

RESUMEN

La sociedad del siglo XXI enfrenta serios problemas dados por las crecientes emisiones de gases de efecto invernadero, que están generando un cambio climático global, y la inseguridad en el abastecimiento y el costo permanentemente en alza de la energía, basada en los combustibles fósiles y sus derivados, situación que ha incrementado progresivamente el interés de científicos, políticos y gobiernos por reconsiderar sus opciones y estrategias en materia energética y ambiental, buscando incorporar alternativas que permitan tanto reducir las emisiones como la dependencia de los combustibles tradicionales mediante la diversificación de la matriz energética.

Entre las alternativas se encuentran las llamadas Energías Renovables No Convencionales (ERNC), entre las que se cuentan la solar, la eólica, la geotérmica, la marina, la hidroeléctrica de paso y la biomasa, que se caracterizan por no emitir gases de efecto invernadero en sus procesos o ser carbono neutrales y por emplear recursos que son renovables.

En el caso de la biomasa, las plantaciones forestales dendroenergéticas constituyen una importante opción desde el punto de vista económico y ambiental. Se trata de plantaciones con especies de rápido crecimiento destinadas a suministrar, en el corto y mediano plazo, un abastecimiento seguro y sostenible de biomasa combustible para la generación de energía, que presentan la ventaja adicional de reducir la presión sobre los bosques naturales para obtener dicho material.

En el presente trabajo se revisa el tema energético, la situación actual en cuanto al suministro y consumo de energía en Chile y se entrega antecedentes técnicos sobre algunas especies forestales con las que es posible generar biomasa como combustible carbono neutral y renovable, destacando entre ellas algunas especies de los géneros *Acacia*, *Eucalyptus* y *Salix*.

Palabras clave: Energías Renovables No Convencionales (ERNC), Biomasa, Plantaciones Dendroenergéticas; *Acacia*, *Eucalyptus*, *Salix*.

SUMMARY

The XXI century's society face serious problems because of the increasing greenhouse gases emission, that are producing a global climate change, and the supply insecurity and the also increasing cost of energy based on fossil combustible and its derivatives. The problem has progressively drawn the attention scientists, politicians and decision makers in order to review energy options and strategies for reducing both, emissions and fossil fuels dependence through an energy grid diversification.

Among alternatives are the so called Non Conventional Renewable Energies as sun energy, wind energy, geothermic energy, small hydroelectric plants, sea energy and biomass energy, which have not emissions or are carbon neutral, and are based on renewable resources.

Regarding to biomass, forest plantations to produce energy are an interesting option from both, the economic and the environmental point of view. These kind of planted forests are fast

growing species plantations which, in the short and medium term, can offer a sustainable and sure biomass supply to produce energy, and have the additional advantage of reducing the pressure over native forest for obtaining fuel wood.

Energy supply and consumption in Chile is reviewed in this paper and also technical information on some fast growing forest species suitable to be used in planted forest for biomass production is provided.

Key words: Non Conventional Renewable Energies, Biomass, Planted Forests, *Acacia*, *Eucalyptus*, *Salix*.

INTRODUCCIÓN

En todo el mundo y, especialmente, en los países pertenecientes a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), como lo es Chile, los gobiernos, los ciudadanos y las empresas concluyen, tras décadas de experiencia, que depender de combustibles fósiles para la producción de energía involucra incertidumbres, altos costos y problemas ambientales dados por sus altas emisiones de gases de efecto invernadero. El suministro de combustibles fósiles es limitado y está sujeto a fuerzas políticas y económicas que ningún país puede controlar por sí mismo. Los costos relacionados con la salud y el medio ambiente, derivados del uso de combustibles fósiles, también son elevados (NRDC – BNEF and Balgesta Energía, 2011).

Dentro de este escenario, tanto Europa como Estados Unidos se han fijado como objetivo obtener proporciones significativas de su energía a partir de fuentes biológicas. En la Unión Europea, actualmente el 30 % de la energía es utilizada en el transporte y, de esta proporción, hoy un 98 % proviene de combustibles fósiles, pero para el año 2030 el objetivo es sustituir un 25 % con biocombustibles (BIOFRAC 2006, citado por Baettig *et al.*, 2010). Para ello, la Unión Europea ha establecido una estrategia que considera estimular la demanda de biocombustibles por medio del fomento a su producción y distribución. Dentro de esta estrategia se privilegiará la producción de biocombustibles de biomasa lignocelulósica o biocombustibles de segunda generación. Estados Unidos por su parte, ha establecido como objetivo para el año 2030 sustituir un 30 % del petróleo por combustibles de origen biológico, para lo cual requerirá un suministro anual de mil millones de toneladas de biomasa (Perlack *et al.*, 2005, citado por Baettig *et al.*, 2010).

Chile ha seguido estas tendencias mundiales. Para nadie es desconocida la delicada situación energética que presenta el país y las serias consecuencias que esto puede tener para el bienestar de la población en general y para el desempeño de la industria y la economía. Como consecuencia de la crisis energética y del previsible incremento de la demanda por energía que sustenta el crecimiento económico, Chile observa con atención las diferentes fuentes que pueden conformar su matriz energética futura. Entre estas se encuentran las energías renovables no convencionales (ERNC) y, en este ámbito, es la biomasa la mayor fuente de abastecimiento de energías primarias. En efecto, de la producción básica, la biomasa representa aproximadamente del 15% al 20% del consumo total de energía en el país, lo cual representa aproximadamente unos 14 millones de metros cúbicos de madera anuales, que se utilizan principalmente en calefacción y cocción de alimentos, además de algunos usos energéticos industriales.

Teniendo en cuenta la disponibilidad de recursos renovables de Chile, la caída de los precios de tecnología de ERNC y el aumento de los precios de combustibles fósiles, importantes fuentes de generación de ERNC ya son competitivas en Chile. Todas las tecnologías de ERNC estudiadas se volverán cada vez más competitivas durante las próximas décadas. Para captar todo el potencial de estas energías, mejorar el rendimiento y de reducir los costos, se deben implementar políticas que amplíen el sector y que incluyan la alimentación de los mercados de ERNC y el aumento de oportunidades para los generadores de ERNC. De esta manera, Chile puede garantizar los beneficios de una mayor seguridad e independencia energética, así como una

menor degradación ambiental a partir de la integración, a gran escala, de tecnologías de ERNC en la cartera de generación energética del país (NRDC – BNEF and Balgesta Energía, 2011).

Es así que este tema demanda una urgente preocupación de parte del sector forestal chileno, a través principalmente de sus instituciones relacionadas con la investigación y desarrollo tecnológico y de las empresas del rubro energético y forestal. Estos elementos pueden traducirse en un escenario futuro más propicio para la inversión en este tipo de proyectos. A esto se suman concursos patrocinados por CORFO y el Ministerio de Energía orientados al apoyo a la materialización de inversiones de generación de energía eléctrica a partir de Energías Renovables no Convencionales.

El segundo rubro de exportación de Chile, después de la gran minería, corresponde a recursos forestales y sus derivados, lo que involucra un importante volumen de desechos provenientes de la silvicultura y de la industria de transformación primaria y secundaria de la madera. Las grandes empresas forestales utilizan ya gran parte de estos desechos como recurso energético renovable como autoabastecimiento de energía térmica y eléctrica para sus procesos industriales, generando algunos excedentes que entregan al Sistema Interconectado Central de distribución de energía eléctrica del país. Sin embargo, aún no se emplean todos los desechos y en especial aquellos de la mediana y pequeña empresa que no los utiliza por no disponer de la tecnología necesaria (PUCH, 2011).

Actualmente, la industria forestal chilena participa activamente en la generación de electricidad a partir de biomasa, representando más del 46% de las Energías Renovables No Convencionales en la matriz eléctrica. CORMA (2010) estima que la capacidad instalada para generación eléctrica a partir de biomasa forestal llega a lo menos a 722 MW, considerando tanto las plantas que entregan sus excedentes al SIC como las que producen solo para autoconsumo. Es importante señalar que esta energía proviene de empresas forestales que utilizan sistemas de cogeneración para producir electricidad y vapor para sus procesos productivos, los que son generados principalmente a partir de residuos derivados de la industria del aserrío y de la de pulpa y papel, como corteza, astillas, aserrines y licor negro entre otros.

De acuerdo a esto, si las empresas entregaran toda la electricidad generada al Sistema Interconectado Central, la participación de la biomasa en la matriz eléctrica nacional subiría de un 1,2% a un 5,1%, y la participación de las ERNC aumentaría del 2,7% a un 6,5%.

Desde la perspectiva económica, la energía de biomasa forestal tiene un vasto potencial en Chile y tiene como fuentes el manejo del bosque nativo y las plantaciones forestales, y los desechos de la utilización de sus productos.

Los bosques de fines múltiples, que generan una variedad de productos, incluida la madera y la biomasa destinada a obtener combustible, representan probablemente la fuente de biocombustibles económicamente más viable. Asimismo, los beneficios económicos que se derivan de los biocombustibles son máximos cuando su precio resulta competitivo respecto al de los combustibles fósiles (Hall y Jack, 2010).

