



Informe Final

Estudio “Recomendaciones para la elaboración de una Estrategia Nacional de Bioenergía

Versión 11 de julio 2013





**Estudio solicitado por el Ministerio de Energía.
Ejecutado por la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la
Universidad de Concepción (CCTE-UDT)**

Autores

Dr. Álex Berg

Christian Bidart

Daniela Espinoza

Dr. Mauricio Flores

Andrea Moraga

Niels Müller

Dra. Cristina Segura

Asesores

Maritza Díaz

Alejandro Pacheco

Sergio Praus



Resumen Ejecutivo

El presente estudio fue ejecutado por profesionales de la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción y asesores contratados, durante el período comprendido entre Enero y Junio, por encargo del Ministerio de Energía de Chile.

La metodología, presentada en el capítulo 2, consideró la recopilación de información técnica y económica respecto a la biomasa disponible para uso energético y las tecnologías existentes de conversión. Se consultó fuentes nacionales y extranjeras, y se evaluó su consistencia. En base a ello y a un borrador entregado por el Ministerio de Energía, se elaboró un informe consolidado que incluía barreras para el uso de la bioenergía y líneas de acción. Este documento se sometió a discusión frente a profesionales de los Ministerios de Energía, Medio Ambiente y Agricultura, y a expertos de empresas relacionadas a la cadena de valor de la biomasa con fines energéticos, en dos talleres de trabajo. Finalmente, se elaboró el informe final del estudio “Recomendaciones para la elaboración de una Estrategia Nacional de Bioenergía”, el que corresponde al presente documento.

El capítulo 3 se refiere a la situación actual del consumo energético primario en Chile, resaltando la alta dependencia de combustibles fósiles, con un 73,9 % (año 2011). El sector industrial y minero es el principal consumidor (37%), seguido por los sectores transporte (32%), comercial público y residencial CPR (26%) y energético (5%). La “leña y otros”, con 63.299 GWh corresponde a un 19,6% del total de la energía primaria consumida. Esta fuente energética se usa en una proporción de un 58% para calefacción o en cocinas en el sector CPR. Tanto el alto contenido de humedad de la leña utilizada como el uso de artefactos de combustión inapropiados, provocan contaminación ambiental en muchas ciudades de las zonas central, sur y austral del país. En el presente estudio no se proponen acciones referidas al uso de leña a nivel residencial, debido a que estos aspectos están considerados en el “Plan de Acción de Eficiencia Energética 2012 – 2020”.

Algunos aspectos relevantes de la bioenergía son recogidos en el capítulo 4, en el que se define los conceptos biomasa lignificada y biomasa no lignificada, utilizados en el presente estudio. Además, se explicitan los beneficios de la bioenergía frente a las energías fósiles y sus diferencias con relación a otras fuentes de energías renovables, y el marco institucional de la industria de la bioenergía, enumerando y estableciendo el rol de las instituciones más relevantes relacionadas. Las tecnologías de conversión más importantes para el período de interés son la digestión anaeróbica de biomasa no lignificada para producir biogás y la combustión directa de biomasa lignificada como energía mecánica y calor. Si bien existen diversas otras opciones tecnológicas de conversión biotecnológicas y termoquímicas, se estima que éstas no tendrán un rol productivo protagónico en la presente década.



Con relación a la disponibilidad de biomasa para fines energéticos, el capítulo 5 muestra el potencial establecido en los estudios más significativos realizados a nivel nacional. Con relación a la biomasa lignificada, resalta el potencial teórico de la biomasa proveniente del manejo sustentable del bosque nativo, con 70 mil GWh; el potencial técnico, sin embargo, es muy incierto, debido a limitaciones de acceso y una dispersión geográfica muy amplia. Los residuos de aserraderos, de la cosecha forestal y de la cosecha de trigo y avena tienen un potencial teórico similar, cada uno en el rango 10 a 12 mil GWh. El potencial técnico de los desechos de aserraderos, sin embargo, es muy bajo, debido a que en la actualidad gran parte de la biomasa se usa productivamente. La biomasa no lignificada, por su parte, tiene un potencial técnico de 10 mil GWh, siendo las fuentes más importantes los purines, los residuos agrícolas y las fracciones orgánicas de residuos sólidos urbanos.

El capítulo 6 se refiere al estado actual de la bioenergía en Chile, tanto a partir de biomasa lignificada, donde se describe el uso de leña para calefacción o en cocinas en el sector CPR, y de aserrín, despuntes, corteza, viruta, licor negro, tall oil, jabones de tall oil y desechos del manejo silvícola de plantaciones forestales como combustible en calderas industriales. Se menciona características del mercado, dominado por muy pocas empresas de gran tamaño, y menciona los precios de venta. Así como también la incipiente participación del biogás como energético, obtenido a partir de biomasa no lignificada.

Las consideraciones anteriores, tanto el potencial como el despegue de la biomasa para generación energética, permiten plantear que el consumo de bioenergía podría crecer fuertemente en el país. Sin embargo, existen barreras que lo impiden, identificadas en el capítulo 7. Éstas se agrupan en barreras generales al uso de la bioenergía, barreras al abastecimiento de biomasa y barreras al uso de bioenergía en los sectores térmico residencial, térmico industrial, transporte y eléctrico.

El último capítulo 8 propone como visión de la futura Estrategia de Bioenergía:

“El uso energético de biomasa será crecientemente importante en Chile, tanto como fuente de energía térmica como de electricidad; los procesos de conversión utilizados serán más eficientes y la sociedad valorará sus efectos ambientales”.

Las líneas de acción se agrupan en tres pilares: Marco regulatorio, Fomento e Información y Capacidades. Entre las 8 líneas de acción, se priorizan aquéllas que tienen un efecto más directo, relevante e inmediato en el uso de la bioenergía en Chile:



Marco normativo para el reconocimiento de la co-combustión de biomasa en centrales eléctricas a carbón como energía renovable no convencional (ERNCC)

- Fomento del uso térmico de la biomasa
- Incentivo a la implementación de proyectos de biogás

Una segunda prioridad está dada a las líneas de acción que tendrán un efecto a mediano y largo plazo; ellas son:

- Fomento a tecnologías innovadoras
- Formación y capacitación de capital humano en bioenergía
- Generación de información sobre disponibilidad y características de biomasa

Las últimas dos medidas propuestas son necesarias, pero con un menor nivel de prioridad, debido a que son indirectas y complementarias, sin tener un efecto en el uso de bioenergía por sí solas. Ellas se refieren a:

- Perfeccionamiento del marco regulatorio asociado a proyectos de biogás
- Promoción de la biomasa para fines energéticos en la ciudadanía, autoridades y actores de su cadena de valor

Cada línea de acción está acompañada de uno o dos programas, los que contienen una descripción, impactos y actividades asociadas, entre otros.



Versión 11 de julio de 2013

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	2
2	METODOLOGÍA	3
3	SITUACIÓN ACTUAL DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN CHILE.....	4
4	ASPECTOS RELEVANTES DE LA BIOENERGIA: DEFINICIONES, BENEFICIOS Y MARCO INSTITUCIONAL.....	6
4.1	Definición de bioenergía y tipos de biomasa	6
4.2	Beneficios del fomento de la bioenergía en Chile.....	7
4.3	Marco institucional de la industria de la bioenergía y organismos vinculados.....	8
4.4	Tecnologías de conversión energética de la biomasa	9
5	LA POTENCIAL CONTRIBUCIÓN DE LA BIOENERGIA EN CHILE.....	12
5.1	Disponibilidad de biomasa lignificada	13
5.2	Disponibilidad de biomasa no lignificada	15
6	ESTADO ACTUAL DE LA BIOENERGÍA EN CHILE	16
7	BARRERAS AL DESARROLLO DE LA BIOENERGÍA.....	18
7.1	Barreras generales al uso de la bioenergía	18
7.2	Barreras al abastecimiento de biomasa para fines energéticos	19
7.3	Barreras al uso de bioenergía en el sector térmico residencial	20
7.4	Barreras al uso de bioenergía en el sector térmico industrial	20
7.5	Barreras al uso de bioenergía en el sector transporte	20
7.6	Barreras al uso de bioenergía en el sector eléctrico	21
8	PROPUESTA DE VISIÓN Y PLAN DE ACCIÓN.....	22
	GLOSARIO	87
	REFERENCIAS.....	88
	ANEXOS.....	91



1 INTRODUCCIÓN

Chile ha experimentado un crecimiento económico sostenido que le ha permitido mejorar la calidad de vida de sus habitantes, reducir notoriamente los niveles de pobreza y triplicar el PIB, en sólo dos decenios. Este importante desarrollo económico y social ha sido acompañado por una creciente demanda de energía, satisfecha principalmente a través de la importación de combustibles fósiles, tales como petróleo, carbón y gas natural, con la consiguiente vulnerabilidad asociada a una dependencia del mercado internacional, fuertemente cambiante.

El Ministerio de Energía elaboró la “Estrategia Nacional de Energía 2012 – 2030” que define los lineamientos que seguirá el país en materia de abastecimiento eléctrico durante los próximos años. En esta Estrategia se define como uno de sus pilares fundamentales, incorporar crecientemente las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) en la matriz eléctrica chilena. Se establece una serie de medidas para enfrentar las dificultades que obstaculizan la materialización intensiva de este tipo de proyectos; entre ellas, el desarrollo de estrategias diferenciadas de largo plazo por tipo de ERNC, tomando en cuenta sus características particulares y barreras específicas que enfrentan. En este contexto nace la necesidad del Ministerio de Energía de encomendar al equipo consultor el presente estudio denominado “Recomendaciones para la elaboración de una Estrategia Nacional de Bioenergía” que reúna los antecedentes técnicos y establezca las directrices de acción fundamentales para el aumento de la participación de la biomasa los próximos años, tanto para la matriz eléctrica como la térmica.

En Chile existen las condiciones para impulsar la bioenergía, debido a que se dispone de una gran variedad de tipos de biomasa, condiciones geográficas privilegiadas y sectores agrícola y forestal desarrollados. La bioenergía ofrece la oportunidad de abastecimiento energético con recursos propios, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles importados y abriendo posibilidades de desarrollo económico local.

Se estima que las líneas estratégicas trazadas en el presente documento se convertirán en mecanismos efectivos para la superación de las barreras transversales que limitan el desarrollo de la bioenergía. Se impulsará aspectos energéticos, pero también se producirán impactos ambientales positivos, se fortalecerán desarrollos a nivel nacionales y se materializarán diversos beneficios sociales. El desafío de la Estrategia Nacional de Bioenergía es, por tanto, mucho más amplio y de beneficios más auspiciosos que los estrictamente energéticos.

Para el estudio, durante el período que abarca la presente Estrategia, 2013-2020, se estima que los dos tipos de conversión energética de biomasa que tendrán mayor relevancia comercial serán la combustión directa y la conversión anaeróbica para la generación de biogás. La biomasa requerida para estos dos tipos de conversión es distinta, involucran tecnologías probadas y podrán ser implementadas exitosamente si se crean condiciones favorables por parte del Estado.



2 METODOLOGÍA

El presente estudio para la elaboración de una Estrategia de Nacional de Bioenergía fue desarrollado siguiendo como modelo las etapas planteadas en las bases de licitación, que se fundamentan en metodologías aplicadas a nivel internacional para la elaboración de documentos similares, con el mismo objetivo y alcance. La metodología se resume en la siguiente figura:

Figura 2.1 Esquema metodológico de la Estrategia Nacional de Bioenergía

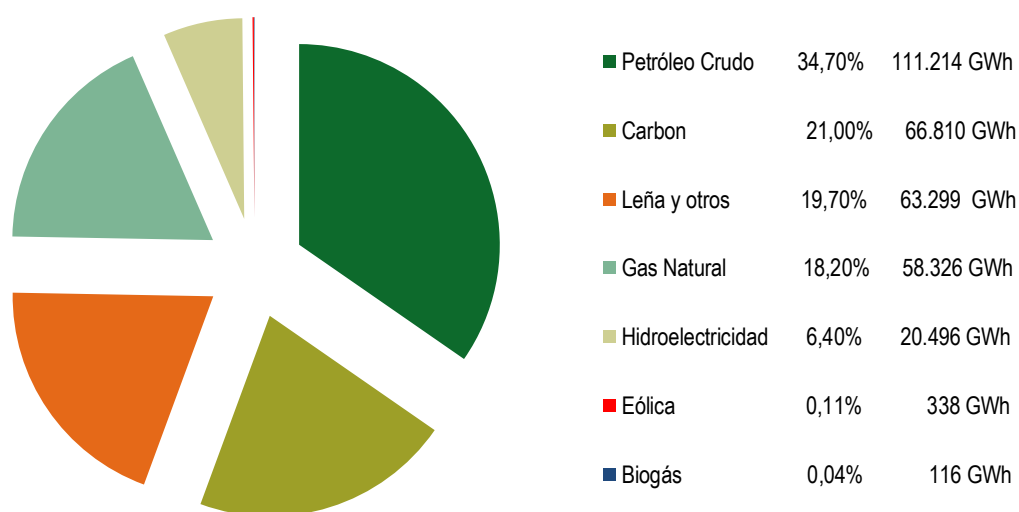
Etapa 1: Estimación de Potencial	En base a diversos estudios nacionales, se establece el Potencial Teórico y se evalúa el Potencial de la biomasa disponible en el país, para combustión y digestión anaeróbica.
Etapa 2: Recopilación de información	Se levantó información a nivel nacional e internacional sobre tecnologías de conversión energética (costos, estado de desarrollo, etc.), tendencias en I+D y la cartera de proyectos del país.
Etapa 3: Consolidación de la información	En base a las etapas anteriores, se utilizó un documento base, tipo borrador, entregado por el Ministerio de Energía, sobre el cual se consolidó la información y se propone un plan de acción para la Estrategia Nacional de Bioenergía.
Etapa 4: Consulta pública	El documento elaborado en la etapa 3 fue sometido a consulta pública en talleres de trabajo y reuniones, en las que participaron sectores interesados en el desarrollo de la industria de la bioenergía a nivel nacional.
Etapa 5: Elaboración de la Estrategia	Se perfeccionó el documento elaborado en la etapa 3 con el feedback recibido en la etapa 4, de modo de tener una propuesta de Estrategia con líneas de acción claras y concretas validadas por la industria, la academia y el sector público.



3 SITUACIÓN ACTUAL DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN CHILE

El consumo de energía primaria del país, según al Balance Nacional de Energía del 2011, fue de 320.599 GWh, de los cuales el 73,7% corresponde a combustibles fósiles (petróleo 111.214 GWh; gas natural 58.326 GWh y carbón 66.810 GWh) y un 26,3% a energías renovables (hidroelectricidad 20.496 GWh; leña y otros 63.299 GWh; biogás 116 GWh y eólica 338 GWh). Tal como se presenta en la Figura 3.1, la matriz energética primaria nacional es altamente dependiente de combustibles fósiles, los que en su gran mayoría deben ser importados.

Figura 3.1 Matriz energética primaria (2011)



Fuente: Balance Nacional de Energía 2011

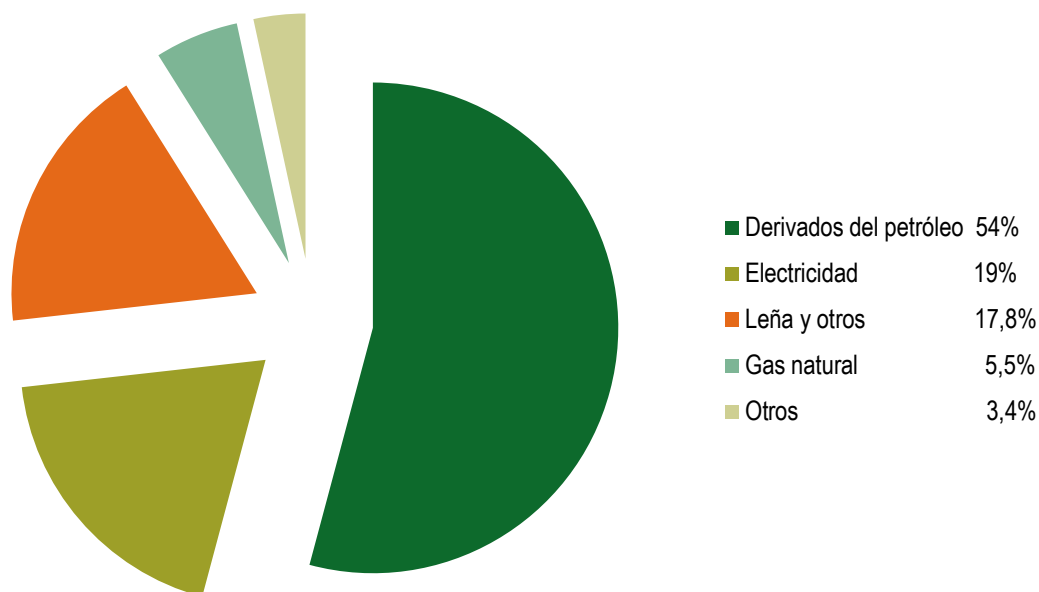
Por su parte, el consumo de energía final total del país alcanzó los 315.659 GWh, siendo el sector industrial y minero el principal consumidor, con 116.675 GWh (37%); seguido por el sector transporte, con un 32% (101.396 GWh); el sector comercial, público y residencial con un 26% (83.047 GWh) y el sector energético, con un 5% (14.541 GWh).

El consumo final por tipo de energético durante el año 2011 estuvo distribuido de la siguiente forma: Derivados del Petróleo (170.701 GWh), Electricidad (60.540 GWh), Leña y otros (56.096 GWh), Gas Natural (17.371 GWh) y otros (10.752 GWh) (Figura 3.2).

Leña y otros representa el 19,7% de la energía primaria del país, de la cual el 58% se utiliza para calefacción y cocina residencial, y un 41% como combustible industrial. Con respecto a los tipos de combustible utilizados en el subsector residencial, la leña es el energético de mayor consumo en el país, representando en el año 2011 el 57,5% del consumo de los combustibles del subsector. Actualmente, este uso se realiza en forma inadecuada, tanto por la calidad de la leña utilizada como

por el uso de artefactos de combustión inapropiados, provocando una serie de consecuencias ambientales adversas.

Figura 3.2 Distribución por Energético del Consumo Final



Fuente: Balance Nacional de Energía. Ministerio de Energía 2011

Los problemas ambientales más importantes relacionados con el uso de la leña se concentran en los dos extremos de su cadena de comercialización: tanto en el proceso de extracción como en los procesos de conversión. El uso de la leña de manera ineficiente ha generado graves consecuencias ambientales, como explotación ilegal del bosque nativo y contaminación atmosférica. Esta última ha sido ocasionada principalmente por el alto contenido de humedad de la leña, la baja calidad y eficiencia de los artefactos de combustión, la mala operación de éstos por parte de los usuarios y la baja aislación térmica en las viviendas.

En el **Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020**, publicado en mayo de 2013 por el Ministerio de Energía, se aborda el Plan de Acción Leña, como un componente relevante en materia energética residencial. El Plan apunta a mejorar la calidad de los combustibles derivados de la biomasa, modernizar el parque nacional de artefactos y desarrollar el mercado de combustibles provenientes de madera más eficientes. Este estudio, no aborda estos aspectos, para evitar duplicidades en las líneas de acción.

4 ASPECTOS RELEVANTES DE LA BIOENERGIA: DEFINICIONES, BENEFICIOS Y MARCO INSTITUCIONAL

4.1 Definición de bioenergía y tipos de biomasa

Se entenderá por **biomasa** a toda materia orgánica renovable de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial, y los residuos generados en su producción y consumo. Como ejemplo cabe citar: residuos agrícolas de la industria agroalimentaria, de la industria ganadera y de la crianza de animales; productos, subproductos y residuos forestales; residuos de la industria primaria y secundaria de la madera, subproductos y residuos de la industria de la celulosa y del papel, cualquier tipo de biomasa cultivada para fines energéticos, fracciones orgánicas de residuos sólidos urbanos y lodos provenientes del tratamiento de aguas servidas, domésticas e industriales.

Por su parte, **bioenergía** es aquella energía obtenida de la conversión de la biomasa que puede ser usada directamente como combustible o convertida en otras fuentes energéticas líquidas, sólidas o gaseosas.

