La humedad deberá estar controlada durante el proceso de secado para que el producto llegue en condiciones óptimas a la granuladora, ya que humedades altas conllevan un pellet blando y de mala calidad, y humedades demasiado bajas provocan condiciones de trabajo inapropiadas y perjudiciales para la máquina.

Además de la humedad, la granulometría de las partículas de aserrín es también de vital importancia. Tanto a la entrada del proceso de secado, en caso de que se reciba el aserrín húmedo, como a la entrada de la granuladora. El tamaño de las partículas deberá estar dentro de un rango que dependerá de la tecnología de secado y de granulación que se vaya a utilizar. En caso de que el producto tuviera una granulometría mayor a la adecuada, se deberán incorporar los equipos propios para la reducción.

El proceso de pelletizado consiste en la compactación de la biomasa de madera natural, mediante la aplicación de una gran presión con unos rodillos sobre una matriz perforada, a través de la cual se hace pasar el material. El proceso de pelletizado comprende los siguientes subprocesos:

- Almacenamiento de la materia prima
- Adecuación del grado de humedad
- Granulado / Molienda
- Pelletizado
- Enfriamiento
- Envasado

#### **1.1 DIAGRAMA DE PROCESO DEL PELLETTIZADO**

En la siguiente figura se observa el diagrama de proceso con cada una de las etapas que componen el proceso (en el Anexo B se puede ver un diagrama con las distintas etapas del proceso industrial).

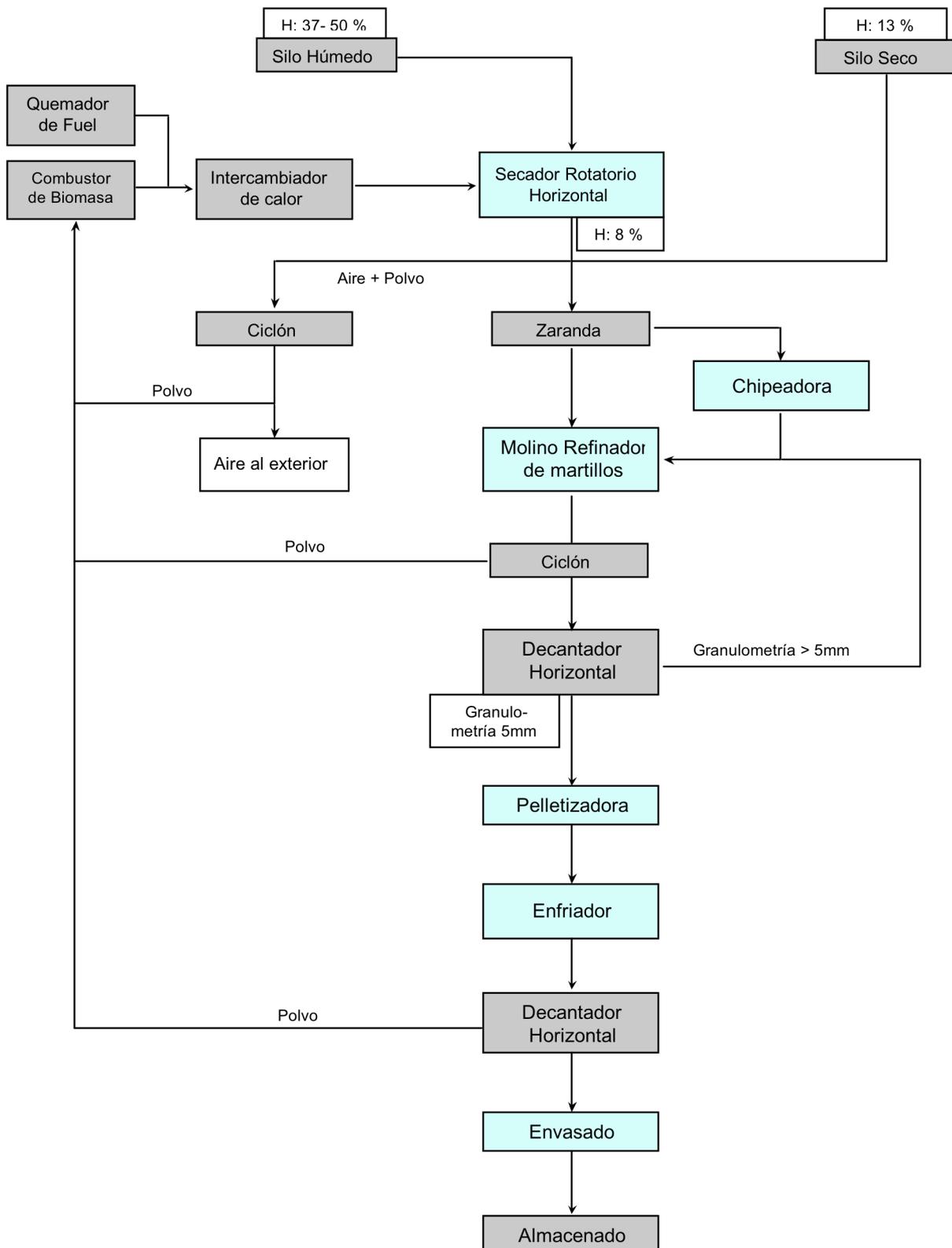


Figura 3.1. Diagrama de proceso de pelletizado.

## 2. TECNOLOGIA A UTILIZAR EN EL PROCESO DE PELLETIZADO

### 2.1 ALMACENAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA

La materia prima es recibida en camiones que son descargados directamente en la playa de acopio o descargados en tolvas que transferirán, por medio de rodillos sin fin, la materia prima hasta silos de almacenamiento.



Fotos 3.1 y 3.2. Acopio de la materia prima.

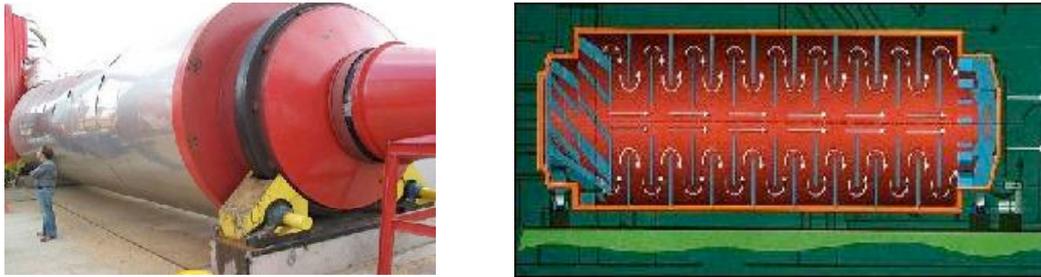
Una vez recibida y almacenada, la materia prima debe ser caracterizada y clasificada según sus propiedades. Para llevar a cabo esta etapa es necesario realizar los siguientes análisis:

- Análisis inmediato, que cuantifica la humedad, cenizas, volátiles (ligeros pesados) y carbono fijo de la muestra.
- Análisis elemental, donde fundamentalmente se determina la cantidad de carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre y cloro de la biomasa.
- Granulometría y densidad real y aparente de la biomasa.
- Poder calorífico superior e inferior.
- Composición química de las cenizas, que incluye su contenido de elementos inorgánicos, como silicio, aluminio, hierro, calcio, magnesio, sodio, manganeso, titanio, azufre, plomo, potasio y fósforo.
- Temperaturas de reblandecimiento y fusión de las cenizas.

Esta caracterización proporciona la suficiente información para poder estimar las propiedades de los pellets que se puedan originar y la necesidad de su mezcla con algún componente para producir un pellet de calidad, así como su potencial energético y de su futuro comportamiento en la combustión.

## 2.2 SECADO

Esta etapa del proceso es indispensable para lo que será la calidad del pellet. Existen diferentes técnicas de secado, pero en cualquiera de ellas es importante tener en cuenta dos puntos: el costo del secado, ya que es una etapa en la que se consume energía para producir energía. Y por otro lado, la calidad del secado ya que es importante mantener las propiedades de la materia prima para poder garantizar la calidad del pellet.



Fotos 3.3 y 3.4. Secador horizontal y esquema de secador rotatorio.

En el caso que la materia prima provenga de desechos industriales en donde se le ha aplicado un previo tratamiento, es posible que no haga falta volver a tratar la madera para secarla. Sin embargo, si se usa aserrín o viruta húmedo, previo al granulado, debe ser secado hasta valores del 8 al 15% de humedad. El secado se puede llevar a cabo de dos formas:

- Secado natural: la biomasa se deja secar al aire libre una vez recepcionada.
- Secado forzado: cuando, por secado natural, el grado de humedad siga siendo superior al deseado se empleará un flujo térmico que permitirá obtener los valores requeridos. Para este método existen dos tipos de secadores que se pueden utilizar: el neumático o el rotatorio.

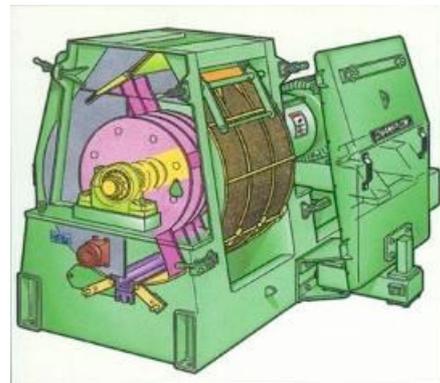
Los de tipo neumático están basados en el arrastre de los residuos mediante un flujo térmico que durante el recorrido extrae la humedad de los sólidos. Suelen utilizarse cuando el producto es de granulometría fina y/o se requiere una deshidratación ligera. Básicamente constan de un foco de calor (hogar donde se queman combustibles convencionales, o parte de la propia biomasa previamente secada, para generar el flujo térmico deshidratador), canal de secado (conducto de diámetro y longitud variable según diseño, donde el flujo térmico generado arrastra los sólidos en suspensión, al tiempo que provoca la evacuación del agua contenida en los mismos) y sistema de succión (aspirador ciclónico que produce una depresión que posibilita el movimiento del sistema).

Los secaderos rotatorios se suelen utilizar cuando se trabaja con materiales muy húmedos y/o de granulometría gruesa. Fundamentalmente constan de las mismas partes que en el caso anterior; si bien en estos equipos el canal de circulación es un cilindro de sección y longitud variable (en función de diseños), que gira con velocidad variable, facilitando un contacto íntimo entre los sólidos y el flujo secante. La pendiente interior junto con el giro produce el avance de los sólidos a una velocidad controlable. El tambor está dotado interiormente de espas, paletas o tornillos sinfín, que permiten regular el flujo de sólidos y garantizar una adecuada exposición de la superficie de la biomasa al flujo térmico.

### 2.3 GRANULADO O MOLIENDA

En este proceso la materia prima tiene que ser llevada a un tamaño o granulometría de al menos el diámetro del pellet a producir. Normalmente se usa en este proceso un molino de martillo y lo que se busca es conseguir un material lo más uniforme posible. El tamaño recomendado de la materia prima a granular suele ser de 20x40x3 mm.

La molienda y secado de la materia prima puede ser combinado. En un molino de secado, el martillado cambia los tamaños de las partículas que a su vez son secadas. El martillado de la materia prima facilita mucho el proceso de secado. Esto permite obtener partículas de igual tamaño y que tengan el mismo contenido de humedad.



Fotos 3.5 y 3.6. Granuladora y su esquema de trabajo.

### 2.4 PELLETIZADO

Los procesos de pelletizado se llevan a cabo mediante el uso de un sistema de rodillos que ejercen presión sobre los residuos situados sobre una matriz metálica, dotada de orificios de calibre variable (0,5 a 2,5 cm) según el tamaño deseado de los pellets. El número de los rodillos oscila, dependiendo del modelo, entre 2 y 5.

En función de la forma de la placa o matriz empleada, podemos distinguir dos tipos de pelletizadoras. Por un lado, en el Sistema Alemán, la matriz donde se deposita el producto a pelletizar es plana. Sobre el producto pasa uno o varios rodillos que le obligan a pasar entre los orificios que posee la matriz, pelletizando de ese modo la materia prima. La forma de los pellets dependerá directamente del tipo de orificio existente en la matriz.



Fotos 3.7, 3.8 y 3.9. Pelletizadora, rodillos y coronas planas.

Por otra parte, en la pelletizadora de matriz anular o Sistema Americano, la matriz tiene forma de corona circular agujereada, con una luz y espesor determinados sobre la cual giran excéntricamente uno o varios rodillos. La matriz es una pieza estática y sufre las mayores abrasiones, debido a que los rodillos interiores presionan el material produciendo la densificación en las canaletas.



Fotos 3.10 y 3.11. Pelletizadora y corona circular.

Los equipos de matriz plana presentan la ventaja de tener matrices reversibles, pudiendo duplicar la vida media de las mismas, además de ser más baratas que las de tipo circular o anular. Con el sistema de matrices reversibles se consigue una vida media del orden de 600.000 a 700.000 kg de producto procesado, mientras que con una pelletizadora anular la vida de la matriz es de 250.000 a 300.000 kg de producto procesado.

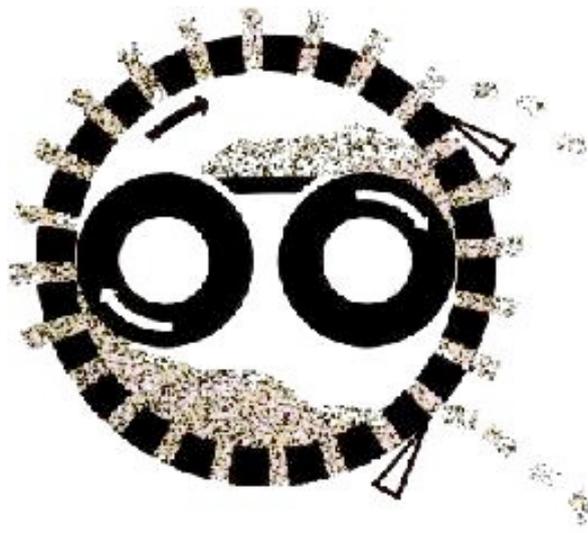


Foto 3.12. Esquema de trabajo de la pelletizadora circular.

## 2.5 ENFRIAMIENTO

Los enfriadores de pellets pueden ser verticales u horizontales. Siendo estos últimos más adecuados para reducir el volumen de las piezas defectuosas y producción de finos debidos al golpeteo. Sin embargo los enfriadores horizontales, a diferencia de los verticales, necesitan un gran espacio para su instalación.

El enfriado de los pellets se realiza mediante aire, siendo el flujo de los pellets contrario al del aire. En este flujo contracorriente el aire es el que asciende verticalmente adquiriendo calor de los pellets, mientras estos bajan cediendo calor al aire.



Foto 3.13. Enfriador vertical.

Esta etapa es muy importante en todo el proceso de producción de pellets. Luego de la compresión o pelletización, la temperatura de los pellets es alta (usualmente aprox. 90°C). El enfriado estabiliza a los pellets y endurece la lignina derretida en la superficie de los pellets.

## 2.6 TAMIZADO Y CLASIFICACIÓN

En el tamizado el polvo de la materia prima, mezclado entre los pellets, es separado y devuelto al proceso de pelletizado. El tamizado y clasificado es usualmente realizado con un tamizador con sistema de vibrado para asegurar un producto homogéneo para evitar que no cause problemas en el manejo y traslado del producto, como en los equipos de combustión.

## 2.7 ALMACENAMIENTO

Toda planta de pelletizado tiene que tener un sistema de almacenamiento que puede ir desde una lona para cubrir el producto antes o después de su proceso, hasta una serie de silos dividiendo el producto en seco, húmedo, sin refinar o producto terminado. Estos silos pueden variar en sus dimensiones o volúmenes dependiendo si los pellets luego son cargados directamente en camiones o fraccionados en bolsas.

## 2.8 ENVASADO

Hoy en día existen dos formas en las que se comercializan los pellets, en bolsas o a granel.

### 2.8.1 Bolsas

A su vez, dentro del formato de bolsas, se suele comercializar en dos tipos de presentaciones. El primer formato es en bolsas pequeñas de 15 - 25 kg que son distribuidas en pallets hacia los minoristas, quienes venderán el producto al consumidor final. Este formato está dirigido al consumidor de pequeña escala que le dará un uso doméstico (como estufas).



Fotos 3.14 y 3.15. Bolsas de 25 kg y paletizado de las bolsas.

El otro formato es en bolsas grandes, de 500 ó 1.000 kg. Este formato, debido a su tamaño y peso, ya no está dirigido para el consumo doméstico de pequeña escala. Es importante destacar que será necesario la utilización de maquinaria apropiada para su manipuleo (grúa o clarck) Por lo general, este tipo de formato es utilizado por consumidores que alimentan un sistema de calefacción centralizado o calderas centrales.



Foto 3.16. Bolsas grandes, 1.000 kg.

### 2.8.2 Pellets a granel

Los pallets pueden ser transportados a granel en camiones cerrados. Este tipo de comercialización se destinará a aquellos usuarios que tengan su propio depósito de almacenamiento (en mayor o menor medida). El sistema utilizado por estos camiones es el mismo que utilizan tanto los camiones que transportan combustibles líquidos como aquellos que transportan alimento para animales. Se descarga a través de una manguera mediante un sistema de aire presurizado.

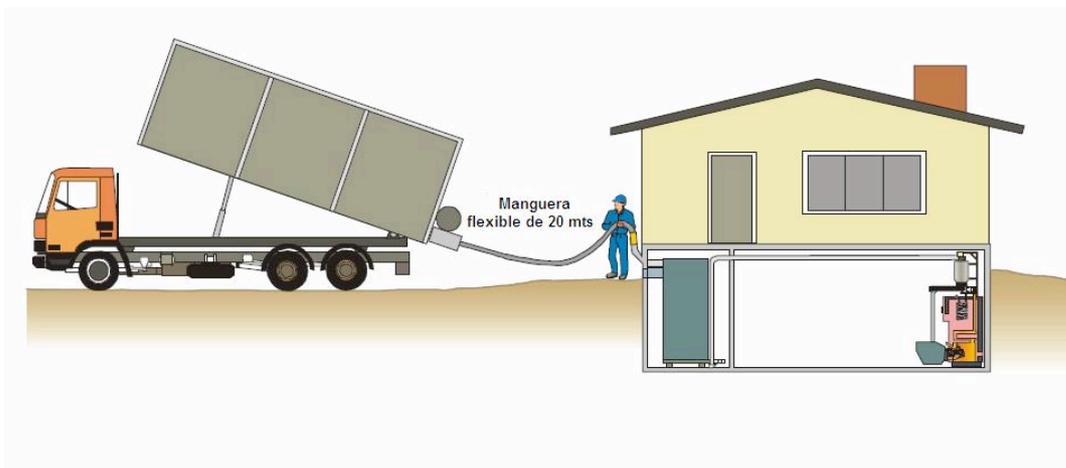


Figura 3.2. Pellets a granel.

#### 4. FUENTES DE ENERGIA

Hoy en día, para obtener energía, existen una gran variedad de fuentes; que a su vez, estas fuentes, pueden transformarse de diversas maneras. Es por eso que en el análisis siguiente se desarrollarán las distintas alternativas tradicionales que se utilizan para la obtención de energía. Limitándose a comparar las características propias de cada una de esas alternativas frente a la nueva opción de los pellets de madera.

Las fuentes de energía que se analizarán son la obtención de energía a partir de la combustión de combustibles fósiles y biomasa (en forma de pellets de madera), como así también el uso directo de la energía eléctrica como fuente de energía.

##### 1. LA BIOMASA Y SUS PROCESOS DE TRANSFORMACION

La utilización de la biomasa para la obtención de energía es uno de los métodos más antiguos, ya que los residuos forestales son los que, durante siglos, han constituido la fuente energética más importante de la humanidad tanto para obtener calor como para la cocción de alimentos.

Se puede decir que la obtención de energía a partir de la biomasa vegetal es un método para aprovechar la energía solar. La materia viva (biomasa) es sintetizada por las plantas mediante el proceso de fotosíntesis, que tiene lugar en presencia de luz solar. Las plantas absorben agua y sales minerales del suelo y CO<sub>2</sub> del aire, dando lugar a hidratos de carbono y oxígeno que se desprenden en forma gaseosa hacia la atmósfera. En todo este proceso se absorbe energía que queda almacenada en las plantas y luego, esta energía almacenada, se recupera quemándola o transformándola en otro tipo de energía, eléctrica, mecánica o calor.