Existen especies forestales de clima templado, aptas para su uso en bioenergía, que pueden adaptarse y tener un buen crecimiento en las condiciones agroclimáticas de diferentes regiones de Chile. Mediante una adecuada selección, en base a experiencias internacionales de especies apropiadas para bioenergía de acuerdo a sus características específicas, y el estudio de las condiciones agroclimáticas de origen y destino, es posible establecer y comprobar en terreno su adaptabilidad y aptitud a distintas regiones del país, confirmando esto a través de un diseño de investigación de plantación de parcelas experimentales de un tamaño operacional. INFOR esta iniciando un trabajo en este sentido, al experimentar con especies forestales con el fin de seleccionar las más promisorias de acuerdo a su adaptabilidad.

La hipótesis de esta investigación plantea que el crecimiento de estas especies permite su aprovechamiento sustentable y que presentan aptitud para su uso como bioenergía. El análisis de una futura oferta de biomasa proveniente de plantaciones de rápido crecimiento debe tener como base un conjunto de especies para las diferentes condiciones de suelo y clima del país, apropiadas para sustentar esta oferta en forma económica, social y ambientalmente sostenible.

La información sobre el crecimiento y el rendimiento de estas especies, de las propiedades como combustible de su madera y de las superficies en donde se podrían establecer plantaciones, permitiría ofrecer una base sólida para programas sostenibles de producción de biomasa para fines energéticos, complementándose así la generación de biomasa desde los bosques naturales, las plantaciones y la industria con la procedente de plantaciones establecidas expresamente con estos fines.

La innovación se produce entonces mediante la generación de biomasa en plantaciones de rápido crecimiento, alto rendimiento y corta rotación, manejadas con este fin mediante esquemas silvícolas *ad hoc*, que incluyen desde la selección de la especie y el material genético para producir las plantas y las técnicas para la producción y establecimiento de estas en terreno, hasta aquellas otras para el manejo de la plantación y su cosecha final.

Por ello, y como primera actividad, se ha realizado una recopilación de antecedentes acerca de las posibles opciones para la utilización de plantaciones dendroenergéticas. Estos antecedentes deben servir para los propietarios, empresas e instituciones relacionadas con el sector energético, como un insumo más o elemento complementario de todas las acciones que se establezcan en el plan de utilización de Energías renovables No convencionales (ERNC) que se defina utilizar o implementar en el país.

ESCENARIO ENERGÉTICO

El mayor costo de los combustibles fósiles para la próxima década y los costos de amortización de las centrales ya en construcción tenderán a aumentar los costos de la energía eléctrica, lo cual tiende a frenar el consumo y a incentivar la inversión en eficiencia energética y el ahorro. La Agencia Internacional de Energía (www.iea.org), en su *World Energy Outlook 2010*, previó un aumento de precio del petróleo de US\$60/barril el 2009 a US\$113 para el 2035. Sin embargo el precio del barril ya está sobre los US\$100 y otros combustibles como el GNL también tienden a seguir esta tendencia. Los combustibles fósiles tienden a encarecerse mientras que las ERNC tienden a bajar sus precios (Roman y Hall, 2011).

Chile en las próximas acusará los efectos del cambio; el principal efecto que se prevé es la disminución de las precipitaciones en gran parte del valle central, lo que tenderá a aumentar la dependencia de combustibles fósiles, e implicará alzas en las tarifas energéticas, una razón más para se privilegien y potencien la eficiencia energética y las ERNC (Roman y Hall, 2011).

El país cuenta hoy con una capacidad instalada total de 16.970 MW, de la cual un 73,6% corresponde al Sistema Interconectado Central (SIC), un 25,6% al Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) y un 0,8% a los sistemas medianos de Aysén y Magallanes (Ministerio de Energía, 2012)

La demanda máxima durante el año 2011 alcanzó 6.881 MW en el SIC, en tanto que en el SING fue de 2.162 MW. Si se analiza la generación bruta durante el 2011, la producción en el SIC fue de 46.095 GWh, lo que muestra un crecimiento de 6,8% con respecto al año 2010. De la misma forma, la generación bruta del SING del año 2011 alcanzó 15.878 GWh, siendo un 5,2% más alto que el año anterior.

Al 2020 se proyectan en el país tasas de crecimiento del consumo eléctrico en torno al 6 a 7%, lo que significa cerca de 100 mil GWh de demanda total de energía eléctrica a dicho año, lo

que requerirá aumentar la oferta, solo en dicho período, en más de 8.000 MW en nuevos proyectos de generación.

Desde enero de 1999 la inestabilidad energética se refleja en que el precio del petróleo ha llegado en ciertos momentos a quintuplicar su valor. En este sentido, los esfuerzos del Gobierno se han centrado en disponer de fuentes de energía no convencionales para el abastecimiento de la matriz energética. En ello destaca, por ejemplo, exigencia de que las unidades de generación del país se sustenten en al menos en un 10% en este tipo de energía, como por ejemplo la biomasa, y la meta es llegar a un 20% durante el 2020.

Se estima que al año 2030 la demanda mundial de energía aumentará a un ritmo aproximado del 1,8% anual. Los países industrializados experimentarán una ralentización del crecimiento de su demanda energética, que pasará a situarse a un nivel cercano al 0,4% por año en la UE. A la inversa, la demanda energética de los países en vías de desarrollo crecerá rápidamente. Se espera que en el año 2030 más de la mitad de la demanda mundial de energía se origine en países en vías de desarrollo. Hoy en día dicha demanda representa el 40%⁸. En Chile, con la incorporación al SIC de nuevos proyectos mineros, la tasa de crecimiento de la demanda para el período 2008-2017 se estima en un 6,8%.

El 19% de la energía primaria de Chile se produce en base a biomasa forestal y más del 70% de esta proviene directamente de la leña. Lamentablemente, la mayor parte de este combustible se extrae de bosques nativos que no son manejados en forma sostenible. No obstante, en el año 2008 (Ley N° 20.283) se promulgó la ley que fomenta la recuperación y manejo de los bosques nativos, en virtud de la cual se espera ponerlos bajo manejo sostenible, el cual generaría importantes volúmenes de leña, dado que por su estado de degradación este sería su principal producto inicialmente.

De acuerdo a estimaciones de CORMA, se podrían generar alrededor de 220 MW adicionales al año a partir de la utilización de residuos de cosechas forestales de pino y eucalipto, como ramas, ápices y cortezas, de elevado potencial energético. Esta biomasa sería utilizada directamente por las empresas, estarían disponibles para otros actores de generación de energía, no obstante sería energía que se incorpora a la matriz nacional.

En la medida que la industria forestal continúe creciendo sustentablemente y se desarrolle las tecnologías que permitan la utilización de otros desechos (tocones, residuos de la industria secundaria y otros), esta cifra podría aumentar (CORMA, 2010).

Situación Energética Nacional

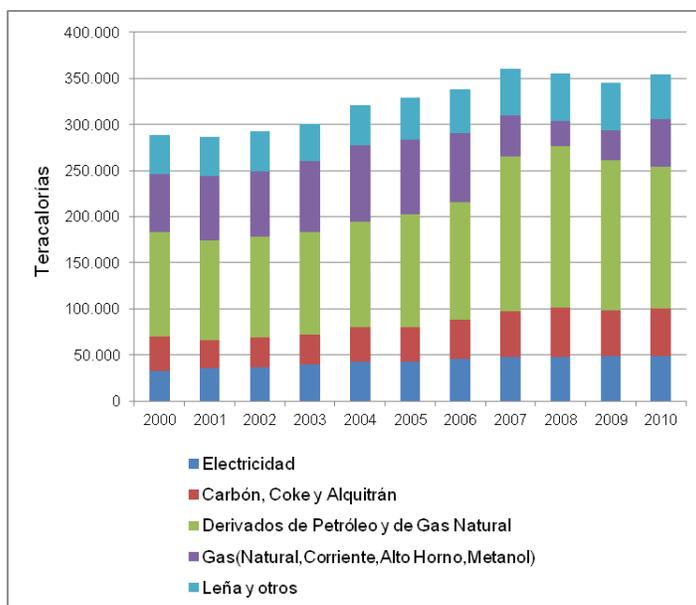
La matriz energética chilena está compuesta principalmente por combustibles que se deben importar y sobre los cuales existe incertidumbre y variabilidad respecto de su precio y disponibilidad. El abastecimiento de gas depende casi en un 100% de yacimientos argentinos, los cuales los años 2005 a 2008 suspendieron parcialmente el suministro a Chile para cubrir la demanda interna. Chile es un país que, como muchos, es energéticamente afectado por las fluctuaciones del precio internacional del petróleo y los problemas de abastecimiento del gas natural.

A partir de los años 80, el sistema eléctrico de Chile comenzó a enfrentar problemas crecientes debido a la baja disponibilidad de recursos fósiles propios y la excesiva dependencia de la generación hidroeléctrica, que debido a las variaciones climáticas, se tradujo en mayor inseguridad en el suministro eléctrico. Según proyecciones de la Comisión Nacional de Energía, se prevé para el futuro próximo un aumento importante en la demanda nacional de combustibles fósiles, tales como el gas natural y el petróleo.

⁸ WETO – World Energy and Climate Policy Outlook

Consumo Nacional por Tipo de Combustible

En la Figura N° 1 se presenta el consumo de energía en el país según tipo de combustible durante el período 2000-2010.