Para fines del presente estudio, se utiliza la siguiente clasificación:

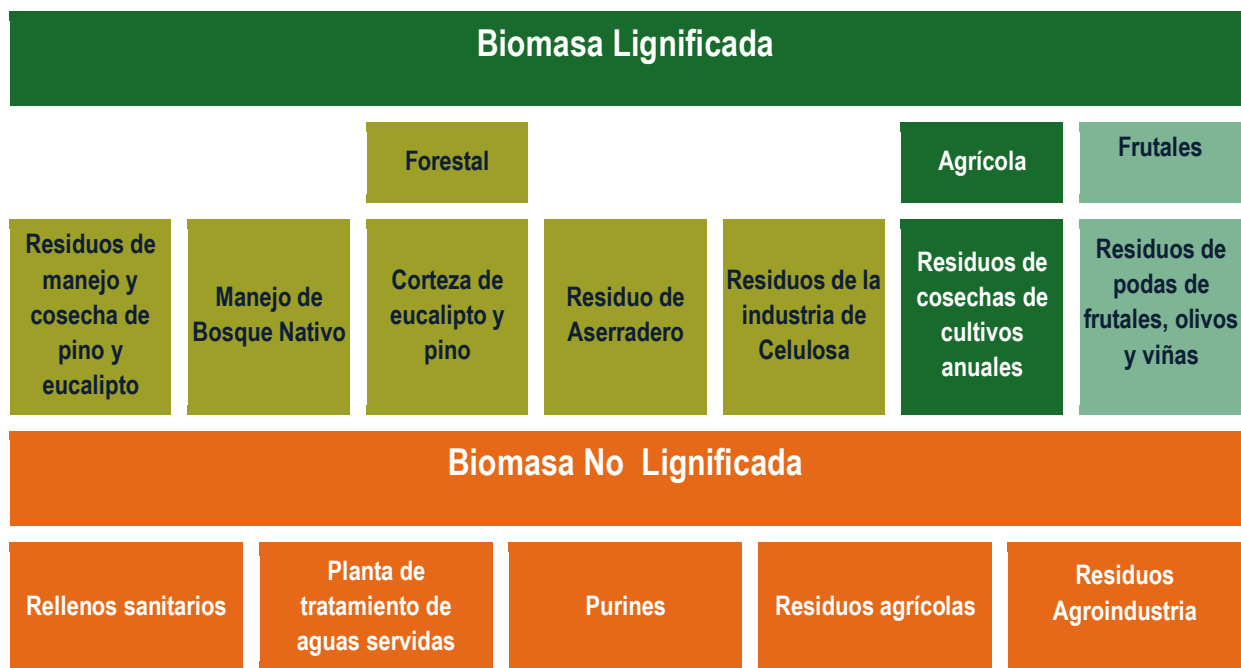
Biomasa lignificada corresponde a materiales lignocelulósicos, susceptibles de ser transformados termoquímicamente, típicamente por combustión; están compuestos por celulosa, hemicelulosas y lignina, cuya composición y proporción varían según especies. La biomasa lignificada incluye residuos del manejo forestal, subproductos de la industria forestal, como lampazos, aserrín y corteza; podas de árboles frutales y biomasa de bosques nativos; residuos agrícolas, como caña o cascarillas de trigo y avena; y cultivos dendroenergéticos.

Biomasa no lignificada, la que comprende a biomasa susceptible de ser descompuesta mediante microorganismos en ausencia de oxígeno, para generar biogás como producto principal. Este tipo de biomasa es rica en compuestos orgánicos, bioquímicamente transformables. Este tipo de materiales puede provenir de residuos agrícolas, como hojas y tallos de maíz y verduras; residuos ganaderos, como purines y bostas; lodos de plantas de tratamientos de aguas servidas y fracciones orgánicas de residuos sólidos domiciliarios.

Esta clasificación, se presenta en la Figura 4.1



Figura 4.1 Clasificación de biomasa con fines energéticos



Fuente: Elaboración propia

Para producir energía a partir de biomasa, existe una serie de tecnologías; éstas son abordadas en el numeral 4.4 de este documento.

4.2 Beneficios del fomento de la bioenergía en Chile

El uso de biomasa en reemplazo de combustibles fósiles para la generación de energía puede tener numerosos beneficios. Destaca la seguridad de suministro energético, con una eventual disminución de costos; desarrollo económico local, oportunidades en el manejo de residuos y reducción de la emisión de gases efecto invernadero. Estos beneficios dependen del tipo de biomasa y de la elección de tecnología utilizada para su transformación, entre otros.

La bioenergía difiere de otras energías renovables, como lo son la energía solar y eólica, puesto a que involucra una combinación de procesos, que abarcan toda la cadena de valor, desde el cultivo y abastecimiento de biomasa, al aprovechamiento tecnológico y autoabastecimiento y/o distribución a usuarios finales. Dada esta combinación de actividades, la bioenergía es capaz de proveer beneficios ambientales, sociales y económicos, los cuales se describen en el Anexo 1.

4.3 Marco institucional de la industria de la bioenergía y organismos vinculados

Desde el año 2010 se ha ido consolidando la institucionalidad en la que se enmarca la bioenergía, con la creación del Ministerio de Energía que entre sus divisiones cuenta con la División de Energías Renovables, encargada de desarrollar las políticas públicas del sector, analizando y fomentando los mercados de energías renovables no convencionales a nivel de Gobierno.

Por otra parte, el año 2009 se crea el Centro de Energías Renovables (CER), un comité CORFO que nace con el objetivo de promover y facilitar las condiciones para el establecimiento de la industria de Energías Renovables no Convencionales (ERNC) en el país.

Además cabe mencionar que la industria de la bioenergía en Chile se encuentra estrechamente relacionada con numerosas instituciones del sector público y privado, estas entidades tienen participación en distintos aspectos. Entidades que proporcionan financiamiento, instituciones que prestan asistencia técnica y capacitación, instituciones de investigación, innovación y desarrollo, entidades de normalización y fiscalización y empresas que participan en toda la cadena productiva de la utilización de biomasa con fines energéticos. La Figura 4.2 presenta las instituciones identificadas, ligadas a la bioenergía, en recuadros verdes las entidades gubernamentales

Figura 4.2 Esquema de entidades relacionadas a la Bioenergía



Fuente: Elaboración propia



En la Figura 4.2, se presenta términos generales, las instituciones relacionadas a la bioenergía, considerando la cadena de valor de la biomasa, desde su producción hasta su aprovechamiento para energía y consumo final, se pueden clasificar según su rol dentro de la industria de la bioenergía. Los participantes en la cadena de utilización de biomasa con fines energéticos se identifican en diversos niveles de participación, tanto a nivel de financiamiento, cadena productiva, entidades que cumplen el rol de investigación, desarrollo e innovación, y entidades gubernamentales que aportan y participan transversalmente en toda esta cadena de valor

En el Anexo 2 se presenta una breve descripción de cada una de las instituciones, entidades y ejemplos de empresas que se identificó poseen relación con la bioenergía.

4.4 Tecnologías de conversión energética de la biomasa

Existe una amplia gama de procesos de conversión energética para aprovechar distintas fuentes de biomasa, las cuales se basan en tres distintos principios de transformación; termoquímico, bioquímico, químico y mecánico.

Los procesos químicos involucran reacciones químicas, como por ejemplo la esterificación de ácidos grasos, para la transformación de grasas o aceites en un combustible líquido conocido como biodiesel.

Los procesos biológicos consisten en la degradación de biomasa por la acción de microorganismos o de enzimas. Estos métodos son adecuados para biomasa no lignificada, preferentemente con alto contenido de humedad, debido a que tanto los microorganismos como las enzimas, requieren medios acuosos para actuar. Como resultado se puede obtener biogás, bioetanol u otros compuestos resultantes de la acción de bacterias o levaduras.

Los procesos termoquímicos se basan en la descomposición térmica, en ausencia o carencia de oxígeno, de la biomasa. Como resultado se obtiene productos múltiples y complejos, los que, dependiendo las condiciones de procesos, pueden ser líquidos, gaseosos y/o sólidos.

Los procesos mecánicos ocasionan transformaciones físicas, orientadas a homogenizar y densificar la biomasa. El detalle de las tecnologías se presenta en el Anexo 3, y un cuadro resumen se presenta en la siguiente figura.



Figura 4.3. Tipos de procesos de conversión de biomasa en energía

	Tipo de Proceso	Pre-tratamiento	Proceso	Producto
Biomasa	Químicos	Extracción	Esterificación	Biodiesel
	Biológicos	Hidrólisis	Fermentación	Bioetanol
			Digestión Anaeróbica	Biogás
	Termoquímicos	Secado Reducción de tamaño	Combustión	Calor
			Pirólisis	Bio Oil
			Gasificación	Gas Combustible
			Torrefacción	Biomasa Torrefactada
	Mecánico	Secado Reducción de tamaño	Peletización	Pellets de Biomasa

Fuente: Adaptado de Chew, 2011 ¹

¹ Chew, J.; Doshi, V. "Recent advances in biomass pretreatment – Torrefaction fundamentals and technology" (2011). Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, 4212–4222



A continuación se presenta un resumen de inversión referencial de las tecnologías anteriormente mencionadas y la eficiencia energética respectiva, definida como la energía generada dividida por energía contenida en el combustible ($\epsilon = E_{\text{Generada}}/E_{\text{combustible}}$).

La Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA) publicó en junio de 2012, en el marco de la Serie de Análisis de Costo, el documento de trabajo “Biomass for Power Generation”. Dentro de los principales resultados, se establece que el costo de instalación de las tecnologías para generación eléctrica varía significativamente entre tecnologías y países.

Tabla 4.1 Resumen de tecnologías de conversión de biomasa

Clasificación	Tecnología	Capacidad Típica	Inversión	Unidad	Eficiencia (%)	Rango de LCOE USD/kWh
Generación Eléctrica	Co-combustión	5-100 MWe	140 – 850	USD/kW _e	35-43	0,04 – 0,13
	Calderas stoker		1.880 – 4.260	USD/kW _e	27-30	0,06 – 0,21
	Gasificadores de lecho fijo y fluidizado		2.140 – 5.700	USD/kW _e	40-50	0,07 – 0,24
	Biogás de relleno sanitario	< 200 kW _e hasta 2 MWe	1917 – 2.436	USD/kW _e	10-15	0,09 – 0,12
Co-generación (CHP)	Stoker CHP		3.550 – 6.820	USD/kW	65-75	0,07 – 0,29
	Calderas de lecho fluidizado BFB y CFB		2.170 – 4.500	USD/kW	70-90	0,07 – 0,21
	Gasificador con cogeneración	0,1-1 MWe	5.570 – 6.545	USD/kW	60-80	0,11 – 0,28
	Biodigestores para CHP	<10 MWe	2.574 – 6.104	USD/kW	10-15 eléctrico 60-80 térmico	0,06 – 0,15
Generación Térmica	Digestión anaeróbica para generación térmica	< 10 MWt	1.000-2.000	USD/kW _t	60-80	s/i
	Pirólisis (demostrativo)	10 t/hr	200 - 1.200	USD/kW _t	60-70 ¹	
Biocombustibles	Fermentación alcohólica		670	USD/m ³ biodiesel	s/i	s/i
	Transesterificación		290 - 320.	USD/m ³ biodiesel	s/i	s/i

Fuente: Adaptado de IRENA, Biomass for Power Generation

Unidad de Desarrollo Tecnológico, Universidad de Concepción

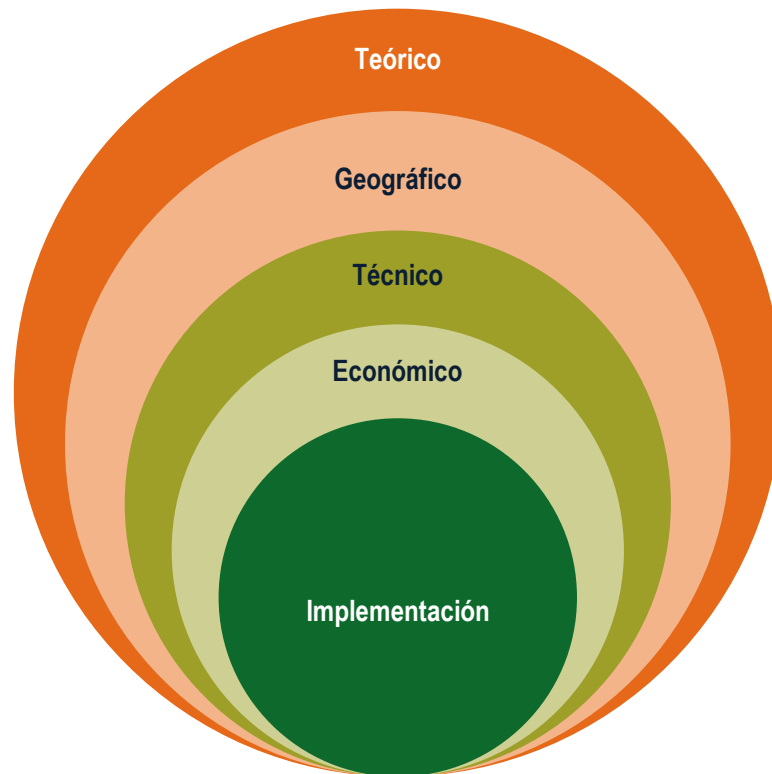


5 LA POTENCIAL CONTRIBUCIÓN DE LA BIOENERGIA EN CHILE

Se han realizado numerosos estudios con el objetivo de cuantificar la biomasa disponible para fines energéticos en Chile. Sin embargo, todos ellos difieren en aspectos metodológicos. No existe una uniformidad de criterios para la caracterización de la biomasa y no ha sido posible establecer con precisión los actuales usos alternativos de ésta.

Al cuantificar biomasa para fines energéticos, es importante diferenciar los distintos niveles de potencial, en los que cada uno de ellos entrega información relevante. Es usual plantear cinco niveles jerárquicos de potencial, los cuales se aplican en forma sucesiva sobre un potencial energético base, como se presenta en la Figura 5.1. y se explica en la Tabla 5.1

Figura 5.1 Esquema general de potenciales para recursos de biomasa.



Fuente: Potencial de Biometano SNG (UDT-2011)².

² Equipo SNG-UDT, Universidad de Concepción, “Potencial de Biometano en la Región del Biobío”, Primer informe de resultados proyecto Fondef D07 i 1109 (2011). pág. 19.

Tabla 5.1 Potenciales de biomasa para una tecnología.

Potencial Teórico	Toda la biomasa disponible
Potencial Geográfico	Incluye restricciones geográficas impuestas por el hombre
Potencial Técnico	Incluye restricciones técnicas de captación o de transformación del recurso
Potencial Económico	Fracción del potencial técnico, para una tecnología característica, considerando todos los aspectos de costos de producción
Potencial de Implementación	Considera barreras de aceptación de la tecnología y sus prácticas, que pueden ser superadas a través de políticas e intervenciones de mercado

Fuente: Elaboración propia.

Para fines de este documento, se presentan los Potenciales Teóricos de las fuentes de biomasa disponibles a nivel nacional, a partir de estudios validados por la entidad ministerial, y se analiza el Potencial Técnico, según las definiciones y clasificación, abordadas en el numeral 4.1.

5.1 Disponibilidad de biomasa lignificada

De acuerdo a lo que señala la Figura 5.2, el mayor potencial teórico de la biomasa lignificada proviene del manejo sustentable del bosque nativo, con 70 mil GWh; el potencial técnico, sin embargo, es muy incierto, debido a limitaciones de acceso a este y una dispersión geográfica muy amplia. En segundo lugar están los potenciales disponibles de biomasa lignificada son aquéllos que provienen de residuos del manejo y cosecha de pino y eucalipto, y residuos de cosecha de trigo y avena. Se estima que la biomasa de estas fuentes crecerá los próximos años, al año 2010, Chile contaba con un volumen manejable de plantaciones forestales de 38 millones de m³, y se proyecta que al año 2025 este volumen aumentará a 50 millones de m³. Cabe destacar que las reservas



tenderán a agotarse al término de la década, dada la expansión de proyectos energéticos en las grandes plantas de la industria de la celulosa y papel.

Los residuos de aserraderos, por su parte, si bien son cuantiosos, se consumen en una alta proporción, por lo que el potencial de crecimiento respecto al uso actual es muy bajo.

Es importante acotar que existen otras fuentes de biomasa lignificada, para los cuales no existen evaluaciones sobre su potencial como fuente de energía; entre ellas cabe destacar: Podas de frutales y viñedos, residuos de cosecha de cereales distintos a trigo y avena; residuos de la industria secundaria y terciaria de la madera, y madera de escombros, remodelaciones de infraestructura y muebles; en todos estos casos se trata de biomasa muy dispersa.

Figura 5.2 Potencial Teórico de biomasa lignificada (base anual)

Biomasa lignificada	Potencial Teórico		Potencial Técnico
	Masa (M t base seca)	Energía (GWh)	
Residuos aserraderos (lampazos, aserrín y corteza de pino).	2.178	11.052	La mayor parte de los residuos de la industria del aserrío se vende o consume internamente. De acuerdo a un estudio del año 2007, sólo una proporción muy baja, correspondiente a 216.000 ton (base seca) se regala o acumula, y, por tanto, estaría disponible como fuente de energía. El Potencial Técnico es bajo.
Residuos del manejo forestal de plantaciones (ramas de pino y eucalipto).	1.792	10.278	De acuerdo a ejecutivos de empresas del sector, el año 2012 se intervino un 33 % del total de la superficie cosechada. Los lugares de cosecha de eucalipto aún no se intervienen. Por tanto, la biomasa disponible aún es equivalente a 2 millones de ton (base seca). (26Mha intervenidas en el año 2012) El Potencial Técnico es alto.
Manejo sustentable de bosque nativo (madera y corteza)	12.946	70.833	Actualmente se usan 7,7 millones de m ³ sólidos de madera nativa como leña y volúmenes pequeños se destinan a aserrío y producción de tableros reconstituidos de madera. Una limitación técnica importante es la difícil accesibilidad al recurso. El Potencial Técnico es incierto.
Residuos de cosecha de trigo y avena (rastros)	2.525	10.278	La paja de trigo se usa principalmente para estabulación de animales; la de avena, adicionalmente, como alimento de rumiantes. Se estima que ambos usos son menores a un 10% del total producido. En cuanto a usos energéticos, el año 2012 se inició su uso como combustible industrial. El Potencial Técnico es alto.

Fuente: Elaboración propia

Unidad de Desarrollo Tecnológico, Universidad de Concepción



Otra fuente de biomasa lignificada de alto interés estratégico en el futuro son cultivos dendroenergéticos. Diversos estudios señalan que los rendimientos en base seca pueden variar entre 20 y 40 (t/ha/a) y que la superficie disponible entre las regiones de Coquimbo y Aysén puede variar entre 384 miles de hectáreas (para cuyo cálculo se aplicaron múltiples restricciones ambientales, geográficas e hídricas) y 2.047 miles de hectáreas³.

5.2. Disponibilidad de biomasa no lignificada

La Figura 5.3 presenta una estimación del potencial energético de las fuentes de biomasa no lignificada, utilizada para la obtención de biogás a través del proceso de digestión anaeróbica, según Chamy *et al.* (2007).

De acuerdo a los resultados presentados, el mayor Potencial Técnico de biogás corresponde al sector pecuario (purines), con un 42% del total (4.056 GWh); los residuos agrícolas provenientes del proceso de cosecha de plantaciones anuales representan el 25% (2.389 GWh), mientras que la digestión de los lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales representan un 17% (1.611 GWh). Por otra parte, la captura del biogás emitido desde rellenos sanitarios actualmente en operación ofrece un potencial de 972 GWh, un 10% del Potencial Técnico nacional.

Figura 5.3 Potencial Técnico de biomasa no lignificada (base anual).



Fuente: Chamy *et al.* (2007)⁴.

Más detalles acerca de la estimación de los potenciales de biomasa utilizados en el presente estudio, se encuentran en el Anexo 4.

³ Ministerio de Energía, CONAF y UACH: Evaluación de mercado de biomasa forestal y su potencial. Informe Final – Versión 6.0, abril de 2013, pág. 108.

⁴ R. Chamy, E. Vivanco. Identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponible en Chile para la generación de biogás” (2007).

6 ESTADO ACTUAL DE LA BIOENERGÍA EN CHILE

La leña/biomasa contribuye con un 19,7% a la matriz energética primaria del país, cuya aplicación predominante es el uso de leña para calefacción y cocina residencial (58%), la que proviene principalmente de bosque nativo. Por su parte, el 41% restante se utiliza como combustible industrial, para generación térmica, eléctrica y co-generación⁵.

En el sector industrial, el principal consumidor de biomasa es la industria forestal, la que supe en gran medida los requerimientos térmicos y eléctricos de sus procesos productivos con biomasa autogenerada (aserrín, despuntes, corteza, viruta, licor negro, *tall oil*, jabones de *tall oil* y desechos del manejo silvícola de plantaciones forestales), además de vender excedentes eléctricos al Sistema Interconectado Central (SIC).

La biomasa proviene principalmente de la leña, de los desechos leñosos de las industrias de transformación primaria (aserraderos, tableros y papel), de residuos de la industria secundaria de la madera (barracas y otras plantas de elaboración) y de desechos de la silvicultura de los bosques (operaciones de manejo y cosechas). En los últimos cinco años, el aprovechamiento de los residuos del manejo forestal (poda, raleo y cosecha) ha mostrado un crecimiento sostenido, impulsado por la creciente demanda para generación eléctrica y térmica, especialmente, por los grandes centros de consumo. Esta demanda creciente ha sido impulsada, a su vez, por los altos precios de la energía eléctrica. También, en los últimos dos años se ha ido incorporando paulatinamente el uso de residuos agrícolas lignocelulósicos (paja de trigo).

Particularmente, el mercado de la biomasa proveniente de plantaciones forestales está influenciado por las grandes empresas forestales, las que son importantes consumidores y propietarios de gran parte del patrimonio forestal. El mercado de la biomasa se caracteriza por estar muy concentrado y dominado por grandes consorcios, y por no contar con una estructura que permita a pequeños y medianos propietarios comercializar los productos a precios competitivos ni a potenciales usuarios de pequeñas y medianas empresas tener acceso expedito a él.

En la actualidad, el precio de las astillas para fines energéticos puestas en el centro de consumo fluctúa entre \$5.500 y 7.500⁶ por metro cúbico estéreo, dependiendo de la calidad y la distancia de transporte. El margen de utilidad de la biomasa producida de los residuos de cosecha del bosque es pequeño, por lo que se requiere de un sistema productivo y de

⁵ Balance Nacional de Energía 2011. Ministerio de Energía

⁶ Contacto con empresas que compran biomasa, Asesor Alejandro Pacheco. Precio entre 55 y 90 US\$/tonelada en base seca.



suministro optimizado. Hoy en día se han incorporado nuevas empresas especializadas en la recolección y suministro de este tipo de biomasa, las que cuentan con sistemas optimizados de logística de abastecimiento y tecnología de punta para su producción. La empresa más importante es Biomasa Chile, pionera en el rubro, que cubre el 90% del mercado.