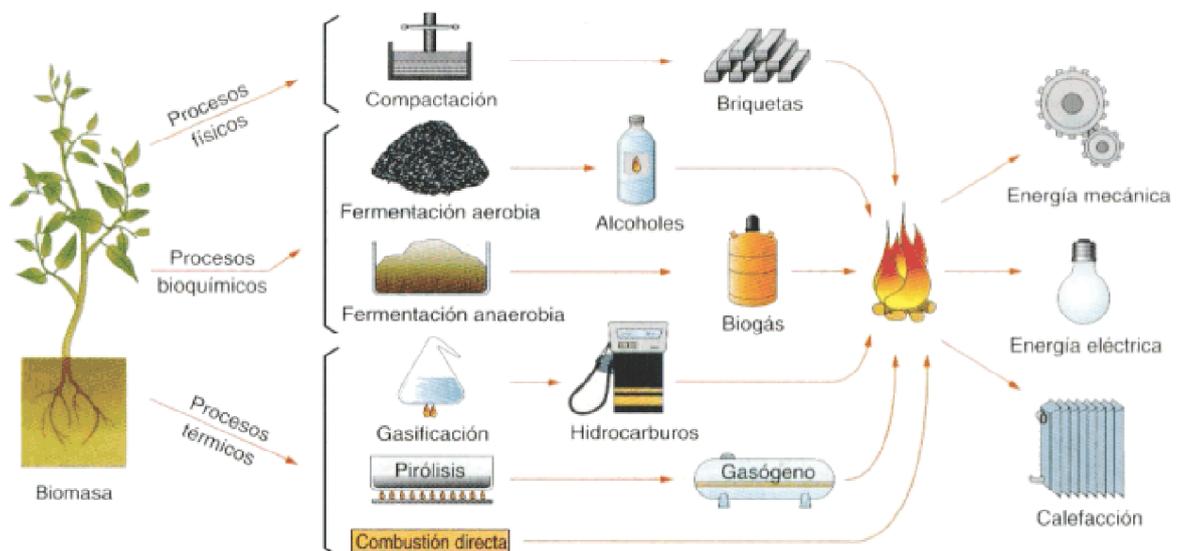


Figura 4.1. Procesos de transformación de la biomasa para obtener energía.

Existen diferentes procesos, físicos, químicos y termoquímicos, a los que puede ser sometida la biomasa, y a partir de ellos obtener diferentes tipos de energía. Los procesos a mencionar son los siguientes:

1. **Físicos:** estos procesos son los asociados con las primeras fases de transformación de la materia prima: triturado, compactado e incluso secado. A partir de éstos se pueden obtener diferentes tipos de aceites vegetales.
2. **Bioquímicos:** estos procesos se basan en la degradación de la biomasa por la acción de microorganismos. Se pueden clasificar en dos grandes grupos: los que se producen en ausencia de aire (anaeróbicos) y los que se producen en presencia del mismo (aeróbicos). A partir de estos se puede obtener un gas combustible (biogas) y alcohol (metanol), respectivamente.
3. **Termoquímicos:** están basados en la transformación química de la biomasa al someterla a altas temperaturas (300°C - 1500°C). Cuando se calienta la biomasa se produce un proceso de secado y evaporación de sus componentes volátiles, seguido de reacciones de craqueo o descomposición de sus moléculas. A esto le siguen reacciones en la que los productos resultantes de la primera fase reaccionan entre sí y con los componentes de la atmósfera, en la que tenga lugar la reacción, y de esta forma se consiguen los productos finales.

Según el control de las condiciones del proceso se consiguen productos finales diferentes, lo que da lugar a los tres procesos principales de la conversión termoquímica de la biomasa.

- **Combustión:** oxidación de la biomasa por el oxígeno del aire. Cuando la combustión es completa se obtiene dióxido de carbono, agua y sales minerales (cenizas), obteniendo energía térmica en forma de gases calientes.
- **Gasificación:** es una combustión incompleta de la biomasa a una temperatura de entre 600°C y 1500°C en una atmósfera pobre de oxígeno, en la que la cantidad de este compuesto está por debajo del punto estequiométrico, es decir, el mínimo necesario para que se produzca la reacción de combustión completa. En este caso, se obtiene principalmente un gas combustible formado por monóxido y dióxido de carbono, hidrógeno y metano.
- **Pirólisis:** es el proceso de descomposición térmica de la biomasa en ausencia total de oxígeno. Esto se produce en procesos lentos y bajo temperaturas del orden de 300°C a 500°C. El producto obtenido es carbón vegetal, mientras que en procesos rápidos y temperaturas dentro del rango de 800 - 1200°C se obtienen mezclas de compuestos orgánicos de aspecto aceitoso y de bajo pH, denominados aceites de pirólisis.

De todos estos procesos de transformación, se desarrollará específicamente el de combustión ya que es el proceso utilizado para obtener energía a partir de los pellets de madera.

## 1.1 COMBUSTIBLES UTILIZADOS PARA LA COMBUSTION

Un combustible es una sustancia capaz de reaccionar con el oxígeno del aire con desprendimiento de energía térmica apta para producir trabajo mecánico.

Tradicionalmente, los combustibles pueden clasificarse, según el estado en que se presentan, en:

- *Combustibles sólidos*: carbón vegetal, carbón mineral y madera, entre otros.
- *Combustibles líquidos*: Petróleo y alguno de sus derivados (gas oil, fuel oil, alcoholes) y
- *Combustibles gaseosos*: Gas natural, propano y butano.

Debido a los avances de la tecnología y conciencia de los efectos negativos que generan la utilización de algunos de ellos, en sus diferentes estados, los denominados *Biocombustibles*. Dentro de estos se encuentran los Pellets de madera, entre otros.

Existen varias propiedades que caracterizan a los combustibles, dependiendo de su composición físico-química. Una de las más importantes para el proceso de combustión es el *poder calorífico*. Cantidad que representa el calor desprendido debido a la combustión completa del combustible por unidad de masa (o volumen). El poder calorífico se denomina *superior* cuando el agua resultante de la combustión se asume líquida (condensada) en los productos de la combustión, y se denomina *inferior* cuando esa agua se supone en estado de vapor con los demás productos de la combustión.

A continuación se desarrollan las características principales de los combustibles que se tomarán para la comparación frente a la biomasa, los pellets de madera.

### 1.1.1 Combustibles Sólidos

Aquellos sólidos que se utilicen como combustibles pueden clasificarse, según su procedencia, en *Naturales* o *Elaborados*. Serán considerados dentro del primer grupo si son utilizados como tales sin previa elaboración. Mientras que los del segundo grupo requieren un tratamiento previo a su utilización. El rendimiento típico de un combustible sólido no supera el 65%.

#### **Carbón**

Dentro de los combustibles sólidos el carbón es el combustible de mayor utilización dentro de las industrias. Es un mineral compacto que está compuesto, principalmente, por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Arde fácilmente y tiene usos tanto industriales como domésticos. Existen diferentes tipos de carbón, entre ellos están:

- *Carbón activado*: carbono amorfo granular y en polvo.
- *Carbón del petróleo*: se produce en la destilación del petróleo, generalmente no se usa.

- *Carbón de origen vegetal*: se obtiene quemando madera, a través de una combustión incompleta. Su poder calorífico ronda los 30.000 kJ/kg.
- *Carbón de origen mineral*: carbón natural, de consistencia pétreo o terrosa. Constituido por carbón amorfo acompañado de hidrocarburos, compuestos orgánicos complejos y material inorgánico.

Un subproducto que se obtiene a partir del tratamiento del carbón es el *coque*. Este, es un residuo duro y poroso que resulta después de la destilación de la hulla. Es producto de la descomposición térmica de carbones bituminosos en ausencia de aire. El carbón de coque es un combustible muy importante para la fabricación de hierro y acero.

Ciertos productos derivados de la combustión del carbón pueden traer efectos perjudiciales sobre el medio ambiente. Al quemar el carbón, se produce dióxido de carbono entre otros compuestos. Este punto es uno de los más emblemáticos para la realidad ambiental del planeta. Además del dióxido de carbono, el azufre y el nitrógeno del carbón forman óxidos durante la combustión que contribuyen a la formación de lluvia ácida.

### ***Madera***

Los componentes más importantes de la madera son la celulosa, la lignina y el agua. El contenido de cada uno de ellos es un tanto variable, pero se puede afirmar que las proporciones en las que se presentan son las siguientes: el contenido de celulosa oscila entre 40 y 60%, y el contenido de lignina entre 21 y 30%.

La densidad aparente de la madera es, por lo general, inferior a la unidad, en tanto que de la sustancia madera, sin poros, llega alrededor de 1.500 kg/m<sup>3</sup>. Esta última es prácticamente constante para los diversos tipos de madera pese a las diferencias de sus densidades en estado natural.

Algo semejante surge con el poder calorífico, éste aumenta con la proporción de lignina (a igual contenido de humedad). La lignina, rica en carbono (65%), tiene un poder calorífico que ronda las 25.000 kJ/kg; el otro componente principal, la celulosa, tiene un poder calorífico que ronda las 17.400 kJ/kg. Así, las maderas más lignificadas, las más compactas, tendrán un poder calorífico mayor al que presentan las maderas blandas. De todos modos, la mayor diferencia en cuanto al valor del poder calorífico se verá al comparar dos maderas con diferentes porcentajes de humedad.

### **1.1.2 Combustibles Líquidos**

Como derivados directos del petróleo crudo, los combustibles líquidos están compuestos básicamente por compuestos hidrocarbonados. Pueden contener, además, oxígeno (O<sub>2</sub>), azufre (S) y nitrógeno (N).

#### ***Gas Oil y Fuel Oil***

El *gas oil* es un líquido de aspecto algo aceitoso, de densidad 0,84 kg/lit y un poder

calorífico próximo a los 45.000 kJ/kg. Su principal aplicación es como combustible de los motores diesel, gracias a su propiedad de inflamarse cuando se lo somete a elevadas presiones y temperaturas.

El *fuel oil* es un líquido un poco más espeso que el gas oil, con una densidad 0,95 kg/lt, y tiene un poder calorífico próximo a los 43.000 kJ/kg. Como su temperatura de inflamación es elevada es difícil mantener su combustión, por lo cual es necesario calentarlo previamente. Con frecuencia puede resultar contaminante debido al humo que desprende cuando las condiciones de su combustión no son las adecuadas. Es el combustible líquido más económico.

### 1.1.3 Combustibles Gaseosos

Se denominan combustibles gaseosos a los hidrocarburos naturales y a los obtenidos en forma directa, o como subproductos, en ciertos procesos industriales. La composición de estos combustibles varía según su procedencia, pero los componentes se pueden clasificar en *gases combustibles* como: monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H<sub>2</sub>) e hidrocarburos (HC) y en *otros gases*, como: nitrógeno (N<sub>2</sub>), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y oxígeno (O<sub>2</sub>).

Actualmente se dispone para el uso los siguientes gases combustibles: *gas natural*, *gas propano* y *gas butano*.

#### **Gas Natural y Gas Líquido**

Desde hace algunos años, en Argentina, se dispone del gas natural para uso industrial en cantidades considerables. Por otro lado, el gas natural es muy apreciado como combustible por su sencillez de manejo, facilidad de adaptación a procesos automáticos, falta de ceniza, y ausencia de azufre.

El *propano* y el *butano*, que son llamados también gases licuados, son una mezcla de hidrocarburos gaseosos que son llevados al estado líquido a través de la compresión y/o descenso de la temperatura. Cubren, fundamentalmente, el consumo de gas doméstico, teniendo en la industria un uso bastante reducido. El llamado *gas licuado de petróleo* es, en realidad, una mezcla compuesta por propano y butano. De esta forma, se hace mucho más “maleable” que el gas natural y se lo puede almacenar y transportar en contenedores tales como la garrafa.

Estos gases se caracterizan por tener un poder calorífico alto, que ronda los 49.000 kJ/kg.

## 1.2. COMBUSTION DE LOS PELLETS

La combustión de la madera en su estado natural suele generar un humo denso. Sin embargo, los pellets tienen una temperatura de combustión mucho mayor que hace que la eficiencia alcance valores de más del 90%. Esto significa que la mayor parte de las

partículas que causan los humos son quemadas en los mismos recintos donde se produce la combustión. Por otro lado, los pellets contienen un bajo porcentaje de humedad (debajo del 10%), ayudando esto a que se reduzcan los niveles de humo.

<b>Método de combustión de la madera</b>		
Fuego en su estado natural	Combustión en estufa de madera	Combustión en estufa de pellets
Eficiencia		
10 - 20 %	30 - 65 %	80 - 95 %

Tabla 4.1. Eficiencia en la combustión de la madera frente a diferentes métodos.  
Fuente: XCO<sub>2</sub> coinsbee Ltd.

### 1.2.1 Poder calorífico

El término “poder calorífico”<sup>4</sup> se refiere a la cantidad de energía contenida en un combustible por unidad de masa. Como se puede observar en la siguiente tabla<sup>5</sup>, el poder calorífico en los combustibles fósiles es considerablemente mayor (entre 2 y 3 veces) al que tienen los combustibles derivados de la biomasa, como son los pellets de madera.

<b>Tipo de Combustible</b>				
Pellet	Madera	Carbón	Fuel Oil	Gas Natural
Poder Calorífico (MJ/kg)				
19,08	11,60	27,47	42,41	50,03

Tabla 4.2. Poder calorífico de los diferentes tipos de combustibles. Fuente: INTA.

El poder calorífico propio de los combustibles provenientes de la biomasa está directamente afectado por el porcentaje de humedad presente. Los pellets de madera contienen un porcentaje debajo del 10% y un poder calorífico medio de 19,08 MJ/kg.

A diferencia de los pellets, que tienen un porcentaje de humedad definido como estándar de producto, el porcentaje de humedad presente en la madera puede variar considerablemente. Conforme varía este porcentaje, disminuye su poder calorífico. En

<sup>4</sup> Por la oxidación del hidrógeno, en la combustión se libera agua, en forma de vapor, y esto nos hace distinguir entre dos clases de poderes caloríficos: Poder Calorífico Superior (PCS) y Poder Calorífico Inferior (PCI). La diferencia entre ambos es que para el PCS se aprovecha el calor contenido en el vapor de agua, dando esto una mayor cantidad de energía en la combustión. Mientras que para el PCI se considera como que ese vapor de agua no se aprovecha para obtener más energía; así el agua queda como producto de la combustión en forma de vapor.

<sup>5</sup> Los poderes caloríficos que se usarán para este análisis corresponden al PCI de cada combustible.

el siguiente gráfico se puede ver como varía linealmente para diferentes porcentajes de humedad.

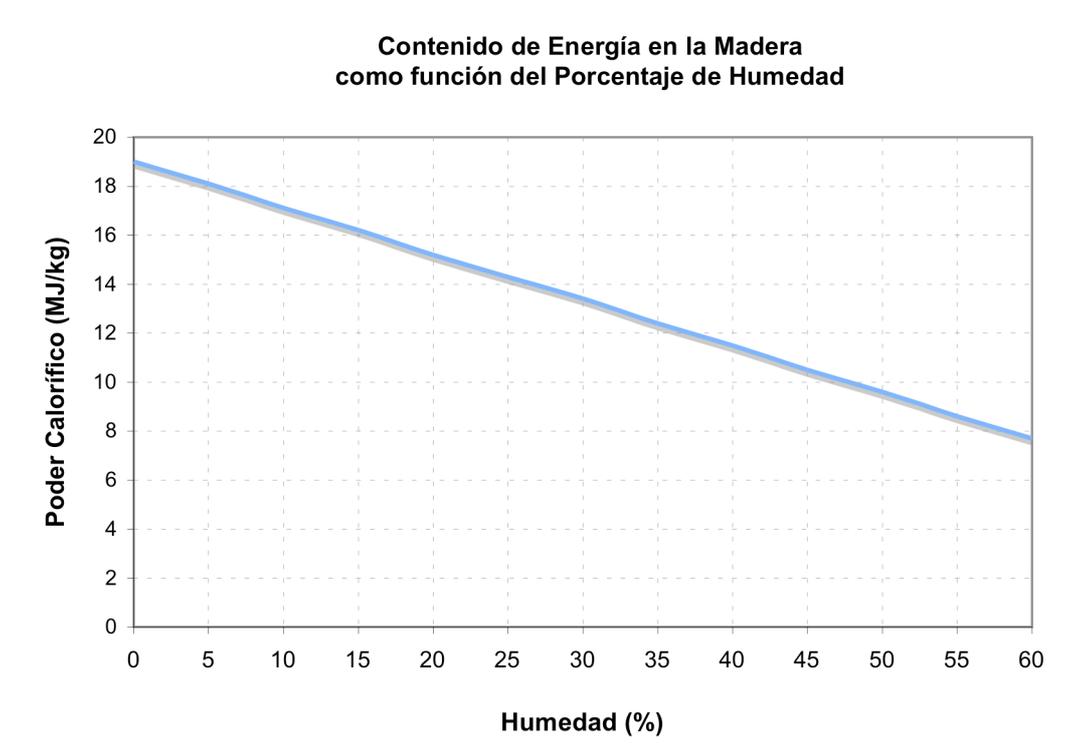


Gráfico 4.1. Contenido de energía en la madera vs. % de humedad. Fuente: XCO<sub>2</sub> coinsbee Ltd.

## 2. OTRA FUENTE DE ENERGIA

Además de los combustibles desarrollados en los puntos anteriores, la forma más directa de obtener energía es el uso de la electricidad. Aunque, obviamente, el hecho de contar con electricidad en una red eléctrica implica una previa transformación de algún tipo, que no será tomada en cuenta al momento de analizar eficiencias energéticas o emisiones de contaminantes. Sino que se considerará a la electricidad como una fuente de energía eficiente y que no emite contaminantes.

### 2.1 COBERTURA ELECTRICA EN EL TERRITORIO ARGENTINO

Si bien la Argentina es un país dotado de recursos energéticos, tanto renovables como no renovables, la distribución geográfica del abastecimiento energético no es uniforme a lo largo de todo el territorio. Existen vastas áreas en las cuales no se han satisfecho los mínimos requerimientos de energía. En general los consumos provinciales se encuentran por debajo de la media nacional y en varias provincias los valores son notablemente menores.

El desequilibrio en la estructura de abastecimiento se presenta tanto en el consumo como en la producción y el flujo energético interregional, lo que provoca una acentuada

dependencia en ciertas regiones. La provisión de energía eléctrica en Argentina cubre las necesidades de las regiones de mayor densidad demográfica y con actividad industrial, prestándose el servicio en aproximadamente un 65 % de la superficie total del territorio nacional.

Por otro lado, es importante remarcar que, en general, existen grandes distancias entre los centros de producción y los centros de transformación y consumo. Lo cual redundará en altos costos de transporte en el sistema energético que se reflejan en las tarifas<sup>6</sup>.

### 3. COMPARACION NUMERICA

A continuación se desarrollará una comparación entre los pellets de madera y algunos de los combustibles tradicionales utilizados tanto para la industria como para el uso doméstico. Los combustibles sólidos que se analizarán son: pellets de madera, leña y carbón vegetal. Los combustibles líquidos son: el gas oil, el fuel oil y el gas licuado. Y el combustible gaseoso a analizar es el gas natural.

La comparación está basada en las características principales que definen a un combustible: *poder calorífico, densidad, energía por unidad de masa o volumen, emisiones generadas tras la combustión y costo por unidad de energía.*

#### 3.1 PODER CALORIFICO

En la siguiente tabla, 4.3, se pueden observar el valor, en diferentes unidades, del poder calorífico para cada uno de los combustibles analizados. De ésta, se puede ver que los combustibles sólidos son los que presentan el menor poder calorífico, a ellos le siguen los líquidos y los cuales presentan los mayores valores son los gaseosos.

Combustible	Poder Calorífico			
	Kcal/Kg	KWh/ kg	GJ/ tn	
<b>Pellets</b>	4.558	5,30	19,08	GJ/ tn
<b>Leña (40% H)</b>	2.743	3,19	11,48	GJ/ tn
<b>Carbón vegetal</b>	6.562	7,63	27,47	GJ/ tn
<b>Gas Natural</b>	11.952	13,90	50,03	GJ/ tn
<b>Gas Licuado</b>	11.825	13,75	49,50	GJ/ tn
<b>Gas oil</b>	10.518	12,23	44,03	GJ/ tn
<b>Fuel oil</b>	10.131	11,78	42,41	GJ/ tn

Tabla 4.3. Poder calorífico para diferentes combustibles.

<sup>6</sup> En el Anexo C se hace una breve descripción del mercado eléctrico en Argentina.

### 3.2 ENERGIA POR UNIDAD DE MASA O VOLUMEN

Otra de las características importantes para el análisis realizado, es la cantidad de energía que presentan los combustibles, pero desde el punto de vista de masa y volumen. Esto se debe a que, para la comparación, un punto importante a tener en cuenta es el espacio que ocupa el combustible utilizado. Obviamente, esto viene de la mano de que el combustible utilizado se tendrá que, por un lado, almacenar en algún lugar o, de lo contrario, ir abasteciéndose constantemente a medida que las necesidades lo requieran.