(Fuente: Elaboración propia a base de datos del Balance Nacional de Energía 2010 del Ministerio de Energía)

Figura N° 1
CONSUMO DE ENERGÍA SEGÚN TIPO DE COMBUSTIBLE

Respecto del crecimiento del consumo, los energéticos que lideran el aumento son los derivados del petróleo y de gas natural, con 154.110 Teracalorías, lo que representa un 43% del consumo total de energía en el año 2010 (Ministerio de Energía, 2010).

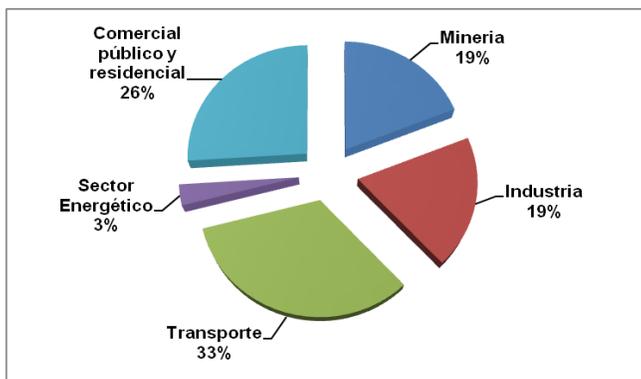
Los consumos de carbón, coke y alquitrán muestran una tendencia constante desde el periodo 2007 a la fecha con un 15%. El gas (natural, corriente, alto horno, metanol), después de haber experimentado una baja en el año 2008 con 27.479 Teracalorías representado por un 8%, tiende a subir paulatinamente, llegando a un 14% el año 2010, cifra que corresponde a 50.924 Teracalorías.

En cuanto al consumo de leña y otros, este corresponde a 48.830 Teracalorías equivalente al 14% del total del consumo de energéticos en el año 2010.

Proyecciones estimadas de la CNE (2008), indican que respecto del consumo relativo de diesel y petróleos combustibles, aumenta; el diesel incrementa su importancia relativa de 24% a 31% y petróleos combustibles de 8,5% a 18%, mientras que los consumos relativos de electricidad y leña, si bien continúan siendo mayoritarios, tienden a bajar; electricidad disminuye su importancia relativa de 18,5% a 18,1% y leña, de 18% a 11%.

Consumo Nacional por Sector

En la Figura N° 2 se ilustra la distribución sectorial del consumo de energía en Chile en el año 2010.



(Fuente: Ministerio de Energía, Balance Nacional de Energía 2010)

Figura N° 2
DISTRIBUCIÓN SECTORIAL DEL CONSUMO DE ENERGÍA EN CHILE

Como es posible observar en la Figura N° 2, el transporte lidera el consumo de energéticos con el 33% del consumo total en el año 2010, según proyecciones de la CNE (2008) este porcentaje aumentaría a 53,8% en el año 2030. El consumo de energéticos por parte de este sector es el que muestra un mayor crecimiento esperado, proyectándose con una tasa promedio anual de 6,9% (CNE, 2008).

En cuanto al consumo comercial público y residencial, es el segundo sector en orden de importancia relativa. Su consumo en el año 2010 conforma un 26% del agregado sectorial (Ministerio de Energía, 2010). Sin embargo, se espera una disminución gradual de su importancia relativa y que en el 2030 represente el 19% del total, con una tasa de crecimiento de 3,8% anual (CNE, 2008).

Proyecciones de la CNE (2008) concuerdan que el consumo relativo del sector industria y minas varía y se mantiene en torno al 19% durante todo el período, pero se espera que aumente su promedio anual en 5,3% en el consumo de energéticos. Por último, se proyecta que el cobre sea uno de los sectores con menor crecimiento en consumo de energéticos, con una tasa anual de 2,6%.

Energías Renovables No Convencionales

De acuerdo a la CNE, como energías renovables no convencionales (ERNC) se consideran la biomasa, la eólica, la solar, la geotérmica y la de los océanos. Existe una amplia gama de procesos de aprovechamiento de la energía de la biomasa que son catalogados como ERNC. Para aplicaciones de gran escala, como por ejemplo proyectos de generación eléctrica con energías renovables conectados a los sistemas eléctricos nacionales, se considera un marco reglamentario y económico neutral con respecto a las energías tradicionales. Por lo tanto, supone que su utilización depende de la competitividad, en términos de precio y de calidad, que ellas tengan respecto a las energías tradicionales.

Luego, no existe limitación alguna para utilizar las energías renovables, como tampoco su incorporación es objeto de un tratamiento especial (CNE, 2008). En Chile la producción de electricidad en el año 2011 alcanzó a 63.711 GWh⁹, siendo generada por plantas de Ciclo Combinado a gas Natural (17,7%), otras térmicas (49,2%), hidráulicas (32,6%), y eólica (0,5%). Actualmente, la matriz de energía eléctrica, considerando tanto el SIC como el SING, está compuesta en un 3% de ERNC, 34% de hidroelectricidad y 63% de generación térmica (Ministerio de Energía, 2012).

Si bien las razones para la baja introducción de las ERNC en este tipo de aplicaciones responden a la suma de un conjunto de factores tecnológicos y/o económicos, la principal causa radica en la baja competitividad privada que aun mantienen respecto de las formas tradicionales de energía. La situación anterior podría cambiar en el futuro, debido a la necesidad de incrementar constantemente la oferta eléctrica y por los requisitos que la autoridad está imponiendo respecto de un porcentaje mínimo de generación de energía en base a estas fuentes no tradicionales (20% en el año 2020).

Los nuevos yacimientos de petróleo no podrán suplir la demanda de este producto, mientras que el precio seguirá presentando tendencias al alza en el corto plazo afectando la competitividad de diversos sectores. Esta es la principal razón por la que los países más desarrollados y también Chile hayan elaborado o estén elaborando estrategias que permitan incorporar a las matrices energéticas una gran diversidad de fuentes de generación de energía a partir de una serie de recursos naturales renovables propios de cada país. Ejemplos sobresalientes son los casos de Finlandia, Irlanda, Nueva Zelandia y España, líderes en la utilización de biomasa forestal para la generación de energía.

Bioenergía

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía, lo que se denomina Bioenergía. Esta constituye la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que las primeras sociedades humanas descubrieron el secreto del fuego.

En el ámbito forestal, este recurso energético es la fracción biodegradable de los productos y residuos generados en los bosques, que pueden provenir de podas, raleos, cosechas y residuos de aprovechamientos madereros industriales (Chile Forestal, 2009) y desde bosques establecidos con fines energéticos. Como una medida del potencial de la biomasa como fuente energética, se puede señalar que el contenido energético de la biomasa almacenada en la superficie terrestre es equivalente al de las reservas probadas de combustibles fósiles, incluyendo carbón, y que la energía total de las reservas estimadas de estos últimos, solo representa unos 130 años de fotosíntesis neta. El proceso de uso y transformación de la biomasa forestal ha permitido el desarrollo de tecnologías de recolección, de transformación y de combustión. Esto ha generado la creación de puestos de trabajo, la búsqueda de trayectos cortos de traslado, una menor dependencia de combustibles fósiles y un resguardo de recursos escasos (fósiles no renovables).

Esta fuente de energía es particularmente atractiva debido a su aporte en la reducción de emisión de gases de efecto invernadero y del volumen de desechos en vertederos, como también de la dependencia de otras fuentes de energía no renovables. Esto último es muy importante para que un país como Chile pueda ampliar y diversificar su matriz energética, tan dependiente de los mercados externos de combustibles como los del petróleo, gas y carbón (PUCH, 2011).

⁹http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_economicas/energia/series_estadisticas/series_estadisticas.php

Según la CNE, los usos de la biomasa en aplicaciones energéticas son principalmente la producción de gas, energía calórica (térmica) y energía eléctrica. Actualmente la biomasa es utilizada en Chile para producir energía eléctrica y térmica para consumo propio e inyectar excedentes a la red de distribución, mediante plantas de cogeneración eléctrica que aprovechan los residuos energéticos (licor negro, cortezas) en plantas de celulosa y crecientemente en otros procesos industriales¹⁰.

Otra interesante aplicación de la energía generada con biomasa se encuentra en la generación de electricidad en localidades rurales aisladas. En el año 1999, la CNE en conjunto con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), implementó, en el marco del Programa de Electrificación Rural, un proyecto piloto para generar electricidad, a partir de la gasificación de la biomasa y abastecer de energía eléctrica a 31 familias de la localidad de Metahue, Isla Butachauques, en la Región de Los Lagos. El principal objetivo de este proyecto fue introducir una nueva tecnología y validarla como una alternativa para el suministro de electricidad en localidades rurales aisladas.

El proceso de transformación de la biomasa en energía ha logrado desarrollos tecnológicos muy importantes y ya se dispone de sistemas eficientes y limpios, desde el punto de vista ambiental, para producir, por ejemplo, combustibles líquidos o gaseosos que a su vez pueden generar electricidad. La mayor fuente de biomasa, en términos de volumen, la constituyen los bosques, tanto plantados como naturales, la que se utiliza actualmente para abastecer la industria forestal nacional y el consumo de leña.

De esta forma, la biomasa funciona como una especie de batería que almacena la energía solar, y si esta se produce en forma sostenida, en el mismo nivel en que se consume, esa batería durará indefinidamente.