En cuanto al desarrollo de biogás, de los antecedentes oficiales disponibles en la actualidad, se identifican en operación la siguiente cartera de proyectos, clasificados por sustratos: tres proyectos de uso de lodos de plantas de tratamiento, un proyecto de recuperación energética de metano en rellenos sanitarios⁷, dos proyectos de uso de purines y dos proyectos empleando residuos agroindustriales⁸. Cabe destacar en este sentido, el incipiente desarrollo de una industria nacional en torno al biogás, con empresas nacionales que están comenzando a masificar la construcción de proyectos de utilización de residuos para la obtención de biogás.

La producción y uso de biocombustibles líquidos en Chile se limita a proyectos pilotos y a proyectos de investigación y desarrollo. Diversas universidades y centros de investigación en Chile se encuentran desarrollando investigación básica y aplicada en biocombustibles. A su vez, empresas privadas han liderado planes piloto, usando mezclas de biocombustibles con combustibles fósiles.

En el Anexo 5 se presentan tablas con algunos proyectos actualmente en operación y de investigación que se están desarrollando actualmente en el país en el área de la bioenergía.

⁷ Ver proyecto kdm energía S.A. [www.globalmethane.org/documents/events_land_20110701_hirsch.pdf]

⁸ Proyectos de quema en antorcha no fueron considerados como proyectos *de uso energético* de biogás.



7 BARRERAS AL DESARROLLO DE LA BIOENERGÍA

Existen barreras que limitan el desarrollo de la bioenergía en Chile. Las barreras identificadas se presentan en función de los potenciales usos de la bioenergía y al abastecimiento de la biomasa para su utilización con fines energéticos.

7.1 Barreras generales al uso de la bioenergía

- La volatilidad de los precios de comercialización de la energía introduce incertidumbre en la evaluación económica de proyectos bioenergéticos dificultando la obtención de financiamiento.
- El riesgo asociado a proyectos de uso energético de biomasa es valorado como alto. Esta percepción es compartida por las instituciones financieras, con el cobro de consiguientes altas tasas de interés, restringiendo considerablemente la viabilidad de muchos proyectos.
- A diferencia de proyectos convencionales de generación de energía, en la formulación y ejecución de proyectos bioenergéticos participa un alto número de actores, entre los que cuentan propietarios de biomasa, empresas de recolección y abastecimiento, plantas de conversión, comercializadores de energía secundaria, entidades públicas e inversionistas. Esta condición hace más ardua la formulación y ejecución de proyectos de inversión.
- Oposición ciudadana asociada al uso o introducción de nuevas tecnologías en el ámbito bioenergético, principalmente por falta de información. Esta dificultad puede ocasionar una prolongación de tramitaciones y la pérdida de oportunidades.
- Poca información técnica y económica respecto a opciones tecnológicas, soporte técnico, fuentes de inversión, costos de operación y mantenimiento, así como falta de experiencia en operación de tecnologías de mayor complejidad que los sistemas energéticos convencionales.
- Énfasis de las políticas e instrumentos en el sector eléctrico,
- Escasez de servicios de respaldo para la operación de plantas de conversión de biomasa; entre ellos, servicios de mantención, de investigación y desarrollo, de capacitación y analíticos.



7.2 Barreras al abastecimiento de biomasa para fines energéticos

- Bajo poder calorífico de la biomasa comparado con combustibles fósiles y, en muchos casos, una gran dispersión geográfica del recurso repercute en altos costos de recolección, transporte y almacenamiento, con sistemas logísticos complejos.
- Falta de información respecto a la disponibilidad y características de recursos dendroenergéticos disponibles, con actualización permanente y de relevancia, para evaluación económica de proyectos y toma de decisiones.
- Concentración del sector forestal en tres grandes consorcios, integrados verticalmente, los que controlan una parte mayoritaria de la producción de biomasa forestal y su uso en aplicaciones materiales y energéticas.
- Inexistencia de un mercado de bioenergía abierto, transparente y competitivo.
- Dificultad para contar con contratos de suministro de biomasa de largo plazo, para asegurar costos de materia prima estables que conlleven a rentabilizar proyectos de inversión.
- Escaso conocimiento de posibilidades de potencial uso energético de la biomasa por parte de sus dueños, como también de mecanismos de financiamiento y programas de I&D para su utilización.
- Una importante fracción del bosque nativo que se encuentra en manos de pequeños propietarios no está sujeto a manejo con fines productivos, al no existir un mercado formal en el que se puedan comercializar los productos obtenidos de éste, ya sea con fines de madera o con fines energéticos, a precios competitivos.
- Falta de infraestructura e introducción de tecnología ad hoc para la explotación racional y sostenible del bosque nativo. Las prácticas de manejo forestal en la actualidad son aún deficientes y bajamente tecnologizadas para ofrecer un suministro estable, estandarizado y de costo competitivo.
- Falta de experiencia en la implementación de modelos de negocios para agrupar a pequeños propietarios, con el fin de lograr una explotación de biomasa que permita suplir unidades generadoras de energía de mayor escala.



7.3 Barreras al uso de bioenergía en el sector térmico residencial

- Inexistencia de un mercado formal y masivo de astillas o pellets de biomasa lignocelulósica para usos energéticos residenciales, comerciales y públicos.
- Existencia de un factor de escala, para que las muchas de las ventajas del uso de pellets se manifiesten; entre ellas, sistemas de distribución a domicilio y descarga neumática de pellets desde camiones de distribución a depósitos de almacenamiento en usuarios.
- Altos precios de pellets, debido a que el mercado aún no está desarrollado.
- Una alta inversión para implementar sistemas de calefacción distrital.

7.4 Barreras al uso de bioenergía en el sector térmico industrial

- Inexistencia de un mercado formal y masivo de astillas o pellets de biomasa lignocelulósica para usos energéticos industriales.
- Alto costo comparativo de calderas basadas en biomasa en comparación a combustibles fósiles líquidos o gaseosos.

7.5 Barreras al uso de bioenergía en el sector transporte

- Estado temprano de desarrollo de tecnologías para la generación de biocombustibles líquidos de segunda o tercera generación.
- Necesidad de implementar proyectos con una muy alta capacidad de producción para hacer viable la producción de biocombustibles líquidos, de acuerdo a tecnologías conocidas.
- Baja eficiencia energética de los procesos de conversión de biomasa en combustibles líquidos, de acuerdo a tecnologías conocidas.



7.6 Barreras al uso de bioenergía en el sector eléctrico

- Carencia de requerimientos térmicos industriales en niveles tales, que justifiquen la instalación de nuevas plantas de cogeneración (10 MWth o más); al mismo tiempo, bajo nivel de colaboración de empresas ubicadas cercanamente, para emprender un proyecto de cogeneración de manera conjunta.
- No existe experiencia industrial de plantas de cogeneración de pequeña y mediana escala en Chile (<5 MWe, preferentemente mediante procesos alternativos a los que se basan en el ciclo Rankine tradicional).
- Los dueños o proveedores de sustratos para digestión anaeróbica (purines, residuos agrícolas, lodos de plantas de tratamiento de aguas, etc.) no están involucrados en negocios de generación o comercialización de energía. El desconocimiento de opciones de uso de los sustratos disponibles dificulta la implementación de proyectos.
- Las plantas a escala comercial de biogás son altamente intensivas en inversión de capital, pues cuentan con un fuerte respaldo en sistemas de monitoreo y control. Altas inversiones asociadas a precios variables de energía los hacen ser percibidos como proyectos de alto riesgo.
- La biomasa no lignificada puede tener usos alternativos a la generación de biogás, tal como alimento para animales, fertilizantes o materiales, la inter-competencia puede elevar precios de compra de sustratos, encareciendo los costos de generación de energía.



8 PROPUESTA DE VISIÓN Y PLAN DE ACCIÓN

La bioenergía difiere de otros tipos de energías renovables, como solar, eólica, geotermia, mini-hidroeléctricas y mareomotriz, ya que es la única fuente no-fósil que puede ser empleada, tanto para producir energía térmica y electricidad, como para generar biocombustibles.

En el plan de acción de la presente estrategia se han excluido los biocombustibles líquidos vehiculares, pues se estima que no se alcanzará un desarrollo técnico comercial hasta el año 2020, tanto por el estado de desarrollo de las tecnologías de transformación, como por el avance en el establecimiento de cultivos de biomasa algal. Cabe mencionar además, que Chile no cuenta con potencial de cultivos energéticos para producción de biocombustibles de primera generación. Con relación a la investigación en biocombustibles, cabe analizar las siguientes opciones tecnológicas:

- Bioetanol a partir de madera. El Consorcio Bioenercel se constituyó el año 2009, para desarrollar esta opción tecnológica; en él participan las empresas Arauco, CMPC y Masisa, y las instituciones de I&D Universidad de Concepción, Universidad Católica de Valparaíso y Fundación Chile. Si bien se han alcanzado resultados relevantes, recién se está terminando una planta piloto de baja escala de producción (menos de 100 l/semana), siendo necesario al menos una etapa de escalamiento adicional, antes de pasar a una escala industrial. Independientemente de aspectos económicos, no es viable pensar en una aplicación comercial durante el período de vigencia de la presente Estrategia.
- Bioetanol a partir de alga. Cabe destacar el consorcio BAL Biofuels, cuyos socios son BAL Chile, Bio Architecture Lab y la Universidad de Los Lagos, a través de su Centro I-Mar. Este consorcio busca obtener bioetanol a partir del alga *Macrocystis pyrifera*. Y según la formulación inicial pretende comercializar los primeros volúmenes de biocombustible al cabo de un periodo de 5 años a partir de su creación, junio de 2011.
- Combustibles diésel-FT. El Consorcio Biocomsa también fue constituido en año 2009, por las empresas ENAP, Consorcio Maderero y la Universidad de Chile, y planteó el estudio de alternativas tecnológicas para introducir un combustible diesel Fischer Tropsch en Chile, a partir de gasificación de madera. Se planteó una asociación estratégica con la empresa Choren de Alemania, la que, sin embargo, en el intertanto quebró. No es factible implementar comercialmente el proceso gasificación-Fischer Tropsch en Chile en el corto o mediano plazo.



- Biodiesel. La producción de biodiesel a partir de aceites residuales se realiza en Chile, a muy pequeña escala. No se reconocen alternativas para un crecimiento significativo del sector, ya que no se generan grandes cantidades de aceites o grasas residuales, y no es realista pensar en el uso de aceites vegetales, ya que Chile es deficitario en esta materia prima. La única opción realista en el largo plazo, es la producción de aceites de microalgas y su esterificación. Si bien existen dos Consorcios abocados a este tema, la tecnología aún requiere de al menos una década de desarrollo, antes de pasar a una etapa de producción industrial masiva.

Considerando lo anteriormente expuesto, las barreras identificadas en el capítulo 7 y el análisis del potencial de bioenergía del capítulo 5, se propone como visión de la presente estrategia:

El uso energético de biomasa será crecientemente importante en Chile, tanto como fuente de energía térmica como de electricidad; los procesos de conversión utilizados serán más eficientes y la sociedad valorará sus efectos ambientales.

En función de los potenciales de biomasa disponibles, de las barreras que afectan el desarrollo de la bioenergía, de las tecnologías maduras de conversión energética de la biomasa, y de la información y conclusiones obtenidas en la etapa de consulta pública del estudio, que constó de reuniones y talleres de trabajos con la participación de diferentes actores tanto públicos como privados⁹, el presente estudio propone un plan de acción que se sustenta en tres grandes pilares:

- Marco Regulatorio,
- Fomento,
- Información y Capacidades.

La descripción de cada uno de ellos se presenta en a continuación:

⁹ Se invitó a representantes del mundo académico a participar de los talleres de trabajo, sin embargo no se contó con su presencia en los debates. Las listas de participantes de las reuniones sostenidas y talleres realizados, así como los antecedentes generales a abordar, se encuentran disponibles en el Anexo 6.



Marco Regulatorio

La Estrategia Nacional de Energía 2012-2030 postula que Chile debe desarrollar energías que permitan llevar al país a un desarrollo sostenible. En este contexto, la bioenergía tiene un alto potencial de crecimiento. Sin embargo, a diferencia de otras fuentes renovables, el caso de la bioenergía es particular, ya que se trata de un recurso limitado que tiene usos actuales, los que pueden verse afectados por decisiones del Estado y de sus entes regulatorios. Cabe tener presente que la biomasa para fines energéticos proviene, por lo general, de flujos residuales de la producción forestal y agrícola, pero también puede hacer uso de sus materias primas, como maíz, remolacha, raps o rollizos de madera. Al marco regulatorio le cabe el rol de impulsar el uso energético de la biomasa, sin afectar discrecional o arbitrariamente los usos alternativos. La legislación actualmente vigente no regula el uso de la biomasa para fines energéticos, y de allí que resulte clave el fortalecimiento del marco regulatorio en esta materia.

Justificación técnica

El uso energético de biomasa ocurre masivamente, principalmente como leña para proveer de calefacción y agua caliente sanitaria en las zonas central, sur y austral del país. La provisión de la biomasa es una actividad que se realiza preponderantemente en un mercado informal, por lo que no obedece normativas. De especial importancia es aquella que establece un límite máximo de humedad para la comercialización de leña, como las Normas Chilenas del INN involucradas en el Estándar del Sistema Nacional de Certificación de Leña NCH2965 y NCH2907. En el caso de la biomasa para aplicaciones industriales, ya sea para generar energía térmica o electricidad, recientemente se oficializó la Norma Chilena Nch of 3246/1-2011 sobre Biocombustibles Sólidos, que los clasifica según su origen y fuente, así como según las formas de comercialización y las propiedades. Actualmente el Ministerio de Medio Ambiente está trabajando en la elaboración de una *Norma de Emisión para Calderas y Procesos de Combustión en el Sector Industrial, Comercial y Residencial Calderas*, sin embargo, es necesario normar además de los niveles de emisión, otros parámetros relevantes, como por ejemplo la calidad del combustible y las eficiencias de las tecnologías, temas abordados en el recién publicado *“Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020”*.

La presente Estrategia plantea impulsar el uso de biomasa lignificada como combustible industrial para pequeñas y medianas calderas de PYMES y como combustible en plantas generadoras de electricidad de carbón en modalidad de co-combustión; y de biomasa no lignificada para la generación de biogás. Ambos usos requieren de un marco normativo que establezca reglas claras para las empresas que participen en la cadena productiva, tanto generadores de biomasa, proveedores del recurso como usuarios finales. A su vez, se busca proteger a otros sectores productivos, a la población aldeaña a los lugares de procesamiento o a receptores de subproductos de los procesos de conversión energética, de eventuales efectos



negativos de la actividad. En especial, se desea evitar que el incentivo al uso de la bioenergía por parte del Estado perjudique a actividades agrícolas, forestales u otras que compitan por el mismo tipo de biomasa usada para la generación de energía; que se liberen emisiones gaseosas perjudiciales para la salud de las personas, como material particulado y compuestos policíclicos aromáticos; y que agricultores usuarios de los subproducto sólidos generados durante la digestión anaeróbica de materias residuales orgánicas perjudiquen sus cultivos o la calidad de sus suelos.

Justificación económica

Una expansión masiva del uso de la biomasa para fines energéticos en el sector industrial sólo se dará si existen regulaciones transparentes, para todos los actores que participen en los negocios asociados; ello se refiere, tanto al abastecimiento del recurso como a su uso energético. Lo anterior es fundamental, ya que la adopción de biomasa como combustible (astillas y pellet, principalmente) requiere de inversiones a mediano y largo plazo. En el caso de calderas, la adquisición de nuevos equipos (en muy pocos casos una adaptación será factible), la implementación de un patio o silo de abastecimiento, la implementación de sistemas de alimentación automática, nuevos instrumentos de medición y control, etc. En el caso de la co-combustión en plantas de poder a carbón, infraestructura y equipamiento para almacenar biomasa; molerla y secarla, si fuese necesario; y modificaciones específicas en la caldera, las que dependerán de la tecnología existente. Si la opción es digestión anaeróbica, las inversiones son aún más cuantiosas, pues se requiere construir una planta completa.

Por tanto, las inversiones en el sector industrial para usar biomasa como fuente energética sólo se materializarán si existe un marco regulatorio claro, con reglas que sean de largo plazo.



Fomento

Existen alternativas tecnológicas para la generación y el uso de bioenergía que son rentables, sin subsidios del Estado. Aun así, ellas no se implementan, debido a barreras de diferente tipo que actualmente lo impiden. Cabe mencionar que el predominio hegemónico de las fuentes fósiles por muchos decenios, ha creado una realidad - en cuanto a sistemas logísticos de abastecimiento, equipos de combustión y soporte tecnológico - que es difícil de cambiar y sustituir. Tanto el grupo ejecutor como los participantes en los talleres coincidieron en que un impulso de la demanda de biomasa a la forma de astillas y pellet crearán las condiciones necesarias, para que se amplíe la oferta, tanto por parte de pequeños y medianos propietarios forestales como de empresas de logística y distribución. En este contexto se enmarca el pilar de Fomento, a través del cual se canalizan esfuerzos, para vencer las barreras existentes.

El Fomento Productivo se orienta principalmente a aquellas fuentes y tecnologías que pueden competir exitosamente en el mercado: La combustión de biomasa lignificada para proveer calor y la conversión de biomasa digestible en biogás, para generar electricidad y calor. Además considera el impulso inicial de tecnologías innovadoras que en el largo plazo podrían formar parte de nuestra matriz energética.

Justificación técnica

En la actualidad, la biomasa se usa preponderantemente en el sector industrial forestal como fuente de energía, en otras industrias el uso de bioenergía sólo ocurre de manera esporádica. La principal razón es que no existe un mercado formal para biomasa con fines energéticos. La única excepción son los pellet, los que, sin embargo, en la actualidad se usan sólo para fines residenciales, comerciales y productivos a muy pequeña escala (por ejemplo, panaderías).

Las líneas de acción planteadas bajo el pilar Fomento productivo se basan en la hipótesis que el mercado para biomasa - preferentemente astillas y pellet para uso industrial - se desarrollará, si existe demanda por parte de usuarios. Por ello, se plantea incentivar la instalación de calderas en base a biomasa en PYMES y en el sector público, y la co-combustión de biomasa en centrales eléctricas a carbón. Dado que el proceso de adopción de biomasa como combustible será paulatino y los posibles oferentes son muchos y están distribuidos a lo largo de la zona central, sur y austral del país, existirá un desarrollo conjunto de ambos sectores: el proveedor y el usuario de biomasa, siendo la demanda la fuerza impulsora del proceso.

Adicionalmente, los programas propuestos ayudarán a fortalecer la posición de las PYMES beneficiadas, ya que el costo operacional de una caldera a biomasa es significativamente menor a una caldera de capacidad equivalente basada en combustibles fósiles. De igual manera, los costos por concepto de calefacción en el sector público pueden bajar fuertemente; en especial, en dependencias como hospitales, escuelas y oficinas.



En cuanto a la generación de biogás, cabe consignar que si bien existe una amplia disponibilidad de materia prima susceptible de ser digerida anaeróbicamente, gran parte de este recurso está disperso. Aun así, en casos determinados se pueden concebir proyectos productivos, con indicadores económicos positivos. Para que estos proyectos se materialicen, se propone subsidiar estudios de pre-inversión, en los que se aborden temas como disponibilidad y suministro de materia prima, caracterización del material, ensayos de digestibilidad a nivel de laboratorio, ingeniería básica y de detalles, evaluación conexión a red eléctrica, etc. Dado que en general la gran barrera a abordar, en este sentido, es el desconocimiento tecnológico y de potencial por parte de los dueños de la biomasa, disminuir el riesgo tecnológico al apalancar la inversión en estudios de preinversión.

Por último, se plantea abrir una nueva línea de financiamiento para proyectos bioenergéticos inexistentes en el país, cuya ejecución no sea posible a través de mecanismos de financiamiento tradicionales y para los cuales el Estado no cuente con líneas de apoyo. Los proyectos deben ser emblemáticos en cuanto al impulso de la bioenergía en el país, ya sea ampliando el espectro de materias primas susceptibles de ser usadas energéticamente, abordando temas logísticos de transporte y almacenamiento asociados a la baja densidad de la biomasa o demostrando nuevas tecnologías de conversión.

Justificación económica

El uso energético de biomasa tiene efectos económicos positivos, desde varias perspectivas. La actividad genera mucho más empleos que aquéllos asociados al uso de combustibles fósiles (la bioenergía puede generar 135 nuevos empleos permanentes por cada 10.000 habitantes, frente a 9 empleos que genera el uso de combustibles fósiles, según la FAO y la Asociación Austriaca de Bioenergía). Esto se da en toda la cadena de generación de valor, tanto durante el cultivo y recolección del recurso, su adecuación de tamaño y humedad, eventuales procesos de transformación biológicos, químicos y termoquímicos, como a su conversión final a energía. Gran parte de estos empleos se dan en localidades rurales, con problemas productivos estructurales, siendo el fomento de la bioenergía una excelente alternativa para impulsar un desarrollo económico local.