A continuación, tabla 4.4, se pueden observar los valores de los poderes caloríficos de los distintos combustibles por unidad de volumen (m<sup>3</sup>) o por unidad de masa (tonelada).

Combustible	Energía			
	por volumen (m <sup>3</sup> )		por masa (tn)	
<b>Pellets</b>	3.710	kWh/ m <sup>3</sup>	5.300	kWh/ tn
<b>Leña (40% H)</b>	957	kWh/ m <sup>3</sup>	3.190	kWh/ tn
<b>Carbón vegetal</b>	2.060	kWh/ m <sup>3</sup>	7.630	kWh/ tn
<b>Gas Natural</b>	10,84	kWh/ m <sup>3</sup>	13.897	kWh/ tn
<b>Gas Licuado</b>	24,27	kWh/ m <sup>3</sup>	13.483	kWh/ tn
<b>Gas oil</b>	10.273	kWh/ m <sup>3</sup>	12.230	kWh/ tn
<b>Fuel oil</b>	11.132	kWh/ m <sup>3</sup>	11.780	kWh/ tn

Tabla 4.4. Poder calorífico en kWh por unidad de volumen o masa, para diferentes combustibles.

Si se considera en un primer momento el volumen ocupado de los combustibles, para los sólidos, el pellet es el que presentará mayor energía por espacio ocupado, esto se debe a sus características físicas de elaboración. La compresión de la madera y su forma de pequeños cilindros hace al pellet un combustible que optimiza el espacio ocupado, disminuyendo, en gran medida, los espacios de aire tanto en su composición de madera como en el espacio de almacenamiento.

Por otro lado, tanto el gas natural como el gas licuado son combustibles muy livianos, de un alto poder energético por unidad de peso, pero ocupan un importante volumen. Por esto último, presentan un bajo poder energético por volumen. Por lo tanto, si se los quisiese almacenar a cualquiera de estos 2 combustibles (el gas natural es de red y no se almacena) sería necesario la disposición de grandes tanques para ello.

Por último, el gas oil y fuel oil presentan muy buenas características en cuanto a la entrega de energía por unidad de volumen y masa (alto poder energético por unidad de volumen y masa) En el gráfico 4.2 se puede visualizar esta comparación.

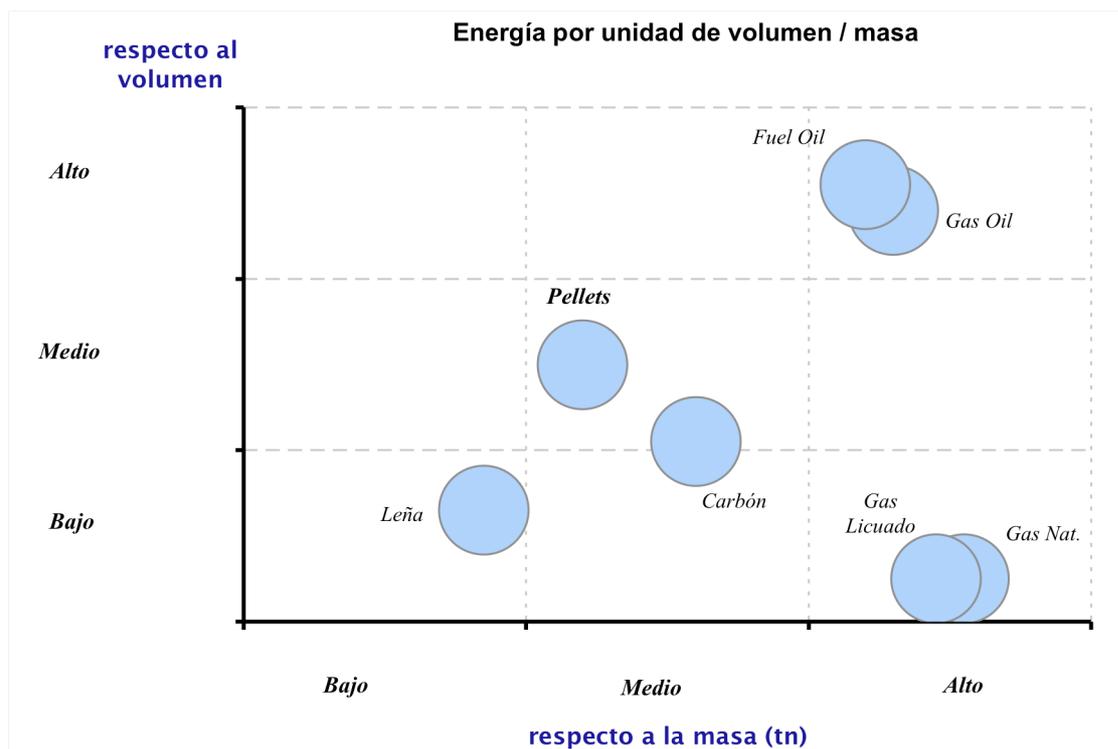


Gráfico 4.2. Comparación entre poderes caloríficos por unidad de volumen o masa de diferentes combustibles, clasificado en bajo, medio o alto. Fuente: elaboración propia.

A continuación, tabla 4.5, se puede ver a cuánto equivale una tonelada de pellets de madera frente a los combustibles utilizados para la comparación. Es decir, por ejemplo, una tonelada de pellets brindará la misma cantidad de energía que 1,66 tn de leña. Las unidades utilizadas en la tabla 4.5 son las que se utilizan generalmente en el mercado, y es remarcable la comparación entre los pellets de madera y el gas natural. Para obtener la misma cantidad de energía que proporciona una tonelada de pellets de madera, harán falta cerca de 500 m<sup>3</sup> de gas natural o casi 500 litros de gas oil o fuel oil.

Combustible	1 tn de Pellets = 1,4 m <sup>3</sup>	
<b>Leña (40% H)</b>	1,66	tns
<b>Carbón Vegetal</b>	0,69	tns
<b>Gas Natural</b>	489	m <sup>3</sup>
<b>Gas Licuado</b>	218	m <sup>3</sup> ó 393 kg
<b>Gas oil</b>	516	lts
<b>Fuel oil</b>	476	lts

Tabla 4.5. Equivalencia energética entre una tonelada de pellet y otros combustibles. Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, se puede comparar la equivalencia de cuántos m<sup>3</sup> y toneladas de pellets corresponden a 1 m<sup>3</sup> y 1 tonelada, respectivamente, de cada uno de los combustibles analizados. Es decir, como muestra la tabla 4.6, 1 m<sup>3</sup> de leña equivale, energéticamente, a 0,258 m<sup>3</sup> de pellets de madera. Por otro lado, también respecto a contribuciones energéticas, 1 tn de leña equivale a 0,6 tn de pellets de madera.

Combustible	1 m <sup>3</sup> de combustible equivale a:	1 tn de combustible equivale a:
<b>Leña (40% H)</b>	0,258	0,60
<b>Carbón Vegetal</b>	0,555	1,44
<b>Gas Natural</b>	0,003	2,62
<b>Gas Licuado</b>	0,007	2,54
<b>Gas oil</b>	2,78	2,31
<b>Fuel oil</b>	3,00	2,22

Tabla 4.6. Equivalencia energética de cuántos m<sup>3</sup>, o tn de pellets, corresponden a 1 m<sup>3</sup>, ó 1 tn, de combustible. Fuente: elaboración propia.

De la tabla anterior también se puede remarcar que los pellets van a ocupar menos espacio que el resto de los combustibles, menos que el gas oil y fuel oil; que comparado con ellos, se necesitará casi 3 veces más de espacio para almacenar la misma cantidad de energía.

Con respecto al peso, almacenar una determinada cantidad de energía en pellets de madera será mas liviano, únicamente, que la leña. Frente al resto de los combustibles será mas pesado, un 44% más que el carbón y más del doble para los restantes.

### 3.3 EMISIONES DE LA COMBUSTION

Uno de los temas de mayor importancia que se le está dando hoy en día a los combustibles son los “desperdicios”, o los gases que éstos emiten. Esta preocupación se debe a los cambios climáticos que se están presenciando; y, obviamente, las intensiones son de concientizar al hombre para que cambie los hábitos que repercuten sobre este tema.

Los principales agentes contaminantes derivados de la combustión son: el Carbono (C), el Azufre (S) y el Nitrógeno (N). A continuación se detallan cómo se generan los compuestos contaminantes más importantes y algunas de las consecuencias que traen aparejados.

#### 3.3.1 Contaminación debida al Carbono

La combustión completa del carbono produce CO<sub>2</sub>, que es el principal contribuyente al

efecto invernadero. Este componente es una consecuencia inevitable de la combustión. Por otro lado, si la combustión no llega a ser completa, se produce CO. Este compuesto es un gas tóxico que en concentraciones elevadas puede llegar a provocar la muerte.

La mejor forma de reducir el efecto de estos contaminantes es la de tratar de conseguir combustiones completas que no produzcan CO, y la de tratar de obtener los mayores rendimientos de combustión posibles de modo que se consuma el mínimo combustible necesario, produciendo así la menor cantidad de CO<sub>2</sub> posible.

La tabla 4.7 muestra un listado de combustibles con sus respectivas emisiones de C y CO<sub>2</sub> por unidad de energía generadas a partir de la combustión.

<b>Combustible</b>	<b>kg de C/GJ</b>	<b>kg de CO<sub>2</sub>/ GJ</b>
<b>Gas Natural</b>	<b>15,3</b>	<b>56,2</b>
<b>Gas Líquido (LPG)</b>	<b>17,2</b>	<b>63,1</b>
Nafta	18,9	69,4
Kerosene	19,5	71,6
Kerosen para Aviación	19,5	71,6
Petróleo crudo	200,0	73,4
<b>Gas Oil</b>	<b>20,2</b>	<b>74,1</b>
<b>Fuel Oil</b>	<b>21,1</b>	<b>77,4</b>
Bitumen	22,0	80,7
<b>Carbón Bituminoso</b>	<b>25,8</b>	<b>94,7</b>
Carbón Sub bituminoso	26,2	96,2
Coque e Petróleo	27,5	100,9
Lignito	27,6	101,3
Turba	28,9	106,1
Coque	29,5	108,3

Tabla 4.7. Emisiones de carbono y dióxido de carbono por GJ para diferentes combustibles. Fuente: Comisión Nacional de Energía Atómica

### 3.3.2 Contaminación debida al Azufre

El azufre está presente en los combustibles en proporciones variables; la oxidación del azufre puede generar distintos compuestos, pero el que se libera a la atmósfera en mayores cantidades es el anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>), y en menor proporción el anhídrido sulfúrico (SO<sub>3</sub>) que en contacto con el agua puede producir ácido sulfúrico, dando lugar a lo que se conoce como “lluvia ácida”.

La combustión de cualquier sustancia que contenga azufre produce emisiones de SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>; aunque las cantidades de SO<sub>3</sub> producidas son mucho menores ya que para que se produzca depende de las condiciones de la reacción, especialmente de la temperatura.

<b>Combustible</b>	<b>g de CO<sub>2</sub>/ kwh</b>	<b>g de C/ kwh</b>	<b>g de SO<sub>2</sub>/ kwh</b>
<b>Pellets Madera</b>	25,2	-	0,16
<b>Chips Secos Madera</b>	25,2	-	0,16
<b>Carbón</b>	340,6	92,8	3,57
<b>Gas Natural</b>	202,2	55,0	-
<b>Gas Licuado</b>	227,0	61,9	-
<b>Gasoil</b>	266,5	72,7	1,08
<b>Fuel Oil</b>	278,4	75,9	4,6

Tabla 4.8. Valores de emisión de CO<sub>2</sub>, C y SO<sub>2</sub> para los combustibles analizados. Fuente: elaboración propia a partir de tabla 4.7.

Para combatir este problema se deben buscar combustibles con mínima presencia de azufre (existe una normativa que regula la cantidad de azufre que puede contener un combustible).

En la tabla 4.8 se pueden ver las emisiones de CO<sub>2</sub>, C y SO<sub>2</sub> por unidad de energía para los combustibles analizados. Es remarcable la diferencia que existe entre las emisiones que generan los pellets de madera frente al resto de los combustibles.

En cuanto al CO<sub>2</sub>, las diferencias que existen en las emisiones por unidad de energía van entre 8 y hasta 13 veces más. Con respecto a las emisiones de C, la de los pellets de madera son tan bajas que se toman como despreciables. Finalmente, con respecto al SO<sub>2</sub>, si bien son el gas natural y el gas licuado los que presentan emisiones que se pueden considerar como nulas, las emisiones correspondientes a los pellets de madera son muy bajas comparadas con el resto de los combustibles.

En términos generales de emisión de agentes contaminantes, se puede ver desde la tabla 4.8 que el carbón es el combustible que presenta mayores emisiones dañinas, seguido por los combustibles líquidos gas oil y fuel oil y continuando con el gas licuado y gas natural. Las emisiones que generan los pellets de madera producto de la combustión, son las menores en relación con los combustibles analizados. Dándole esto una gran ventaja competitiva desde el punto de vista ecológico.

### 3.3.4 Contaminación debida al Nitrógeno

A las elevadas temperaturas de la llama, el nitrógeno que forma parte del combustible y el nitrógeno del aire comburente pueden combinarse con el oxígeno para formar el óxido nítrico (NO). Luego, en la atmósfera, se vuelve a combinar con el oxígeno del aire para formar el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).

Dentro de los óxidos de nitrógeno se conocen ocho distintos, pero normalmente tienen interés como contaminantes sólo esos dos, el NO y el NO<sub>2</sub>. El resto de ellos se encuentran en equilibrio con ellos y en concentraciones tan extraordinariamente bajas que carecen de importancia para este análisis. Se utiliza normalmente la notación NO<sub>x</sub>

para nombrar colectivamente a estos dos óxidos de nitrógeno.

### 3.4 COSTO POR UNIDAD DE ENERGIA

El sector energético argentino se encuentra en un marco de subsidios que hacen marcar algunas diferencias entre los precios de los combustibles.

A continuación, tabla 4.9, se muestra una comparación entre los costos en el mercado argentino de los diferentes combustibles analizados, las propiedades energéticas de cada uno de ellos y sus respectivos costos por unidad de energía. La comparación se hace tanto para el ámbito residencial, como para el industrial o comercial, aunque las tendencias se mantienen en ambos ámbitos.

Tipo de combustible	Unidad Comercial	Costo Unidad	Energía		Costo Energía
			kWh/ m <sup>3</sup>	kWh/ tn	
<b>Residencial</b>					
		\$/unid.			\$/ kWh
Energía Eléctrica	\$/kWh	0,148			0,148
Gas Natural (red)	\$/m <sup>3</sup>	0,146	10,84	13.897	0,013
Gas Licuado (garrafa)	\$/kg	3,5	24,27	13.75	0,255
Carbón Vegetal	\$/ t	1.295	2.06	7.63	0,170
<b>Pellets</b>	<b>\$/ t</b>	<b>648</b>	<b>3.71</b>	<b>5.3</b>	<b>0,122</b>
<b>Industrial / Comercial</b>					
Energía Eléctrica	\$/kWh	0,207	-	-	0,207
Gas Natural (red)	\$/m <sup>3</sup>	0,503	10,84	13.897	0,046
Gas Oil	\$/m <sup>3</sup>	3.221	10.273	12.23	0,314
Fuel Oil	\$/ t	2.147	11.132	11.78	0,182
Carbón	\$/ t	1.295	2.06	7.63	0,170
<b>Pellets</b>	<b>\$/ t</b>	<b>555</b>	<b>3.71</b>	<b>5.3</b>	<b>0,105</b>

Tabla 4.9. Costo por unidad energética para distintos combustibles. Fuente: MetroGAS “Análisis comparativo de precios de combustibles líquidos, gaseosos y energía eléctrica”.

Observando los números del análisis realizado se puede ver que la forma más económica de obtener energía es a partir del gas natural, seguido por los pellets de madera y la tercer manera más económica resulta la obtención a partir del carbón. Siendo la menos económica la energía eléctrica. Esto en cuanto a los tipos de combustibles que se repiten en ambos ámbitos, el residencial y el industrial.

Yendo al ámbito residencial, la utilización de gas licuado para la obtención de energía resulta ser el medio menos económico.

En el ámbito industrial, el fuel oil tiene un costo menor y el gas oil un costo mayor, por unidad de energía, comparado con la energía eléctrica.

### 3.4.1 Eficiencias energéticas

Es importante tener en cuenta que para el cálculo del costo del kWh de la tabla 4.9 se tuvieron en cuenta tanto el costo como el poder calorífico de cada uno de los combustibles, pero algo que también hay que considerar es la eficiencia que brinda el equipo con el que se realiza esa transformación energética (combustión). Es por eso que cuanto más eficiente sea el artefacto que se utilice, se aprovechará más la energía que el combustible entregue.

En equipos con evacuación de gases al exterior, salvo que el fabricante indique otra cosa, es razonable suponer que el calor aprovechado corresponde a entre un 60% y un 80% de la potencia teórica. Si el equipo evacúa los gases directamente a la habitación, lo más razonable es suponer que se aproveche el 100% del poder calorífico. Igualmente, una estufa que no queme casi la totalidad del combustible en forma “perfecta” no se podría comercializar ya que generaría niveles inaceptables de hollín y monóxido de carbono.



## 5. ANALISIS DE MERCADO DE LOS PELLETS DE MADERA

### 1. ASPECTOS CUALITATIVOS DEL MERCADO DEL PELLET

#### 1.1 INTRODUCCION

El pellet de madera se utiliza como biocombustible para la quema en estufas hogareñas para calefaccionar ambientes en regiones frías, como así también en calderas, tanto de sistemas centralizados de calefacción como industriales. Dentro del mercado industrial, uno de los usos es en la co-generación<sup>7</sup> en centrales eléctricas.

Los competidores de los pellets de madera son el carbón mineral y vegetal, la leña proveniente de los bosques plantados y nativos, las briquetas de madera, los derivados del petróleo y del gas natural y la electricidad.

Según el balance energético proporcionado por la Secretaría de Energía Argentina (2007), casi el 50% de la producción de energía primaria corresponde al gas natural y casi el 40% al petróleo. En cuanto a la oferta de energía secundaria en Argentina, el perfil es el siguiente: el 47% proviene del gas de red, el 16% del diesel y gas oil, el 13% de la electricidad, el 4% del gas licuado, y el 20% restante distribuido en otras fuentes. Para un país con casi 40 millones de habitantes es natural que exista una fuerte competencia entre todos estos combustibles, incluyendo también a la biomasa.

En este escenario energético argentino y mundial, el pellet de madera compite con sus ventajas comparativas y va tomando fuerza en su crecimiento en base a algunas de las variables mencionadas en este trabajo.

Según las consideraciones planteadas previamente, en el punto 4.3 de la sección 2, la estimación de desperdicios forestales sin destino comercial alcanzan las 1,13 millones de toneladas por año en Argentina. Esto, y sumado a los altos precios estimados a largo y mediano plazo del petróleo, hace que los pellets de madera se conviertan en una alternativa energética competitiva para sustituir, en parte, a la industria del petróleo.

El uso inteligente de los residuos, proveniente principalmente de los aserraderos y la industria del mueble, tales como tablones deformados, aserrín, chips, tapas, despuntes, recortes, etc. dan lugar a la creación de una leña de alta densidad de energía.

La literatura técnica y académica del mercado argentino de los pellets de madera es escasa frente a las necesidades de conocimiento, tanto para las dediciones empresariales y profesionales del área, como así también para la elaboración de políticas públicas.

A partir de esto, este capítulo apuntará a: investigar las fortalezas y debilidades de la oferta como así también las oportunidades y amenazas de la demanda; estudiando los

---

<sup>7</sup> Se le llama proceso de co-generación cuando, partiendo de un único combustible, se aprovechan dos tipos de energías. Para el caso de la generación eléctrica, se utiliza la energía térmica para generar el vapor de agua que alimenta la turbina de generación eléctrica y, además, se utiliza el calor que le queda al vapor para calentar agua y darle diferentes usos.

factores que favorecen, como así también aquellos que desfavorecen esa demanda.

## 1.2 CONSIDERACIONES INICIALES

Motivado por los altos precios, las presiones ambientales e inseguridad de abastecimiento, producto de conflictos geopolíticos mundiales, los combustibles fósiles están viendo declinar su demanda. A contrapartida de esto, las alternativas agroenergéticas, entre ellas la biomasa, van ganando espacio. Estas son energías renovables, con un balance de carbono favorable e incorporan nuevas tecnologías día a día que las hacen más competitivas.