La principal fuente de materia prima para obtener biocombustibles sólidos sigue siendo hasta hoy el acopio de los residuos de la industria de conversión de la madera, de cultivos agrícolas y de faenas de cosecha forestal. Considerando solo este escenario, el país presenta un límite en la capacidad de producción de energía y sería equivalente a la capacidad de producción de residuos aprovechables energéticamente (RAE), ya sea de las cosechas de los bosques como de las industrias de conversión. De hecho, se estima que las alrededor de 34 mil hectáreas de eucalipto y las 70 mil hectáreas de pino radiata que se cosechan anualmente en Chile pueden proveer un total de 3,1 millones de toneladas de biomasa lignocelulósica, principalmente restos de fuste y ramas (Campino, 2006).

El poder calorífico anhidro de la biomasa lignocelulósica es poco variable y se encuentra usualmente en la literatura un valor entre 4.400 y 4.600 kcal/kg (Kauter *et al.*, 2003). En cuanto a los RAE de la industria de conversión mecánica, se estima un potencial de 3,2 millones de toneladas, conformadas principalmente de aserrín, corteza, despuntes y viruta (CNE/GTZ/INFOR, 2007).

La madera por tanto es un recurso natural renovable con diversos usos industriales, entre ellos la producción de energía. La abundante masa forestal que posee Chile y el área disponible para la creación de nuevas plantaciones forestales (2 a 4 millones de hectáreas), permite aseverar que el sector forestal chileno tiene un expectante potencial en el campo energético, cuya realización tendría un importante y positivo impacto económico y ambiental.

Es necesario destacar que en el país se están haciendo importantes esfuerzos en el desarrollo de energías renovables de 2ª generación (biocombustibles) (proyectos CORFO), sin embargo, se debe avanzar también en el estudio de las especies apropiadas para la generación de biomasa en las variadas condiciones ambientales del país.

¹⁰ http://www.cne.cl/fuentes_energeticas/f_renovables.html

Iniciativas de Investigación en Desarrollo

En el país se está desarrollando una variedad de proyectos en la materia, algunos de estos son:

Desarrollo de protocolos para la producción de biomasa de especies forestales de rápido crecimiento y corta rotación para la generación de bioenergía. INNOVA BIOBÍO. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales.

Consorcio tecnológico empresarial de investigación en producción de biocombustibles a partir de material lignocelulósico. Consorcio Bioenercel SA. INNOVACHILE. Universidad de Concepción, Universidad Católica de Valparaíso, Fundación Chile, Arauco, CMPC, MASISA.

Consorcio tecnológico empresarial de investigación en producción de biocombustibles a partir de material lignocelulósico. Consorcio Biocomsa SA. INNOVACHILE-CORFO. Consorcio Maderero, ENAP Refinería, Universidad de Chile.

Modelo silvícola para la obtención de dendroenergía en la zona central de Chile usando híbridos de Álamo. FONDEF. Universidad de Talca, Universidad de Concepción

Modelos de disponibilidad, gestión y transformación de biomasa forestal para el desarrollo de la dendroenergía en Chile. FONDEF. Universidad de la Frontera, Universidad Austral de Chile.

Conocer estos antecedentes permitiría utilizar la biomasa para generar energía, con una producción anual potencial del orden de 1.000.000 t (se asume 100.000 ha con una productividad anual de 10 t/ha de materia seca). Esta capacidad de producción de biomasa se traduciría en la producción de 40 Megawatt eléctrico y 68 calórico al año. Esto permitirá generar ingresos para los propietarios superiores a los US\$ 15 millones por año, además de puestos de trabajo y PYMES de servicios de extracción de biomasa.

Considerando el crecimiento anual estimado de biomasa forestal utilizable para bioenergía en bosques plantados (10 toneladas por hectárea) y un valor energético de 4 kWh/kg de combustible de biomasa seca al aire), se puede estimar que en un año se almacena una energía cercana a 25.000 kWh en cada hectárea manejada, con ciclos de corta de 1.000 ha/año. Estos valores deben ser confirmados a través del estudio de una serie de variables asociadas al manejo y la generación de bioenergía, además de los aspectos de extracción y transformación de la biomasa.

Opciones Bioenergéticas

Uno de los componentes no abordados plenamente en la investigación tecnológica forestal orientada a la búsqueda de alternativas energéticas en Chile, corresponde a las plantaciones bioenergéticas o dendroenergéticas. Estas plantaciones bioenergéticas son ampliamente usadas en España, Estados Unidos, Inglaterra, Suecia, Nueva Zelanda, Alemania y Brasil, entre otros, como fuente de abastecimiento para la generación de energía térmica y eléctrica.

Estas plantaciones se establecen con especies de rápido crecimiento, en cortas rotaciones y con elevados rendimientos, y pueden llegar a ser una fuente segura de energía renovable para el país, lo que garantizaría además una actividad económica para los productores, beneficios al medio ambiente y a la economía nacional, utilizando terrenos marginales para la producción agrícola y forestal. Es conveniente remarcar que el balance ambiental es considerado

carbono neutral, dado que los gases que provoca su combustión han sido previamente capturados en el proceso biológico del crecimiento de las plantas.

Las plantaciones de corta rotación se caracterizan por el establecimiento de especies latifoliadas en espaciamientos relativamente densos (2.000 – 10.000 árb/ha) con una silvicultura intensiva que implica preparación de suelo, fertilización y control de malezas con periodos de cosecha que van desde los 2 a 4 años. Dentro de un mínimo de requerimientos para estos se necesita un suelo apto, una especie de rápido crecimiento, conocimiento técnico y práctico, rendimiento calórico y densidad de la madera.

Las energías térmicas (vapor) y eléctricas resultantes de la reacción de combustión de la biomasa son requeridas para los procesos industriales, donde los excedentes de energía eléctrica pueden ser comercializados entregándolos al sistema interconectado central (SIC).

En el escenario descrito, se requiere de cuantificar y caracterizar los suelos forestales disponibles para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas, introducir al país especies dendroenergéticas de interés y emplear las ya conocidas, identificar las mejores especies para los distintos sitios, evaluar aspectos de manejo y cosecha, desarrollar modelos de negocio preliminares, generar el marco de trabajo que permita la asociatividad de productores y generar modelos de abastecimiento en coordinación con las empresas demandantes del recurso dendroenergético, entre otros aspectos.

Antecedentes Generales Acerca de la Biomasa

No son muchos los proyectos y estudios nacionales relacionados con la biomasa forestal y su posibilidad de aprovechamiento como combustible, siendo los principales aquellos relacionados con la determinación de biomasa total y estudios de contenido de carbono en la masa forestal. Entre estos estudios Rodríguez *et al.* (2004) señalan la utilización potencial de la biomasa forestal en Chile como fuente de energía y entregan antecedentes de consumos energéticos mundiales y nacionales junto al uso proyectado en el futuro. Comentan, además, las ventajas del uso de biomasa forestal respecto de los combustibles fósiles, indicando las posibles barreras que dificultan el uso masivo del recurso como combustible. Sus principales conclusiones son:

La biomasa contribuye con el 14,4% del consumo mundial de energía y representa un 3% del consumo de energía al interior de la UE.

La madera es una fuente de energía renovable y limpia siendo casi neutral en CO₂.

La desventaja de la madera está en el costo de transporte, no es un combustible homogéneo y su intensidad calórica es comparativamente baja.

La biomasa es susceptible de aprovechar para generar energía eléctrica y mecánica.

De la matriz energética de Chile la biomasa representa el 1,33% del total de la producción eléctrica. La utilización de la biomasa como fuente de producción eléctrica se concentra en la industria de la celulosa: Arauco, Celco, Cholguán, Laja (Energía Verde) y Constitución (Energía Verde).

Chile es uno de los pocos países con tradición forestal que no ha incentivado debidamente el uso de la biomasa forestal como fuente de energía a través de las políticas públicas.

Se necesita reforzar la legislación que estimule la generación de energías renovables ya existente.

La bioenergía es una fuente de energía renovable con beneficios sociales y ambientales y con perspectivas económicas en el mediano plazo.

En los párrafos anteriores, se hace mención a los aspectos económicos involucrados, los cuales en el caso de las opciones de la biomasa, al igual que de las otras ERNC, son limitantes al momento de tomar las decisiones en cuanto a su factibilidad de uso o no. En primer lugar se debe considerar el precio a que se está dispuesto a pagar por la tonelada de biomasa, precio que deberá ser menor a los alcanzados por el petróleo, gas y otras energías disponibles, junto con ello, las

distancias de abastecimiento de los centros de consumo son un factor determinante. Las investigaciones señalan que esta distancia varía entre los 80 a 100 km de radio, lo que ha generado planificaciones al momento de establecer los centros de consumo relacionados con los radios de abastecimiento. En N. Zelanda, Canadá y otros países ya existe bastante información y herramientas al respecto.

El análisis económico también involucra la logística; elección adecuada de los sistemas de transporte, cosecha y producción de astillas. Igualmente, en el análisis de la inversión, deben considerarse otros costos, como la forma de utilización de la biomasa; astillas, pellets, gasificación, etc. y el proceso de almacenamiento y secado.