Otro factor positivo es que la biomasa es un recurso nacional que sustituye importaciones. Junto a afectar positivamente la balanza comercial del país, se disminuye la dependencia del petróleo, el carbón y el gas natural importados; materias primas de abastecimiento futuro incierto y de precios altamente fluctuantes. Estas variaciones afectan principalmente a pequeñas y medianas empresas que requieren de energía térmica en sus procesos. A través de las líneas de acción propuestas, se plantean alternativas que, junto a lo anterior, contribuirán a disminuir los costos operacionales relacionados con el uso de energía, debido a que en términos energéticos la biomasa es más barata que los combustibles fósiles. Por tanto, si se logran derribar las barreras de entrada que impiden el uso masivo de biomasa lignificada en



calderas de PYME y del sector público, y de biomasa no lignificada en la generación de biogás, se podrá tener una realidad caracterizada por una disminución de costos variables de PYMES y del sector público, y un abastecimiento de combustible más seguro y predecible.

Los proyectos demostrativos, por otra parte, sentarán las bases del desarrollo del sector más allá de la vigencia de la actual Estrategia, aumentando su importancia y competitividad.



Información y Capacidades

El desarrollo de proyectos bioenergéticos requiere de información sobre la disponibilidad y características de la materia prima. Esto es particularmente difícil, dado el carácter residual de gran parte de la biomasa que se utiliza y de su aplicación optativa en otro tipo de procesos. Por ello, y dada la limitada información disponible, se debe ampliar el espectro de los catastros existentes a nuevos tipos de biomasa. Además la introducción de energías renovables en la matriz energética nacional y su competencia exitosa frente a fuentes fósiles requiere de tecnologías avanzadas, tanto en aspectos relacionados con el cultivo, cosecha, almacenamiento y transporte de la biomasa; su acondicionamiento y transformación, la conversión energética propiamente tal, como en servicios de apoyo científico, tecnológico y de gestión. En todos ellos se requiere de capital humano con una buena formación técnica/profesional y capacitaciones periódicas.

De igual manera, es necesario contar con conocimientos técnicos y de gestión, sobre la tecnologías relacionadas con recolección, almacenamiento y transporte de biomasa; procesos de compactación, acondicionamiento y conversión; y evidentemente también, alternativas de uso energético final. Si bien existen aspectos que son de interés y conocimiento global, otros ámbitos son específicos de la realidad chilena. Esto corresponde, por ejemplo, a muchos aspectos logísticos, a la compatibilización de usos energéticos y materiales de biomasa, y a la adecuación de procesos de conversión a la realidad local y nacional.

Por lo anterior, el pilar información y capacidades es un aspecto central para el desarrollo de una industria bioenergética.

A cada pilar identificado y descrito en párrafos anteriores, se asocia líneas de acción las que fueron priorizadas según su relevancia para el desarrollo de una industria bioenergética. Se establece entonces, una priorización máxima *** a las tres líneas de acción que tienen un efecto más directo, relevante e inmediato en el uso de la bioenergía en Chile y, particularmente dos, en el fortalecimiento de las ERNC. Éstas se refieren a medidas para iniciar la co-combustión de biomasa en centrales de poder a carbón, fomentar el uso de biomasa en calderas industriales en PYMES y acelerar la generación y uso de biogás. Estas medidas, al impulsar fuertemente la demanda por biomasa para fines energéticos, impulsarán a su vez su oferta y contribuirán a romper barreras relacionadas con su abastecimiento.

Una segunda prioridad, intermedia **, está dada a las líneas de acción que se refieren a la creación de capacidades e información, mediante la implementación de proyectos tecnológicos demostrativos, la generación de información respecto a los recursos biomásicos existentes y la formación y especialización de técnicos y profesionales. Estas medidas son de gran importancia para el desarrollo del sector a mediano y largo plazo.



Por última, se le asignó * a las medidas necesarias, pero con un menor nivel de prioridad son aquéllas que se refieren al perfeccionamiento del marco regulatorio y a la promoción de la biomasa como fuente de energía. Estas líneas de acción son indirectas y complementarias a las demás, sin tener un efecto en el uso de bioenergía por si solas.

El resumen de este plan de acción y la priorización de las líneas de acción, se presenta en la Tabla 8.1.



Tabla 8.1. Propuesta de plan de acción

Pilares	Líneas de acción	Prioridad	Programas
1 Marco Regulatorio	1.1. Marco normativo para el reconocimiento de la co-combustión de biomasa en centrales eléctricas a carbón como ERNC	***	1.1.1. Reconocimiento de la co-combustión de biomasa en centrales eléctricas a carbón como ERNC.
	1.2. Perfeccionamiento del marco regulatorio asociado a proyectos de biogás	*	1.2.1. Regularización de patrones de calidad del digestato generado en procesos anaeróbicos para generación de biogás
2 Fomento	2.1. Fomento del uso térmico de la biomasa	***	2.1.1. Apoyo a la inversión para la adquisición de calderas a biomasa en PYMEs.
			2.1.2. Favorecimiento de proyectos bioenergéticos en infraestructura pública o con financiamiento público.
	2.2. Fomento a la implementación de proyectos de biogás	***	2.2.1. Programa de incentivo para estudios de pre-inversión de proyectos de biogás.
	2.3. Fomento a tecnologías innovadoras	**	2.3.1. Implementación de proyectos piloto de tecnologías emergentes.
3 Información y Capacidades	3.1. Formación y capacitación de capital humano en bioenergía	**	3.1.1. Fondo concursable para capacitación de profesionales y técnicos en área de la bioenergía.
			3.1.2. Fomento de la formación de técnicos en bioenergía en Centros de Formación Técnica e Institutos Profesionales.
	3.2. Promoción de la biomasa para fines energéticos en la ciudadanía, autoridades y actores de su cadena de valor	*	3.2.1. Programa de sensibilización y difusión de bioenergía en la ciudadanía, dirigido principalmente a estudiantes
			3.2.2. Programa de difusión de la bioenergía en los sectores público y privado a través de talleres y seminarios.
	3.3. Generación de información sobre disponibilidad y características de biomasa	**	3.3.1. Ampliación del explorador de biomasa forestal a otras fuentes de biomasa, como RSU, residuos silvoagropecuarios y PTAS, entre otros.

La Tabla 8.2 presenta de que manera las líneas de acción están diseñadas a través de sus programas para eliminar barreras que existen actualmente para el desarrollo de la bioenergía. Además de relacionar cada línea con el potencial de biomasa al que va dirigido a desarrollar mercado.



Tabla 8.2. Relación plan de acción, barreras y potencial.

Potenciales de biomasa	Líneas de acción	Barreras											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Fuentes de biomasa de baja demanda y cultivos dendroenergéticos	1.1 Marco normativo para reconcimimiento de co-combustión de biomasa en centrales eléctricas a carbón como ERNC	Dark Blue	Dark Blue	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green
Biomasa no lignificada en general	1.2 Perfeccionamiento del marco regulatorio asociado a proyectos de biogás	Light Green	Light Green	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green
Biomasa residuos de cosecha y manejo de plantaciones forestales / cosecha avena y trigo/Bosque nativo	2.1 Fomento del uso térmico de la biomasa	Dark Blue	Dark Blue	Light Green	Light Green	Dark Blue	Dark Blue	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Dark Blue
Biomasa no lignificada en general	2.2 Fomento a la implementación de proyectos de biogás	Dark Blue	Light Green	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green
Biomasa Bosque Nativo / Biomasa lignocelulósica	2.3 Fomento de tecnologías innovadoras	Light Green	Light Green	Light Green	Dark Blue	Dark Blue	Light Green	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue	Light Green	Dark Blue
Todas las fuentes de biomasa	3.1 Formación y capacitación de capital humano en bioenergía	Light Orange	Light Orange	Light Orange	Dark Blue	Light Orange	Light Orange	Light Orange	Light Orange	Light Orange	Dark Blue	Dark Blue	Light Orange
Todas las fuentes de biomasa	3.2 Promoción de la biomasa para fines energéticos en la ciudadanía, autoridades y actores en su cadena de valor	Light Orange	Light Orange	Light Orange	Light Orange	Light Orange	Light Orange	Light Orange	Light Orange	Light Orange	Light Orange	Light Orange	Dark Blue
Todas las fuentes de biomasa	3.3 Generación de información sobre disponibilidad y características de biomasa	Dark Blue	Dark Blue	Light Orange	Dark Blue	Dark Blue	Light Orange	Light Orange	Light Orange	Light Orange	Light Orange	Dark Blue	Dark Blue



1. Inexistencia de un mercado formal y competitivo de biomasa	7. Baja densidad energética de la biomasa y dispersión del recurso
2. Inseguridad de el suministro a largo plazo	8. Falta experiencia en aprovechamiento sustentable de bosque nativo
3. Riesgo financiero proyectos bioenergéticos	9. Inexistencia experiencia en cogeneración a pequeña escala<%MEe
4. Falta experiencia en modelos de negocios	10. Falta de capacidades técnicas, profesionales y de I+D en bioenergía
5. Los dueños del recurso no se involucran en el negocio	11.-Falta de información técnica y económica en el ámbito de bioenergía
6. Mayores costo de calderas a biomasa	12. Oposición ciudadana por desconocimiento



8.1. Líneas de Acción y Programas

Línea de Acción 1.1: Marco normativo para el reconocimiento de la co-combustión de biomasa en centrales termoeléctricas a carbón como ERNC.

Objetivo:

Reconocer la co-combustión de biomasa en centrales a carbón como un medio de generación renovable no convencional, por parte de la Comisión Nacional de Energía.

Descripción

La Ley 20.257 establece la obligación para las empresas generadoras eléctricas que suministran energía al SIC y SING, con capacidad superior a 200MW, a generar un 10% de la energía que comercializan de fuentes renovables no convencionales (ERNC). La normativa señala que el porcentaje exigido se debe lograr en forma gradual, de forma que entre el 2010 y 2014 sea de 5% y a partir de 2015 se incremente 0.5% anual, hasta alcanzar un 10% el 2024.

La co-combustión de biomasa en centrales eléctricas a carbón no se reconoce como un medio de generación renovable no convencional y, por lo tanto, la energía producida a partir de biomasa quemada en procesos de co-combustión no es acreditable para el cumplimiento de la cuota exigida por la Ley 20.257.

La incorporación de biomasa en procesos de co-combustión en centrales a carbón permitirá acelerar la penetración de la bioenergía en la matriz eléctrica nacional en el corto y mediano plazo, debido a la gran capacidad instalada de centrales a carbón con potencial de implementar procesos de co-combustión. Sin embargo, para los operadores de centrales a carbón, la co-combustión de biomasa presenta algunos inconvenientes técnicos y económicos que hacen que su adopción sea improbable, a menos que se creen incentivos, como por ejemplo, que sea considerada ERNC.

Esta línea de acción busca promover el uso de biomasa, para generación eléctrica a través del reconocimiento de la co-combustión como ERNC. La biomasa deberá provenir de plantaciones dendroenergéticas y de fuentes de biomasa con baja demanda, para evitar que esta nueva aplicación distorsione el mercado actual de la biomasa, afectando a otros sectores de la economía; en especial, al sector forestal-industrial.



FICHA PROGRAMA

1.1.1: RECONOCIMIENTO DE LA CO-COMBUSTIÓN DE BIOMASA EN CENTRALES TERMOELÉCTRICAS A CARBÓN COMO ERNC

1. INSTITUCION RESPONSABLE

Ministerio de Energía.

2. OTROS ORGANISMOS INVOLUCRADOS

Ministerio de Energía: Encargado de ejecutar el programa y evaluar su efectividad

CNE: Evaluará los aspectos técnicos de la co-combustión como medio de Generación Renovable No Convencional. Dictar Norma para la acreditación de la energía eléctrica proveniente de biomasa introducida en centrales termoeléctricas a carbón como ERNC.

CDEC: Acreditar el tipo de fuentes de biomasa utilizadas para la inyección de energía y reconocimiento como ERNC

Ministerio de Medioambiente: Analizar el impacto de la co-combustión en el entorno, tanto en la generación eléctrica como en la obtención de biomasa

3. OBJETIVO GENERAL

Responder a los requerimientos regulatorios de la Ley 20.257, que permitan reconocer la co-combustión de biomasa en centrales eléctricas a carbón como un medio de generación renovable no convencional.

4. DESCRIPCION

Este programa propone el reconocimiento de la co-combustión de biomasa en centrales termoeléctricas a carbón como una fuente de energía renovable no convencional para cumplir con las obligaciones que establece la Ley 20.257. Para ello, la Comisión Nacional de Energía, en adelante la "Comisión", debe establecer las condiciones reglamentarias que permitan incluir la co-combustión de biomasa en centrales termoeléctricas a carbón como un medio de generación renovable no convencional, según las modificaciones que introduce la Ley 20.257 al artículo 225° del DFL N°4 (LGSE), letra aa) N°7, referente a otros medios de generación.

La Comisión deberá elaborar una norma reglamentaria, oficializada a través de una Resolución Exenta, que establezca las condiciones técnicas para el reconocimiento de la co-



combustión de biomasa en centrales a carbón como un medio de generación renovable no convencionales y que permita acreditar adecuadamente la energía proveniente de la co-combustión de biomasa en centrales a carbón como ERNC.

La Norma deberá considerar, además, la cuota máxima de energía generada anualmente por este medio que será reconocida como ERNC, expresada en porcentaje respecto a la energía total generada anualmente en base a carbón. Se propone una introducción paulatina de hasta un 5% anual de reemplazo energético de carbón por biomasa, durante los dos primeros años, y al final del segundo año, se deberá reevaluar la cuota máxima de ERNC para los próximos periodos. Durante este proceso se deberá prestar especial atención al efecto que ocasione la co-combustión de biomasa en el desarrollo de otras ERNC y en otros sectores de la economía; en especial, la industria forestal-industrial.

Para efectos de la acreditación de ERNC, se plantea reconocer una fracción del volumen de energía generada a partir de la co-combustión de biomasa en centrales a carbón, dependiendo de la fuente de donde provenga. Es decir, se reconocerá el 100% en caso que la biomasa provenga de plantaciones dendroenergética o de biomasa con baja demanda y un factor proporcional (en adelante, FP) en caso que la biomasa provenga de fuentes con alta demanda para uso industrial (como por ejemplo astillas pulpable, material para tableros entre otros). Los primeros cuatro años, se podrá acreditar hasta el 100% de la energía generada a base de biomasa como ERNC, independiente del tipo de biomasa utilizada.

La Comisión deberá establecer claramente una clasificación de las fuentes de biomasa que califican para el reconocimiento como ERNC y determinar el FP asociado a cada uno de ellas. Por su parte, el CDEC será el organismo encargado de certificar la procedencia de la biomasa. Luego, las empresas generadoras podrán optar al reconocimiento de la co-combustión como ERNC, bajo las siguientes condiciones:

Periodo	Cuota reconocida como ERNC	FP
Año 1	5% (de la energía eléctrica total generada a partir de carbón proyectada para el año)	100%
Año 2	5% (de la energía eléctrica generada a partir de carbón proyectada para el año)	100%
Año 3	Definido en año 2	100%
Año 4	Definido en año 2	Diferenciado según fuente de biomasa



Las empresas generadoras interesadas en incorporar la co-combustión de biomasa en sus centrales a carbón, deberán informar al CDEC una proyección de la cantidad de energía que proyectan generar en base a co-combustión de biomasa en sus centrales a carbón, indicando la o las centrales donde realizará la co-combustión, el tipo de biomasa a quemar y la fuente de las que provendrá.

5. PROBLEMA, OPORTUNIDAD Y PERTINENCIA

La participación de bioenergía en la generación eléctrica de los sistemas interconectados SIC y SING durante el 2012 llegó a 2.8%, proveniente, principalmente de plantas de co-generación vinculadas a los tres grandes complejos forestales. Por su parte, la generación en base a carbón alcanzó el 33.3% existiendo una capacidad instalada de 3467 MW. La incorporación de biomasa en centrales a carbón, permitiría aumentar considerablemente la participación de ésta en la matriz eléctrica en un plazo muy corto. Debido a factores de escala, la eficiencia energética de la co-combustión de biomasa en estas centrales es mayor que en centrales menores que exclusivamente utilizan biomasa. Sin embargo, para los operadores de las centrales a carbón la co-combustión de biomasa tiene tanto desventajas técnicas como económicas, por lo que su adopción es improbable a menos que se creen incentivos.

Técnicamente está demostrado que un reemplazo de hasta un 5% de la energía es sencillo de llevar a cabo, sin modificar el proceso existente; sustituciones mayores, de hasta un 20%, requieren adaptaciones menores (Ver Anexo 7). Por lo tanto, dado que los costos de inversión para reemplazos menores al 10%, son relativamente bajos comparados con los costos de inversión de otros proyectos de ERNC, tales como solares y eólicos, la introducción de la co-combustión como ERNC pudiera ir en desmedro del desarrollo de estas tecnologías. Por otra parte, el reconocimiento de la co-combustión de biomasa en centrales a carbón como ERNC, pudiese aumentar considerablemente la demanda por biomasa en un corto periodo de tiempo. Por ejemplo, se estima que para un reemplazo de 5% de la energía generada en base a carbón durante 2012, se requerirían aproximadamente 0.8 MMT/año de biomasa (base seca) (ver anexo 7), que corresponde aproximadamente al 45% del potencial anual estimado para biomasa forestal proveniente de del manejo silvícola de plantaciones de pino y eucalipto (Ver tabla A7.1). Este aumento de la demanda provocaría efectos adversos en la viabilidad de otros proyectos de uso energético de biomasa, induciendo a una distorsión del mercado. Por esta razón, se propone privilegiar el uso de biomasa proveniente de plantaciones dendroenergéticas y de fuentes que no estén siendo utilizadas actualmente de forma masiva, como por ejemplo, biomasa proveniente del manejo sustentable de bosque nativo y residuos del cultivo de cereales (ver Anexo 7).



6. IMPACTOS

El reconocimiento de la co-combustión de biomasa en centrales termoeléctricas a carbón como una fuente de ERNC, aumentará la participación de la bioenergía en la matriz eléctrica en al menos un 35% respecto al 2012, en los próximos 3 años.

Para los 4 primeros años de implementación del programa, considerando 5% de reemplazo energético, se estima que el aporte de la co-combustión a la generación eléctrica nacional será del orden del 2 al 3%. Respecto a la cuota exigida por la ley 20.257 para ERNC, la generación mediante co-combustión, ocupará un porcentaje interesante de alrededor de 30-40%. Reemplazos mayores al 10% implican una participación relativa, en torno al 60-80% quedando poco espacio para la participación de otros tipos de tecnologías ERNC (ver Anexo 7).

También, generará una demanda concreta por nuevas fuentes de biomasa y promoverá el despegue de las plantaciones dendroenergéticas, permitiendo activar y formalizar cadenas de abastecimiento de este tipo de biomasa.

- **Generación de Empleos:** 7 trabajos/MWe [1], incluye la cadena completa de suministro de biomasa y generación eléctrica.
- **Apalancamiento de inversión privada:** N/A
- **Disminución de GEI:** El porcentaje de reducción en GEI dependerá del tipo de biomasa utilizada, la distancia de transporte y el % de sustitución. De acuerdo a referencia de experiencias internacionales, para un 5% de sustitución se obtienen reducciones superiores al 4% respecto a la generación con 100% carbón [2].

[1] NNFFCC, UK Jobs in the bioenergy sectors by 2020, A report for DECC, April 2012, pag. 35

[2] Jeremy Woods, Richard Tipper, Gareth Brown, Rocio Diaz-Chavez, Jessica Lovell and Peter de Groot. "Evaluating the Sustainability of Co-firing in the UK", Report URN 06/1960, September 2006.

7. DURACION

Dos años



8. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES A REALIZAR

ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
Actividad 1. Preparación del documento	Elaboración de norma reglamentaria, por parte de la Comisión, que permita reconocer la co-combustión como un medio de generación renovable no convencional.
Actividad 2. Someter a discusión y aprobación el documento	Proceso para la aprobación del reconocimiento de la co-combustión como ERNC.
Actividad 3. Mecanismo técnico para cuantificar la generación en base a co-combustión	<p>Para efecto de acreditar el % de energía generada mediante la co-combustión de biomasa en centrales a carbón, se desarrollará una metodología que permita a la CDEC cuantificar la cantidad de energía generada en base a biomasa en cada central de co-combustión. Para ello, se debe tomar como referencia los métodos internacionales, y adecuarlos a las condiciones locales. Se deberá realizar un seguimiento del sistema de cuantificación con el fin de validarlo. A su vez, se realizará un seguimiento del mercado oferente de biomasa para fines energéticos y el volumen, transparencia y competitividad de este mercado.</p> <p>Se debe incluir además, un mecanismo para acreditar la procedencia de la biomasa quemada en las centrales (dendroenergéticas, madera reciclada, desechos del manejo y cosecha de pino y eucaliptus, corteza eucalipto, agroindustrial, manejo del bosque nativo, RSU, poda de frutales, otras).</p>

9. CRONOGRAMA

Actividades	2014	2015
Actividad 1	X	
Actividad 2	X	
Actividad 3	X	X



10. PRESUPUESTO ESTIMADO DEL PROGRAMA

ACTIVIDADES	PRESUPUESTO
Actividad 1.Preparación del documento	--
Actividad 2. Someter a discusión y aprobación el documento	
Actividad 3: Desarrollo metodología de cuantificación	60
TOTAL (MM\$)	60



Línea de Acción 1.2: Perfeccionamiento del marco regulatorio asociado a proyectos de biogás

Objetivo

Perfeccionar el marco regulatorio asociado a proyectos energéticos de biogás, de forma tal que facilite su desarrollo y operación, para así propiciar una industria eficiente y de altos estándares técnicos y ambientales.