Estos combustibles biomásicos y fósiles compiten entre sí por el precio, calidad, técnicas y situaciones comerciales propias de cada mercado. En función de una nueva conciencia ambiental, aumento de los precios del petróleo y el crecimiento de la demanda, de la biomasa en general y de los pellets en particular, se va ganando cuota del mercado y obteniendo mejores costos en la producción.

La mayoría de los aspectos relacionados con la producción de pellets para el mercado doméstico dependen de cuáles son las fuentes de energía disponibles que se sustituirían y a qué precio se encuentran. En cuanto a precios, logística y políticas impositivas, dentro de los no renovables, el pellet compite con el gas natural y fuel oil. Por el otro lado, dentro de las fuentes renovables, el pellet compite con el carbón vegetal, las briquetas y la leña, que son las principales biocombustibles sólidos utilizados Argentina.

## 2. MERCADO CONSUMIDOR DEL PELLET

El pellet de madera tiene varios mercados bien diferenciados en los que se desarrolla, por un lado está el mercado doméstico y por el otro el industrial. A su vez cada uno de ellos tiene dos usos, nuevamente, bien marcados. En el mercado doméstico los usos son como combustible en estufas individuales que se utilizan para calefaccionar un ambiente, o bien como combustible en calderas para alimentar sistemas centralizados de calefacción. Dependiendo del tamaño, estos últimos se pueden utilizar para pocos ambientes o bien para toda una casa o complejo inmobiliario. En cuanto al mercado industrial, sus usos son como combustible en hornos dentro de un proceso o bien para la combustión en la co-generación eléctrica.

Por otro lado, existen dos clases de pellets que se comercializan en la actualidad: el *standard* y el *premium*. Si bien se trata de un “commodity”, como se mencionó anteriormente, existen mercados de pellets bien definidos y cada uno de ellos presentan requerimientos de calidad diferentes.

## 2.1 ESTUFAS

Este tipo de aparatos está caracterizado por dos segmentos de consumidores. Por un lado, está quienes utilizan este sistema como fuente primaria de calefacción, ya sea calefaccionando ambientes pequeños como grandes.

Por el otro lado, está quienes utilizan estos aparatos con fines estéticos. Es decir, pueden llegar a utilizar el calor generado como fuente principal de calefacción o simplemente como suplemento a algún otro sistema que puedan llegar a tener instalado. Pero lo que les interesa a este tipo de consumidores es el ámbito que genera este tipo de calefacción, es algo más “visual”.



Foto 5.1. Estufa de pellets. Fuente: Edilkamin

Por un tema de comodidad o disposición de lugar, estos consumidores se abastecen de las presentaciones más chicas. Es decir, compran las “small bags” y las almacenan en algún lugar sin que les ocupe demasiado espacio.

## 2.2 SISTEMAS DE CALEFACCION CENTRALIZADOS

Estos sistemas de calefacción son utilizados en hogares o complejos inmobiliarios, tales como hoteles, hospitales, etc. con el fin de obtener calefacción en todo el lugar. Además, este sistema da la posibilidad de agregar un circuito cerrado de agua caliente, obteniéndose así calefacción y agua caliente desde una caldera central.

El abastecimiento de pellets se suele hacer desde una tolva o pequeño silo externo, en donde se pueda acopiar de tal manera que se logre una mayor autonomía. Su tamaño, obviamente, dependerá tanto de las dimensiones de lugar como así también de las condiciones ambientales del mismo.



Foto 5.2. Sistema centralizado de calefacción. Fuente: Ökofen.

El abastecimiento de pellets para la alimentación de este sistema se suele hacer con las presentaciones más grandes, “big bags” o a granel desde un camión cisterna. El abastecimiento desde este último sistema logístico, por el momento, no está desarrollado en el país.

### **2.3 HORNOS INDUSTRIALES**

Este segmento del mercado corresponde al sector industrial. Gran cantidad de procesos industriales implementan hornos para realizar procesos de secado, los cuales se suelen alimentar a gas natural, carbón o gas oil.

Estos procesos suelen ser etapas críticas del proceso de elaboración y consumir una gran cantidad de energía. Es por eso que el reemplazo total o parcial del combustible tradicional utilizado por el pellet de madera, con los beneficios que éste tiene, aporta una gran reducción de costos al proceso de productivo.

### **2.4 GENERACION ELECTRICA**

La generación de electricidad en centrales eléctricas a través de pellets de madera se está llevando adelante en algunos países de Europa. Esto se debe básicamente a que una planta de este tipo tiene una necesidad de abastecimiento de gran escala. Muchas veces, esos volúmenes no están disponibles, por el momento, en el mercado.

Como ejemplo se puede mencionar una planta situada en Dinamarca, en la ciudad de Avedore. Esta central eléctrica es una de las plantas más eficientes del mundo y genera calor para calefaccionar la zona metropolitana y abastece la red eléctrica de la Isla Zealand, la isla más grande de Dinamarca y donde se encuentra Copenhague. La siguiente figura, 5.1, muestra un diagrama de las instalaciones de la planta.

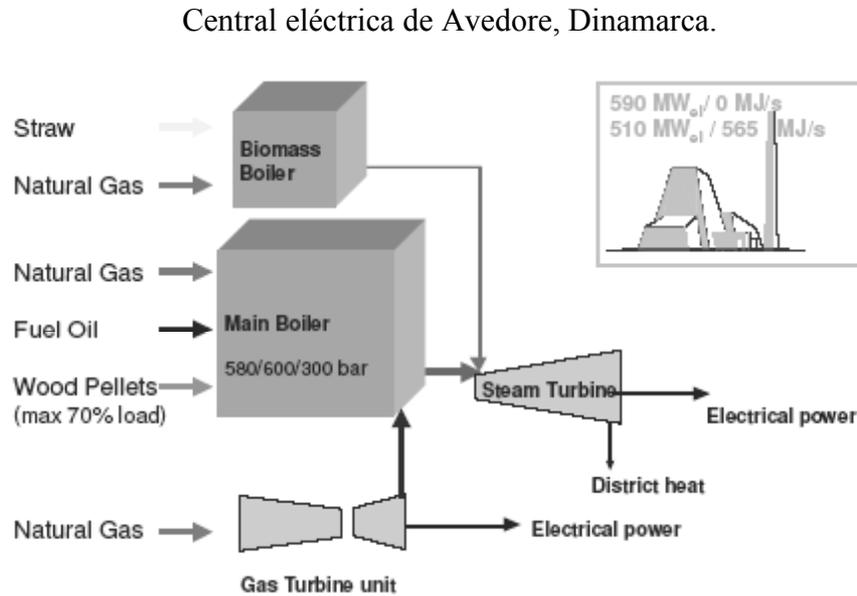


Figura 5.1. Diagrama de las instalaciones de la central eléctrica de Avedore. Fuente: Pellets for Europe.

Esta planta cuentan básicamente con el siguiente equipamiento: una caldera principal alimentada a pellet de madera, gas oil y gas natural por un lado, una caldera secundaria alimentada a residuos biomásicos, dos turbinas alimentadas a gas natural y un set de turbinas a vapor. El calor de los gases de la caldera alimenta el circuito de vapor que será el que genere la actividad de las turbinas.

### 3. ¿COMO ES EL MERCADO EN EL MUNDO?

Los pellets provenientes de residuos de madera - y en algunos casos, también de residuos agrícolas - no han salido a la luz hace poco. El pellet de madera se inventó en la década de 1970 en los Estados Unidos y durante las siguientes dos décadas se mantuvo casi sin desarrollo en pequeños nichos. Luego, comenzó un importante desarrollo en los mercados de Europa, seguido de un renovado interés de los Estados Unidos y, finalmente, comenzó a conocerse por el resto del mundo. Desde los últimos diez años está siendo un éxito la participación de los pellets como combustible dentro de los diferentes mercados, ya sea en estufas y calderas para calefacción doméstica o para la co-generación en centrales eléctricas de carbón.

Los altos precios del petróleo en el otoño (hemisferio norte) de 2005 aceleró las ventas

de las estufas y calderas de pellets. Al mismo tiempo, un invierno muy frío en Europa creó una mayor demanda y una gran escasez de materias primas para la producción de los pellets, la cosecha de madera se paralizó por un tiempo debido a las temperaturas extremadamente bajas y grandes cantidades de nieve. Estos problemas de abastecimiento de materias primas sumado a un rápido crecimiento de la demanda generaron problemas de desabastecimiento de pellets en el mercado, tanto europeo como norteamericano. Al año siguiente continuaron los problemas de abastecimiento de materias primas, lo que derivó en un aumento de los precios. Se alcanzó a comercializar a 180 euros por tonelada de pellet a granel y hasta 270 euros la tonelada de pellet en bolsas con destino hogareño.

Las consecuencias sobre la evolución que vivió el pellet durante esos dos años sumado a un invierno “suave” que le tocó vivir a Europa, se vio reflejada luego del invierno (hemisferio norte) 2007/2008 donde los consumidores bajaron los niveles de consumo. Esto se tradujo en una disminución en el precio, comercializándose a 210 euros la tonelada de pellets con destino hogareño.

### 3.1 CONTEXTO EUROPEO

La disponibilidad de materias primas, precios competitivos y diversificación de las políticas energéticas a favor del desarrollo de la industria bioenergética, hacen que Europa tenga grandes diferencias a su favor en cuanto al desarrollo de la industria en general y de los pellets de madera en particular. Hace ya más de 10 años que Europa viene desarrollando la industria.

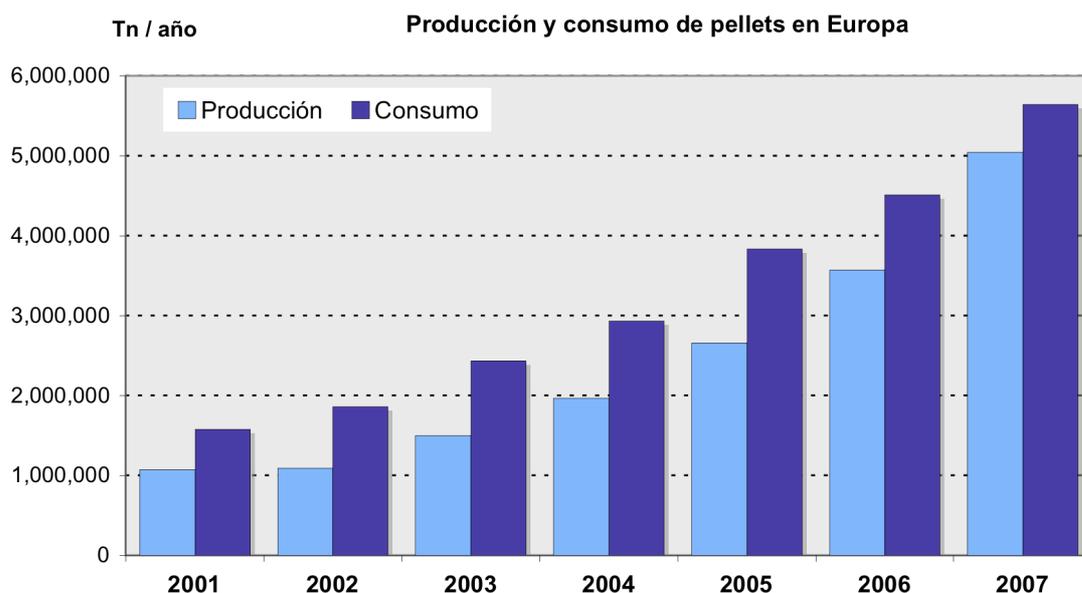


Gráfico 5.1. Volúmenes de producción y consumo en Europa. Fuente: Pellets for Europe.

Tal como se puede observar en el gráfico 5.1, existe un excedente en el consumo de pellets en Europa que, en su gran mayoría, fue cubierto por la oferta de América del Norte (Estados Unidos y Canadá).

Los países más avanzados en cuanto al desarrollo de los mercados de pellets son: Suecia, Alemania, Austria y Holanda. Otros países como Italia, Bélgica, Dinamarca, Francia y Reino Unido ya están siguiendo las tendencias de los países más desarrollados. En 2006 la producción de pellets en Europa fue de aproximadamente 3,57 millones de toneladas, con Suecia, Austria y Alemania como principales productores. Al siguiente año la producción alcanzó las 5 millones de toneladas, un crecimiento del orden del 40% respecto al año anterior. Las industrias productoras de pellets que se encuentran instaladas en Europa son de variada dimensión, habiendo desde pequeños productores con una capacidad de 2.000 toneladas a grandes industrias con capacidades de 150.000 toneladas al año.

En cuanto al consumo de pellets de madera, en 2006 Europa consumió un total de 4.513.000 toneladas y al siguiente año el número ascendió a 5.643.000 toneladas.

### 3.1.1 Mercados europeos

Los pellets de madera se utilizan tanto para la producción de electricidad como para la producción de calor y su aplicación varía de país a país. Su principal uso es en estufas hogareñas, calderas, o aplicaciones industriales, el cual depende en gran medida de las políticas nacionales de energía renovable, las escalas de la industria maderera y los hábitos de calefacción.

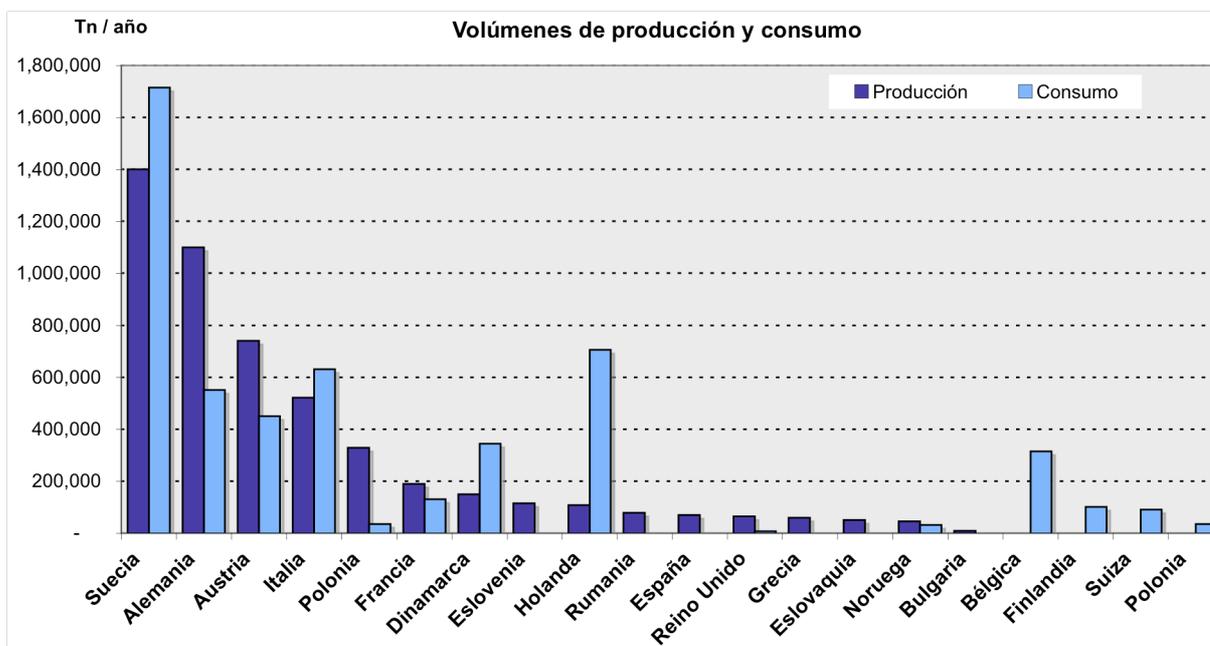


Gráfico 5.2. Volúmenes de producción y consumo de pellets de madera en los principales países de la industria del pellet en Europa. Fuente: Pellets for Europe.

En el gráfico 5.2 mostrado a continuación se pueden observar los volúmenes de producción y consumo, en toneladas por año, de los países con mayor actividad en la industria del pellet. Además, teniendo en cuenta las diferencias entre niveles de producción y consumo se puede ver cuáles son los países importadores y cuáles son exportadores de pellets de madera.

En Suecia, Dinamarca y Finlandia, los pellets de madera se utilizan con ambos fines: generación de electricidad y producción de calor. En los Países Bajos y Bélgica los pellets se utilizan para la co-generación en la producción de energía, mientras que en Alemania, Austria, Italia y Francia destinan el pellet casi en su totalidad a sistemas de calefacción centrales o estufas domiciliarias.

Los precios de los pellets en Europa varían según cada país. En el siguiente gráfico (gráfico 5.3) se pueden observar los precios en algunos países y cómo se marca la estacionalidad durante el año (durante los meses del invierno europeo el pellet sube de precio).

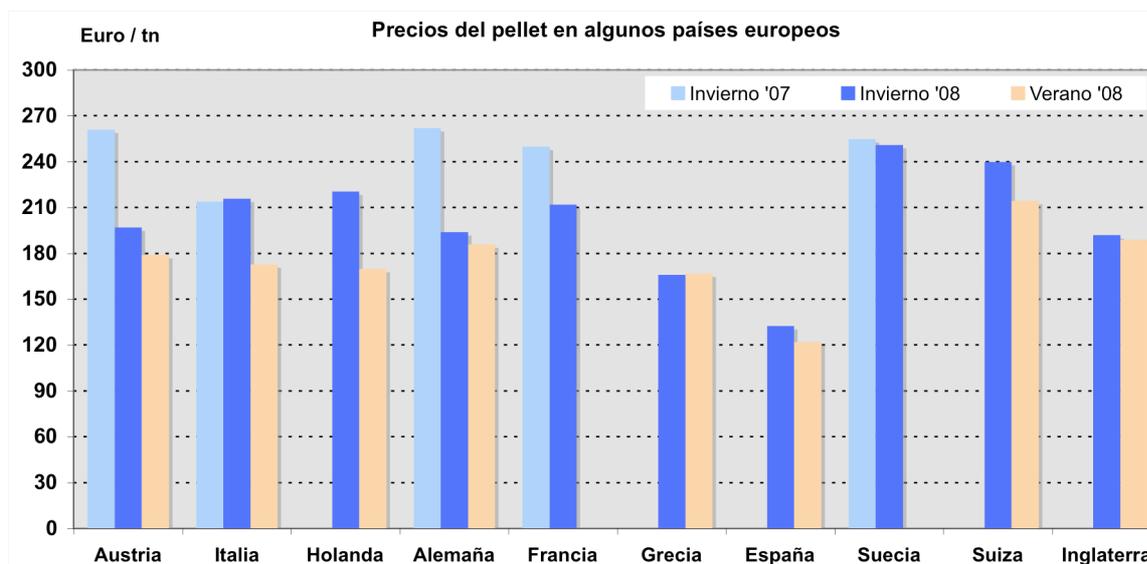


Gráfico 5.3. Precios referencia en algunos países europeos para los periodos invierno 2007, invierno 2008, verano 2008. Fuente: pelletcentre.

### 3.1.2 Tendencias del mercado europeo

El consumo de pellets en Europa va creciendo año a año y de forma muy pronunciada. Esto se debe a que por un lado, en países como Suecia, las tasas de impuestos sobre los combustibles fósiles son muy fuertes, lo que facilita la competencia del pellet en cuanto a precios.

Las principales razones a que se debe esto es a que en países como Suecia, las tasas de impuestos sobre los combustibles fósiles son muy fuertes, lo que facilita la competencia del pellet en cuanto a precios. Además, existe un gran apoyo desde los gobiernos de la

Comunidad Europea para desarrollar la industria de los biocombustibles a través de subsidios.

Según algunos estudios [INFOR-Chile, 2007] las proyecciones de consumo de pellets de madera en Europa serán un 34% mayor que las proyecciones de producción. Debiendo cubrir esos volúmenes (más de 4 millones de toneladas) con importaciones desde fuera de Europa.

### **3.2 CONTEXTO EN AMERICA LATINA: BRASIL, ARGENTINA Y CHILE**

En cuanto a los bosques, Argentina, Brasil y Chile, abarcan más del 82% de la producción de madera aserrada de América Latina y alrededor del 90% de la madera industrial en rollo. Además, estos países tienen más del 85% de los bosques implantados de la región. Uruguay, por su lado, es uno de los exportadores más grandes de madera en rollo, pero tiene una pequeña cantidad de madera procesada y aserrada, lo que resulta en una reducción de los residuos de la madera (aserrín y viruta). Paraguay tiene mayor cantidad de madera procesada y aserrada que Uruguay, pero proviene casi en su totalidad de bosques nativos [FAO, 2007]. Por lo tanto, se considerarán en esta sección los primeros tres países como referentes de la región.