Es reconocido por todos los investigadores de este tema y por los consumidores finales que la biomasa forestal ha resultado ser competitiva cuando se genera (biomasa de plantaciones, residuos de industria, cosecha, raleo) a partir de puntos localizados entre 80 a 100 km de los centros de consumo, por lo que es importante generar una mayor cantidad de volumen por unidad de superficie. La competitividad del biocombustible orinado en biomasa, comparada con la de combustibles fósiles; petróleo, carbón y gas natural, va a depender en gran medida del costo de generar este combustible, por lo que los elementos antes señalados son relevantes, partiendo por el análisis de los rendimientos de la biomasa, sus ciclos de corta y distancias de abastecimiento.

La Energía a Partir de Biomasa Forestal a Nivel Mundial

En España, particularmente en Sevilla, destacan los trabajos de la Sociedad Andaluza de Valorización de la Biomasa, integrada por la Junta de Andalucía (Gobierno Regional), el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía –IDEA, del Gobierno Central de España, y 6 empresas privadas y Plantas de Generación Eléctrica de Valoriza Energía; que genera energía eléctrica a partir de residuos y de biomasa. En Málaga existe un laboratorio piloto de micropropagación para impulsar plantaciones energéticas con material seleccionado in vitro de especies leñosas. El laboratorio, propiedad de CBI (Consultores de Bioenergía S.L.), empresa asociada a la empresa Planta Bioenergía, produce diversos clones de una especie de *Paulownia* seleccionada genéticamente (Híbridos) para la obtención de los mejores rendimientos en diversas condiciones climáticas y agrológicas. Estos desarrollos se complementan, por ejemplo, con la planta de peletización (Energía Oriental S.L.) que emplea biomasa de distintas especies: álamo, paulownia, residuos de poda de olivares, etc. Esta planta peletizadora se integra en un grupo empresarial de distribución de calderas de biomasa. Los vendedores de calderas aseguran a sus clientes el suministro de combustible, pellets, que producen en la peletizadora.

Un caso interesante en España corresponde a las actividades desarrolladas por ENCE, líder energético con biomasa en ese país, con cerca de 50 años generando energía eléctrica renovable con biomasa forestal residual del proceso de fabricación de la celulosa, y constituyendo el mayor productor español de energía renovable con biomasa.

La compañía tiene una potencia instalada de 229 MW, con producción de energía en sus complejos industriales de Huelva, Pontevedra y Navia (Asturias). La fábrica de ENCE Pontevedra cuenta con una potencia instalada de 35 MW, energía eléctrica equivalente al consumo anual de 77.000 hogares. La fábrica de Navia con una potencia instalada de 37 MW, asociada la gestión de 380.000 toneladas de biomasa anualmente, con cerca de 400 empleos directos, indirectos e inducidos, es la planta de biomasa forestal más grande de España, y adicionalmente dispone de 40 MW de capacidad instalada con biomasa de proceso. La fábrica de Huelva cuenta con 68 MW de capacidad instalada con biomasa de proceso y 49 MW de cogeneración con gas y biomasa. La generación de energía con biomasa de proceso es equivalente al consumo eléctrico anual de 151.000 hogares.

ENCE gestiona alrededor de 3,5 millones de metros cúbicos de madera para sus fábricas, con 86.000 hectáreas de bosque bajo su gestión (aproximadamente 50.000 ha son de su

propiedad). Esto demuestra que la experiencia en gestión de activos forestales es aplicable en el desarrollo de cultivos energéticos y en la obtención de biomasa forestal.

ENCE reconoce que los cultivos forestales energéticos, a diferencia de los residuos, poseen un potencial de eficiencia mayor que cualquier otra fuente renovable, lo que permite mejorar la competitividad de la biomasa como fuente de energía. A través de importantes inversiones en investigación aplicada, ENCE busca las mejores especies y técnicas para maximizar las producciones de sus cultivos forestales energéticos y optimizar así el desarrollo de la biomasa en España. Esto ha permitido a ENCE ser un líder mundial en innovación e investigación forestal aplicada a cultivos energéticos, investigando 13 especies forestales especialmente apropiadas para ser potencialmente los mejores cultivos energéticos adaptados a las distintas condiciones del terreno existentes en España. Con ello han obtenido importantes avances en genética con eucaliptos y en el desarrollo de cultivos energéticos y de maquinaria específica.

Las especies forestales que se eligen para investigar como cultivos energéticos son aquellas que tengan un mayor vigor y precocidad de crecimiento, mayor capacidad de acumulación de energía por unidad de peso, mayor capacidad de rebrote y mayor fuerza para adaptarse a diferentes condiciones.¹¹

En el marco del Wood Energy Technology Programme de Finlandia, se desarrollaron tecnologías para la producción en gran escala de astillas provenientes de bosques y desechos de raleos y cosechas. Estas tecnologías se encuentran en operación y el volumen de biomasa generado se está usando para la generación de energía térmica y eléctrica. Los residuos de biomasa finlandeses corresponden a 30-58 toneladas por ha durante la rotación, correspondiendo a los de la cosecha final, el tercer, segundo y primer raleo comercial y al raleo a desecho inicial a 4-8, 4-8, 6-9 y 3-9 toneladas por hectárea, respectivamente (estos valores no incluyen madera de tocones ni de raíces). Las faenas de extracción finlandesas son totalmente mecanizadas y los procesos de conversión de biomasa a energía en distintas formas como combustibles sólidos, líquidos, gaseosos y electricidad están en uso actualmente.

En Inglaterra e Irlanda se ha trabajado con especies de *Salix* aptas para dendroenergía. Entre estos estudios destacan los realizados por The Agri-Food & Biosciences Institute (AFBI) en el uso de *Salix*, selección y evaluación clonal para la producción energética bajo corta rotación y manejo de retoños, con la debida atención a aspecto de silvicultura, fertilización, mezclas de especies y plagas. AFBI fue creado en abril de 2006 como amalgamación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (DARD), el Servicio de la Ciencia y el Instituto de Investigación Agrícola de Irlanda del Norte (ARINI). AFBI es un cuerpo público No-Departamental de Agricultura y Desarrollo Rural (NDPB). AFBI tiene oficinas en siete sitios a través de la provincia, con sus jefaturas en Newforge, Belfast, Irlanda.

En Nueva Zelanda se ha estudiado el uso de plantaciones con fines dendroenergéticos, destacando los esfuerzos de SCION. Esta investigación se ha centrado principalmente en *Eucalyptus*, *Salix* y *Acacia*. Se sostiene que la cosecha de maderas para estos fines tiene futuro en Nueva Zelanda debido a su alta productividad y a la capacidad de proporcionar oportunidades múltiples de utilización del suelo. Estas oportunidades son observadas con interés por el mercado de la bioenergía como materia prima para los biocombustibles y biorefinerías, en especial con el uso de *Salix*, si se despejan interrogantes de tipo económico. Este trabajo señala un gran interés en las plantaciones de eucalipto para la bioenergía y el carbón.¹²

Un esfuerzo interesante en este sentido, es que investigadores de SCION lideran grupos internacionales de trabajo, destacando el IEA Bioenergy, Task 30 Short Rotation Crops (2006-

¹¹ http://www.ence.es/opencms/export/sites/ence.es/contenidos/adjuntos/Biomasa_forestal.pdf

¹² Ian Nicholas. 2008. Charla en XXIII SILVOTECNA. Hardwood Options for Bioenergy in New Zealand.

2009), Short Rotation Crops for Bioenergy Systems¹³. El trabajo de este grupo en el período 2007-2009 se basa en la premisa que en muchos países demanda de biomasa para energía tendrá una rápida expansión para asegurar fuentes de energías sostenibles y seguras. Las cosechas de corta rotación (SRC) pueden convertirse en una fuente de energía adecuada si los sistemas de producción se pueden maximizar económica y ambientalmente.

Las herramientas y la tecnología se están desarrollando rápidamente para sustentar de manera segura el establecimiento de los sistemas de producción y utilizarlos a largo plazo. Este grupo de trabajo plantea que la investigación debe centrarse en cosechas de cortas rotaciones o por medio de residuos puedan proporcionar biomasa al mercado de la energía, y abarca cosechas herbáceas y arboladas en sistemas de cultivo y plantaciones de rotaciones cortas.

En Nueva Zelanda y los países participantes de este grupo se emplean generalmente especies de *Salix*, *Populus* híbrido, *Acacia* y *Eucalyptus*, con grandes rendimientos de biomasa para los propósitos de energía. El programa de trabajo de este grupo se ha centrado en proporcionar respuestas a diversas interrogantes, relacionadas con vías de fomento para desarrollar y ejecutar sistemas de producción de biomasa de corta rotación en gran escala y asegurar la continuidad socioeconómica y ambiental de estos sistemas, y con las ganancias que se puede obtener al mejorar las técnicas dentro de un marco de productividad y adecuado funcionamiento ambiental.

El trabajo del grupo se divide en cinco temas centrales; convenios entre productores y mercado, cambio climático y servicios del ecosistema, mejoramiento y optimización de los sistemas de producción, energía, agricultura y políticas medioambientales para cosechas de corta rotación (SRC) y competencia por la tierra y los recursos hídricos.

Cabe señalar que esta fuerza de trabajo la integran Australia, Brasil, Canadá, Nueva Zelanda, Países Bajos, Reino Unido, Estados Unidos de América y Suecia.

Algunos sitios Web que entregan información en esta materia son:

-Biopower Home Page, www.eren.doe.gov, que contiene información técnica acerca de las diferentes formas de aprovechar la biomasa como combustión, gasificación etc, además de información de resultados de proyectos demostrativos.