Descripción

La industria de biogás, como cualquier otra vinculada al sector energético, se caracteriza por integrar en su cadena productiva una amplia gama de operaciones unitarias, las que a su vez involucran aspectos tales como suministro de energía, cumplimiento de estándares de seguridad, operaciones de mantenimiento y control, manejo de sub-productos, entre otras. Aunque la mayoría de estas operaciones son reguladas a través de estándares y normas convencionales de la industria de procesos, existen particularidades que es necesario enfrentar de manera tal que el desarrollo de proyectos energéticos de biogás se vea favorecida, y pueda emprender un desarrollo sostenible y acorde con estándares técnicos y ambientales cada vez más estrictos.

El perfeccionamiento del marco regulatorio asociado a proyectos de biogás se enmarca en las actividades conjuntas entre el Ministerio de Energía y la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC). Actualmente estas entidades sostienen un convenio para la promoción de proyectos de biogás en Chile y, en este contexto, se lleva a cabo un estudio de anteproyecto de reglamentación técnica y de seguridad para las instalaciones de biogás, así como también se elabora un registro de instalaciones de biogás y personas relacionadas con esta industria en el país.



FICHA PROGRAMA

1.2.1: REGULARIZACIÓN DE PATRONES DE CALIDAD DEL DIGESTATO GENERADO EN PROCESOS ANAERÓBICOS PARA GENERACIÓN DE BIOGÁS.

1. INSTITUCION Y RESPONSABLE

Ministerio de Energía, en conjunto con Servicio Agrícola Ganadero (SAG)

2. OTROS ORGANISMOS INVOLUCRADOS

Ministerio de Salud, Ministerio de Agricultura, Servicio Agrícola y Ganadero (SAG):

Estas instituciones entregarán antecedentes técnicos de relevancia y participarán en toda la etapa de formulación de la normativa.

3. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo general:

Establecer un marco de estandarización de las propiedades del digestato, ya sea para un uso comercial como mejorador de suelos o bio-fertilizante agrícola.

Objetivos específicos:

- Definir condiciones de origen de substratos de cuyo procesamiento anaeróbico sea viable el uso del digestato en agricultura.
- Establecer parámetros, sean éstos físicos, químicos, sanitarios o biológicos, para uso de digestato en aplicaciones agro-industriales.
- Proponer una norma de calidad basada en los antecedentes técnicos recabados en los puntos anteriores, para uso comercial de digestato.

4. DESCRIPCION

Este programa se orienta a la elaboración de una norma técnica que facilite la formulación y ejecución de proyectos energéticos de biogás, estableciendo estándares de calidad de un digestato que puede tener un uso comercial como bio-fertilizante. En estos términos, la formulación de una norma técnica en este ámbito ofrecerá condiciones para fortalecer la industria de biogás y asegurar, simultáneamente, requisitos sanitarios para el uso del digestato como producto agrícola.



5. PROBLEMA, OPORTUNIDAD Y PERTINENCIA

En la actualidad, el digestato generado en plantas de biogás en Chile se entrega a interesados sin mayor costo o se comercializa de manera informal. La inclusión de tecnologías de digestión anaeróbica en el país en el mediano plazo demandará una regulación en el uso de este sub-producto, para así evitar potenciales conflictos con las entidades fiscalizadoras que, a la postre, involucren costos adicionales para los operadores de las plantas de biogás, con el consecuente detrimento económicos, o bien obstaculización en los procesos de declaración o evaluación de impacto ambiental, según corresponda.

Estudios llevados a cabo en países con tecnologías de digestión anaeróbica integradas a los sistemas energéticos y ambientales, indican, consistentemente, que la comercialización de digestato juega un rol marginal en la rentabilidad de los proyectos de biogás. No obstante lo anterior, su principal atractivo es ambiental, pues evita la disposición final de residuos en rellenos sanitarios y permite cerrar el ciclo de nutrientes en plantas que operan en complejos agroindustriales.

Dado que la normativa vigente no establece parámetros para el digestato en cuanto subproducto, se propone elaborar un instrumento normativo que regularice su calidad, para de esta manera garantizar la seguridad en su empleo como fertilizante, acondicionador de suelos o para otros fines.

6. IMPACTOS

Se espera que con una norma de usos del digestato los proyectos de biogás se hagan más atractivos económica y ambientalmente. Lo anterior, pues el uso comercial del digestato permitirá cerrar el ciclo de utilización de la biomasa, generando externalidades ambientales positivas.

- **Generación de Empleos:** N/A
- **Apalancamiento de inversión privada:** N/A
- **Disminución de GEI:** N/A

7. DURACION

Estudio y elaboración de la norma el 2014, implementación de la norma durante el año 2015-2016.



8. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES A REALIZAR

ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
Actividad 1. Preparación de anteproyecto y consulta	Se requiere recolectar antecedentes técnicos sobre calidad de digestato y posibles usos a nivel internacional, estudios económicos y de beneficios sociales; con el fin de contar a mediados del año 2015, con un primer ante-proyecto de norma, con altos niveles de consenso (talleres, mesas de discusión y equipos multisectoriales de trabajo)
Actividad 2. Dictación y emisión	Después del periodo de preparación, discusión y acuerdos, se espera la dictación de la norma durante el 2016, con un periodo de implementación (marcha blanca) de 6 meses.
Actividad 3. Fiscalización	Se propone la fiscalización del cumplimiento de la norma durante todo el periodo de vigencia de ésta por parte del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG)

9. CRONOGRAMA

Actividades	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Actividad 1	X	X					
Actividad 2			X				
Actividad 3			X	X	X	X	X

10. PRESUPUESTO ESTIMADO DEL PROGRAMA

ACTIVIDADES	PRESUPUESTO
Actividad 1.	45
Actividad 2.	5
Actividad 3.	-
TOTAL (MM\$)	50



Línea de Acción 2.1: Fomento del uso térmico de la biomasa

Objetivo

Fomentar el uso de biomasa lignificada como fuente de energía térmica, ampliando el espectro de usuarios en los sectores PYMES y organismos públicos. A través de ello se impulsará, a su vez, el establecimiento y desarrollo de una oferta formal, expedita y competitiva de combustibles biomásicos estandarizados, principalmente astillas y pellets, en este sentido ya se ven algunas líneas de acción en asociadas en el “Plan de Acción de Eficiencia Energética 2020”.

Descripción

El uso térmico de biomasa en calderas industriales de bajo o mediano tamaño es particularmente promisorio, debido a que los consumos moderados pueden ser suplidos de localidades cercanas, sin que su baja densidad represente un problema logístico, traduciéndose en un menor costo de combustible. Aun así, en la actualidad, sólo la industria forestal hace uso masivo de este recurso energético; en otros sectores productivos no se ha impuesto, debido a la inexistencia de un mercado de biomasa formal y amplio, y al alto costo de reemplazo de calderas existentes, principalmente.

Esta línea de acción propone fomentar el uso de calderas a biomasa para la generación de calor en pequeñas y medianas empresas (PYMES), y uso térmico en el sector público a través de incentivos para la adquisición de calderas nuevas a biomasa, y para el recambio de calderas que utilizan combustibles fósiles por sistemas de biomasa.



FICHA PROGRAMA

2.1.1: APOYO A LA INVERSIÓN PARA LA INSTALACIÓN DE CALDERAS A BIOMASA EN PYMES

1. INSTITUCION Y RESPONSABLE

Ministerio de Energía (Entidad Mandante)

2. OTROS ORGANISMOS INVOLUCRADOS

Gobiernos Regionales: Apoyo financiero al programa, participación en formulación de las bases del concurso.

Centro de Energías Renovables: Apoyo técnico en formulación de bases del concurso, evaluación de propuestas.

SEREMI Salud: Autorización instalación de calderas

Ministerio de Medio Ambiente: Asistencia técnica en materia de emisiones de calderas

Superintendencia de Electricidad y Combustibles: Seguimiento de calderas cofinanciadas en PYMES

3. OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal del programa es fomentar y aumentar el uso térmico eficiente de la biomasa lignocelulósica residual en el sector privado, principalmente, en PYMES y a su vez incentivar el establecimiento de un mercado amplio, transparente y competitivo de biocombustibles sólidos (astillas y pellet).

4. DESCRIPCION

El programa busca cofinanciar la inversión para el reemplazo de calderas que utilicen combustible fósil por biomasa lignocelulósica en pequeñas y medianas empresas. Con ello, se pretende dar un impulso al mercado de la biomasa buscando la estructuración de cadenas logísticas estables, seguras y sustentables de abastecimiento de biomasa, por medio de incentivos estatales. Con dichos estímulos económicos, se busca derribar algunas barreras y mostrar los beneficios de usar energía renovable, segura y sustentable en reemplazo de combustibles fósiles. El programa apunta a desarrollar el mercado de la biomasa a través del aumento de la demanda en las pequeñas y medianas empresas (PYMES) impulsando el



reemplazo de calderas existentes por modernas calderas a biomasa para la generación de energía térmica, así como también para empresas que estén instalando nuevas calderas.

El programa consiste en crear un fondo concursable anual por 4 años consecutivos, para cofinanciar la compra de calderas a biomasa, particularmente, calderas que utilicen astillas y/o pellet como combustible, ya sea para reemplazar calderas existentes que utilizan combustibles fósiles o para la implementación de nuevas calderas a biomasa en PYMEs. El llamado a concurso se realizará a nivel regional una vez por año y estará dirigido a PYMEs ubicadas entre la regiones del Maule y Magallanes, regiones donde se concentra la disponibilidad de biomasa forestal apta para producción de biocombustibles sólidos (astillas y pellet). Las regiones con mayor prioridad para la implementación del programa, según disponibilidad de biomasa [1, 2], concentración de pequeñas y medianas empresas [3] y desarrollo de la industria forestal [2] son: Región del Bio Bio, Región del Maule, Región de los Lagos, Región de la Araucanía y Región de los Ríos.

El programa financiará hasta un 60% de la inversión con un tope máximo de MUS\$150 por proyecto. El instrumento de fomento estará a cargo del Ministerio de Energía, quien contará con el apoyo técnico del Centro de Energías Renovables de Corfo y con la participación de los Gobiernos Regionales pertinentes. Dentro de los criterios de elegibilidad se deberá considerar: tipo de caldera (agua caliente o vapor), tecnología, eficiencia térmica de la caldera, nivel de emisiones de material particulado, tipo de biocombustible, demanda anual de biocombustible, tamaño de la instalación, periodo de recuperación de la inversión, y antecedentes del postulante. Adicionalmente, cada Gobierno Regional podrá fijar prioridades respecto a un sector económico y respecto a los criterios de selección.

El programa cofinanciará calderas de agua caliente, para uso en calefacción y ACS, y calderas a vapor para generación de energía térmica de procesos. En el Anexo 8 se presenta una estimación del periodo de recuperación de la inversión para calderas a biomasa, en que se consideró el costo de inversión de la caldera y los ahorros generados por el costo del biocombustible. En la Tabla N°8.1.2 se presenta el cálculo para el caso de astillas y en la Tabla N° 8.1.3 para pellet. En función de los periodos de recuperación de la inversión y de la demanda por biocombustibles, se sugiere privilegiar el financiamiento de calderas de agua caliente entre 80 kW y 0.6 MW, y calderas a vapor desde 0.5MW hasta 4MW. Los periodos de recuperación de la inversión pudieran aumentar considerablemente en función del precio del combustible, tamaño y tipo de caldera, principalmente, por aumento en inversión inicial asociado a infraestructura y equipos auxiliares y al aumento en costos O&M de sistemas a biomasa respecto a sistemas que utilizan combustibles fósiles.



La emisión de contaminantes gaseosos estará establecida y será regulada a través de la Norma de Emisión para Calderas y Procesos de Combustión en el Sector Industrial, Comercial y Residencial Calderas, actualmente en elaboración.

[1] Infor, Anuario Forestal 2010.

[2] Universidad Austral de Chile, "Proyecto Evaluación de mercado de biomasa y su potencial", Informe Final V.6. Ministerio de Energía, 2013.

[3] OIT y SERCTEC, La Situación de la micro y pequeña empresa en Chile, 2010.

5. PROBLEMA, OPORTUNIDAD Y PERTINENCIA

El uso de biomasa en calderas puede repercutir significativamente en el desplazamiento de combustibles fósiles, principalmente petróleo, gas natural, gas licuado y fuel oil, ya que se trata de un consumo masivo y estable durante todo el año. Por ello, puede contribuir, a su vez, al establecimiento de un mercado de biomasa con fines energéticos estable y competitivo.

A pesar de la demostrada conveniencia del reemplazo de combustibles fósiles en dimensiones sociales, económicas y medioambientales, hoy existen importantes barreras tecnológicas y de mercado para la utilización de biomasa como combustible en las PYMEs. La principal barrera tecnológica para las PYMEs es el alto costo de inversión de los sistemas de generación de energía con biomasa, con respecto a los que utilizan combustibles fósiles. Una vez soslayada esta primera barrera, el segundo obstáculo corresponde al suministro estable, seguro, formal, y sustentable de biomasa a la calidad requerida. La no existencia de un mercado formal de suministro de biomasa condiciona actualmente el uso masivo a nivel industrial. Este programa pretende además derribar algunas barreras culturales y sociales respecto al uso de biomasa en procesos industriales y en el sector comercial, y mostrar a la comunidad las nuevas tecnologías para el aprovechamiento de biomasa residual. Cabe señalar, la necesidad de normar la calidad de los biocombustibles sólidos.

El apoyo a PYMES es pertinente, ya que el sector tradicionalmente tiene problemas de financiamiento y los créditos del sistema bancario suelen ser menos ventajosos que para grandes empresas.



6. IMPACTOS

La instalación de nuevas calderas en base a biomasa generará demanda por biomasa y, con ello, impulsará el establecimiento de un mercado formal de biocombustibles sólidos, principalmente astillas y pellets. Junto con externalidades positivas, como aumentar el componente renovable en la matriz energética nacional y disminuir la emisión de gases efecto invernadero, se constatará un mayor dinamismo de la economía en localidades rurales del sur de Chile y se fortalecerá la competitividad de las PYMES que se acojan al programa.

- **Generación de Empleos:** Se estima una generación promedio de 3 empleos por MW térmico instalados considerando los factores de generación de empleos reportados en un informe técnico desarrollado para la industria de la bioenergía en UK [1], no obstante para la realidad chilena puede variar considerablemente.
- **Apalancamiento de inversión privada:** El costo del programa para los cuatro años se estima en MM\$3760, lo que busca cofinanciar el reemplazo de aproximadamente 80 calderas, por lo tanto, el apalancamiento de inversión privada dependerá de los montos de inversión por proyecto y del porcentaje de co-financiado (max. 60%). En promedio se estima un factor de apalancamiento de 1 (Inversión Privada: Inversión del Estado)
- **Disminución de GEI:** Se estima una reducción promedio de 0.4 toneladas de CO₂ por MWh térmico generado al reemplazar combustibles fósiles por biomasa, calculado de acuerdo a factores de emisión de los combustibles.

[1] NNFFCC, UK Jobs in the bioenergy sectors by 2020, A report for DECC, April 2012.

7. DURACION

Desde el año 2014, hasta el año 2019.



8. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES A REALIZAR

ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
Actividad 1. Catastro de calderas en PYMES	<p>El Ministerio de Energía deberá licitar un estudio de determinación del universo de calderas y demanda térmica industrial y comercial en pequeñas y medias empresas ubicadas entre la VI y la XII región.</p> <p>Esta información es fundamental para seleccionar la o las regiones donde se implementará el programa de cofinanciamiento. Además, entregará información relevante del tipo de requerimiento térmico y el tamaño promedio de calderas a las que está dirigido el programa.</p>
Actividad 2. Formulación de las bases del concurso para el co-financiamiento de calderas a biomasa	<p>El Ministerio de Energía en conjunto con el Centro de Energías Renovables y con la participación de los Gobiernos Regionales formularán las bases del concurso y harán el llamado a postular proyectos para la compra de calderas a biomasa.</p>
Actividad 3. Llamado a concurso para cofinanciamiento de la inversión en nuevas unidades de generación de calor para PYMES, por parte del Ministerio de Energía.	<p>El concurso entregará cofinanciamiento para la inversión en una fuente de generación térmica con biomasa en reemplazo de instalaciones existente o para nuevas calderas. Este concurso pretende incentivar el reemplazo de 80 calderas durante un periodo de 4 años, con un incentivo máximo equivalente al 60% del monto de la inversión de cada unidad. Los montos totales estimados por año serán de MM\$940</p>
Actividad 4. Llamado a licitación por parte de la SEC para la asignación del Plan de Seguimiento para las PYMES seleccionadas.	<p>Se requiere contratar los servicios de una empresa o una institución que realice seguimiento y auditoría a las PYMES seleccionadas por un periodo de 1 año para cuantificar los ahorros, verificar impactos ambientales y evaluar el suministro de biomasa, con relación a su amplitud, transparencia y competitividad</p>



9. CRONOGRAMA

Actividades	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Actividad 1	X					
Actividad 2	X	X				
Actividad 3		X	X	X	X	
Actividad 3		X	X	X	X	X

10. PRESUPUESTO ESTIMADO DEL PROGRAMA

Actividades	PRESUPUESTO
Actividad 1	38
Actividad 2	--
Actividad 3	3.760
Actividad 4	70
TOTAL (MM\$)	3.878



FICHA PROGRAMA

2.1.2: FAVORECIMIENTO DE PROYECTOS BIOENERGÉTICOS EN INFRAESTRUCTURA PÚBLICA O CON FINANCIAMIENTO PÚBLICO

1. INSTITUCION Y RESPONSABLE

Ministerio de Energía (Entidad Mandante)

2. OTROS ORGANISMOS INVOLUCRADOS

Centro de Energías Renovables: Apoyo técnico en formulación de bases del concurso, evaluación de propuestas.

SEREMI Salud: Autorización instalación de calderas

Ministerio de Medio Ambiente: Asistencia técnica en materia de emisiones de calderas

Superintendencia de Electricidad y Combustibles: Seguimiento de calderas en infraestructura pública.

3. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo general:

Reemplazar combustibles fósiles por biomasa en centrales térmicas del sector público y en infraestructura que cuente con financiamiento estatal

Objetivos específicos:

- Impulsar el establecimiento de un mercado formal y competitivo de biomasa para fines energéticos, principalmente astillas y pellets.
- Constituir un ejemplo positivo y multiplicador respecto al uso de la bioenergía.
- Disminuir los niveles de contaminación en las ciudades de las zonas sur y austral de Chile.



4. DESCRIPCION

Este programa se enfoca a fomentar la utilización de bioenergía en la construcción y/o modificación de infraestructura en edificaciones con financiamiento público, a través de una bonificación, en las bases de licitación, a las propuestas que contengan generación de energía a partir de biomasa, con tecnología eficiente. Este programa estará enfocado preferentemente a edificaciones pública como como hospitales, escuelas y oficinas públicas ubicadas entre la regiones Metropolitana y de Magallanes.

5. PROBLEMA, OPORTUNIDAD Y PERTINENCIA

El sector público participa con una baja proporción en el consumo energético nacional (1%, BNE 2011). Aun así, es importante, debido a que el Estado puede impulsar cambios en el sector público con relativa facilidad, tiene una alta visibilidad ante la ciudadanía, cumple con un rol multiplicador y puede contribuir significativamente al establecimiento de una oferta formal de biomasa para fines energéticos.

Este programa busca incentivar la utilización de sistemas eficientes de generación térmica con biomasa en nuevas instalaciones construidas con fondos públicos. Estas instalaciones permitirán, por un lado, incentivar la estructuración de un mercado formal de biomasa en su área de influencia y, por otro lado, promoverse como unidades demostrativas de uso de biomasa sostenible.

6. IMPACTOS

Los impactos serán diversos: Se contribuirá a aumentar el componente renovable en la matriz energética nacional, pero, al mismo tiempo, se potenciará el desarrollo de la bioenergía; especial mención le cabe a la contribución al establecimiento de un mercado de biomasa para fines energéticos

- **Generación de Empleos:** Se estima una generación promedio de 3 empleos por MW térmico instalados considerando los factores de generación de empleos reportados en un informe técnico desarrollado para la industria de la bioenergía en UK [1], no obstante para la realidad chilena puede variar considerablemente.
- **Apalancamiento de inversión privada:** N/A
- **Disminución de GEI:** Dado que no se sabe cuántos serán los proyectos que presentarán alternativas de bioenergía, no se puede estimar.

[1] NNFFCC, UK Jobs in the bioenergy sectors by 2020, A report for DECC, April 2012.



7. DURACION

Desde el año 2014, hasta el año 2020

8. DESCRIPCION DE ACTIVIDADES A REALIZAR

ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
Actividad 1. Preparación de “anexo de bioenergía” para bases de licitación pública.	Se preparará un anexo a incluir en las bases de licitación que contemplen construcción y/o modificación de infraestructura en edificaciones con financiamiento público. Este anexo contemplará un porcentaje del puntaje total de evaluación de la propuesta técnica, si ésta contiene generación de energía a partir de biomasa.
Actividad 2. Incorporación de anexo de bioenergía, en licitaciones.	Para llamados a licitación relativos a infraestructura de edificios públicos en tre las Regiones Metropolitana y Magallanes, se evaluará la pertinencia de incluir el anexo de bioenergía. Dependiendo las obras licitadas, la región del país, etc.