La producción de Pellets en América Latina está en sus comienzos, y es por eso que el abastecimiento de los residuos de biomasa no se considera como una barrera por el momento. Sin embargo, la falta de capacidad industrial y las barreras logísticas son limitaciones importantes. La exportación de pellets, en la actualidad, se ha destinado al uso doméstico en su gran mayoría. Aunque se estima que algunos productores grandes de Brasil ya muestran competitividad al compararlos con los precios que tienen en el mercado de gran escala en Europa.

#### **3.2.1 Mercados emergentes**

Para ninguno de los tres países mencionados (Argentina, Brasil y Chile) se incluyen dentro de las estadísticas nacionales del sector energético o forestal el término “pellets”, dentro de las cifras presentadas. O sea que conseguir información actualizada y global de la industria presenta dificultades. Es por ello, que las bases de las fuentes de información se deben, en su gran mayoría, a profesionales que se desempeñan en éste ámbito.

	Capacidad Produccion	Capacidad Actual*	Consumo doméstico (1.000 t/año)	Exportación*
Brasil	60	25	-	25
Argentina	7,2	7,2	-	7,2
Chile	80	20	-	20

\* Estimación

Tabla 5.1. Producción, consumo y exportación de pellets en América Latina. Fuente: IEA Bioenergy, 2007.

Según la bibliografía consultada [IEA Bioenergy, 2007], Argentina fue el primer país de Latino América en exportar los pellets. Lo que posiciona al país en una ventaja competitiva frente al resto, ya que cuenta con el canal de comercialización ya incorporado y operando.

En la tabla 5.1, se puede observar la capacidad de producción de pellets de los principales países de América Latina que comercializan dicho combustible; como así también la producción y el volumen de exportación. Si bien estos valores corresponden a 2007, en el siguiente año, en la Argentina, comenzó a operar una empresa más que aportó otras 10.000 toneladas extra aproximadamente a los volúmenes manejados previamente. Haciendo entonces un total de casi 18.000 toneladas comercializadas durante el 2008.

### 3.2.2 Tendencias y precios

Actualmente, el atractivo mercado Europeo de consumo doméstico, con precios entre 150 y 180 euro/tn, está absorbiendo la pequeña producción de América Latina a pesar de los altos costos logísticos que se presentan, tales como tarifas portuarias o contenedores de carga. Sin embargo, el mercado europeo más importante es el de los pellets a granel para la generación de calor o energía eléctrica, el cual se está pagando en promedio entre 100 y 120 euro/tn.

Es por esto que, a pesar del mercado europeo, la tendencia para América Latina, y en especial Argentina y Brasil, es a mantener el precio sin grandes pendientes [IEA Bioenergy, 2007].

### 3.2.3 Mercado argentino

En la actualidad se está comenzando a comercializar estufas para el hogar alimentadas a pellets de madera, pero por el momento su desarrollo es muy personalizado. Por otro lado, existen algunas empresas como ser Minetti, Kruguer o Quilmes, entre otras, que están interesadas en realizar pruebas con biomasa para el reemplazo de sus combustibles dentro de algunos de sus procesos productivos.

## 4. MERCADO PROVEEDOR Y DISTRIBUIDOR EN ARGENTINA

### 4.1 ORIGEN DE LA MATERIA PRIMA

Uno de los pilares del sustento de la industria del pellet de madera es la logística. Los costos que tiene que afrontar una empresa productora y comercializadora de este producto no son despreciables en lo más mínimo, representan alrededor de un 30% del costo total de lo vendido<sup>8</sup>.

La industria de la madera se encuentra centralizada, principalmente, en la zona Centro y Noreste de la Argentina donde se extiende la mayor concentración de bosques cultivados del país (casi el 80% de la superficie cultivada). Esto, a su vez, lleva a la región a un desarrollo muy importante de la industria maderera. La principal industria generadora de residuos madereros son los aserraderos.

Conforme lo mencionado en el párrafo anterior, se puede distinguir la actividad de los aserraderos en las tres provincias de mayor desarrollo. En la Provincia de Corrientes existen un total de 196 aserraderos que trabajan la madera proveniente de bosques cultivados, en Misiones existen alrededor de 200 y en Entre Ríos el total llega a 120 aserraderos. La gran mayoría de los aserraderos mencionados en esta última provincia tienen su polo en el cordón forestal que une las ciudades de Federación y Concepción del Uruguay. En esta zona se encuentran ubicados alrededor de 70 aserraderos que trabajan más del 70% de la madera de la provincia.

Otra industria que puede destinar sus desechos para la producción de los pellets proviene de los procesos de la segunda transformación, las carpinterías. Estas producen un importante volumen de materiales como desperdicio. Para algunos de ellos existe un destino comercial, mientras que otros son desechados sin ningún tipo de aprovechamiento.

El aserrín generado con los cortes de madera es uno de los residuos que tienen destino comercial y lo utilizan los ladrilleros o también los criaderos para hacer las camas de los pollos. El otro residuo utilizado por otras industrias es la viruta del cepillado. Esta la utilizan, también, para armar camas a animales de mayor tamaño, como el caso de caballos. El precio al que se comercializan estos productos no suele sobrepasar los 150 pesos la tonelada. Si bien tienen un costo más alto del que se lo podría llegar a conseguir en los aserraderos, es importante remarcar que las carpinterías trabajan con madera seca. Lo que puede llegar a evitar el proceso de secado en la producción de pellets. Finalmente, el material que no suelen poder ubicar desde las carpinterías son los recortes de madera. En muchos casos, lo que las carpinterías terminan haciendo es llamando al servicio de recolección de residuos para que se lo lleven y quemar en cámaras de incineración.

---

<sup>8</sup> Sin considerar los costos logísticos marinos.

## 4.2 DESTINO DEL PRODUCTO TERMINADO

En cuanto a la distribución del producto terminado, es importante considerar que un porcentaje de su producción será destinada al mercado internacional. Por lo tanto será necesario el despacho desde un puerto internacional, a menos que se destine a países limítrofes por medio de flete terrestre. En la ciudad de Concepción del Uruguay se encuentra el puerto más importante del Río Uruguay. Es decir que, a través de su uso, surge la oportunidad de evitar fletes terrestres hasta el Puerto de Buenos Aires.

Algunos de los costos logísticos a tener en cuenta para poder realizar la distribución del pellet de madera son los siguientes:

<b>Costos Logísticos</b>		
Flete Marino	<b>108,0</b>	USD/ton
Gastos de puerto	<b>29,7</b>	USD/ton
Impuestos y tasas	<b>12,8</b>	USD/ton
Flete Terrestre	<b>1,6</b>	<u>USD</u> camión* km

Tabla 5.2. Costos logísticos. Fuente: Inderfor S.A.

Tal como se puede ver en la tabla anterior, los costos logísticos alcanzan los 152 USD/ton. Estos incluyen flete marino<sup>9</sup>, gastos de puerto, impuestos y tasas, correspondientes a los costos de exportación. Además, se incluye el flete terrestre que si bien es un costo a afrontar para la exportación, también, se tiene que tener en cuenta tanto como para el abastecimiento de la materia prima como para el comercio dentro del país.

## 5. COMPETIDORES

En la actualidad hay solamente dos empresas de gran envergadura que están operando y produciendo pellets de madera en el país. Por otro lado, existen productores más pequeños pero sus volúmenes no llegan a ser considerables.

Las empresas que ya están produciendo pellets se encuentran instaladas en las provincias de Corrientes y Misiones. Ellas son: Zeni & Cía. y Lipsia S.A respectivamente ubicadas. En cuanto a la otra Provincia de importancia en el rubro maderero, Entre Ríos, hasta el momento no se encuentra operando ninguna industria de tamaño a considerar. Es por esto que se toma a esta provincia como un potencial lugar para proyectos de esta envergadura.

<sup>9</sup> Flete marítimo correspondiente hasta el puerto de Róterdam, Holanda.

## 6. ANALISIS FODA

La competitividad del pellet de madera se puede desarrollar a partir del llamado análisis FODA (cuadro 5.1). En este análisis, las Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas son caracterizadas; y luego se busca la manera de ver cómo mejorar las fortalezas, cómo eliminar o reemplazar las debilidades, cómo detectar las oportunidades o cómo combatir las amenazas desde el momento del análisis en adelante.

### Fortalezas

- Combustible renovable
- Combustible compacto y homogéneo
- Forma de energía amigable con el medio ambiente, particularmente por las emisiones de CO2
- De fácil manipuleo, uso y transporte
- Bajo contenido de ceniza
- No se congela
- Alto nivel de energía
- Materia prima de bajo costo y buena disponibilidad
- Estabilidad de precio
- Flexibilidad de usos

### Debilidades

- Poco conocimiento entre consumidores
- Mercados recientes
- Altos costos de transporte y distribución

### Oportunidades

- Inestabilidad del petróleo
- Aumento de precio de la electricidad/ gas
- Políticas internacionales de fomento de bioenergías. Protocolo de Kyoto
- Mejora la tecnología industrial para la transformación de madera, reduciendo el precio de la materia prima de los pellets
- Gran potencial de crecimiento
- Cuidado del medio ambiente

### Amenazas

- Políticas ambientales para pellets no desarrolladas en el país.
- Escasez de materia prima. Si el materia es desviado para otros fines o si el volumen de madera transformada en aserraderos es reducido
- Reducción del precio de otros combustibles
- Competencia con otras alternativas locales como los chips de madera

Cuadro 5.1. Análisis FODA para los pellets de madera.

Cuando se analizan las fortalezas, se puede observar que no hay muchos cambios posibles para mejorarlas (valor agregado que le da al uso doméstico, emisiones de CO<sub>2</sub>, valor energético, etc.) Por el contrario, es más fácil corregir las debilidades. En particular, es fundamental el conocimiento del producto entre consumidores. Para ello es de gran importancia mantenerse sobre estándares de calidad definidos que aseguren la calidad del producto y, por ende, la confiabilidad que tendrán los consumidores hacia el producto.

En cuanto a las amenazas, si bien es una tarea difícil, es necesario hacerle conocer al ámbito gubernamental la importancia que tiene el pellet como fuente de puestos de trabajo y, por lo tanto, un motor para la economía nacional.

Una de las oportunidades no desarrolladas en puntos anteriores de este trabajo es lo relacionado a las políticas internacionales orientadas a la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>, el Protocolo de Kyoto. Uno de los últimos objetivos establecidos en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) es estabilizar las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero a niveles que no perjudiquen al medio ambiente. Es por esto que a partir de 2005 entró en vigencia el Protocolo de Kyoto. A partir de ahí, existen instrumentos económicos, los “bonos de emisiones transables”, mediante los cuales empresas de países desarrollados pueden financiar proyectos de sustitución de tecnologías contaminantes por otras menos dañinas, disminuyendo así sus niveles de emisión de carbono.

Este sistema considera el derecho a contaminar como un bien canjeable y con un precio establecido en el mercado. La transacción de los bonos de carbono - un bono de carbono representa el derecho a contaminar emitiendo una tonelada de dióxido de carbono- permite mitigar la generación de gases contaminantes, beneficiando a las empresas que no lo hacen y haciendo pagar a las que contaminan más de lo permitido.

## **6. UTILIZACION DE LOS PELLETS EN UN CASO PRACTICO**

### **1. CONSIDERACIONES INICIALES**

En la siguiente sección se analizarán los beneficios económicos, a partir de un caso práctico, del uso de los pellets de madera. Para ello se seleccionó el proceso de secado de granos en la industria agrícola.

Los objetivos de esta sección son determinar el consumo de energía calórica que tiene una planta procesadora en el secado de granos, como así también, la necesidad de combustible requerido para llevar adelante dicho proceso y el costo que ello tiene. Finalmente, se analizarán los beneficios que tendría la planta si el combustible utilizado fuesen pellets de madera.

#### **1.1 MARCO CONTEXTUAL ARGENTINO**

La Argentina es uno de los países de mayor producción, comercialización y moliendo de granos en el mundo. Anualmente se producen alrededor de 80 millones de toneladas de los principales granos (trigo, maíz, soja, girasol y sorgo), de los cuales cerca del 40% (30 millones de toneladas aproximadamente) recibe un proceso de secado. Los objetivos principales del secado son reducir la humedad de cosecha de los granos y semillas a niveles seguros de almacenamiento y óptimos para la comercialización o procesamiento.

Gran parte de este proceso de secado se realiza en secadoras continuas de alta temperatura que tienen un importante consumo de combustible. En el país, los principales combustibles utilizados son: gasoil, gas natural (GN) y/o gas licuado de petróleo (GLP). En los últimos años se ha generado una tendencia de ir convirtiendo el parque de secadoras nacionales de gasoil a gas (natural o envasado). Sin embargo, todavía, existe un gran número de secadoras en acopios y parte de la industria que sigue funcionando con gasoil, principalmente en el interior del país.

El gasoil fue el combustible más importante durante varias décadas, hasta que el aumento de los precios obligó a muchas plantas de acopio e industriales a convertir la tecnología y adaptarla al gas como nuevo combustible. Sin embargo esto no trajo la solución, durante los años de importantes cosechas se ha registrado escasez en el abastecimiento de combustible golpeando de manera significativa las tareas de secado.

#### **1.2 ESTIMACIONES Y CALCULOS**

##### **1.2.1 Proceso de secado de granos**

Para el siguiente análisis se partió de un volumen estimado de producción de una planta procesadora de granos que trabaja con dos secadoras verticales de torre simple. Cada

una de ellas con una capacidad de secado de 30 y 20 toneladas de grano por hora respectivamente. La secadora de mayor capacidad se utiliza para el secado de la soja, que cuenta con un volumen a procesar mayor, y la otra secadora es utilizada para el secado del maíz.

En cuanto al combustible utilizado por las secadoras, se hará una comparación entre los tres combustibles tradicionales que se utilizan en la industria, gasoil, gas natural y GLP. Además, se hará una estimación de cuánto sería el consumo si se utilizaran pellets de madera como combustible de alimentación de las secadoras.

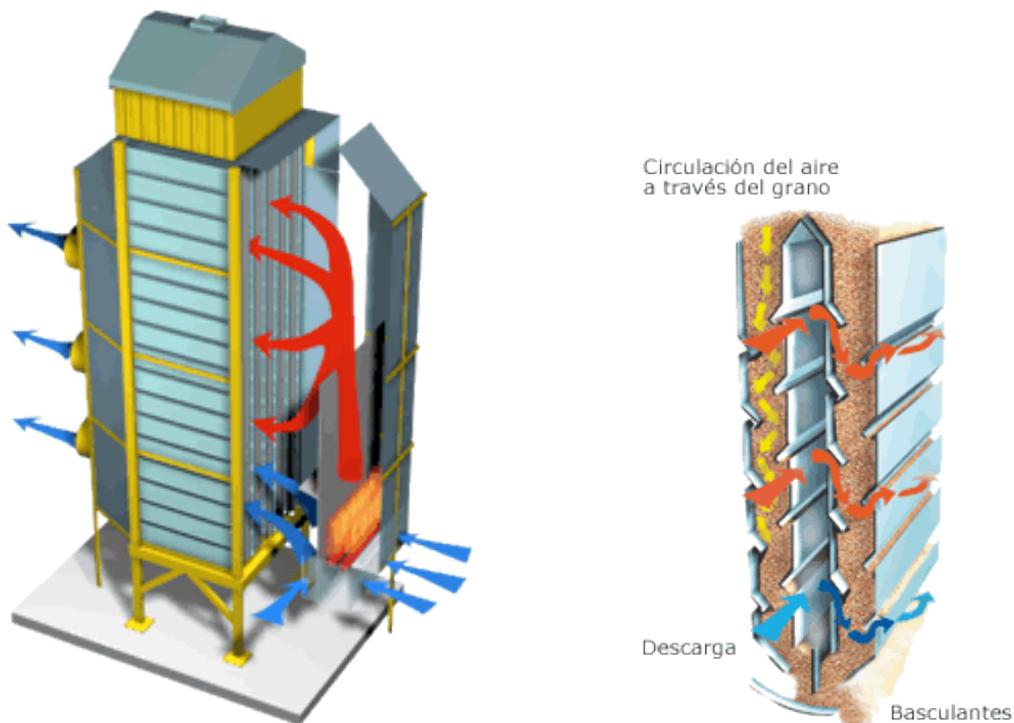


Figura 6.1 y 6.2. Esquema de una secadora de 4 módulos y 3 ventiladores, capacidad de secado de 80 tn/h y esquema de circulación de aire dentro de la secadora. Fuente: MEGA.

Los granos ingresan a la secadora por la parte superior y van descendiendo en zigzag rotando sobre sí mismos (figura 6.2). Una corriente de aire caliente fluye en sentido transversal y a lo largo de toda la secadora, haciendo que el grano vaya perdiendo humedad a medida que desciende.

Los porcentajes de humedad que se eliminan en el secado dependen de cada grano en particular y de las condiciones en que se presente cuando éste es procesado. Sin embargo, para el análisis, se obtuvieron los siguientes porcentajes a partir de bibliografías y profesionales consultados sobre el tema. En el caso de la soja, se consideró una reducción en la humedad de 5 puntos porcentuales (de 16% a 11% de humedad), mientras que para el maíz la reducción considerada fue, también, de 5 puntos (de 18% a 13%).

### 1.2.2 Granos procesados y volumen

Los principales granos cultivados en la Argentina son: la soja, con más de 40 millones de toneladas cosechadas anualmente; el maíz y el trigo, con casi 15 millones cada uno; el girasol, con casi 4 millones; y el sorgo, con aproximadamente 3 millones de toneladas anuales. Es por esto que se seleccionaron los dos granos con mayor volumen movilizado en la agricultura nacional. Por otro lado, los volúmenes seleccionados para procesar son los estimados para una planta de tamaño medio con 2 secadoras.

Grano	Capacidad secadora (tn/ h)	tn/ día <sup>a)</sup>	tn/ mes <sup>b)</sup>	tn/ año
Soja húmeda	30	720	15.840	190.080
Maíz	20	480	10.560	126.720
				<b>316.800</b>

a) turnos diarios de 24 hs

b) 22 días hábiles por mes

Tabla 6.1. Volumen procesado por la planta secadora.

Las secadoras se mantienen operando durante las 24 horas del día para evitar paradas. De esta forma el horno mantiene la temperatura constante durante su operación. En el caso que no se apliquen turnos de jornadas enteras se estaría teniendo que recurrir al *set up* del horno diariamente, generando un sobre costo proveniente de la calibración de la temperatura del mismo. De todas formas, es necesario realizar paradas de mantenimiento a lo largo del mes. O sea, en el mes se están trabajando 528 horas (22días x 24hs/día).

Grano	Proceso (ton/año)	Puntos reducción humedad	Agua extraída (kg)	Energía requerida (kcal) <sup>c)</sup>
Soja húmeda	190.080	5 <sup>a)</sup>	10.678.652	11.853.303.371
Maíz	126.720	5 <sup>b)</sup>	7.282.759	8.083.862.069

a) la reducción de humedad es de 16% a 11%

b) la reducción de humedad es de 18% a 13%

c) se consideró una eficiencia de secado de 1.110 kcal/ kg de agua.

Tabla 6.2. Estimación de energía requerida para el secado de granos.

En la tabla anterior, 6.2, se parte desde un volumen de granos procesados por las secadoras (190 y 126,7 mil toneladas anuales para la soja y el maíz respectivamente). Para cada uno de los granos se le definió un valor promedio que determina la cantidad de puntos porcentuales de humedad que son extraídos en el secado. Los granos

oleaginosos, como la soja, se suelen llevar a un porcentaje de humedad menor que los cereales, como el maíz para este caso. Por otro lado, la soja suele llegar a las plantas de acopio con un porcentaje de humedad menor que los otros granos.

Con los puntos porcentuales se calculó la cantidad de energía calórica requerida para realizar el secado. La suma necesaria para secar ambos granos alcanza un total de casi  $20 \times 10^9$  kcal. anuales. Esta energía se puede obtener a partir de la combustión de distintos combustibles. Es por eso que se hizo la comparación entre los más utilizados por la industria (gasoil, GLP y GN) y el pellet de madera.

A continuación se muestra la cantidad de combustible requerido para cubrir la demanda de la secadora (tabla 6.3). Estos valores son tenidos en cuenta si se cubre el 100% de la necesidad con un único combustible. Es posible que, si la tecnología lo permite, se cubra un porcentaje de la necesidad con un tipo de combustible y el resto con otro tipo. Sobre todo en momentos cuando se producen desabastecimientos de alguno de ellos.