-Splash Page - DOE's Bioenergy Initiative, www.eren.doe.gov, Descripción del programa implantado en los Estado Unidos por el Departamento de Energía para el aprovechamiento de la biomasa en todos los sectores de la sociedad.

-U.S. Department of Energy's National Biofuels Program, www.ott.doe.gov, Contiene información del programa implantado en los Estados Unidos, tecnología, situación actual, aplicaciones en vehículos que utilizan como combustibles los obtenidos a partir de la biomasa.

Respecto de establecer plantaciones forestales con el propósito de producir energía y de usar pellets y briquetas para la cocción y calefacción en ambientes urbanos y semi-urbanos, es necesario señalar que para evitar o disminuir los problemas de contaminación que ello pueda provocar se requiere de esfuerzos por generar una biomasa seca de calidad certificada que asegure procesos de combustión limpios. Junto con ello se requiere, principalmente en el tema domiciliario, innovar en los procesos de conversión y de diseño de calefactores, aún de un costo elevado en el caso de uso de pellets, situación en desarrollo en el país por universidades y empresas.

¹³ www.shortrotationcrops.org

Respecto de la sustentabilidad medio ambiental de las plantaciones de rápido crecimiento, las investigaciones reportadas a la fecha señalan que los ciclos de corta rotación requieren de aportes de nutriente en cada ciclo de corta, de modo de compensar la extracción intensiva que ocurre en este tipo de plantaciones. Las mismas investigaciones señalan que la mantención de las hojas en el piso del bosque, junto con residuos, ayudan a la recuperación de los nutrientes y que a medida que avanzan los ciclos de corta, la profundidad de las raíces ayuda a extraer nutrientes en forma más homogénea y no sólo desde el suelo superficial. En la bibliografía consultada se señala que existen algunas plagas asociadas a estos tipos de cultivo intensivos, las cuales sin embargo, no se han reportado en el país.

ESPECIES DE INTERÉS BIOENERGÉTICO PARA CHILE

Las especies vegetales consideradas como dendroenergéticas se caracterizan por poseer una alta tasa de crecimiento, la posibilidad de regenerar de tocón (al talarse pueden volver a crecer a partir de la base) y presentar un alto poder calorífico en su madera. Entre ellas se cuentan aquellas de los géneros *Acacia*, *Eucalyptus* y *Salix*. Estas especies permiten obtener un recurso constante a través del tiempo, teniendo entre otros efectos positivos la disminución de los efectos de la erosión, la degradación y compactación de los suelos, preservando, en definitiva, el patrimonio del país (PUCH, 2011).

INFOR dispone de antecedentes técnicos preliminares de algunas especies forestales dendroenergéticas de interés para el país, donde destacan las acacias (*Acacia dealbata*, *A. melanoxylon*, *A. mearnsii* y *A. saligna*), los eucaliptos (*Eucalyptus globulus*, *E. nitens*, *E. camaldulensis*, *E. cladocalyx*, *E. sideroxylon*) y los sauces (*Salix spp*). En información bibliográfica destacan algunas otras de los géneros *Paulownia*, *Populus* y *Miscanthus*.

Acacias (*Acacia spp.*)

Las especies del género *Acacia* constituyen promisorias opciones forestales, sea como alternativas productivas en sectores marginales para las especies forestales tradicionales (pino radiata y eucalipto) o para ofrecer una mayor diversidad productiva al sector. Más aún, se espera que en el mediano plazo, el desarrollo de estas opciones tecnológicas permita tomar decisiones en materia de políticas que tiendan a incrementar y/o diversificar el suministro de fibra corta, hasta ahora proporcionada por especies del género *Eucalyptus*, y con ello ampliar y diversificar la superficie de plantaciones forestales pulpables.

El Instituto Forestal ha desarrollado investigaciones con especies de este género, principalmente con *Acacia melanoxylon*, *Acacia dealbata* y *Acacia mearnsii* (Figura N° 3).

Las especies indicadas han mostrado interesantes resultados para su establecimiento en el país, tanto desde el punto de vista de la diversificación de las actuales plantaciones con especies exóticas como por su alto grado de adaptabilidad edafoclimática y su multiplicidad de productos a obtener a través de un manejo forestal adecuado, incluida la bioenergía. Las investigaciones desarrolladas ha abordado el manejo forestal, el mejoramiento genético, el estudio de las características físico mecánicas, la evaluación de los probables productos a obtener y otros aspectos, de forma tal de lograr hacer de estas especies exóticas una nueva y eficiente fuente de ingresos para grandes, medianos y pequeños propietarios (Pinilla, 2000; Pinilla, 2000a).

Estos estudios del Instituto Forestal sobre acacias australianas han sido desarrollados para generar una base de información para estas especies y, con apoyo de empresas, propietarios y organismos gubernamentales, han sido instalados diversos ensayos, que se han centrado en las regiones del Bio Bio y La Araucanía, donde se encuentran las principales empresas forestales del país, el mayor patrimonio forestal y una superficie importante de suelos degradados o sin uso (INFOR, 2002). En estas parcelas experimentales se está estudiando el crecimiento y rendimiento

de acacias (parcelas permanentes, ensayos de procedencias, unidades demostrativas y ensayos de espaciamiento de plantación) (INFOR, 1988; 1997).



1,6 años, localidad de El Carmen (izq.) y 7 años, localidad de Florida (der.)

Figura N° 3
PLANTACIONES EXPERIMENTALES DE *Acacia dealbata* REGIÓN DEL BIO BIO

Los estudios han demostrado que especies de *Acacia* pueden ser utilizadas en Chile en sitios donde no se adaptan otras especies (pino radiata, eucalipto), para el control de suelos erosionados y para mejorar la productividad de suelos degradados (NAS, 1980; Pinilla 2000). Un aspecto importante es que además del interés del sector industrial por estas especies, los medianos y pequeños propietarios forestales serían beneficiados directamente por su uso, puesto que en su poder existen áreas erosionadas o sitios sin uso que pueden ser recuperados y utilizados con especies de *Acacia*, generando un recurso forestal de interés económico que les permita incrementar sus ingresos.

A nivel nacional, los antecedentes tecnológicos más relevantes de las especies *A. melanoxylon* y *A. dealbata* se han sido reunidos en los proyectos FDI/CORFO Masificación y desarrollo de opciones productivas en base a especies de acacia probadas en Chile e INNOVA/Chile Programa Acacia para su uso en Chile: Tecnologías para posicionar su utilización económica en el sector forestal, ejecutados por el Instituto Forestal entre los años 2003 y 2011.

Los proyectos entregan información sobre las propiedades físicas y mecánicas, el secado, la trabajabilidad, la encolabilidad, y la producción de chapas foliadas, tableros de partículas y pulpa y papel. Los valores dasométricos reportados desde las parcelas permanentes y ensayos, indican volúmenes totales que varían entre los 100 a 400 m³/ha dependiendo de la edad para el caso de *A. dealbata*.

En los estudios de rendimientos realizados en ensayos de INFOR es posible apreciar importantes incrementos en altura y diámetro de las especies de acacia consideradas en esta investigación. *Acacia dealbata* confirma ser una especie muy promisoría, presentando el mejor desarrollo de todas las especies ensayadas. En términos de rendimiento, los resultados obtenidos desde parcelas permanentes indican incrementos anuales en volumen de 20 m³/ha para *A. dealbata* y 10 m³/ha para *Acacia melanoxylon*, y se registra en sitios de buena calidad valores aún mayores para ambas especies (Pinilla, 2005). Estos antecedentes son relevantes si se piensa que esta especie también podría usarse para bioenergía, tal cual lo señala la experiencia local y tradicional del país. En efecto, esta especie es muy apreciada para la producción de leña y carbón,

aunque no existen estudios precisos acerca de su caracterización energética, ni menos modelos tecnológicos que optimicen su utilización en energía. Estos antecedentes de rendimientos provienen de un estudio riguroso, que abarca amplias zonas del sur del país, por lo que podrían ser punto de referencia inicial para cualquier productor interesado respecto los rendimientos que se podrían obtener con esta especie, los que son comparables en magnitud a los reportados en pino radiata o eucalipto.

Estas especies podrían ser utilizadas en un esquema de manejo destinado a abastecer con biomasa forestal (leña) para la producción de energía para hogares (alimentación y calefacción) y producción industrial, requiriéndose del desarrollo de modelos tecnológicos de disponibilidad y sustentabilidad que optimicen su utilización.

Respecto del poder calorífico de *Acacia dealbata*, en estudios de INFOR se obtuvieron valores promedio de 4.034,71 y 3.636,65 Kcal/kg para los valores de Poder Calorífico Superior e Inferior, respectivamente. Las muestras utilizadas procedían de árboles de entre 4 y 6 años, madera 100% juvenil. Los resultados del estudio son concordantes con información bibliográfica existente y similar a otras especies forestales nativas que crecen en el país (Pinilla y Hernández, 2010).

Álamos (*Populus spp*)

Se trabaja con diversos híbridos de álamo, que cuando crecen bajo un esquema silvicultural de corta rotación, pueden producir entre 8 y 22 t/ha/año de material seco y alcanzar una altura de 20 m en 6 años. Estos álamos son generalmente plantados en densidades que varían entre 750 y 1.700 árb/ha, dependiendo de la localización geográfica, el tipo de suelo y su uso final, con un periodo de rotación entre 6 y 12 años.