9. CRONOGRAMA

Actividades	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Actividad 1	X						
Actividad 2		X	X	X	X	X	X

10. PRESUPUESTO ESTIMADO DEL PROGRAMA

ACTIVIDADES	PRESUPUESTO
Actividad 1	10
Actividad 2	-
TOTAL (MM\$)	10



Línea de Acción 2.2: Incentivo a la implementación de proyectos de biogás

Objetivo

Promover proyectos energéticos de biogás bajo un principio de autarquía económica, es decir, el desarrollo de proyectos que sean económicamente rentables sin la necesidad de mediar subsidios por parte del Estado, ya sean éstos a la generación de energía o a la inversión de capital.

Descripción

La línea de acción contempla el fomento del uso de biomasa residual para la generación de biogás con fines energéticos. Considera, por tanto, su empleo para la generación de energía, ya sea electricidad o calor, para auto-consumo o venta a terceros, quedando así excluidas alternativas como quema en antorcha.

De estudios preliminares se ha concluido que los residuos provenientes del tratamiento aeróbico de aguas residuales municipales, purines de ganado, residuos agrícolas y la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales, ofrecen el mayor potencial para la generación de biogás (ver anexo 9.). Por otra parte, estudios de pre-factibilidad indican que en Chile existen condiciones que permitirían impulsar proyectos de generación de biogás que serían económicamente atractivos sin la necesidad de subsidios por parte del Estado. Se cuenta con antecedentes para sostener que existe un potencialmente disponible de aproximadamente $2.307 \text{ GWh}_e\text{a}^{-1}$.

La generación eléctrica desde biogás con inyección a la red de distribución asocia, como cualquier otro proyecto que comprenda esta operación, estudios de alto costo y que se traducen en una etapa crítica en la formulación y evaluación en el contexto de proyectos energéticos de baja escala (menores a 5 MW_e en el general de los casos). Por otra parte, el gran número de actores involucrados en la cadena de valor de proyectos de biogás (dueños de biomasa, operadores de planta, suministradores de energía, comercializadores de subproductos, etc.) implica un alto grado de coordinación, lo que demanda la formulación de modelos de negocios complejos y, por ende, con mayores costos en la etapa de formulación o de pre-inversión que para otros proyectos de energía renovables no convencionales.

Este programa se enmarca en el contexto de las actividades a cabo por el Centro de Energías Renovables, el que ha postulado un fondo de financiamiento a través de *Global Environmental Facility* (www.thegef.org) para impulsar los proyectos de biogás en el sector agroindustrial, con preferencia en el rango de potencia de pequeña y mediana escala. Adicionalmente, a través de un programa NAMA (*National Program for Catalazing Industrial and Commercial Organic Waste Management in Chile*), el Ministerio de Medio Ambiente impulsa el uso energético de la fracción orgánica de los residuos sólidos industriales.



FICHA PROGRAMA

2.2.1: PROGRAMA DE INCENTIVO PARA ESTUDIOS DE PREINVERSION DE PROYECTOS DE BIOGÁS

1. INSTITUCION Y RESPONSABLE

Ministerio de Energía. (Mandante)

2. OTROS ORGANISMOS INVOLUCRADOS

Centro de Energías Renovables : Contraparte técnica, colaboración en la elaboración de bases técnicas.

Ministerio de Agricultura.: Apoyo financiero

3. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo general:

Incentivar y conferir celeridad a la toma de decisiones de inversión en proyectos de generación de biogás en el país; serán favorecidos aquellos proyectos económicamente rentables y a nivel de pre-factibilidad, y que se puedan implementar y desarrollar sin la necesidad de mediar subsidios directos o indirectos por parte del Estado.

Objetivos específicos:

- Identificar sectores prioritarios (e.g. agrícola, ganadero, industrial) para proyectos energéticos de biogás.
- Identificar zonas geográficas o regiones de alto potencial o de mayor impacto esperado.
- Establecer políticas de financiamiento diferenciado en cuanto a potencia esperada, usos de biogás y condiciones técnicas de operación de proyectos. (i.e. autoconsumo, con o sin inyección a la red).



4. DESCRIPCION

El programa consiste en un fondo concursable, en modalidad bianual, que busca co-financiar estudios de pre-inversión en proyectos de biogás, con el fin de identificar los proyectos que sean económicamente rentables sin necesidad de subsidios estatales.

5. PROBLEMA, OPORTUNIDAD Y PERTINENCIA

Junto con incrementar la participación de ERNC en la matriz energética nacional, el diseño, implementación y puesta en marcha de plantas de biogás conlleva beneficios sociales, como la creación de fuentes de empleo y nuevas oportunidades de negocio para agricultores y emprendedores. En cuanto a aspectos ambientales, se puede destacar que la generación de biogás constituye una solución a problemas de disposición de residuos y disminución en la emisión de gases efecto invernadero.

Una de las principales dificultades en la implementación de proyectos energéticos de biogás yace en la escasa familiaridad de los dueños de los sustratos con las tecnologías de digestión anaeróbica. Además, los proyectos de procesamiento anaeróbico de biomasa se caracterizan por involucrar un alto número de actores, con una especialización diversa en la cadena de valor, en la cual los modelos de negocios son en general complejos y demandan un alto grado de coordinación entre proveedores de sustratos, generadores de energía y distribuidores de ésta, así como también entre estamentos públicos y privados. Otros aspectos relevantes son el conocimiento de la tecnología y la necesidad de contar con servicios de respaldo, que involucran desarrollar y fortalecer especialización de terceros.

El instrumento de fomento de energías renovables actualmente en operación es genérico y, en estos términos, compiten tecnologías, escalas y condiciones de comercialización que no son comparables bajo criterios económicos o ambientales, o incluso sociales. Una línea específica de biogás permitirá diferenciar proyectos bajo criterios específicos (ambientales, sociales, etc.), o bien establecer patrones de exclusión. En este contexto, para impulsar la inversión en proyectos de biogás, es necesario implementar programas para fomentar la realización de estudios de factibilidad, que en la generalidad de los casos demandan costos significativos, pruebas de largo plazo para determinar parámetros operacionales, como también la conformación de modelos de negocios para la evaluación económica y financiera correspondiente, tal como se ha indicado anteriormente.



6. IMPACTOS

Realizando una breve evaluación de impactos que se presenta en el Anexo 9, se tiene los siguientes indicadores:

- **Generación de Empleos:** 5.509 puestos de empleo
- **Apalancamiento de inversión privada:** 216 (indicador de palanca del proyecto)
- **Disminución de GEI:** 542 CO₂ (Gg a⁻¹)

7. DURACION

Desde el año 2014, hasta el año 2020. Un concurso cada 2 años.

8. DESCRIPCION DE ACTIVIDADES A REALIZAR

ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
Actividad 1. Convocatoria y Adjudicación	Se considera abrir un concurso bienal con un monto concursable de 400 millones de pesos. Se plantea que el cofinanciamiento cubra un máximo un 50% del valor del estudio de pre-inversión, con un máximo financiable de 1.000 UF
Actividad 2. Seguimiento y Control	Se plantea monitorear el programa a través de informes de avances e informe final de resultados. Finalizando esto se solicitará entregar antecedentes del proyecto en la etapa de inversión, en la eventualidad se hayan obtenido resultados favorables de los estudios. El periodo de seguimiento de estos proyectos será de 4 años desde la adjudicación de los fondos.

9. CRONOGRAMA

Actividades	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Actividad 1	X		X		X		X				
Actividad 2		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

10. PRESUPUESTO ESTIMADO DEL PROGRAMA

ACTIVIDADES	PRESUPUESTO
Actividad 1. (400 MM\$/convocatoria)	1.600
Actividad 2.	-
TOTAL (MM\$)	1.600



Línea de Acción 2.3: Fomento a tecnologías innovadoras

Objetivo

Impulsar el desarrollo de una industria tecnológica nacional relacionada con el uso eficiente de la biomasa como fuente energética.

Descripción

En el ámbito de la bioenergía, Chile debe aprovechar su amplia disponibilidad de recursos, empresas forestales con tecnología de punta y centros de I+D+i con estándares científicos y tecnológicos elevados, para asumir una posición de liderazgo en Latinoamérica. Lo anterior no se refiere sólo al desafío de cubrir proporciones importantes de la energía primaria con esta fuente (en la actualidad la biomasa participa con un 20%), sino también de desarrollar tecnología, para el mercado interno y exportación. Según las visiones recogidas en los talleres de trabajo y las reuniones sostenidas durante la ejecución del estudio, se propone, entre otros: Proyectos de calefacción distrital, uso sustentable de bosque nativo y densificación termoquímica de biomasa agrícola y/o forestal.

La línea de acción plantea abrir alternativas que permitan materializar iniciativas tecnológicas relacionadas con el uso de bioenergía, que no puedan ser implementadas a nivel productivo, entre otros, porque: son tecnologías nuevas, para las cuales no existen referentes nacionales o extranjeros y, por ello, el riesgo asociado a su implementación sea muy elevado; que requiera generar información técnica o económica, que permita definir una planta productiva; o que sea necesario contar con productos del proceso, para evaluar sus características y usos. Sólo se favorecerá aquéllas iniciativas que no puedan ser implementadas con los programas de fomento tecnológico y de innovación existentes en el país.



FICHA PROGRAMA

2.3.1: IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS PILOTO

DE TECNOLOGÍAS EMERGENTES

1. INSTITUCION Y RESPONSABLE

Ministerio de Energía (Entidad Mandante)

2. OTROS ORGANISMOS INVOLUCRADOS

Centro de Energías Renovables: Apoyo técnico en formulación de bases del concurso, evaluación de propuestas.

CORFO: entidad financiadora

3. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo general:

Establecer proyectos demostrativos que impulsen el desarrollo de la bioenergía en Chile, con efectos económicos, ambientales y sociales positivos.

Objetivos específicos:

- Crear nuevas capacidades relacionadas con la bioenergía a nivel nacional.
- Sentar las bases tecnológicas para el desarrollo de la bioenergía más allá del período de ejecución de la presente estrategia.
- Contribuir a que Chile asuma una posición de liderazgo regional en el desarrollo e implementación de proyectos bioenergéticos innovativos.

4. DESCRIPCION

Se propone un programa conjunto entre CORFO y el Ministerio de Energía, orientado a empresas generadoras de biomasa y energía, proveedores tecnológicos e instituciones de I+D+i, entre otros, para establecer proyectos industriales-demostrativos, que creen las condiciones técnicas, económicas y/o de mercado para incentivar la implementación de nuevas capacidades y tecnologías en el ámbito de la bioenergía. Se favorecerá aquellas iniciativas que tengan un impacto económico, ambiental y social importante; de igual manera, que se refieran a particularidades de la generación y uso de la bioenergía a nivel nacional, que



fortalezcan el desarrollo de la industria tecnológica y que contribuyan al desarrollo económico local. Entre las iniciativas que fueron propuestas en los talleres de discusión de las líneas de acción de la Estrategia cabe señalar: (1) Calefacción distrital, (2) uso de madera de bosque nativo y (3) tecnologías de densificación de biomasa.

5. PROBLEMA, OPORTUNIDAD Y PERTINENCIA

La tecnología requerida para implementar proyectos energéticos a partir de las materias primas mencionadas proviene fundamentalmente del extranjero. Si bien existen capacidades locales de investigación científica y tecnológica, a la fecha no ha sido posible que éstas contribuyan de manera efectiva a hacer un uso más eficiente y amplio de los recursos bioenergéticos nacionales. Lo anterior repercute en diferentes ámbitos; no sólo el energético, sino también el ambiental, económico y social.

No obstante lo anterior, existen las condiciones de contorno para que el desarrollo de la bioenergía en Chile contribuya no sólo a desplazar a combustibles fósiles de la matriz primaria, sino también a impulsar el desarrollo de una industria tecnológica de alta valor agregado, estableciendo proyectos demostrativos replicables y generando nuevas en técnicos y profesionales ligados al sector. De hecho, Chile dispone de condiciones privilegiadas para el establecimiento de plantaciones forestales. Esta condición ha permitido el desarrollo de una moderna, pujante y rentable industria forestal-industrial. De igual manera, el sector agrícola ha crecido vertiginosamente, en ámbitos como el frutícola y el vitivinícola. Ambas industrias, forestal y agrícola, generan residuos y subproductos, los que pueden usarse energéticamente.

De esta manera el suministro seguro y ambientalmente responsable de energía dejaría de ser un problema, sino, por el contrario, constituirá una oportunidad, para que Chile asuma una posición tecnológica de liderazgo.

6. IMPACTOS

Se realizará un llamado a presentar propuestas, en el que podrán participar empresas y entidades relacionadas con el ámbito bioenergético en el país. Se financiará un máximo de tres proyectos.

- **Generación de Empleos:** Como hipótesis de trabajo se plantea que cada proyecto generará 6 fuentes de empleo directo para profesionales y técnicos. Por tanto, en total que se generará 18 empleos.
- **Apalancamiento de inversión privada:** Se plantea un subsidio de MM\$ 500 por proyecto, monto que podrá corresponder a un 50% del costo total del proyecto, como máximo. Se estima que de los 3 proyectos subsidiados, 2 se escalarán a un nivel productivo, cuya inversión media será de MM\$ 5.000. En función de ello, el



apalancamiento previsto durante la ejecución de los proyectos demostrativos será de MM\$ 1.000 y durante la implementación productiva de MM\$ 10.000.

- **Disminución de GEI:** Dado que no se sabe qué proyectos se seleccionarán, no es posible estimar esta disminución.

7. DURACION

Desde el año 2014, hasta el año 2017

8. DESCRIPCION DE ACTIVIDADES A REALIZAR

ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
Actividad 1. Creación de un Programa de Fomento de Proyectos Bioenergéticos Demostrativos.	Junto con CORFO, se establecerán las bases y redactarán los documentos requeridos, para llamar a un concurso para implementar proyectos bioenergéticos demostrativos que tengan un fuerte impacto en la generación y/o el uso eficiente de la bioenergía, que tengan carácter replicable y que ayuden a establecer nuevas capacidades. Los proyectos podrán referirse a los ámbitos calefacción distrital, uso de madera de bosque nativo y tecnologías de densificación de biomasa, o a otros temas trascendentes de la cadena productiva. El período de ejecución será de 24 meses.
Actividad 2. Seguimiento y Control S&C	Se realizará un seguimiento al desarrollo de los proyectos, tanto económico como técnico, con el fin de asegurar que se logren los objetivos planteados en cada iniciativa. Se plantea un periodo de seguimiento de 4 años

9. CRONOGRAMA

Actividades	2014	2015	2016	2017
Actividad 1	X			
Actividad 2		X	X	X

10. PRESUPUESTO ESTIMADO DEL PROGRAMA

Unidad de Desarrollo Tecnológico, Universidad de Concepción



ACTIVIDADES	PRESUPUESTO
Actividad 1(500 MM\$/proyecto) – 3 proyectos subsidiados	1.500
Actividad 2	-
TOTAL (MM\$)	1.500



Línea de Acción 3.1: Formación y capacitación de capital humano en bioenergía

Objetivo

Generar capacidades técnicas y profesionales en el ámbito de la bioenergía, en toda su cadena de valor; principalmente con relación a aquellos procesos y productos energéticos de mayor relevancia productiva.

Descripción

Existen tecnologías probadas de conversión de biomasa para generación de energía, como digestión anaeróbica y combustión, las que ofrecen opciones atractivas para el desarrollo de proyectos bioenergéticos. Sin embargo, se constata una falta de experiencia en los modelos de negocios y la construcción, operación e implementación de estos proyectos, lo que dificulta el desarrollo de la industria bioenergética en el país. Por lo anterior, es necesario incrementar la experiencia nacional en estos ámbitos.

Esta línea de acción aborda aspectos de formación y capacitación para el desarrollo y consolidación de un mercado de la bioenergía en Chile, mediante dos programas. Un programa orientado a la generación de capacidades, tanto a nivel técnico, como profesional, para los diferentes eslabones de la cadena de valor; y otro programa orientado a fomentar la formación técnica a nivel nacional en bioenergía.



FICHA PROGRAMA

3.1.1: FONDO CONCURSABLE PARA CAPACITACIÓN DE PROFESIONALES Y TÉCNICOS EN ÁREA DE LA BIOENERGÍA.

1. INSTITUCION Y RESPONSABLE

Ministerio de Energía (Mandante)

2. OTROS ORGANISMOS INVOLUCRADOS

CONICYT: Apoyo financiero, entidad encargada de la elaboración de bases de concurso y encargados del seguimiento y control

Centro de Energías Renovables: Apoyo en la elaboración de bases de concurso

3. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo general:

Capacitar a técnicos y profesionales que se desempeñen en la cadena productiva de la bioenergía.

Objetivos específicos:

- Convocar a interesados en el ámbito de la bioenergía e incentivarlos a una especialización.
- Incentivar la formación de redes de colaboración entre técnicos y profesionales ligados a la bioenergía.

4. DESCRIPCION

El programa contempla la generación de capacidades mediante cursos específicos que cubran toda la cadena de valor en la industria bioenergética. El público objetivo serán técnicos y profesionales del sector público y privado.

Los cursos esperan abarcar desde el nivel de conceptos básicos para el entendimiento de la bioenergía, las fuentes de generación, los procesos de transformación, los modelos de negocio involucrados y la evaluación de proyectos.



5. PROBLEMA, OPORTUNIDAD Y PERTINENCIA

Una de las barreras para el desarrollo de la bioenergía en el país es la falta de profesionales y técnicos que desarrollen proyectos comerciales y operen eficientemente centrales de bioenergía. También en la prestación de servicios tecnológicos, de análisis y monitoreo existen carencias. Estos aspectos son de especial significación al implementar tecnologías de vanguardia. El programa se ajusta a las necesidades que tiene el país de contar con profesionales y técnicos que puedan reconocer oportunidades, desarrollar y evaluar proyectos, además de estar capacitados para operar unidades productivas.

6. IMPACTOS

Se estima que se capacitará a 200 profesionales y técnicos.

Los indicadores de impactos:

- **Generación de Empleos:** Se espera mejoras en las oportunidades de trabajo de los profesionales y técnicos capacitados, sin embargo, al ser personal con conocimientos previos, no se consideran nuevos puestos de trabajo.
- **Apalancamiento de inversión privada:** No se apalancarán recursos privados directamente.
- **Disminución de GEI:** No se disminuirán las emisiones de GEI de manera directa.

7. DURACION

Convocatoria anual desde 2014, hasta el año 2020

8. DESCRIPCION DE ACTIVIDADES A REALIZAR

ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
Actividad 1. Estudio diagnóstico	Estudio diagnóstico con las principales tecnologías a las cuales estará dirigida la convocatoria.
Actividad 2. Convocatoria y Adjudicación	Se llamará a concursos anuales para la ejecución de capacitaciones en el ámbito de la bioenergía, dirigidos a instituciones académicas y empresas tecnológicas relacionadas con la bioenergía.



9. CRONOGRAMA

Actividades	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Actividad 1	X	X	X	X	X	X	X
Actividad 2	X	X	X	X	X	X	X

10. PRESUPUESTO ESTIMADO DEL PROGRAMA

ACTIVIDADES	PRESUPUESTO
Actividad 2. (20 MM\$/año)	140
Actividad 1. (100 MM\$/año)	700
TOTAL (MM\$)	840



FICHA PROGRAMA

3.1.2: FOMENTO DE LA FORMACIÓN DE TÉCNICOS EN BIOENERGÍA EN CENTROS DE FORMACIÓN TÉCNICA E INSTITUTOS PROFESIONALES

1. INSTITUCION Y RESPONSABLE

Ministerio de Energía. (Mandante)

2. OTROS ORGANISMOS INVOLUCRADOS

Centro de energías Renovables: contraparte técnica y colaboración en las bases de licitación

Ministerio de Educación: entidad fiscalizadora de los planes de estudio propuestos

3. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo general:

Establecer capacidades para la formación de técnicos en Institutos Profesionales (IP) y Centros de Formación Técnica (CFT) en ámbitos relacionados con la bioenergía.

Objetivos específicos:

- Despertar el interés de IP y CFT en temas relacionados con la bioenergía.
- Crear mesas de trabajo entre empresas y IP/CFT relacionados con la formación de recurso humano especializado en bioenergía.

4. DESCRIPCION

Se plantea un programa dirigido a Institutos Profesionales y Centros de Formación Técnica, para crear carreras o especializaciones relacionadas con la generación y el uso de bioenergía. En función de las fuentes de biomasa y tecnologías de conversión señalados en la presente Estrategia, se favorecerá la formación de técnicos en aspectos relacionados con la cadena de suministro de biomasa, tecnologías de combustión y la generación y uso de biogás.



5. PROBLEMA, OPORTUNIDAD Y PERTINENCIA

La cadena productiva relacionada con el uso eficiente y efectivo de bioenergía requiere de personal con una formación técnica adecuada. Esto es particularmente cierto para el personal técnico, cuyas funciones se relacionan prioritariamente con el suministro de la biomasa, su conversión energética, la caracterización de materias primas e intermedias, el control de procesos y el monitoreo de la producción.

A la fecha no existen carreras de formación de técnicos en bioenergía y muy pocas especializaciones en temas relacionados con combustión de biomasa o procesos de digestión anaeróbica.