Grano	Gasoil (lts) <sup>a)</sup>	GLP (m3) <sup>b)</sup>	GN (m3) <sup>c)</sup>	Pellets (tn) <sup>d)</sup>	Pellets (m3) <sup>d)</sup>
Soja húmeda	1.346.966	569.870	1.274.549	<b>2.605</b>	<b>3.722</b>
Maíz	918.621	388.647	869.232	<b>1.777</b>	<b>2.538</b>
total	2.265.587	958.518	2.143.781	<b>4.382</b>	<b>6.260</b>

- a) capacidad calorífica: 8.800 kcal/ lt
- b) capacidad calorífica: 20.800 kcal/ m3
- c) capacidad calorífica: 9.300 kcal/ m3
- d) capacidad calorífica: 4.550 kcal/ kg

Tabla 6.3. Requerimiento de combustibles.

Lo que se puede observar de la tabla 6.3 es el dimensionamiento requerido para cada uno de los diferentes combustibles. Es decir, los niveles de acopio que son necesarios para cada uno de ellos. Si bien para el GN serán necesarios más de 2 millones de m<sup>3</sup> de gas, éste es un gas que no se almacena. El usuario se conecta a la red (siempre y cuando la red llegue al lugar donde está ubicada la planta) y el abastecimiento se recibe de manera continua. En cuanto al resto de los combustibles, los resultados obtenidos indican que el gasoil necesario para abastecer las secadoras de granos será de 2,27 millones de litros anuales. Si fuese el GLP el combustible seleccionado, se requerirán anualmente 960 mil m<sup>3</sup>. En el caso de usar pellets como combustible, los requerimientos anuales serían de casi 4.400 tn ó 6.300 m<sup>3</sup>.

Precio del combustible		
Gasoil	3,20	\$/lt
GLP	2,77	\$/m3
GN	0,50	\$/m3
Pellet	530,00	\$/tn

Tabla 6.4. Precio de los combustibles. Fuente: Metrogas.

Grano	Gasoil (\$)	GLP (\$)	GN (\$)	Pellets (\$)
Soja húmeda	4.310.292	1.578.541	641.098	1.380.714
Maíz	2.939.586	1.076.553	437.224	941.637
<b>Costo Anual (\$)</b>	<b>7.249.878</b>	<b>2.655.094</b>	<b>1.078.322</b>	<b>2.322.351</b>

Tabla 6.5. Costo anual para diferentes combustibles.

Por último, se puede observar en la tabla 6.5 los costos que esos volúmenes implican. El valor de cada uno de los combustibles se obtuvo de un informe elaborado por Metrogas en Junio de 2008. Tal como muestra la tabla, es muy marcada la diferencia de costos que existe al trabajar con gasoil frente al resto de los combustibles. A contrapartida, el hecho de operar la planta con GN resulta considerablemente más económico que trabajar con GLP o con pellets de madera.

## 2. IMPACTO ECONOMICO EN LA SOCIEDAD

En la actualidad se utilizan los 3 combustibles tradicionales mencionados, el gasoil, GLP y GN, aunque en diferentes proporciones. Teniendo en cuenta esto, se puede hacer un análisis de los beneficios económicos que podría obtener la sociedad al reemplazar los usos del gasoil y del GLP por pellets de madera.

Según informes obtenidos [INTA, 2007], en Argentina se cosechan más de 76 millones de toneladas de granos por año, de las cuales casi 40% (29 millones) reciben un proceso de secado. Por otro lado, la participación dentro de la industria de secado de granos que tiene cada uno de los combustibles analizados es la siguiente: gasoil 8%, GLP 37% y GN 55%.

A partir de estos valores se puede obtener el costo que le implica al sector agrícola la utilización del gasoil y del GLP (tabla 6.6) para el secado de granos; y a partir de ahí calcular el beneficio obtenido debido a la sustitución de ellos por pellets de madera (tabla 6.7).

Grano	Producción (ton)	% secado	Energía requerida (Kcal)	Gasoil (8%) (miles de L)	GLP (37%) (miles de m <sup>3</sup> )	GN (55%) (miles de m <sup>3</sup> )
Trigo	14.550.450	32	120.313.760.360	1.094	2.140	7.115
Maíz	14.445.538	75	637.302.945.299	5.794	11.337	37.690
Soja húmeda	40.467.100	25	387.615.777.670	3.524	6.895	22.924
Girasol	3.797.836	37	61.400.699.912	558	1.092	3.631
Sorgo	2.794.967	63	90.998.896.773	827	1.619	5.382
<b>Total</b>	<b>76.055.891</b>		<b>1.297.632.080.014</b>	<b>11.797</b>	<b>23.083</b>	<b>76.742</b>

Tabla 6.6. Consumo de combustibles en la industria de secado de grano. Fuente: INTA.

La tabla anterior muestra el porcentaje de cada uno de los granos que es destinado al secado y el requerimiento energético calórico que es necesario para ello. A partir de ahí, el volumen necesario de cada uno de los combustibles, teniendo en cuenta la participación antes mencionada: el 8% del volumen de los granos es secado con gasoil, el 37% con GLP y el 55% con GN.

Grano	Costo de secar el 8%		Costo de secar el 37%	
	Gasoil (miles de \$)	Pellets (miles de \$)	GLP (miles de \$)	Pellets (miles de \$)
Trigo	3.500	1.121	5.928	5.185
Maíz	18.540	5.939	31.402	27.467
Soja húmeda	11.276	3.612	19.099	16.706
Girasol	1.786	572	3.025	2.646
Sorgo	2.647	848	4.484	3.922
<b>Total</b>	<b>37.749</b>	<b>12.092</b>	<b>63.940</b>	<b>55.927</b>
<b>Ahorro (miles de \$)</b>	<b>25.657</b>		<b>8.013</b>	

Tabla 6.7. Ahorro en la industria agrícola por el secado de granos con pellets de madera.

Como se muestra en la tabla anterior, se puede observar el beneficio que obtendría la industria agrícola si sustituyera el combustible que utiliza actualmente por pellets de madera.

Para el caso del gasoil, secar el 8% del volumen de granos procesados en la Argentina tiene un costo total de 37,7 millones de pesos. Mientras que si ese volumen se secara utilizando pellets de madera el costo que se obtendría sería de 12,1 millones. Obteniéndose así un beneficio de 25,6 millones de pesos en combustible para secar los granos.

De la misma manera, en cuanto al GLP, el costo para secar el 37% del volumen alcanza, casi, los 64 millones de pesos; y el costo que se obtendría por secar ese volumen con pellets sería de, casi, 56 millones. Obteniéndose otro beneficio de 8 millones de pesos.

En resumen, la industria agrícola se podría estar beneficiando con una reducción de costos en combustible para el secado de granos de más de 33 millones de pesos.

## 7. ANALISIS DE SENSIBILIDAD

En esta sección se hará un análisis de sensibilidad, en donde se podrá ver cómo varía el costo total, por unidad, de lo producido a medida que ciertas variables van siendo alteradas. El análisis se hará en el plano unidimensional, es decir que se analizará la variación individual de cada una de las variables mientras que el resto de ellas permanecen constantes.

Estas alteraciones, generalmente, se suelen dar por razones externas, es decir que el mercado responde de manera diferente a lo previamente planificado. O, de otra manera, esas alteraciones podrían llegar a provenir tanto por parte del mercado como de la propia empresa productora de pellets. Como ser el caso, por ejemplo, de alianzas estratégicas con proveedores. De esta manera, se podrían obtener materias primas a costos mucho menores de los obtenidos en el mercado.

### 1. VARIABLES A CONSIDERAR

Para el análisis se partió del modelo desarrollado como anteproyecto de instalación de una planta productora de pellets de madera en la Provincia de Entre Ríos, y se determinó que las principales variables que conforman el costo de producción de los pellets son las siguientes:

- Costos logísticos
- Precio de la materia prima
- Inversión en maquinaria
- Tipo de cambio

Para estas variables mencionadas se realizó una alteración de  $\pm 30\%$ ,  $\pm 20\%$  y  $\pm 10\%$  de sus valores originales y se analizó como respondía el modelo en cada uno de los casos. A continuación se hace un breve comentario de cada una de ellas como para entenderlas de mejor manera.

#### 1.1 COSTOS LOGISTICOS

Estos costos inciden sobre dos puntos de la cadena de abastecimiento. Primero, sobre el abastecimiento de la materia prima, desde su origen hasta la planta, y luego sobre el despacho del producto terminado, desde la planta hasta el puerto de exportación.

Algunas de las consideraciones que se tuvieron en cuenta fueron las siguientes:

- *Abastecimiento de la materia prima*: un porcentaje se estimó que se obtenía del propio lugar donde se instalaba la planta (propio de la empresa). Otro volumen se determinó que se obtenía de las proximidades del lugar donde se encuentra

ubicada la planta y el resto proviene de lugares más alejados. Con lo cual, este último porcentaje del volumen se verá más afectado por las variaciones del costo logístico.

- *Despacho de producto terminado:* Como se consideró que una parte del volumen se exporta hacia el exterior y parte se vende en el mercado local en presentaciones industriales desde la planta, este costo incidirá exclusivamente sobre el volumen destinado a las exportaciones.

## 1.2 PRECIO DE LA MATERIA PRIMA

Para la producción del pellet de madera es necesario disponer con casi el doble de cantidad de materia prima. Por lo tanto, la variación en el precio de la misma será de gran influencia en los costos obtenidos luego.

Para la elaboración del pellet de madera hace falta un 80% más en volumen de biomasa como materia prima y, también, hay que tener en cuenta que para alimentar el horno de secado de ella es necesario un porcentaje de biomasa adicional (7%). Por lo tanto, para la elaboración de 1 tonelada de pellets serán necesarias 1,87 toneladas de biomasa.

Una de las alternativas propuestas en el comienzo de la sección para reducir el costo de la materia prima es el acuerdo de alianzas estratégicas *proveedor-productor*. De esta manera se podrán obtener beneficios desde ambas partes.

## 1.3 INVERSION EN MAQUINARIA

Si bien esta variable corresponde a un inversión, y se vería de manera más directa de qué manera incide sobre la tasa de retorno del capital más que en el costo de lo producido, es importante también incluirla en este análisis y ver de qué manera impacta sobre él.

## 1.4 TIPO DE CAMBIO

La fluctuación de esta variable tiene incidencia, principalmente, en el precio del pellet. Además, incidirá en el valor de la inversión (principalmente en maquinaria) y, de manera indirecta, en el resto de los gastos. Aunque esto último no será tenido en cuenta ya que lo que se intenta mostrar con este análisis es cómo alteraría un tipo de cambio diferente y no un cambio en la economía general del país (incidencia sobre los salarios, cambio en los volúmenes de ventas, inflación, etc.)

## 2. RESULTADOS OBTENIDOS

El gráfico que se muestra a continuación (gráfico 7.1) pone en evidencia el impacto que causarían eventuales variaciones en el costo de lo producido. Se pueden observar las

variaciones porcentuales que sufriría éste último ante la variación de los cuatro parámetros antes mencionados.

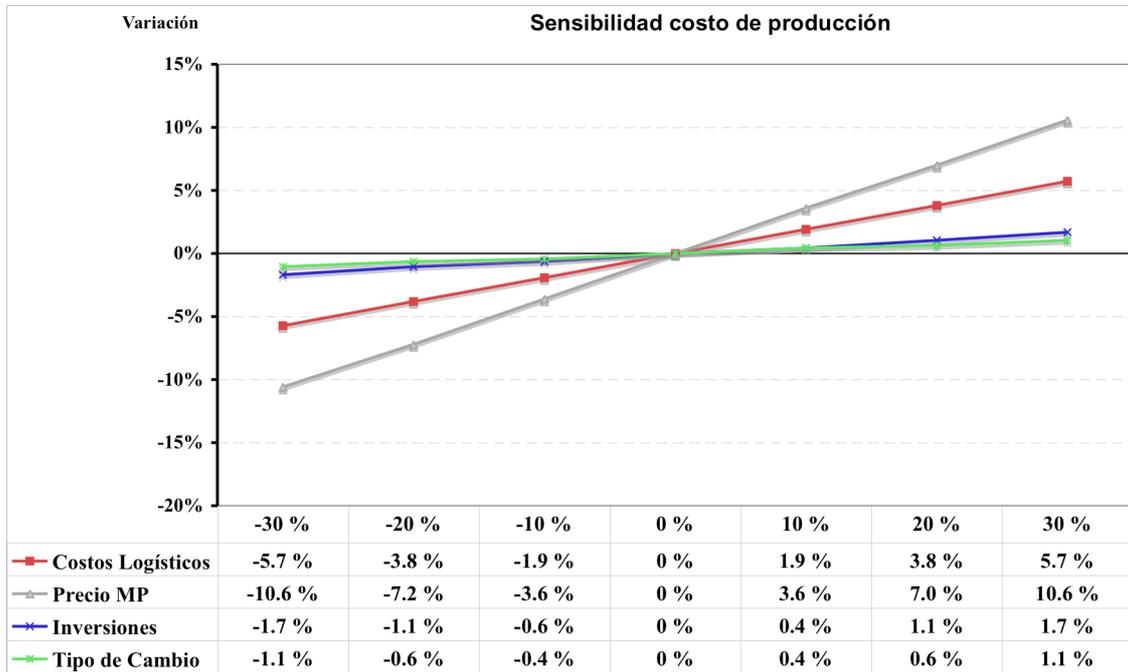


Gráfico 7.1. Sensibilidad del costo de lo producido ante el cambio de diferentes variables.

A partir de lo que demuestra el gráfico se puede decir que las mayor sensibilidad que presenta el costo es generada por la posible variación del precio de la materia prima, alcanzando variaciones de hasta casi un 11% en el costo. A ésta le sigue la variación en el costo logístico, luego el monto de las inversiones y, por último, el tipo de cambio.

Es importante remarcar que el tipo de cambio no afecta en forma directa a los costos para la elaboración del producto, ya que se trata de una industria en donde prácticamente la totalidad de los insumos y materias primas requeridas para la elaboración son obtenidas de la industria nacional. Por lo tanto, el impacto sobre el costo final será leve. Esta reacción no se mantendrá al momento de analizar las ganancias obtenidas, teniendo en cuenta que se trata de un producto que se exporta hacia el mercado europeo (ver Anexo).



## 8. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

### Existencia de materia prima.

Si bien el material de consulta para la estimación de materia prima, para la elaboración de pellets de madera, no se encuentra actualizado en las estadísticas nacionales, se pudo realizar un estimación aproximada de la cantidad de materia prima que se encuentra disponible en el país. Este volumen demuestra que están dadas las condiciones como para abordar proyectos de esta envergadura sin ningún tipo de problema.

Las estimaciones demuestran que existe una cantidad de alrededor de 1,13 millones de toneladas de desperdicios provenientes anualmente de los aserraderos y no tienen destino comercial. Una planta productora de pellets, de gran escala, estaría teniendo un requerimiento aproximado de 30 mil toneladas de materia prima por año. Por lo tanto existe una capacidad de abastecimiento asegurada para una industria de este tipo. Es importante remarcar, también, que los aserraderos trabajan bajo un nivel de desperdicios muy elevado. Por lo general, un rendimiento típico para un aserradero es del orden del 42%. Es decir que, de toda la madera que entra a un aserradero se generan residuos por casi el 60%, aunque no la totalidad de ellos son desechados como desperdicios. Es decir que esto asegura, en cierta medida, la disponibilidad de aserrín, viruta o chips para la elaboración de los pellets.

### Beneficios del pellet

Al comparar los pellets con otras fuentes de energía, se pudieron obtener marcadas diferencias que hacen al pellet de madera un combustible con grandes beneficios. Entre ellos se pueden mencionar los beneficios propios del producto en sí y los beneficios económicos que genera su utilización.

En cuanto a los beneficios propios del pellet como combustible se pueden mencionar:

- Es un combustible proveniente de una fuente renovable, la biomasa.
- Aporta a la diversificación de las fuentes de generación de electricidad, contribuyendo a la resolución del problema de escasez energética.
- Alto contenido de energía por unidad de volumen. Para una misma cantidad de energía, el carbón ocupa 1,8 veces más, la leña 3,9 veces y los combustibles gaseosos (gas natural y gas líquido de petróleo) requieren un espacio aún muchísimo mayor.
- Durante la combustión, presenta niveles de emisión de gases nocivos muy por debajo del resto de los combustibles analizados. Haciendo las equivalencias, se obtuvo que emite 8 veces menos de CO<sub>2</sub> que el gas natural (combustible fósil menos contaminante) y 13 veces menos que el carbón. Con respecto al azufre,

en forma de  $\text{SO}_2$ <sup>10</sup>, las emisiones son prácticamente nulas. A diferencia del carbón, gas oil y fuel oil, que tienen un nivel de emisión considerable (3,57; 1,08 y 4,6 g de  $\text{SO}_2$ /kwh respectivamente).

En cuanto a la elaboración del pellet, se pueden remarcar lo siguiente:

- Reduce las cantidades de residuos que almacenan los aserraderos. Esos acopios producen gas metano a través de su fermentación y, además, contaminan las napas subterráneas de agua por precolación de taninos.
- Evita la quema a cielo abierto de los residuos de la industria maderera. Además de los contaminantes que esto puede generar disminuye la probabilidad de incendios, humos y cenizas en la zona.
- Una planta productora de pellets se podrían obtener beneficios a partir de lo establecido en el protocolo de Kyoto con los llamados “bonos de carbono”.

Desde el punto de vista económico:

- La obtención de energía en el sector industrial a partir de los diferentes combustibles posiciona al pellet en el segundo lugar más económico. Con un costo de 0,046 \$/kwh la obtención de la energía a partir del gas natural resulta ser la más económica. A éste le sigue el pellet, con un valor de 0,105 \$/kwh. Después le siguen el carbón con 0,170 \$/kwh, luego el fuel oil con 0,182 \$/kwh, luego la energía eléctrica con 0,207 \$/kwh, luego el gas licuado con 0,255 \$/kwh, y como alternativa menos económica se encuentra el gasoil con 0,314 \$/kwh. En este punto es muy importante remarcar que la red de distribución de gas natural es bastante limitada para las zonas rurales/ industriales, en donde por la falta de disponibilidad, es necesario buscar otra alternativa de combustible a prevista por la red.

Teniendo en cuenta el caso práctico desarrollado en la sección 6 se puede remarcar de manera más directa el beneficio que estaría obteniendo una industria al utilizar los pellets como combustible para secar granos (soja y maíz).

- El costo del combustible para el secado de granos determina que la utilización del gas natural sería la vía más económica para realizar la actividad. Pero, tal lo expresado en el punto anterior y lo discutido con profesionales que se desempeñan en éste ámbito, hay pocas plantas que tienen la posibilidad de encontrarse dentro de la red de abastecimiento del mismo. Por lo tanto, para aquellas que no tienen dicha posibilidad, es una necesidad buscar otra alternativa de combustible.
- El uso del pellet estaría generando una reducción del gasto en combustible para el secado de \$ 332.750 si se compara contra el gas liquido y una reducción del gasto de \$ 4.927.500 si se compra contra el gasoil.

---

<sup>10</sup>  $\text{SO}_2$ : Anhidro sulfuroso

Si este mismo beneficio se dimensionara para toda la industria del secado de granos en la Argentina, los ahorros serían millonarios.

- Con el reemplazo del gasoil, que tiene una participación del 8% del volumen total de granos secados en la Argentina, por pellets de madera, se obtendría un ahorro económico de 25,6 millones de pesos. Además, si se reemplazara al gas líquido, que tiene una participación del 37% del volumen secado, el ahorro sería de 8 millones de pesos. Es decir que si se sustituyeran ambos combustibles por pellets de madera, la industria del secado de granos reduciría sus costos en combustible en más de 33 millones de pesos.
- Para poder llevar adelante lo propuesto en el punto anterior sería necesario ampliar de manera considerable la capacidad instalada en el país, y así poder cumplir con el requerimiento de pellets. La capacidad instalada en la Argentina ronda las 20 mil toneladas y planteo del secado de granos insumiría un total de 120 mil toneladas.

### **Potencialidad del mercado**

El consumo de pellet de madera en los diferentes países de Europa y América del Norte viene creciendo de manera potencial año a año y mantiene las perspectivas de seguir creciendo en el futuro. A esto se le suma que la tendencia mundial es reducir el consumo de combustibles fósiles y buscar nuevas alternativas más limpias, los llamados biocombustibles. De esta forma se genera un marco optimista para el mediano y largo plazo del pellet, transformándolo en una opción con un gran futuro, tanto económico como ecológico.