Pese al buen rebrote de los híbridos de álamo, después de la cosecha se recomienda su reestablecimiento mediante varetas para aprovechar las ventajas de los híbridos mejorados y minimizar problemas de insectos y enfermedades¹⁴.

En Chile existen actualmente unas 6.000 ha de plantaciones de álamo, establecidas en suelos profundos y con riego, y concentradas en las regiones de O'Higgins y Maule, las cuales son destinadas principalmente a la industria de la manufactura de chapas para cajas y embalajes, fósforos, paletas de helados y otros productos.

Eucalyptus globulus

El crecimiento en altura para monte bajo (originado en retoños de tocones) es mayor en un principio, pero luego es alcanzado por el crecimiento de monte alto (originado en plantas) que tiene una proyección mayor en altura. Con respecto al volumen, en promedio durante los primeros años el primero supera al monte alto, pero luego el crecimiento de monte bajo es alcanzado por el de monte alto y superado (INFOR, 1989).

Estos resultados indican que sería posible el uso de la especie para la generación de biomasa con fines dendroenergético, aprovechando cortos ciclos de corta basado en el rápido crecimiento del monte bajo. En este escenario, la producción de biomasa para fines energéticos, donde no es necesario extraer varetas durante cortas intermedias, se realiza en una cosecha final a temprana edad¹⁵.

¹⁴ <http://bioenergy.ornl.gov/misc/poplars.html>

¹⁵ Proyecto FONDEF D02I1117 Modelos de Manejo de Monte Bajo, Informe de Trabajo. Documento técnico "Antecedentes Generales Acerca del Manejo de Monte Bajo de *Eucalyptus globulus*". 2005. INFOR

La investigación desarrollada por INFOR ha ratificado por un lado los interesantes rendimientos obtenidos a temprana edad utilizando el esquema del monte bajo (retoños) de *Eucalyptus globulus*, y la validez económica de la propuesta tecnológica, sustentada en las características del mercado, precios de productos, estructuras de costos, escenarios actuales y futuros y tendencias del mercado. La opción de uso del monte bajo de *E. globulus* para biomasa bioenergética presenta una limitación en su uso debido a los precios internacionales de la celulosa, altamente atractivos, lo que podría afectar la seguridad en el abastecimiento de biomasa dendroenergética a partir de este tipo de formaciones.

Miscanthus spp.

Miscanthus es la hierba rhizomatous que fue introducida a Europa del Extremo Oriente en los años 30 y a partir de los años 50 se ha desarrollado cosechas de la biomasa con programas de investigación del cultivo y selección, con considerable potencial en una amplia gama de zonas climáticas incluyendo Europa templada.

De las diecisiete especies del género solamente algunas tienen potencial de la biomasa, siendo su máxima expresión *Miscanthus giganteus*, híbrido triploide estéril del *M. sacchariflorus* y *M. sinensis*. Una vez que están establecidos, los rizomas producen un crecimiento anual de los vástagos que alcanzan una altura madura de 3 m o más y que se pueden cosechar en invierno.

Las especies de *Miscanthus* son leñosas, perennes, originarias de Asia y con un alto potencial de crecimiento. Los rendimientos a partir del segundo año pueden ser entre 4-10 t/ha, y para el tercer ciclo se esperan producciones de entre 10 -13 t/ha o más. El máximo esperado, y registrado en varios sitios, es de 20 t/ha. Estos rendimientos dependen de las distintas densidades de plantación, tipo de suelo y clima. Durante los primeros 2 o 3 años después de plantar, los aumentos anuales de la producción del vástago como del cuerpo del rizoma, que acumula bajo tierra, son importantes. Pocos estudios se han sido realizados que incluya en medidas del rizoma. En Gran Bretaña las producciones del vástago han demostrado la acumulación de 1-2 toneladas de materia seca por hectárea (t/MS/ha) en la primera estación a un máximo sobre de 17 t MS/ha del año 4 o 5 hacia adelante. En Irlanda del Norte, un estudio ha indicado producciones sobre 15 tMS/ha en el año 4. Estas producciones fueron alcanzadas sin el uso del fertilizante agregado después del año 2, debido a la capacidad de la cosecha de reciclar los alimentos en los rizomas de los vástagos y se reutilizan la estación siguiente, o se vuelven al suelo a partir de la caída de la hoja.

Como antecedente se puede señalar que, cuando se considera como biomasa para combustible, *Miscanthus* tiene un contenido de calor similar al sauce, pero tiene una densidad a granel más baja. Esto lo hace menos económico para transportar en distancias significativas a su punto del consumo. *Miscanthus* tiene un contenido alto de sílica, produciendo una proporción de ceniza alta. Algunos ensayos británicos reconocen que *Miscanthus* podría ser utilizado como complemento de la leña en algunas centrales eléctricas, aspecto que motiva su cultivo y cosecha en el Reino Unido e Irlanda¹⁶. *Miscanthus* tiene un poder calorífico neto, en base seca, de 17 MJ/kg, con un 2,7% volumen de ceniza. Comparativamente, el valor de energía producida por 20 t de *Miscanthus* seco es equivalente a 12 t de carbón.

Paulownia

Paulownia es uno de los árboles de mayor y más rápido crecimiento del mundo. Los árboles pueden ser dañados por la helada y requerir un lugar abrigado para el crecimiento, requiriendo de suelos profundos e intensas medidas de establecimiento inicial junto con riego estival. La madera de *paulownia* tiene muchas aplicaciones, incluyendo construcción, puertas, muebles, cocinas, etc. El sistema de arraigo profundo de *paulownia*, conjuntamente con el índice

¹⁶ <http://www.afbini.gov.uk/index/services/services-specialist-advice/gru-about-us/gru-publications>

de crecimiento rápido, le permite tomar más nutrientes que otras especies. Su cultivo de manera alterna con trigo es una práctica común en China, donde es importante utilizar la tierra para la producción alimentaria además de propósitos de la madera de construcción.

El interés en paulownia está ganando ímpetu en todo el mundo, debido a su naturaleza de crecimiento rápido, especialmente en España y Reino Unido. Es así como en Irlanda del Norte está siendo considerada, dado que la mayoría de la biomasa viene del *Salix*. Igual situación se plantea en España, con un alto interés por invertir en plantaciones con esta especie para su uso como biomasa dendroenergética.

Un detalle importante con esta especie se refiere a que, debido al alto contenido de celulosa de Paulownia, el etanol celulósico se puede producir como combustible en la forma de energía renovable. El etanol celulósico presenta emisiones de gases de efecto invernadero menores en comparación al etanol producido vía un azúcar o fermentación a base de almidón¹⁷.

Sauces (*Salix spp.*)

Especies de *Salix* han sido plantadas en Suecia desde 1960 como cultivos de energía para el abastecimiento de plantas térmicas y energéticas. Se cultivan en régimen de monte bajo de corta rotación para obtener biomasa para la producción de energía. Se trata de cultivos comerciales, principalmente en tierras agrícolas, y la biomasa producida se utiliza en centrales térmicas de distrito para la producción combinada de calor y energía. Actualmente se cultivan en Suecia unas 20.000 hectáreas de sauces¹⁸ en plantaciones bajas de corta rotación, compuestas principalmente de diferentes clones e híbridos de *Salix viminalis*, *S. dasyclados* y *S. schwerinii*. El cultivo del sauce está totalmente mecanizado desde la plantación hasta la recolección. En la fase inicial, se plantan unos 15.000 esquejes por hectárea en dobles filas, para facilitar posteriormente la escarda, la fertilización y la recolección. La producción actual aproximada de biomasa de sauce cultivado comercialmente en Suecia es de unas 6 a 12 t/ha/año, según las condiciones del terreno.

En Chile, en *Salix viminalis* con fines de cestería (Región de O'Higgins), se ha obtenido rendimientos de hasta 12 t/ha/año de material seco. El poder calórico determinado para maderas y cortezas de distintas procedencias de *Salix* varía entre 3,91 a 4,36 kcal/g (Durán, 2001). Recientes estudios realizados por INFOR concuerdan con estos valores, obteniendo para el poder calorífico de *Salix* un valor de 4.300 Kcal/kg, lo que confirma la aptitud de esta especie para su uso en la generación de energía (Pinilla y Navarrete, 2011).

Estos resultados, más los relacionados con el rendimiento en materia seca por hectárea, generan la necesidad de obtener más información acerca de las mejores especies y variedades y de los sitios potenciales para el establecimiento de este tipo de recurso.

CONCLUSIONES

Se reconoce en el país la creciente demanda energética y la inseguridad de los escenarios para su suministro, por lo que una de las soluciones a nivel de gobierno y productores es considerar las opciones que entregan las Energías Renovables No Convencionales (ERNC).

Además de la energía solar y eólica, la biomasa y en especial las plantaciones dendroenergéticas, constituyen una de las opciones más interesantes desde el punto de vista

¹⁷ <http://www.afbini.gov.uk/index/services/services-specialist-advice/gru-about-us/gru-publications/gru-publications-7.htm>

¹⁸ <http://64.76.123.202/new/0-0/forestacion/biblos/JS%202009/Trabajos/2%20Trabajos%20Tecnicos/21%20Utilizaci%F3n%20ambiental/Bustamante1.pdf>

económico y ambiental. Estas últimas son plantaciones forestales con especies de rápido crecimiento y corta rotación destinadas a suministrar un abastecimiento seguro y sustentable de biomasa frente a la creciente demanda de energía que requiere el desarrollo nacional.