El programa contempla la creación de carreras o la generación de capacidades a través de cursos específicos en ámbitos relacionados con la bioenergía en Institutos Profesionales o Centros de Formación Técnica. La malla curricular y contenidos deben ser definidos en función de estudios que definan los requerimientos del mercado y mesas de trabajo con los actores más relevantes de los sectores productivos relacionados con la bioenergía.

6. IMPACTOS

Los estudiantes favorecidos se estiman en 2000 hasta el término de la vigencia de la presente Estrategia (6 programas aprobados).

Los indicadores de impactos:

- **Generación de Empleos:** Se espera que del total de técnicos capacitados, por lo menos el 60% se desarrolle profesionalmente en el ámbito de la bioenergía.
- **Apalancamiento de inversión privada:** No se apalancarán recursos privados directamente.
- **Disminución de GEI:** No se disminuirán las emisiones de GEI de manera directa.

7. DURACION

Convocatoria anual desde 2014, hasta el año 2020



8. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES A REALIZAR

ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
Actividad 1. Identificación de competencias laborales requeridas	Estudio diagnóstico con las principales áreas tecnológicas a potenciar para la formación de capacidades técnicas a nivel país en el ámbito de la bioenergía, con el fin de crear un plan de competencias a abordar en los programas.
Actividad 2. Implementación de Programa para la formación y/o especialización de técnicos de nivel superior en bioenergía	En forma conjunta el Ministerio de Educación se formulará e implementará un Programa para crear capacidades de formación y/o especialización de estudiantes de Institutos Profesionales y Centros de Formación Técnica en bioenergía. El programa considerará un llamado anual de proyectos.
Actividad 3. Ejecución de Proyectos	Anualmente se adjudicará la ejecución de un proyecto por parte de Institutos Profesionales y Centros de Formación Técnica, los que tendrán una duración máxima de 4 años.

9. CRONOGRAMA

Actividades	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Actividad 1	X						
Actividad 2	X						
Actividad 3		X	X	X	X	X	X

10. PRESUPUESTO ESTIMADO DEL PROGRAMA

ACTIVIDADES	PRESUPUESTO
Actividad 1.	50
Actividad 2.	50
Actividad 3. (1.150 MM\$/año)	6.900
TOTAL (MM\$)	7.000



Línea de Acción 3.2: Promoción de la biomasa para fines energéticos en la ciudadanía, autoridades y actores de la cadena productiva.

Objetivo

Informar a autoridades, actores de la cadena productiva de la bioenergía y a la ciudadanía sobre el rol trascendente de la biomasa como fuente energética en Chile y sus posibilidades de desarrollo y crecimiento.

Descripción

La biomasa es la segunda fuente energética más importante, junto al carbón y el gas natural, ya que cubre el 20% de la energía primaria del país. Con ello, es la fuente de energía renovable más importante en Chile. No obstante lo anterior, su impacto energético es desconocido o subvalorado por autoridades, actores de la cadena productiva y la ciudadanía. De igual manera, no se reconoce masivamente su carácter renovable y versatilidad de usos, ni se tiene presente su potencial de crecimiento, principalmente para suplir requerimientos térmicos industriales.



FICHA PROGRAMA

3.2.1: PROGRAMA DE SENSIBILIZACIÓN Y DIFUSIÓN DE BIOENERGÍA EN LA CIUDADANIA, DIRIGIDO PRINCIPALMENTE A ESTUDIANTES

1. INSTITUCION Y RESPONSABLE

Ministerio de Energía.(Mandante)

2. OTROS ORGANISMOS INVOLUCRADOS

Conicyt: Apoyo financiero y encargada de la elaboración de bases de concurso

Centro de Energías Renovables: Colaboración en las bases, y revisión de propuestas

Ministerio de Educación: Entidades colaboradoras en la creación del programa

3. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo general:

Crear conciencia en la población, prioritariamente joven, sobre el rol de la bioenergía en la matriz energética nacional y su importancia futura.

Objetivos específicos:

Resaltar el carácter sustentable del uso de biomasa para fines energéticos, si ésta proviene de productos residuales o de cultivos sustentables.

- Destacar la importancia relativa de la bioenergía en Chile, siendo la fuente renovable más significativa.
- Plantear alternativas para el uso integral de la biomasa en Chile, en cuyo contexto, al uso energético le cabe un rol central.

4. DESCRIPCION

Se crearán instancias de información y diálogo con estudiantes de Enseñanza Básica y Media sobre la importancia actual y futura de la bioenergía en Chile, a través de actividades específicas que se acordarán con el Programa Explora de CONICYT. Las acciones concretas deben ser discutidas y acordadas con este organismo, teniendo en cuenta experiencias anteriores.



A su vez, se entregará material informativo a personas interesadas en ferias y eventos técnicos relacionados con la bioenergía, y se mantendrá una página web interactiva, en la que informe y fomente el uso de biomasa con fines energéticos

5. PROBLEMA, OPORTUNIDAD Y PERTINENCIA

La biomasa es una fuente importante de energía renovable en Chile, con cerca de un 20% de participación en la matriz primaria, principalmente como fuente de calor, pero también de electricidad (reconocida como ERNC).

En ambas aplicaciones, generación de electricidad y energía térmica, la biomasa puede crecer fuertemente, haciendo uso de materiales residuales de las actividades forestal y agrícola. Las aplicaciones más promisorias son aquéllas que hacen uso del recurso cerca de los lugares de generación.

Esto, sin embargo, es contradictorio con el hecho que la sociedad no valora la bioenergía de acuerdo a su importancia y potencial de crecimiento. Tampoco existe conciencia sobre las consecuencias asociadas a su uso; en especial: Que la biomasa cultivada sustentablemente para fines energéticos es neutra en cuanto a emisiones netas de dióxido de carbono, que puede contribuir al desarrollo económico local de zonas rurales postergadas; que su cultivo, cosecha y transporte requiere de mucha mano de obra, lo que repercute positivamente en la generación de empleo; y que es un combustible “limpio”, ya que prácticamente no contiene metales pesados, halógenos, azufre o nitrógeno.

6. IMPACTOS

La ejecución del Programa será fundamental para crear conciencia en escolares y, a través de ellos, en toda la comunidad, sobre la importancia de la bioenergía como alternativa a las fuentes energéticas fósiles. Entre los indicadores, cabe plantear los siguientes:

- Participantes en actividades de sensibilización sobre bioenergía: 2.000 estudiantes/año
- Material informativo entregado: 10.000 folletos/año
- Visitas a página web: 50.000 visitas/año

Los indicadores de impactos:

- **Generación de Empleos:** No se crearán empleos directamente
- **Apalancamiento de inversión privada:** No se apalancarán recursos privados directamente.
- **Disminución de GEI:** No se disminuirán las emisiones de GEI de manera directa.



7. DURACION

Convocatoria anual desde 2014, hasta el año 2020

8. DESCRIPCION DE ACTIVIDADES A REALIZAR

ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
Actividad 1. Ejecución de actividades a convenir con el Programa Explora de CONICYT y el Ministerio de Educación	Entre las posibilidades cabe mencionar: Para estudiantes de enseñanza Básica (5º - 8º): - Concurso motivacional (relatos, dibujos). Para estudiantes de Enseñanza Media: - Exposición itinerante sobre bioenergía - Encuentro nacional Investigación Científica Escolar sobre bioenergía
Actividad 2. Preparación y distribución de material informativo.	El material será impreso y digital y estará enfocado a llamar la atención de adolescentes sobre la importancia y trascendencia de la bioenergía. Se distribuirá en eventos que convoquen al público objetivo, entre otros, ferias, encuentros juveniles y seminarios.
Actividad 3. Creación y mantención de página web sobre bioenergía.	La página deberá contener información sobre la disponibilidad y características de recursos biomásicos, tecnologías de conversión energética y proyectos productivos. A su vez, tendencias tecnológicas mundiales, eventos científicos, tecnológicos y de difusión, políticas nacionales e internacionales, etc.

9. CRONOGRAMA

Actividades	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Actividad 1	X	X	X	X	X	X	X
Actividad 2	X	X	X	X	X	X	X
Actividad 3	X	X	X	X	X	X	X



10. PRESUPUESTO ESTIMADO DEL PROGRAMA

ACTIVIDADES	PRESUPUESTO
Actividad 1. (20 MM\$/año)	140
Actividad 2. (5 MM\$/año)	35
Actividad 3.	
TOTAL (MM\$)	175



FICHA PROGRAMA

3.2.2: PROGRAMA DE DIFUSIÓN DE LA BIOENERGÍA EN LOS SECTORES

PÚBLICO Y PRIVADO A TRAVÉS DE TALLERES Y SEMINARIOS.

1. INSTITUCION Y RESPONSABLE

Ministerio de Energía. (Mandante)

2. OTROS ORGANISMOS INVOLUCRADOS

Conicyt: Apoyo financiero y encargada de la elaboración de bases de concurso y del seguimiento y control

Centro de Energías Renovables: Colaboración en las bases, y revisión de propuestas

3. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo general:

Capacitar a profesionales y técnicos en ámbitos relacionados con el uso eficiente, sustentable y ambientalmente responsable de la bioenergía.

Objetivos específicos:

- Entregar información actualizada y relevante para la realidad nacional a profesionales y técnicos relacionados con el ámbito energético.
- Crear una instancia de diálogo y discusión respecto al uso de la bioenergía en Chile.

4. DESCRIPCION

Se plantea desarrollar un programa de talleres y seminarios relacionados con el uso sustentable de biomasa para fines energéticos. Su contenido debe estar relacionado con toda la cadena de valor de la bioenergía, desde aspectos relacionados con el cultivo o recolección del recurso y su transporte, almacenamiento y densificación; hasta procesos de conversión en combustibles sólidos, líquidos o gaseosos; su combustión y eventual integración en procesos industriales existentes o biorrefinerías futuras.



5. PROBLEMA, OPORTUNIDAD Y PERTINENCIA

Si bien la biomasa se usa para fines energéticos desde los comienzos de la humanidad, se trata de un material conocido y cercano para gran parte de la población, debido a su uso estufas y cocinas, a forma de leña. El desafío actual es reemplazar estas formas tradicionales de generación de energía a partir de biomasa, por alternativas más eficientes y menos contaminante. Cabe tener en cuenta que la biomasa es un noble producto energético, sin embargo, sólo si se le utiliza de con las tecnologías adecuadas, y así desplazar de manera paulatina combustibles fósiles por combustibles basados en biomasa agrícola y forestal, para disminuir las emisiones de GEI a nivel nacional.

Este crecimiento del uso energético de biomasa sólo podrá ocurrir, si se tiene a nivel país nociones de las virtudes y limitaciones del recurso. Esto involucra no sólo a los oferentes de productos y servicios directamente relacionados con el sector, sino también a potenciales usuarios, en especial PYMES manufactureras, el comercio y el sector servicios; potenciales proveedores de biomasa y reparticiones públicas relacionadas.

6. IMPACTOS

El Programa impactará positivamente la capacidad de técnicos y profesionales interesados en proveer biomasa o tecnología, promover o ejecutar proyectos, o participar de otras formas en el fortalecimiento de la industria bioenergética en Chile. De esta manera, se impulsará iniciativas tendientes a usar eficientemente la biomasa para fines energéticos.

Se estima realista plantear los siguientes indicadores:

- Número de talleres: 70
- Número de seminarios: 14

Los indicadores de impactos:

- **Generación de Empleos:** No se crearán empleos directamente, pero de manera indirecta sí, ya que es realista plantear que algunos participantes creen o ayuden a crear nuevos negocios relacionados con la bioenergía.
- **Apalancamiento de inversión privada:** No se apalancarán recursos privados directamente.
- **Disminución de GEI:** No se disminuirán las emisiones de GEI de manera directa.



7. DURACION

Desde 2014, hasta el año 2020

8. DESCRIPCION DE ACTIVIDADES A REALIZAR

ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
Actividad 1. Licitación de seminarios	Se licitará anualmente la ejecución de dos seminarios internacionales sobre bioenergía, en ámbitos temáticos específicos. Estos seminarios deberán contar con expertos mundiales reconocidos. (2 anuales)
Actividad 2. Licitación de talleres	Se licitará anualmente la ejecución de 10 talleres sobre bioenergía en la zona central, sur y austral del país, en ámbitos temáticos específicos. (10 anuales)
Actividad 3. Seguimiento y Control	Se informará a la entidad mandante los contenidos de talleres y seminarios, además de los asistentes con su respectiva lista firmada y contactos.

9. CRONOGRAMA

Actividades	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Actividad 1	X	X	X	X	X	X	X
Actividad 2	X	X	X	X	X	X	X
Actividad 3	X	X	X	X	X	X	X



10. PRESUPUESTO ESTIMADO DEL PROGRAMA

ACTIVIDADES	PRESUPUESTO
Actividad 1. (20 MM\$/año) - 10 MM\$/seminario	140
Actividad 2. (50 MM\$/año) - 5 MM\$/taller	350
Actividad 3.	
TOTAL (MM\$)	490



Línea de Acción 3.3: Generación de información sobre disponibilidad y características de biomasa

Objetivo

Generar información pertinente, de carácter público y de periódica actualización, para identificar fuentes de biomasa disponibles, sus potenciales asociados y su variabilidad temporal. La información deberá ser apropiada, para apoyar y orientar al desarrollo de políticas y regulaciones, así como contribuir al análisis de viabilidad de proyectos energéticos en base a biomasa.

Descripción

Actualmente no se cuenta con información de carácter pública actualizada y clara, respecto a los potenciales de los diferentes tipos de biomasa existentes en el país. Si bien se han realizados diversos estudios de potenciales de biomasa, la gran mayoría se refieren a potenciales teóricos, información que no es suficiente para el desarrollo de políticas públicas, ni menos para analizar la viabilidad de proyectos energéticos en base a biomasa.

La línea de acción contempla la generación de información pertinente, que incluye identificar fuentes de biomasa, potenciales asociados y su variabilidad temporal. La información deberá ser adecuada para analizar los diferentes tipos de potencial, aspectos económicos de proyectos y proyección del recurso en el tiempo.

Esta iniciativa complementa la ejecución de la línea de acción “Plataforma Geo referenciada – Potencial Económico para Proyectos de ERNC” señalada en la Estrategia Nacional de Energía 2012-2030, considerando que la falta de conocimiento sobre las fuentes de ERNC constituye una barrera para su integración en la matriz energética de Chile.



FICHA PROGRAMA

3.3.1: AMPLIACIÓN EL EXPLORADOR DE BIOMASA FORESTAL

A OTRAS FUENTES DE BIOMASA

1. INSTITUCION Y RESPONSABLE

Ministerio de Energía. (Mandante y entidad financiadora)

2. OTROS ORGANISMOS INVOLUCRADOS

Ministerio de Agricultura, FIA, INDAP, SAG, CONAF, SEREMIs, Municipalidades, Gobiernos Regionales: facilitadores de información y contraparte técnica según corresponda.

Centro de Energías Renovables: Colaboración en las bases, y revisión de propuestas

3. OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo general:

Ampliar la información pública sobre diferentes tipos de biomasa lignocelulósica disponibles para su uso como combustible.

Objetivos específicos:

- Obtener un catastro de biomasa del sector silvoagropecuario con actualización anual.
- Caracterizar y determinar los RSU de las capitales regionales y principales ciudades del país.
- Estimación del volumen de lodos susceptibles a ser transformados en energía, provenientes de PTAS de las capitales regionales y principales ciudades del país.

4. DESCRIPCION

Este programa pretende el desarrollo de estudios sobre disponibilidad de biomasa con el objeto de poner a disposición del país información pública de calidad y actualizada sobre nuevas opciones de biomasa para uso energético, incluyendo su cuantificación y caracterización física y química como combustible. La información generada será consolidada en una plataforma georreferenciada tomando como base el Explorador de Biomasa Forestal que está siendo desarrollado por el Ministerio de Energía, CONAF y la Universidad Austral de Chile. Dicha metodología se ampliará a otras fuentes de biomasa como por ejemplo residuos silvoagropecuarios, residuos sólidos urbanos y lodos de planta de tratamiento de agua, entre otros. La información contenida será de carácter dinámica y contemplará



catastros de las diferentes fuentes de biomasa, ubicación, calidad, antecedentes de los productores. También, se incluirá un catastro de la demanda de energía térmica y un análisis de áreas geográficas específicas con mayor potencial para el establecimiento de proyectos bioenergéticos

5. PROBLEMA, OPORTUNIDAD Y PERTINENCIA

Chile posee condiciones ventajosas para el desarrollo de la bioenergía, sin embargo, la falta de información certera sobre la disponibilidad y características de los recursos, principalmente, de fuentes subutilizadas, que oriente a organismos públicos y privados a impulsar proyectos de bioenergía, contribuye una barrera para la integración de estos recursos a la matriz energética del país.

Para desarrollar proyectos de aprovechamiento energético con distintas fuentes de biomasa, se requiere conocer información pública confiable sobre el potencial técnico de los diversos tipos de biomasa. Actualmente, nuestro país carece de información detallada y de carácter público, respecto a los potenciales de los diferentes tipos de biomasa existentes en el país. Si bien se han realizados diversos estudios de potenciales de biomasa, la gran mayoría se refieren a potenciales teóricos, información que no es suficiente para el desarrollo de políticas públicas, ni menos para analizar la viabilidad de proyectos energéticos en base a biomasa. Cabe mencionar, además, que varios de los estudios de potencial disponibles públicamente, presentan deficiencias metodológicas, que los hacen no concluyentes.

La primera iniciativa tendiente a generar información técnica sobre recursos de biomasa, lo está llevando a cabo El Ministerio de Energía en conjunto con Conaf y la Universidad Austral de Chile. Este estudio denominado “Explorador de Biomasa Forestal”, es una herramienta georeferenciada, para identificar fuentes de biomasa lignocelulósica, tales como biomasa proveniente de bosque nativo aprovechable para energía y superficie potencialmente disponible para plantaciones dendroenergéticas. Por lo tanto, se requiere ampliar a otras fuentes que no están siendo utilizadas y que representan un potencial interesante para la implementación de proyectos. Ejemplo de ello es el sector silvoagropecuario que presenta opciones de biomasa disponible, tales como rastrojos de cereales o residuos agroindustriales, por otro lado, residuos de plantas de tratamiento de aguas servidas con potencial energético y residuos sólidos urbanos producidos en las principales urbes de nuestro país también pueden ser consideradas como opciones de biomasa disponible para uso energético.

Esta información pública permitirá a distintos actores nacionales e internacionales evaluar la factibilidad de llevar a cabo proyectos energéticos. Este programa apunta a elaborar y publicar estudios que entreguen información detallada por área geográfica sobre otros tipos de biomasa diferentes a la biomasa forestal.



6. IMPACTOS

Este programa mejorará la información pública para los tomadores de decisiones de proyectos energéticos basados en biomasa. Contar con mejor información permitirá el desarrollo de proyectos de energía en localidades con mayor potencial.

La información georeferenciada permitirá conocer las potencialidades de distintas zonas, comunas o provincias del país, con lo cual dichas localidades podrán promocionarse como áreas de interés para la inversión en nuevos proyectos energéticos o reemplazo de fuentes de consumo de combustibles fósiles.

En el caso de biomasa silvoagropecuaria, la publicación de información puede motivar la creación de alianzas o cooperativas entre propietarios de la biomasa en zonas geográficas específicas. Para el caso particular de los rastrojos de los cultivos de cereales, por ejemplo, un impacto medioambiental positivo de su recuperación para su uso como combustible, sería evitar las quemas agrícolas y su consecuente impacto local. De la misma manera, el conocimiento del volumen de biomasa aprovechable energéticamente proveniente de los residuos sólidos urbanos de las principales ciudades del país, permitiría, entre otras cosas, disminuir el volumen de residuos a disponer en rellenos sanitarios.

- **Generación de Empleos:** No se crearán empleos directamente, sin embargo, se espera que la generación de información facilite la creación de nuevos negocios relacionados con la bioenergía.
- **Apalancamiento de inversión privada:** No se apalancarán recursos privados directamente.
- **Disminución de GEI:** No se disminuirán las emisiones de GEI de manera directa.

7. DURACION

Realización de los estudios durante los años 2014 y 2015.



8. DESCRIPCION DE ACTIVIDADES A REALIZAR

ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN
Actividad 1. Llamado a licitaciones para ampliación del Explorador de Biomasa	El Ministerio de Energía desarrollará bases de licitación para ampliar y actualizar el Explorador de Biomasa, de forma que dicha herramienta permita la incorporación de nueva información de nuevas fuentes de biomasa, así como también la actualización de información ya incorporada en el explorador.
Actividad 2. Llamado a licitación para estudios de potencial técnico- económico de biomasa, por fuente y uso energético	El Ministerio de Energía desarrollará bases de licitación para contratar estudios de cuantificación y caracterización de biomasa, diferenciados por fuente y el uso energético (PTAS, RSU, Residuos Silvoagropecuarios entre otros). Los estudios deberán incluir información de productores del recurso, identificación de zonas geográficas con alto potencial de biomasa, y análisis económico del uso energético de biomasa en sectores relevantes.
Actividad 3. Llamado a licitación para estudios de cuantificación de demanda energética	El Ministerio de Energía desarrollará bases de licitación para contratar estudios de cuantificación de demanda energética a nivel industrial, comercial y público, en zonas geográficas con alto potencial de biomasa.