En cuanto al mercado regional de América Latina, se encuentra en los comienzos de un desarrollo prometedor. Esto se puede asegurar teniendo en cuenta que tanto Argentina como Brasil y Chile, países con una disponibilidad importantísima de materia prima y un gran desarrollo industrial, cuentan con suficientes recursos como para generar aportes a la industria del pellet como para consumirlos.

### **Rol del gobierno**

Si bien en la actualidad existen dos leyes relacionadas con los biocombustibles (Ley 26.093 que regula y promueve el uso de biocombustibles y la Ley 26.190 que fomenta el uso de fuentes renovables de energía para la producción de energía eléctrica) que entrarán en vigencia a partir del año 2010, será necesaria una participación más activa por parte del Gobierno Nacional, desde la capacitación y toma de conciencia hasta la ejecución de planes de fomento.

### **Sensibilidad del precio del pellet**

Con respecto a los costos de producción del pellet, se encuentra fuertemente atado al aspecto logístico y al precio de la materia prima.

Los costos logísticos representan alrededor del 30% del costo total de lo vendido, y si se

tiene en cuenta el flete naviero y costos de exportación, este porcentaje asciende al 60%. En cuanto al costo de la materia prima, éste representa un 12% del costo total del producto.

### **Anteproyecto instalación planta**

En el Anexo D se dejan sentadas las bases como para la instalación de una planta productora de pellets de madera de escala media/grande. La idea de despertar el interés de parte de inversores por el proyecto pellets de madera y poder iniciar la actividad.

De esta manera, se puede concluir que, el desarrollo de una producción de pellets de madera para la generación de energía y su eventual exportación hacia mercados más desarrollados, constituye un nicho muy atractivo para futuros inversionistas.

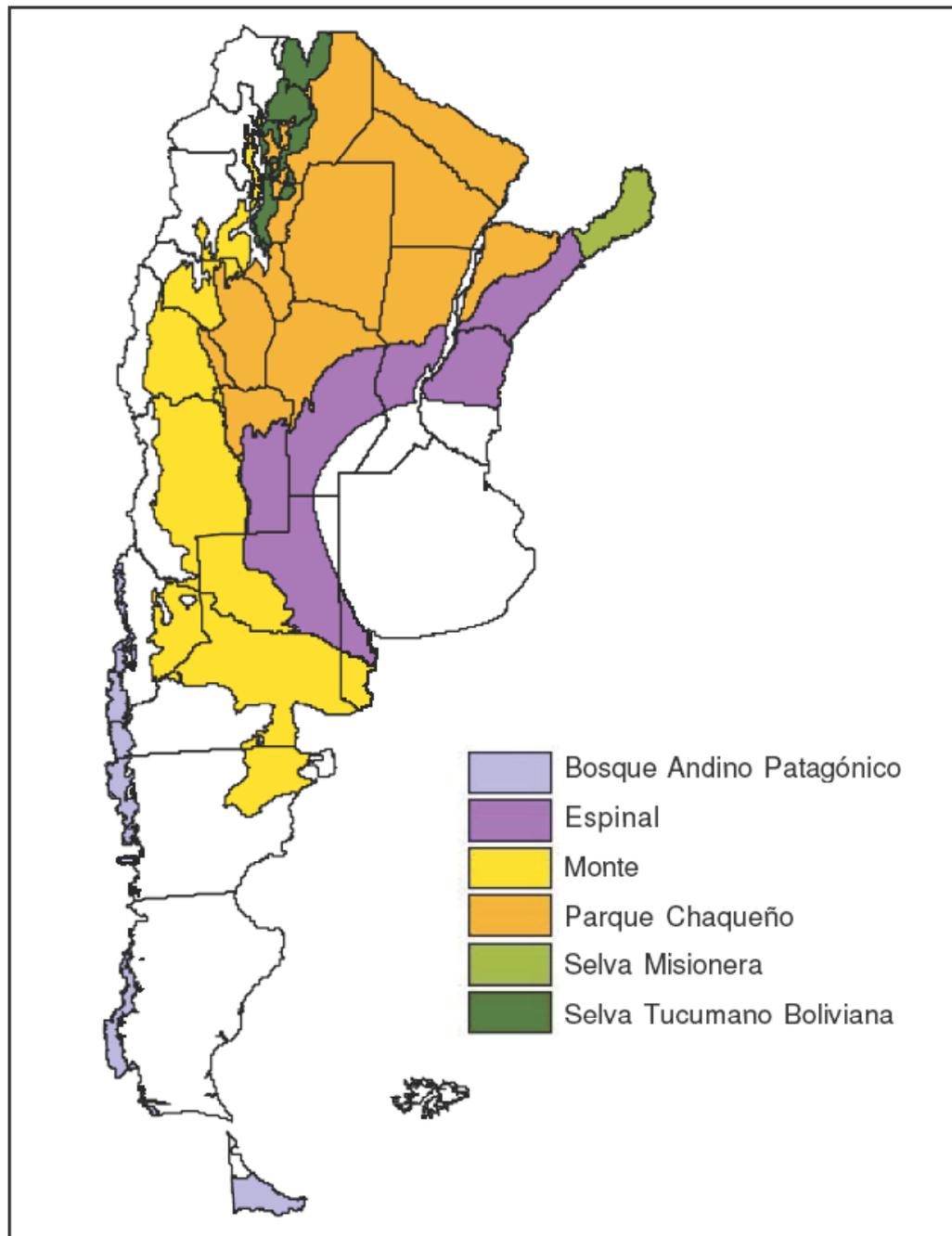
Este tipo de proyectos es una demostración de las posibilidades existentes para la generación de tecnologías limpias. Alentando el desarrollo de generación de electricidad y energía térmica, moderna y eficientemente mediante el uso de biomasa como combustible.

# ANEXO



## ANEXO A

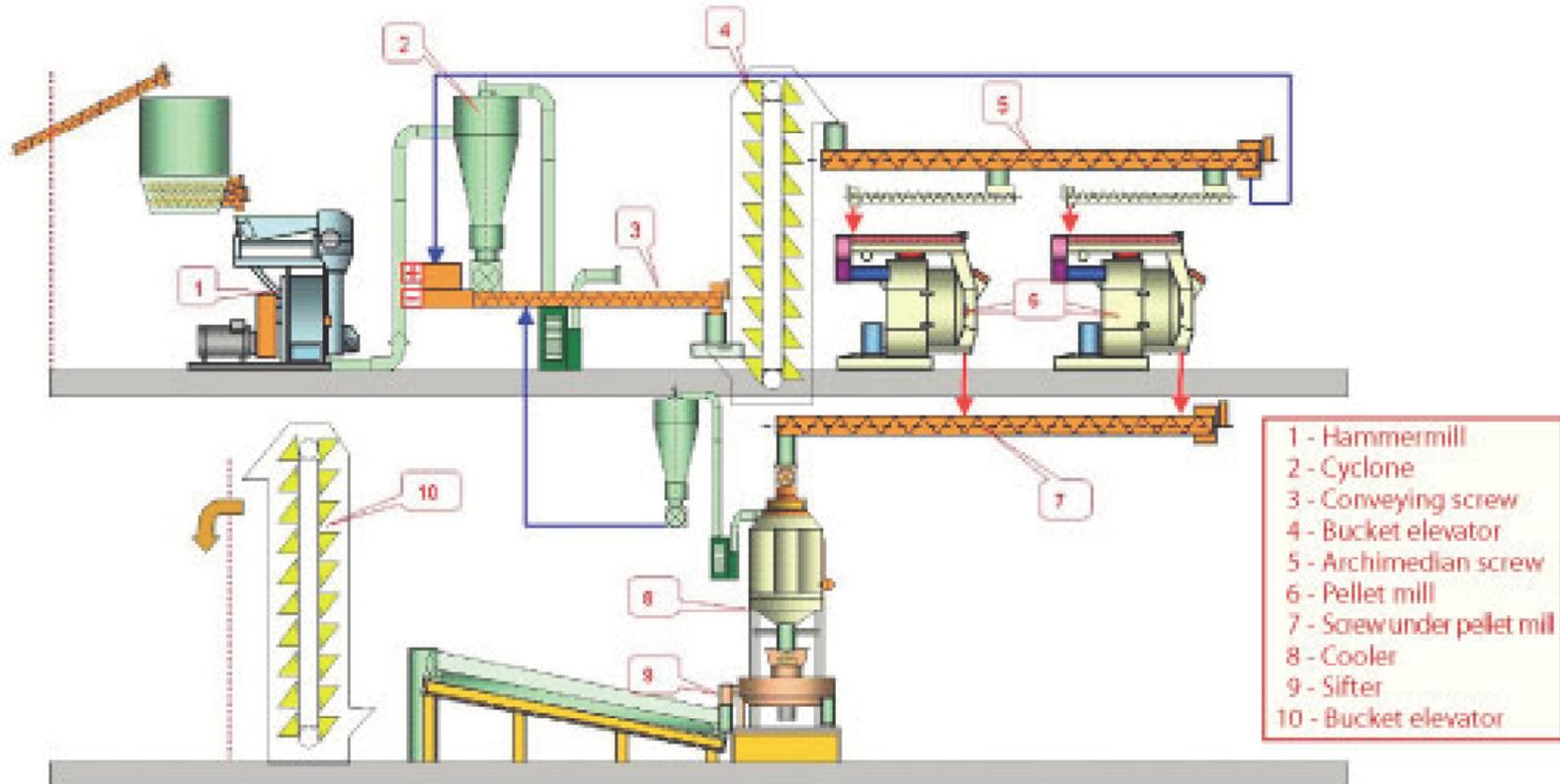
### Formaciones boscosas del territorio Argentino.





ANEXO B

Diagrama industrial del proceso del pelletizado





## ANEXO C

### **Mercado eléctrico argentino**

En 1992 se construyó un Mercado Eléctrico Mayorista (M.E.M). La ley nacional de creación 24.065, también crea a CAMMESA (Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A.). Este es el organismo encargado de la operación técnica y de la administración comercial del MEM.

Para efectuar el despacho CAMMESA conformaba una lista de mérito, de menor a mayor, de las máquinas generadoras de energía eléctrica según su costo de generación, de acuerdo a los costos de combustible declarados por los generadores que emplean combustibles fósiles, y una valorización del agua por los operadores de centrales hidráulicas. En la medida que la demanda va requiriendo energía, se convoca a generar a las diferentes unidades. El costo de generación de la máquina que abastecerá la próxima unidad física, fijaba el precio con que se remuneraba la energía de todas las convocadas (precio horario).

En 2003 esta forma de sancionar precios se modificó (resolución de Secretaría de Energía 240/04). Actualmente el precio spot surge de considerar que todas las unidades térmicas disponibles operan con gas natural a precio reconocido. Los costos de las unidades convocadas a despacho con combustibles alternativos al gas natural a precio oficial se cubren por separado. Como el precio de la energía varía hora a hora es necesario establecer un precio estabilizado para realizar la vinculación entre la tarifa para el usuario residencial y el costo horario probable. Para compensar diferencias, en exceso o defecto, se cuenta con un Fondo, llamado Estabilización. Así, con la mejor estimación de precios y el estado de recursos del Fondo, la Secretaría de Energía dicta trimestralmente por resolución el precio estabilizado, llamado Precio Estacional. Este precio, sancionado por la Secretaría de Energía, es el que paga la demanda atendida por las distribuidoras. Con lo cual aproximadamente el 80% del total transado se paga a precio estacional.

La necesidad política de mantener el mismo valor de las tarifas llevó a que prácticamente no se modifique el precio estacional para la demanda residencial desde 2002. Esta distorsión provocó el agotamiento del Fondo de Estabilización a mediados de junio de 2003. Como mensualmente lo abonado por las distribuidoras no alcanza a cubrir sus acreencias, el déficit se siguió incrementando. Así es que las autoridades sectoriales establecieron una mecánica de distribución de los ingresos: La resolución de la Secretaría de Energía N° 406 de Septiembre de 2003 implementó pagos parciales (combustible de las unidades térmicas y los costos de operación y mantenimiento) de los créditos de los generadores. Esa misma resolución también estableció que las deudas pendientes de cada mes se enmarcarán como pagos sin fecha de vencimiento definida. La deuda con los generadores y autogeneradores a Agosto de 2008 ascendía a 15 mil

millones de pesos, según publicaciones oficiales de CAMMESA.

Como la deuda continuó incrementándose mensualmente y dadas las restricciones a la inversión que muestra el sector privado, el Estado Nacional creó mediante la resolución de Secretaría de Energía N° 712 de julio de 2004 un “Fondo para Inversiones Necesarias que permitan incrementar la oferta de Energía Eléctrica en el Mercado Eléctrico Mayorista”. Se invitó a los acreedores del MEM (generadores) a que inviertan en este fondo parte de sus acreencias.

La resolución de la Secretaría de Energía 1281/06 pretende incentivar la instalación de nuevas unidades a través del reconocimiento de un precio diferencial. Sin embargo, los constantes ajustes y/o modificaciones que efectúan a esta norma, por notas de la Secretaría de Energía y de la subsecretaría de Energía Eléctrica, introducen una fuerte incertidumbre. A septiembre de 2007 no habían proyectos enmarcados en esta resolución.

En diciembre de 2006 el Poder Legislativo dictó esta ley que otorga subsidios (de 0,015 \$/kWh para la biomasa) y otros beneficios a las fuentes renovables: eólica, fotovoltaica, geotérmica, biomasa e hidráulica en pequeña escala (inferior a 30 MW). Esta norma instituye por un período de 10 años, un régimen especial de inversiones para la construcción de obras nuevas destinadas a la producción de energía eléctrica generada con estas fuentes. El régimen comprende beneficios en IVA, Impuesto a las Ganancias y un régimen favorable para la adquisición de bienes de capital. Sin embargo esta norma, a noviembre de 2008, no fue reglamentada por el Poder Ejecutivo y no se encuentra vigente.

## ANEXO D

### Marco legal de los Biocombustibles

A continuación se muestran los puntos más sobresalientes de las dos leyes relacionadas con los biocombustibles y fuentes de energía renovables que entrarán en vigencia a partir del año 2010.

#### \* Ley 26.093

REGIMEN DE REGULACION Y PROMOCION PARA LA PRODUCCION Y USO SUSTENTABLES DE BIOCOMBUSTIBLES

#### *Funciones de la Autoridad de Aplicación*

**ARTICULO 4.** - Serán funciones de la autoridad de aplicación:

- a) Promover y controlar la producción y uso sustentables de biocombustibles.
- b) Establecer las normas de calidad a las que deben ajustarse los biocombustibles.
- c) Establecer los requisitos y condiciones necesarios para la habilitación de las plantas de producción y mezcla de biocombustibles, resolver sobre su calificación y aprobación, y certificar la fecha de su puesta en marcha.
- d) Establecer los requisitos y criterios de selección para la presentación de los proyectos que tengan por objeto acogerse a los beneficios establecidos por la presente ley, resolver sobre su aprobación y fijar su duración.
- e) Realizar auditorías e inspecciones a las plantas habilitadas para la producción de biocombustibles a fin de controlar su correcto funcionamiento y su ajuste a la normativa vigente.
- f) Realizar auditorías e inspecciones a los beneficiarios del régimen de promoción establecido en esta ley, a fin de controlar su correcto funcionamiento, su ajuste a la normativa vigente y la permanencia de las condiciones establecidas para mantener los beneficios que se les haya otorgado.
- g) También ejercerá las atribuciones que la Ley N° 17.319 especifica en su Título V, artículos 76 al 78.
- h) Aplicar las sanciones que correspondan de acuerdo a la gravedad de las acciones penadas.
- i) Solicitar con carácter de declaración jurada, las estimaciones de demanda de biocombustible previstas por las compañías que posean destilerías o refinerías de petróleo, fraccionadores y distribuidores mayoristas o minoristas de combustibles, obligados a utilizar los mismos, según lo previsto en los artículos 7° y 8°.
- j) Administrar los subsidios que eventualmente otorgue el Honorable Congreso de la Nación.
- k) Determinar y modificar los porcentajes de participación de los biocombustibles en cortes con gasoil o nafta, en los términos de los artículos 7° y 8°.
- l) En su caso, determinar las cuotas de distribución de la oferta de biocombustibles, según lo previsto en el último párrafo del artículo 14 de la presente ley.

- m) Asumir las funciones de fiscalización que le corresponden en cumplimiento de la presente ley.
- n) Determinar la tasa de fiscalización y control que anualmente pagarán los agentes alcanzados por esta ley, así como su metodología de pago y recaudación.
- o) Crear y llevar actualizado un registro público de las plantas habilitadas para la producción y mezcla de biocombustibles, así como un detalle de aquellas a las cuales se les otorguen los beneficios promocionales establecidos en el presente régimen.
- p) Firmar convenios de cooperación con distintos organismos públicos, privados, mixtos y organizaciones no gubernamentales.
- q) Comunicar en tiempo y forma a la Administración Federal de Ingresos Públicos y a otros organismos del Poder Ejecutivo nacional que tengan competencia, las altas y bajas del registro al que se refiere el inciso o) del presente artículo, así como todo otro hecho o acontecimiento que revista la categoría de relevantes para el cumplimiento de las previsiones de esta ley.
- r) Publicar periódicamente precios de referencia de los biocombustibles.
- s) Ejercer toda otra atribución que surja de la reglamentación de la presente ley a los efectos de su mejor cumplimiento.
- t) Publicar en la página de Internet el Registro de las Empresas beneficiarias del presente régimen, así como los montos de beneficio fiscal otorgados a cada empresa

***Mezclado de Biocombustibles con Combustibles Fósiles***

**ARTICULO 7.** — Establécese que todo combustible líquido caracterizado como gasoil o diesel oil —en los términos del artículo 4° de la Ley N° 23.966, Título III, de Impuesto sobre los Combustibles Líquidos y el Gas Natural, texto ordenado en 1998 y sus modificaciones, o en el que pueda prever la legislación nacional que en el futuro lo reemplace— que se comercialice dentro del territorio nacional, deberá ser mezclado por aquellas instalaciones que hayan sido aprobadas por la autoridad de aplicación para el fin específico de realizar esta mezcla con la especie de biocombustible denominada "biodiesel", en un porcentaje del CINCO POR CIENTO (5%) como mínimo de este último, medido sobre la cantidad total del producto final. Esta obligación tendrá vigencia a partir del primer día del cuarto año calendario siguiente al de promulgación de la presente ley.

La Autoridad de Aplicación tendrá la atribución de aumentar el citado porcentaje, cuando lo considere conveniente en función de la evolución de las variables de mercado interno, o bien disminuir el mismo ante situaciones de escasez fehacientemente comprobadas.

**ARTICULO 8.** — Establécese que todo combustible líquido caracterizado como nafta —en los términos del artículo 4° de la Ley N° 23.966, Título III, de Impuesto sobre los Combustibles Líquidos y el Gas Natural, texto ordenado en 1998 y sus modificaciones, o en el que prevea la legislación nacional que en el futuro lo reemplace— que se comercialice dentro del territorio nacional, deberá ser mezclado por aquellas instalaciones que hayan sido aprobadas por la autoridad de aplicación para el fin específico de realizar esta mezcla, con la especie de biocombustible denominada "bioetanol", en un porcentaje del CINCO POR CIENTO (5%) como mínimo de este último, medido sobre la cantidad total del producto final. Esta obligación tendrá vigencia a partir del primer día del cuarto año calendario siguiente al de promulgación de la presente ley.

La autoridad de aplicación tendrá la atribución de aumentar el citado porcentaje, cuando lo considere conveniente en función de la evolución de las variables de mercado interno, o bien disminuir el mismo ante situaciones de escasez fehacientemente comprobadas.

**ARTICULO 9.** — Aquellas instalaciones que hayan sido aprobadas por la autoridad de aplicación para el fin específico de realizar las mezclas, deberán adquirir los productos definidos en el artículo 5º, exclusivamente a las plantas habilitadas a ese efecto por la autoridad de aplicación. Asimismo deberán cumplir con lo establecido en el artículo 15, inciso 4.

La violación de estas obligaciones dará lugar a las sanciones que establezca la referida autoridad de aplicación.

**ARTICULO 10.** — La autoridad de aplicación establecerá los requisitos y condiciones para el autoconsumo, distribución y comercialización de biodiesel y bioetanol en estado puro (B100 y E100), así como de sus diferentes mezclas.

**ARTICULO 11.** — El biocombustible gaseoso denominado biogás se utilizará en sistemas, líneas de transporte y distribución de acuerdo a lo que establezca la autoridad de aplicación.