Para la generación de una adecuada base de conocimiento sobre la ERNC se requiere generar un debate técnico y líneas de acción en el tema, y mantener actualizada la situación y proyecciones de demanda en cuanto al suministro y consumo de energía; la proyección de oferta y disponibilidad de biomasa para energía y, fundamentalmente, avanzar en antecedentes técnicos de especies forestales dendroenergéticas de interés para el país.

Una premisa importante es que las plantaciones dendroenergéticas no utilicen suelos de aptitud agrícola y no disputen terrenos con las plantaciones forestales tradicionales, para lo cual se debe identificar las especies más acordes según cada localización geográfica y sus características de sitio. Esto es identificar las especies potenciales para cada sitio, los modelos de manejo más apropiados y las herramientas de gestión correspondientes.

Junto con lo anterior, se requiere iniciar la investigación acerca de maquinaria para establecimiento y cosecha especializada según densidades de plantación y sitio.

INFOR ha identificado algunas especies como un primer paso de esta investigación, ha establecido diversos ensayos y estudia los modelos para conocer y adoptar herramientas de gestión y apoyo que sean útiles para esta investigación.

Los resultados iniciales obtenidos son un primer antecedente para el diseño de esquemas de manejo sustentable para plantaciones dendroenergéticas, los cuales deben ser validados con futuras evaluaciones. La información resultante debe ser relacionada con estudios del poder calorífico de la madera de las especies en diferentes densidades y edades, de modo de obtener la relación óptima entre cantidad de biomasa y poder calorífico, escenario que permitirá definir los esquemas de manejos sustentables según especie para plantaciones destinadas a energía.

Desde este tipo de estudio se deben obtener los antecedentes de producción de materia seca por hectárea, la cual constituye el producto final para energía, resultados que deben ser correlacionados con los valores que se obtengan a partir de los ensayos de espaciamiento para dendroenergía, ya que los resultados en materia seca por hectárea permitirán precisar el real potencial para el uso de algunas especies en la generación de bioenergía.

Hay empresas que han generado algunos conocimientos acerca de la utilización de biomasa en sus procesos industriales (principalmente aserrín), como lo hacen Stücker e Hijos y Regnans Ltda. Otras empresas como MASISA, Arauco, CMPC y Energía Verde, cuentan con calderas de combustión para generación de energía. Adicionalmente, están las empresas de servicios dedicadas a la comercialización de máquinas y equipos para el mejor aprovechamiento del residuo forestal o a la fabricación de equipos de recolección, extracción y conversión de biomasa.

El Instituto Forestal ha iniciado investigaciones en el tema de la bioenergía, constituyendo un grupo de trabajo para este efecto. Inicialmente aborda la selección de especies de especies forestales y la generación de información en torno a crecimiento y manejo, pero falta aún información validada respecto de herramientas de gestión, para empresas y propietarios particulares, para la selección, uso y manejo de plantaciones dendroenergéticas basadas en el concepto de la mejor especie para cada sitio en particular.

Los requerimientos de material combustible de consumo domiciliario o industrial, las restricciones de uso del bosque nativo y el conocimiento del crecimiento y aptitudes de especies forestales para generación de energía, generan un escenario atractivo en el mercado para la producción y comercialización de energía.

El conocimiento del crecimiento de especies, bajo diferentes condiciones de sitio y manejo, asociado a la información sobre calidad de la biomasa producida para energía, permitirá establecer los esquemas silviculturales que permitan la producción sustentable de biomasa. Sin embargo, a esto debe agregarse estudios ambientales sobre su uso y desarrollo de tecnologías eficientes de conversión energética, que aseguren la sustentabilidad de la generación de energía por este medio.

REFERENCIAS

Baeting, R., Yáñez, M., Albornoz, M., 2010. Cultivos dendroenergéticos de híbridos de álamo para la obtención de biocombustibles en Chile: Estado del arte. Revista Bosque 31(2): 89-99.

Campino, J., 2006. Disponibilidad de biomasa en Chile. Concepción: Seminario Generación de Energía con Biomasa. FINPROLIGNUM.

Chile Forestal, 2009. Especial Bioenergía. Revista N° 339.

CNE, GTZ, INFOR, 2007. Comisión Nacional de Energía, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Instituto Forestal. Residuos de la industria primaria de la madera. Disponibilidad para uso energético. Santiago, Chile. 120 p.

CNE, 2008. Comisión Nacional de Energía. Balance Nacional de Energía 2007. Consultado 27 de marzo 2012. Disponible en <http://www.cne.cl>.

CORMA, 2010. Uso de la Biomasa Forestal con Fines Energéticos. Consultado el 02 de Abril 2012. Disponible en: <http://www.corma.cl/corma.asp?id=18>

Durán, C. 2001. Contenido de extraíbles y capacidad energética total en *Salix viminalis*. En Silvicultura y Producción Sauce – Mimbre. INFOR, 2001.

Hall, P. y Jack, M., 2010. Los grandes bosques como fuentes de energía: Uso de la tierra y repercusiones económicas y medioambientales. Unasylva N° 235/235

INFOR, 1986. Especies Forestales Exóticas de Interés Económico para Chile. Santiago, Chile. Gerencia de Desarrollo, CORFO AF 86/32. 167 pág.

INFOR, 1988. Silvicultura del Aromo Australiano (*Acacia melanoxylon* R. Br). Informe de Avance Proyecto INFOR-CORFO. Diciembre de 1988. 40 p.

INFOR, 1989. *Eucalyptus*: Principios de Silvicultura y Manejo. Instituto Forestal, Santiago, Chile.

INFOR, 1997. Investigación silvicultura *Acacia melanoxylon* y otras acacias. Informe Final. INFOR-CORFO. Concepción. 146 p. más anexos.

INFOR, 2002. Masificación y Desarrollo de Opciones Productivas en Base a especies de *Acacia* Probadas en Chile. Formulario de presentación proyecto FDI. INFOR-CORFO. INFOR-Concepción 150 p.

Kauter, D, Lewandowski, I. and Claupein, W., 2003. Quantity and quality of harvestable biomass from *Populus* short rotation coppice for solid fuel use - a review of the physiological basis and management influences. Biomass and Bioenergy 24: 411-427.

Ministerio de Energía, 2010. BNE, 2010. Balance Nacional de Energía. Disponible en: http://antiguo.minenergia.cl/minwww/opencms/14_portal_informacion/06_Estadisticas/Balances_Energ.html

Ministerio de Energía, 2012. Estrategia Nacional de Energía 2012-2030. Consultado el 28 de Marzo 2012. Disponible en: <http://www.minenergia.cl/estrategia-nacional-de-energia-2012.html>

National Academy of Sciences. 1980. Firewood crops. Shrubs and tree species for energy production. Vol. 1. Washington D.C. National Academy Press. 237 p.

NRDC - BNEF & Valgesta Energía, 2011. El futuro de la energía limpia en Chile. Consultado el 29 de Marzo 2012. Disponible en: http://www.nrdc.org/laondaverde/international/files/chilecostofenergy_sp.pdf

Pinilla, J. C., 2000. Descripción y antecedentes básicos sobre *Acacia dealbata*, *A. melanoxylon* y *A. mearnsii*. Revisión bibliográfica. Santiago, Chile, INFOR-CORFO. Informe Técnico 147. 49p.

Pinilla, J. C., 2000a. Manejo, Crecimiento y Rendimiento. En: Pinilla, J. C.; Molina, M. y Gutiérrez, B. (editores). Investigación con *Acacia dealbata*, *A. melanoxylon* y *A. mearnsii* en Chile. INFOR-CORFO. Concepción, Chile. pp.: 67- 98.

Pinilla, J. C., 2005. Antecedentes Generales Acerca del Manejo de Monte Bajo de *Eucalyptus globulus*. INFOR. Patrocinado por FONDEF. Concepción, Chile, INFOR. 44p. ilus, tabl.

Pinilla, J. C. y Hernández, G., 2010. Poder calorífico de *Acacia dealbata* Link crecida en Chile. Revista Ciencia e Investigación Forestal. Volumen 16(3): 353-377. Santiago, Diciembre 2010.

Pinilla, J. C. y Navarrete, M., 2011. Informe a MINAGRI. Proyecto 1: Desarrollo productivo de los bosques, de la industria forestal y fomento del uso de la madera. Promoción del uso dendroenergético de los productos forestales madereros. INFOR – MINAGRI, Diciembre 2011.

PUCH, 2011. Energía de biomasa forestal, lecciones internacionales y su potencial en Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Eléctrica.

Rodríguez, M., Corvalán, P. y Gutiérrez, M., 2004. La utilización potencial de la biomasa forestal en Chile como fuente de energía. Segundo Congreso Chileno de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile, Valdivia.

Roman, R., y Hall, S., 2011. El Futuro energético de Chile está en la Eficiencia Energética y las Energías Renovables. Consultado el 03/04/2012. Disponible en <http://www.futurorenovable.cl>.