### ***Beneficios Promocionales***

**ARTICULO 15.** - Los sujetos mencionados en el artículo 13, que cumplan las condiciones establecidas en el artículo 14, gozarán durante la vigencia establecida en el artículo 1º de la presente ley de los siguientes beneficios promocionales:

1.- En lo referente al Impuesto al Valor Agregado y al Impuesto a las Ganancias, será de aplicación el tratamiento dispensado por la Ley N° 25.924 y sus normas reglamentarias, a la adquisición de bienes de capital o la realización de obras de infraestructura correspondientes al proyecto respectivo, por el tiempo de vigencia del presente régimen.

2.- Los bienes afectados a los proyectos aprobados por la autoridad de aplicación, no integrarán la base de imposición del Impuesto a la Ganancia Mínima Presunta establecido por la Ley N° 25.063, o el que en el futuro lo complemente, modifique o sustituya, a partir de la fecha de aprobación del proyecto respectivo y hasta el tercer ejercicio cerrado, inclusive, con posterioridad a la fecha de puesta en marcha.

3.- El biodiesel y el bioetanol producidos por los sujetos titulares de los proyectos aprobados por la autoridad de aplicación, para satisfacer las cantidades previstas en los artículos 7º, 8º y 12 de la presente ley, no estarán alcanzados por la tasa de Infraestructura Hídrica establecida por el Decreto N° 1381/01, por el Impuesto sobre los Combustibles Líquidos y el Gas Natural establecido en el Capítulo I, Título III de la Ley N° 23.966, texto ordenado en 1998 y sus modificaciones, por el impuesto denominado "Sobre la transferencia a título oneroso o gratuito, o sobre la importación de gasoil", establecido en la Ley N° 26.028, así como tampoco por los tributos que en el futuro puedan sustituir o complementar a los mismos.

4.- La autoridad de aplicación garantizará que aquellas instalaciones que hayan sido aprobadas para el fin específico de realizar las mezclas, deberán adquirir los productos definidos en el artículo 5º a los sujetos promovidos en esta ley hasta agotar su producción disponible a los precios que establezca la mencionada autoridad.

5.- La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, promoverá aquellos cultivos destinados a la producción de biocombustibles que favorezcan la diversificación productiva del sector agropecuario. A tal fin, dicha Secretaría podrá elaborar programas específicos y prever

los recursos presupuestarios correspondientes.

6.- La Subsecretaría de Pequeña y Mediana Empresa promoverá la adquisición de bienes de capital por parte de las pequeñas y medianas empresas destinados a la producción de biocombustibles.

A tal fin elaborará programas específicos que contemplen el equilibrio regional y preverá los recursos presupuestarios correspondientes.

7.- La Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva promoverá la investigación, cooperación y transferencia de tecnología, entre las pequeñas y medianas empresas y las instituciones pertinentes del Sistema Público Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación. A tal fin elaborará programas específicos y preverá los recursos presupuestarios correspondientes.

**\* Ley 26.190**

**REGIMEN DE FOMENTO NACIONAL PARA EL USO DE FUENTES RENOVABLES DE ENERGIA DESTINADA A LA PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA**

ARTICULO 1° — **Objeto** - Declárase de interés nacional la generación de energía eléctrica a partir del uso de fuentes de energía renovables con destino a la prestación de servicio público como así también la investigación para el desarrollo tecnológico y fabricación de equipos con esa finalidad.

ARTICULO 2° — **Alcance** - Se establece como objetivo del presente régimen lograr una contribución de las fuentes de energía renovables hasta alcanzar el OCHO POR CIENTO (8%) del consumo de energía eléctrica nacional, en el plazo de DIEZ (10) años a partir de la puesta en vigencia del presente régimen.

ARTICULO 3° — **Ambito de aplicación** - La presente ley promueve la realización de nuevas inversiones en emprendimientos de producción de energía eléctrica, a partir del uso de fuentes renovables de energía en todo el territorio nacional, entendiéndose por tales la construcción de las obras civiles, electromecánicas y de montaje, la fabricación y/o importación de componentes para su integración a equipos fabricados localmente y la explotación comercial.

ARTICULO 9° — **Beneficios** - Los beneficiarios mencionados en el artículo 8° que se dediquen a la realización de emprendimientos de producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables de energía en los términos de la presente ley y que cumplan las condiciones establecidas en la misma, gozarán a partir de la aprobación del proyecto respectivo y durante la vigencia establecida en el artículo 7°, de los siguientes beneficios promocionales:

1.- En lo referente al Impuesto al Valor Agregado y al Impuesto a las Ganancias, será de aplicación el tratamiento dispensado por la Ley 25.924 y sus normas reglamentarias, a la adquisición de bienes de capital y/o la realización de obras que se correspondan con los objetivos del presente régimen.

2.- Los bienes afectados por las actividades promovidas por la presente ley, no integrarán la base de imposición del Impuesto a la Ganancia Mínima Presunta establecido por la Ley 25.063, o el que en el futuro lo complemente, modifique o sustituya, hasta el tercer ejercicio cerrado, inclusive, con posterioridad a la fecha de puesta en marcha del proyecto respectivo.

## ANEXO E

### Bases para la instalación de una planta productora de pellets

#### Horas de trabajo

Prod. Annual (Tn)	Producción p/mes (kg)
<b>15,000</b>	<b>1,250,000</b>
Kg/día	<b>56,818</b>
Kg/h	<b>3,551</b>

#### Maquinaria

Máquina	Modelo	Productividad teórica [kg/h]	Costo U\$S	Inversion (U\$S)
Molino Refinador	GEMCO SFSP112*40	5,000	23,000	23,000
Secador Rotatorio	GEMCO WSG-2000	8,000	95,000	95,000
Pelletizadora	GEMCO SZLH580	2,000	180,000	360,000
Enfriador	GEMCO SKLN5	6,000	43,000	43,000
Envasado	GEMCO DCS-50C	17,500	32,000	32,000
<b>Total</b>			373,000	553,000

#### Cantidad de máquinas y MOD

Máquina	RoI [TO/TE]	Maquinas Disponibles					MOD				
		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
Molino Refinador	2	1	1	1	1	1	3	3	4	4	4
Secador Rotatorio	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Pelletizadora	0	2	2	2	3	3	0	0	0	0	0
Enfriador	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Envasado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Total</b>		6	6	6	7	7	5	5	6	7	7

*Origen de la MP y Presentaciones de venta*

Precio MP	<b>50.0</b>	\$/tn
MP Propia	<b>10%</b>	tn
MP en zona de fabr	<b>60%</b>	tn
MP fuera de zona	<b>30%</b>	tn
Ventas		
Granel	<b>0%</b>	tn
Bolsas 1.000 kg	<b>20%</b>	tn
Bolsas 50 kg	<b>80%</b>	tn

*Inversiones Fijas*

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
<b>BIENES DE USO</b>						
<b>Terreno</b>	<b>320,000</b>					
<b>Obra Civil</b>	<b>328,900</b>					
Galpones	120,000					
Obras civiles	100,000					
Oficinas y comedor	15,000					
Sanitarios	21,000					
Instalación Eléctrica	35,000					
Instalación Gas	8,000					
Contingencias (10%)	29,900					
<b>Linea Maquinas</b>	<b>1,963,150</b>				<b>773,741</b>	
Molino Refinador	81,650					
Secador Rotatorio	337,250					
Pelletizadora	1,278,000				773,741	
Enfriador	152,650					
Envasado	113,600					
<b>Montaje de maquinaria</b>	<b>58,895</b>					
<b>Gastos de Nacionalización</b>	<b>98,158</b>				<b>38,687</b>	
<b>Equipamiento Auxiliar</b>	<b>362,000</b>					
Autoelevador	75,000					
Tractor	80,000					
Compresor	15,000					
Caldera	32,000					
Balanza y carga de camiones	80,000					
Ventilador / Extractor de aire	10,000					
Silos Almacenamiento	70,000					
<b>Muebles</b>	<b>17,500</b>					
Escritorios	6,000					
Sillas	1,500					
Comedor	5,000					
Utiles de oficina	1,000					
Gastos de oficina	4,000					
<b>TOTAL BIENES DE USO</b>	<b>3,148,602</b>				<b>812,428</b>	
<b>BIENES ASIMILABLES</b>						
Investigación y Estudio	7,000					
Patentes y Licencias	45,841					
Gastos de puesta en marcha	0	134,406			33,805	
O. Gastos (Adm. durante Proyecto)	10,000					
<b>TOTAL BIENES ASIMILABLES</b>	<b>62,841</b>	<b>134,406</b>			<b>33,805</b>	
<b>Total Inversiones Fijas</b>	<b>\$ 3,211,443</b>	<b>\$ 134,406</b>	-	-	<b>\$ 846,233</b>	-

*Producción anual y estimación de ventas*

	<b>Año1</b>	<b>Año2</b>	<b>Año3</b>	<b>Año4</b>	<b>Año5</b>
Produccion (Kg/ año)	15,000,000	15,750,000	16,537,500	17,364,375	18,232,594
Venta	9,000,000	14,175,000	16,537,500	17,364,375	18,232,594
Crecimiento anual		+ 5 %	+ 5 %	+ 5 %	+ 5 %
Eficiencia	60%	90%	100%	100%	100%

*Materia Prima*

		<b>Año1</b>	<b>Año2</b>	<b>Año3</b>	<b>Año4</b>	<b>Año5</b>
Produccion Pellets	tn	15,000	15,750	16,538	17,364	18,233
MP total necesaria	tn	28,050	29,453	30,925	32,471	34,095
MP Propia	10% tn	2,805	2,945	3,093	3,247	3,409
MP en zona de fabrica	60% tn	16,830	17,672	18,555	19,483	20,457
MP fuera de zona	30% tn	8,415	8,836	9,278	9,741	10,228
Precio MP	\$ / tn	57.5	66.1	76.0	87.5	100.6
<b>Total MP</b>	<b>\$</b>	<b>1,451,588</b>	<b>1,752,792</b>	<b>2,116,496</b>	<b>2,555,669</b>	<b>3,085,971</b>

*Insumos*

		<b>Año1</b>	<b>Año2</b>	<b>Año3</b>	<b>Año4</b>	<b>Año5</b>
Bolsas 50 kg	80% tn	7200	11340	13230	13892	14586
Bolsas 1.000 kg	20% tn	1800	2835	3308	3473	3647
Granel	0% tn	0	0	0	0	0
Pallets	unid. = tn	3600	5670	6615	6946	7293
Precio BB	4.00 U\$D / tn	14.54	15.54	16.41	17.19	17.86
Precio SB	5.00 U\$D / tn	18.18	19.43	20.51	21.49	22.32
Pallets	15 \$ / tn	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00
Bolsas 1.000 kg	\$	26,179	44,064	54,262	59,713	65,109
Bolsas 50 kg	\$	130,896	220,319	271,309	298,567	325,546
Pallets	\$	54,000	85,050	99,225	104,186	109,396
<b>Total INSUMOS</b>	<b>\$</b>	<b>211,075</b>	<b>349,433</b>	<b>424,795</b>	<b>462,467</b>	<b>500,051</b>

*Ventas*

	<b>AÑO 1</b>	<b>AÑO 2</b>	<b>AÑO 3</b>	<b>AÑO 4</b>	<b>AÑO 5</b>
<b>Ventas Anuales (\$)</b>	<b>4,828,639</b>	<b>8,533,758</b>	<b>11,458,589</b>	<b>13,240,330</b>	<b>15,158,595</b>
<b>Volumen (Toneladas)</b>	9,000	14,175	16,538	17,364	18,233
Ventas Small Bags (50 kg)	7,200	11,340	13,230	13,892	14,586
Ventas Big Bags (1.000 kg)	1,800	2,835	3,308	3,473	3,647
Ventas Granel	0	0	0	0	0
<b>Precios (U\$S)</b>					
Ventas Small Bags (50 kg)	157	165	180	189	198
Ventas Big Bags (1.000 kg)	110	115	126	132	139
Ventas Granel	102	107	117	123	129
<b>Ventas \$</b>					
Ventas Small Bags (50 kg)	4,109,480	7,262,772	9,751,991	11,268,366	12,900,932
Ventas Big Bags (1.000 kg)	719,159	1,270,985	1,706,598	1,971,964	2,257,663
Ventas Granel	0	0	0	0	0

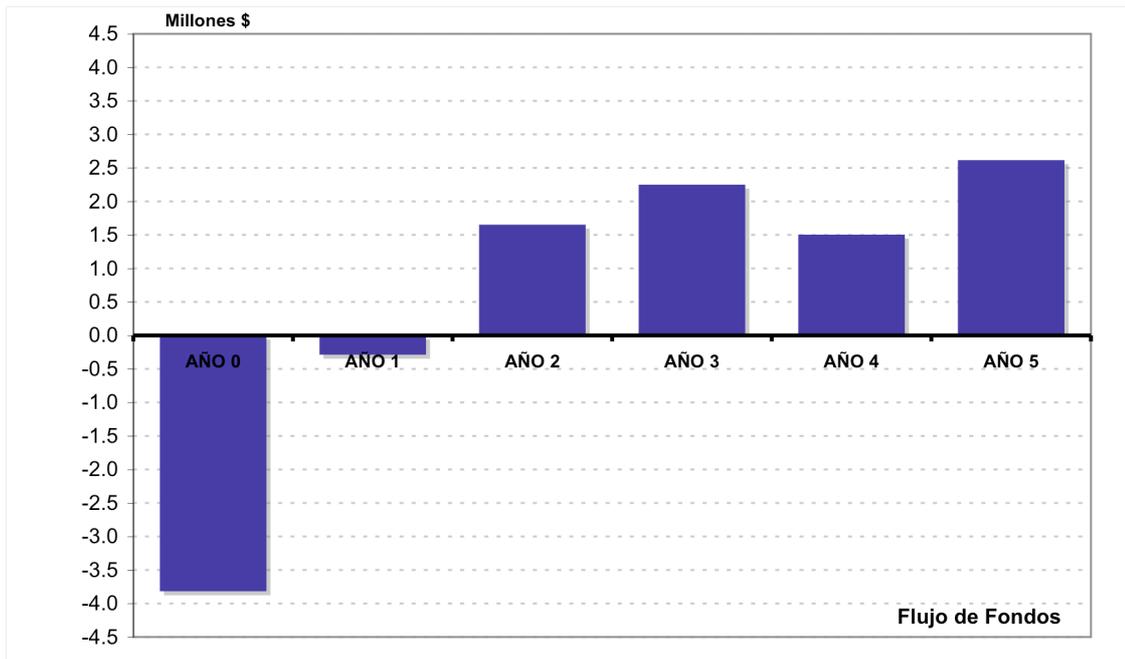
*Cuadro de resultados*

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
<b>+ Ventas</b>	<b>4,828,639</b>	<b>8,533,758</b>	<b>11,458,589</b>	<b>13,240,330</b>	<b>15,158,595</b>
+ Gastos de Producción	3,212,478	3,870,926	4,576,861	5,462,438	6,453,398
+ Gastos de Puesta en Marcha	134,406	0	0	33,805	0
- Δ Stocks de PT	254,745	77,397	72,199	78,558	89,604
<b>- Costo de Producción de lo vendido</b>	<b>3,092,140</b>	<b>3,793,529</b>	<b>4,504,661</b>	<b>5,417,686</b>	<b>6,363,795</b>
<b>- Costo de Administración</b>	<b>154,465</b>	<b>176,590</b>	<b>201,972</b>	<b>233,120</b>	<b>266,596</b>
<b>- Costo de Comercialización</b>	<b>908,000</b>	<b>1,541,394</b>	<b>2,033,071</b>	<b>2,444,169</b>	<b>2,936,432</b>
<b>- Costo de Financiación</b>	<b>92,108</b>	<b>104,954</b>	<b>119,665</b>	<b>138,542</b>	<b>157,907</b>
<b>- Costo Total de lo vendido</b>	<b>4,246,713</b>	<b>5,616,466</b>	<b>6,859,369</b>	<b>8,233,517</b>	<b>9,724,730</b>
<b>Resultado Operativo</b>	<b>581,926</b>	<b>2,917,292</b>	<b>4,599,220</b>	<b>5,006,813</b>	<b>5,433,865</b>
- Retenciones por exportación	205,474	363,139	487,600	563,418	645,047
- Impuesto Ley de competitividad					
<b>Utilidad antes de IG</b>	<b>376,452</b>	<b>2,554,153</b>	<b>4,111,621</b>	<b>4,443,395</b>	<b>4,788,819</b>
- IG (35%)	131,758	893,954	1,439,067	1,555,188	1,676,087
<b>UTILIDAD NETA</b>	<b>244,694</b>	<b>1,660,200</b>	<b>2,672,553</b>	<b>2,888,207</b>	<b>3,112,732</b>

*Flujo de fondos*

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
<b>+ Ingresos</b>						
Utilidad antes de impuestos	0	376,452	2,554,153	4,111,621	4,443,395	4,788,819
Amortizaciones	0	271,752	298,633	298,633	298,633	386,637
Recupero del crédito Fiscal	0	294,386	393,039	19,357	191,706	24,301
<b>Total Ingresos</b>	<b>0</b>	<b>942,590</b>	<b>3,245,825</b>	<b>4,429,611</b>	<b>4,933,734</b>	<b>5,199,757</b>
<b>- Egresos</b>						
Inversión en Activo Fijo	3,211,443	134,406	-	-	846,233	-
Δ Activo de Trabajo	0	674,685	312,026	230,344	266,136	232,338
IVA Inversión	597,576	69,456	20,392	19,357	191,706	24,301
IG y otros Impuestos	0	337,232	1,257,092	1,926,667	2,118,607	2,321,133
Intereses crédito						
<b>Total Egresos</b>	<b>3,809,019</b>	<b>1,215,779</b>	<b>1,589,511</b>	<b>2,176,368</b>	<b>3,422,682</b>	<b>2,577,772</b>
<b>FLUJO DE FONDOS NETO</b>	<b>\$ -3,809,019</b>	<b>\$ -273,189</b>	<b>\$ 1,656,314</b>	<b>\$ 2,253,243</b>	<b>\$ 1,511,052</b>	<b>\$ 2,621,985</b>

Gráfico del flujo de fondos



**TIR 21.8%**

**VAN \$166,606**

20% Tasa de descuento  
Costo de capital



## BIBLIOGRAFIA

### ARTICULOS DE REVISTAS

- Braier, Gustavo. 2005. Tendencias y perspectivas del sector forestal al año 2020 - Argentina.
- Sánchez Acosta, M., Vera, L. 2005. Situación Foresto Industrial de Argentina al 2005 (Ejemplo de una cadena forestal). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA) Serie Técnica n°35.
- Rodríguez, Darío. 2006. Pellets de madera: una alternativa para los residuos y subproductos foresto-industriales. Revista XXI Jornadas Forestales de Entre Ríos.

### ARTICULOS EN PAGINAS DE INTERNET

- Sánchez-Acosta, M. 2005. Situación foresto-Industrial de Argentina al 2005 (Ejemplo de una cadena forestal). INTA - Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- S/ autor. Documento obtenido del portal Ingeniero Ambiental. 2005. Energías Alternativas, Biomasa.  
<http://www.ingenieroambiental.com>
- Relova, I., Marcos, F. y Vignote S. 2006. Boletín de información técnica N°242.
- Cox, Andrew. Low Carbon Heating with Wood Pellet Fuel. XCO2 conisbee Ltd.
- IEA Bioenergy task 40. Noviembre 2007. Global wood pellets markets and industry: policy drivers, market status and raw material potential.
- Gerencia de Tarifas. Junio 2008. Análisis comparativo de precios de combustibles líquidos, gaseosos y energía eléctrica. MetroGAS.
- Maslatón, C., Ladrón González, A. y Miño, A. 2008. Cifras para pensar: Pellets de madera para usos energéticos. IADE - Instituto Argentino para el Desarrollo Energético.

<http://www.iade.org.ar/modules/noticias/article.php?storyid=2252>

### **Páginas de Internet**

- Textos científicos <http://www.textoscientificos.com/energia>
- Pelletsatlas <http://www.pelletcentre.info>
- Pellet Fuel Institute <http://www.pelletheat.org>
- Engormix <http://www.engormix.com>
- INTA <http://www.inta.gov.ar/concordia/>
- INTI <http://www.inti.gov.ar>
- FAO <http://www.fao.org/>

### **CONTACTOS**

- Dr. Luis Ortiz. Decano del Departamento de Ciencias Forestales de la Universidad de Vigo.
- Ing. Forestal Martín Sánchez Acosta. Responsable estación experimental INTA Concordia.
- Lic. Agustín Baumgart. Director de Marketing LIPSIA S.A.
- Lic. Darío Rodríguez, Inderfor Finlandia - Argentina
- César Bovino. Socio Gerente Aserradero Ubajay.
- Ing. Andrés Kirschbaum. Director BARROMAN.
- Juan José Rosen, Jefe de producción KRUGUER S.A.