9. CRONOGRAMA

Actividades	2014	2015
Actividad 1	X	X
Actividad 2	X	X
Actividad 3	X	X



10. PRESUPUESTO ESTIMADO DEL PROGRAMA

Actividades	Presupuesto
Actividad 1	300
Actividad 2	200
Actividad 3	200
TOTAL (MM\$)	700



GLOSARIO

Biocombustibles: combustibles producidos a partir de biomasa

Bioenergía: Energía renovable producida a partir de biomasa

BFB: Tecnología de lechos fluidizados burbujeantes

CFB: Tecnología de lecho fluidizado circulante

CHP: Combined Heat and Power. Se refiere a la generación simultánea de calor y energía eléctrica (co-generación)

Cogeneración: Producción combinada de energía térmica y eléctrica

Combustible fósil: Combustible de origen orgánico de edades geológicas pasadas, que se encuentra en la corteza terrestre, tales como petróleo, carbón y gas natural

Cultivos Dendroenergéticos: Cultivos de especies de rápido crecimiento, renovables cíclicamente, que permiten obtener alta cantidad de biomasa con fines energéticos en el corto plazo

Energía Primaria: Energía que no ha sido sometida a procesos de conversión

FAEE: Fatty Acid Ethyl Esters (ésteres etílicos de ácidos grasos)

FAME: Fatty Acid Methyl Esters (ésteres metílicos de ácidos grasos)

GEI: Gases efecto invernadero, aquellos que al estar presentes en la atmósfera provocan un calentamiento de ésta y de la Tierra.

I+D+i: Investigación, desarrollo e innovación

PCI: Poder calorífico inferior.

PCS: Poder calorífico superior

Potencia Instalada: Potencia máxima que puede alcanzar una unidad de producción, ésta es medida a la salida de los bornes del alternador

PF: Tecnología de carbón pulverizado

PTAS: Plantas de tratamiento de aguas servidas

Rendimiento: Relación entre la energía útil a la salida de un sistema y la cantidad de energía suministrada a la entrada.



REFERENCIAS

- Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa AVEBIOM. Rotunda contribución de la biomasa al crecimiento de España. Julio 2012.
- Bergman, P. Combined torrefaction and pelletisation. The TOP process. ECN Biomass, ECN-C-05-073. Julio 2005.
- Bertrán, J.; Morales, E. Estudio Potencial de generación de energía por residuos del manejo forestal en Chile. Proyecto Energías Renovables No Convencionales en Chile (CNE/GTZ). Enero 2008.
- Bidart, C.; Fröhling, M.; Schultmann, F. Municipal solid waste and production of substitute natural gas and electricity as energy alternatives. Applied Thermal Engineering, 51, 1107-1115. 2013.
- Boerrigter, H.; Rauch, R. Review of applications of gases from biomass gasification. ECN Biomass, Coal and Environment Research, ECN-RX-06-066. Junio 2006.
- Borugadda, V.; Goud, V. Biodiesel production from renewable feedstocks: Status and opportunities. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 4763-4784. 2012.
- Breeze, P. Power Generation Technologies. Elsevier. 2005.
- Bridgwater, A.V. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. Biomass and Bioenergy, 38, 68-94. 2012.
- Brownsort, P. Biomass pirólisis processes: Review of scope, control and variability. UKBRC Working Paper 5. Diciembre 2005.
- Centro de Despacho Económico de Carga del Sistema Interconectado Central (CDEC-SIC). Anuario y Estadística de Operación 2002-2011. Chile. 2012
- Chamy, R.; Vivanco, E. Identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponible en Chile para la generación de biogás. Marzo 2007.
- Chew, J.J.; Doshi, V. Recent advances in biomass pretreatment – Torrefaction fundamentals and technology. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, 4212-4222. 2011.
- Chiaramonti, D; Oasmaa, A.; Solantausta, Y. Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11, 1056-1086. 2007.
- CNE; CDEC-SIG; CDEC-SING. Generación Bruta: Sistemas SING 1999-2012. Marzo 2013.



- Corporación Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), Gobierno de Chile. Plan de acción nacional de cambio climático 2008-2012. 2008.
- ENDESA, Presente y Futuro de la Generación de Electricidad en Chile. Septiembre 2012
- Equipo SNG - Fondef, Unidad de Desarrollo Tecnológico UdeC. Informe de técnico- económico de tecnologías de conversión de gases biogénicos. Octubre 2011.
- Equipo SNG - Fondef, Unidad de Desarrollo Tecnológico UdeC. Potencial de biometano en la región del Biobío. Marzo 2011.
- Ericsson, K. Co-firing – A strategy for bioenergy in Poland?. *Energy - The International Journal*, 32, 1838–1847. 2007.
- Gamma Ingenieros S.A. Estudio: Propuesta de Perfeccionamiento de Entorno a Proyectos de Aprovechamiento Energético de Lodos y Residuos Sólidos Urbanos. Enero 2012.
- González, P.; Alvarez, V.; Stange, M.; Herrera, C.; Cohen, M.; Pardo, P. Residuos de la industria primaria de la madera. Disponibilidad para uso energético. CNE, INFOR y GTZ. Octubre 2007.
- Instituto Nacional de Estadísticas INE. Cultivos Anuales, Esenciales, Informe Anual 2011. Chile. 2012.
- International Energy Agency (IEA-Bioenergy); Energy, Research Centre of the Netherlands (ECN); E4tech; Chalmers University of Technology; Copernicus Institute of the University of Utrecht. *Bioenergy - A sustainable and reliable energy source. Main Report.* 2009
- International Renewable Energy Agency (IRENA); Energy Technology Systems Analysis Programme (IEA-ETSAP). *Biomass Co-firing Technology Brief.* IEA-ETSAP and IRENA© Technology Brief E21. Enero 2013.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). *Renewable energy technologies: Cost Analysis Series. Volume 1: Power Sector, Biomass for Power Generation.* Junio 2012.
- International Renewable Energy Agency (IRENA)
- Kleinschmidt, C. Overview of international development in torrefaction.
- Kumar A.; Jones D.; Hanna M. Thermochemical biomass gasification: A review of the current status of technology. *Energies*, 2, 556-581. 2009.



- Lam, M.K.; Lee, K.T.; Mohamed, A.R. Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel. *Biotechnology Advances*, 28, 500-518. 2010.
- Ministerio de Energía. Balance Nacional de Energía (BNE 2011). Chile. 2013.
- Mohan, D.; Pittman, C.(Jr); Steele, P. Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review. *Energy & Fuels*, 20, 848-889. 2006.
- Obernberger, I.; Thek, G. *The Pellets Handbook: The production and thermal utilisation of biomass pellets*. Earthscan. 2010.
- REN21, Steering Committee. *Renewables 2012 Global Status Report*. 2012
- Saldías H.; Ulloa, H. Evaluación comparativa de centrales de generación de energías renovables mediante la aplicación de la nueva ley de fomento a las ERNC aprobada en Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile. Mayo 2008.
- Savolainen, K. Co-firing of biomass in coal-fired utility boilers. *Applied Energy*, 74, 369-381. 2003.
- Solantausta, Y.; Oasmaa, A.; Sipilä, K.; Lindfors, C.; Lehto, J.; Autio, J.; Jokela, P.; Alin, J.; Heiskanen, J. Bio-oil production from biomass: steps toward demonstration. *Energy & Fuels*, 26, 233-240. 2012.
- Tumuluru, J.; Sokhansanj, S.; Wright, C.; Boardman, R. Biomass Torrefaction Process Review and Moving Bed Torrefaction System Model Development. Idaho National Laboratory, Oak Ridge National Laboratory. Agosto 2010.
- Van Loo, S.; Koppejan, J. *Handbook of biomass combustion and co-firing*. Earthscan in the UK and USA. 2008



ANEXOS

Tabla de contenido

ANEXO 1. BENEFICIOS DEL FOMENTO DE LA BIOENERGÍA EN CHILE.....	II
ANEXO 2: MARCO INSTITUCIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA BIOENERGÍA Y ORGANISMOS VINCULADOS.....	V
ANEXO 3. TECNOLOGÍAS DE CONVERSIÓN DE BIOMASA	XIII
ANEXO 4. DISPONIBILIDAD DE BIOMASA.....	XLV
ANEXO 5: ESTADO ACTUAL DE LA BIOENERGÍA EN CHILE.....	LXI
ANEXO 6: MINUTAS ACTIVIDADES ETAPA DE CONSULTA.....	LXVI
ANEXO 7: CO-COMBUSTIÓN, UNA ALTERNATIVA PARA LA INTRODUCCIÓN DE LA BIOMASA EN LA MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL	LXXIII
ANEXO 8: PROGRAMA DE APOYO A LA INVERSIÓN PARA LA ADQUISICIÓN DE CALDERAS A BIOMASA EN PYMES	LXXXV
ANEXO 9: PROGRAMA DE INCENTIVO PARA ESTUDIOS DE PRE-INVERSIÓN DE PROYECTOS DE BIOGÁS.....	LXXXVIII
ANEXO 10. REVISIÓN ESTRATEGIAS INTERNACIONALES DE BIOENERGÍA.....	XCII

ANEXO 1. BENEFICIOS DEL FOMENTO DE LA BIOENERGÍA EN CHILE

La utilización de biomasa con fines energéticos tiene beneficios asociados, como por ejemplo seguridad de suministro energético y baja en la dependencia de combustibles extranjeros, como es el caso de nuestro país, como consecuencia de la disminución en la dependencia energética de fuentes fósiles con una eventual disminución de costos; desarrollo económico local, oportunidades en el manejo de residuos y reducción de la emisión de gases efecto invernadero. Estos beneficios dependen del tipo de biomasa y de la elección de tecnología utilizada para su transformación, entre otros.

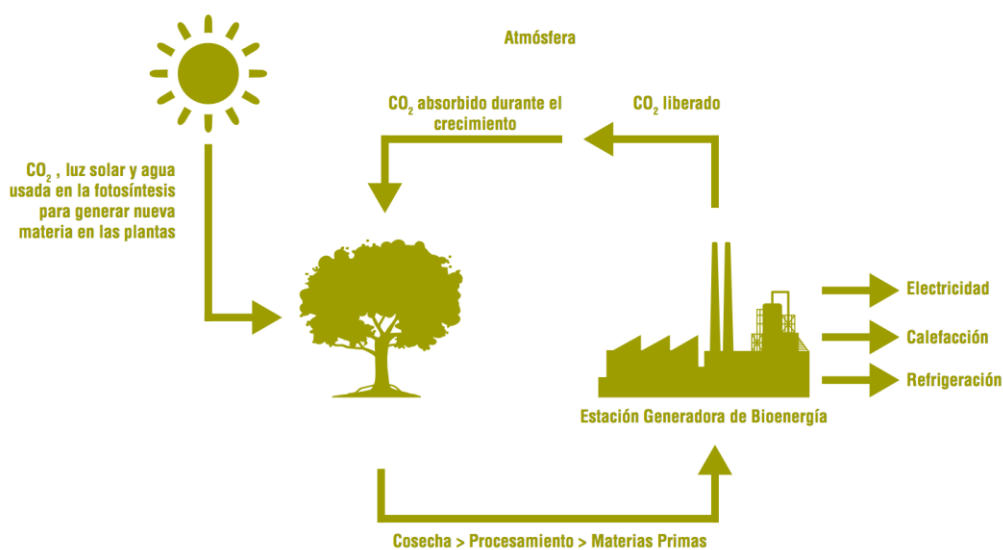
A continuación se detallan algunos beneficios proporcionados por el uso de bioenergía

- **Seguridad energética mediante una fuente de energía renovable:** La biomasa es una fuente de energía producida en Chile, con potencial para desplazar combustibles fósiles de origen externo, tanto como para la generación directa de energía térmica y eléctrica, como a través de biocombustibles sólidos, líquidos y gaseosos.
- **Oferta controlada y continua de energía eléctrica:** La biomasa es una fuente de energía renovable no convencional estable, capaz de producir energía eléctrica en forma continua, sin depender de la variabilidad del recurso como en el caso de la generación eólica o solar. La mayoría de las termoeléctricas a biomasa pueden operar de forma continua o en horas punta, cuando el mercado eléctrico requiere factores de carga similares a las termoeléctricas a carbón, esto es cerca del 90% o más. Por lo mismo, también es una buena alternativa para autoabastecimiento energético. En el caso de plantas generadoras que utilizan como combustible biomasa estacional (por ejemplo, cultivos agrícolas), existe la posibilidad de almacenar la biomasa con objeto de contar con materia prima todo el año, o bien reemplazarla por otro tipo de biomasa durante ciertos periodos.
- **Generación de calor y electricidad simultáneamente:** La bioenergía es capaz de producir energía térmica al mismo tiempo que produce electricidad. La cogeneración corresponde al uso de calor residual del proceso de generación eléctrica. La biomasa, junto con la geotermia y la concentración solar de potencia, son las energías renovables que pueden operar bajo un modo de cogeneración, lo que mejora la eficiencia energética global del proceso, al recuperar el calor que de otra manera se desperdiciaría. Existen oportunidades para el desarrollo de procesos integrales, en que por ejemplo el calor residual de una planta de biomasa abastezca usos de calor o frío en industrias aledañas, edificios públicos o sector residencial, a través de calefacción distrital.
- **Diversificación de industrias:** La bioenergía puede contribuir a que las industrias agrícolas y forestales mantengan su viabilidad económica, al diversificarse hacia la producción de energía. Por una parte, la producción de energía para autoabastecer sus procesos contribuye a paliar los altos costos de la energía e incluso agregar valor al

comercializar los excedentes de electricidad a la red. Por otra parte, las industrias cuentan con la alternativa de diversificar sus productos. Por ejemplo la industria láctea productora de quesos, puede diversificar sus productos a electricidad, calor y proteínas de alto valor.

- **Reducción de emisión de gases efecto invernadero:** De acuerdo al diagnóstico del Plan de Acción de Cambio Climático del Ministerio de Medio Ambiente¹⁰, las emisiones de gases efecto invernadero, o GEI, en Chile representan un 0,2% de las emisiones a nivel mundial. La utilización de biomasa en reemplazo de combustibles fósiles reduce las emisiones de GEI, por considerar que la energía proveniente de biomasa posee un ciclo cerrado de carbono como se explica en la Figura A1.1.

Figura A1.1 Ciclo cerrado de carbono de la bioenergía



Fuente: adaptado Australia, 2008.

- **Generación de empleo y desarrollo económico:** Por las características de la industria de la bioenergía en cuanto a producción, abastecimiento y transporte de la biomasa, y construcción, operación y mantenimiento de las plantas, la bioenergía puede proveer empleo rural y regional, así como importantes beneficios económicos. La

¹⁰<http://www.mma.gob.cl/1304/w3-article-49744.html>

mayor parte de las materias primas para la industria de la bioenergía se originan en áreas rurales y las tecnologías pueden ubicarse de forma altamente descentralizada, generando empleos permanentes y desarrollo económico local. En países europeos, como España, se estimó un promedio de 33 empleos por cada mega Watt eléctrico instalado a partir de biomasa¹¹, en el año 2012. Cabe mencionar que en el Reino Unido se realizó un estudio que revela que para el año 2020, se espera tener una empleabilidad de entre 18 y 22 empleados por mega Watt eléctrico.

Oportunidad de abastecimiento energético local: Existen grandes oportunidades de desarrollar generación distribuida a partir de energías renovables como la bioenergía, para abastecer mercados eléctricos locales, lo que reducirá las pérdidas en transmisión, pudiendo realizarse inversiones en mejorar las redes de distribución locales. Aumentar la proporción de generación eléctrica con fuentes de energías renovables diversas y distribuida, puede también mejorar la seguridad del sistema. Cabe destacar que el desarrollo de un mercado bioenergético entregaría un valor agregado a la industria forestal, que actualmente posee avanzadas capacidades en Chile.

¹¹ AVEBIOM -2012

ANEXO 2: MARCO INSTITUCIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA BIOENERGÍA Y ORGANISMOS VINCULADOS

A2.1. ENTIDADES GUBERNAMENTALES VINCULADAS

Entidades Ministeriales Transversales

- Ministerio de Energía: Órgano superior de colaboración del Presidente de la República en las funciones de gobierno y administración del sector de energía, en especial a través de su División de Energías Renovables, tiene directa relación con la bioenergía ya que su objetivo general es elaborar y coordinar los planes, políticas y normas para el buen funcionamiento y desarrollo del sector, velar por su cumplimiento y asesorar al Gobierno en todas aquellas materias relacionadas con la energía a partir de fuentes renovables.
- Ministerio de Educación: Principalmente su participación se enfoca en la inclusión en el sistema educativo, de programas educacionales que formen capacidades técnicas en bioenergía, lo que contribuirá a la formación integral y permanente de las personas, con el fin de aportar al desarrollo de la utilización de la biomasa con fines energéticos en el país.
- Ministerio de Agricultura: Tiene directa relación con la bioenergía, dado que es la institución del Estado encargada de fomentar, orientar y coordinar la actividad silvoagropecuaria del país, principal insumo de la bioenergía.
- Ministerio de Medio Ambiente: Tiene directa relación con la bioenergía, pues éste órgano del Estado es el encargado del diseño y aplicación de políticas, planes y programas en materia ambiental, así como en la protección y conservación de los recursos naturales renovables e hídricos, promoviendo el desarrollo sustentable, la integridad de la política ambiental y su regulación normativa.

Entidades de Fomento, Financiamiento y Asistencia Técnica

Instituciones que fomentan para el desarrollo de proyectos bioenergéticos, ya sea a través de fondos concursables, financiamiento o asistencia técnica. Las principales entidades identificadas son:

- Centro de Energías Renovables: El CER es un Comité CORFO que tiene por objetivo promover y facilitar las condiciones para el establecimiento de la industria de Energías Renovables no Convencionales (ERNC) en el país.
- CPL: El Consejo Nacional de Producción Limpia (CPL), es un comité CORFO que tiene como rol generar instancias de diálogo y acción que tiene como fin difundir y establecer

un enfoque en la gestión ambiental, poniendo énfasis en la prevención de la contaminación, más que en su control final. En este sentido, se relaciona a la bioenergía evaluando las iniciativas que promuevan la producción limpia y la prevención de la contaminación en el sector productivo.

- SERCOTEC: Servicio de Cooperación Técnica, dependiente del Ministerio de Economía, que tiene por misión promover y apoyar iniciativas de mejoramiento de la competitividad de las micro y pequeñas empresas, en este sentido puede ser un ente fundamental para la asistencia técnica en temas de formación de capacidades en bioenergía.
- AChEE: La Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE) es una fundación de derecho privado, que tiene por misión promover, fortalecer y consolidar el uso eficiente de la energía articulando a los actores relevantes. Por esto es que se identifica como una entidad que puede contribuir al desarrollo competitivo y sustentable de la bioenergía en el país.
- CONAF: La Corporación Nacional Forestal es una entidad de derecho privado dependiente del Ministerio de Agricultura, cuya principal tarea es administrar la política forestal de Chile y fomentar el desarrollo del sector, en este sentido tiene directa relación al desarrollo de la biomasa con fines energéticos.
- CONICYT: Organismo asesor de la Presidencia en materias de desarrollo científico. Su participación es relevante y se enmarca dentro de sus pilares estratégicos: el fomento de la formación de capital humano y el fortalecimiento de la base científica y tecnológica del país, específicamente en materias de fomentar la utilización de biomasa con fines energéticos, a través de la formación de capacidades en bioenergía y en el desarrollo de nuevas tecnologías.
- INDAP: El Instituto de Desarrollo Agropecuario, es un servicio público perteneciente al Ministerio de Agricultura. Su participación en el desarrollo de la bioenergía, va muy relacionado con el objetivo de fomentar y apoyar el desarrollo productivo, tecnológicamente sustentable de la pequeña agricultura.
- FIA: La Fundación para la Innovación Agraria es una agencia de fomento a la innovación dependiente del Ministerio de Agricultura, centra su quehacer en promover la cultura y los procesos de innovación. Para ello apoya iniciativas, genera estrategias, transfiere información y resultados de proyectos y programas innovadores. Es por eso que le cabe una gran participación dado que se espera un despegue de la bioenergía.
- CORFO: Organismo ejecutor de las políticas gubernamentales en el ámbito del emprendimiento y la innovación, a través de herramientas e instrumentos que fomentan la ejecución y el desarrollo de proyectos.

- **ODEPA:** La Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, es un servicio público dependiente del Ministerio de Agricultura. Se vincula directamente con la bioenergía como entidad de asistencia técnica, dado su objeto principal que es proporcionar información regional, nacional e internacional para que los distintos agentes involucrados en la actividad silvoagropecuaria adopten sus decisiones.
- **CIREN:** El Centro de Información de Recursos Naturales, es una institución que proporciona información de recursos naturales renovables, la cual ha logrado reunir la mayor base de datos georeferenciada de suelos, recursos hídricos, clima, información frutícola y forestal que existe en Chile, además del catastro de la propiedad rural. Claramente su vinculación se debe a la información relevante para el desarrollo de la industria bioenergética en Chile.
- **INFOR:** El Instituto Nacional Forestal, tiene por objetivo crear y transferir conocimientos científicos y tecnológicos de excelencia para el uso sostenible de los recursos y ecosistemas forestales, el desarrollo de productos y los servicios derivados; así como, generar información relevante para el sector forestal, en los ámbitos económico, social y ambiental. Vinculándose así como entidad de fomento y asistencia técnica para iniciativas que planteen la utilización de biomasa lignificada con fines energéticos.
- **INIA:** El Instituto de Investigaciones Agropecuarias, es una corporación de derecho privado, dependiente del Ministerio de Agricultura. Dado que su objetivo es generar y transferir conocimientos y tecnologías estratégicas a escala global para producir innovación y mejorar la competitividad en el sector agroalimentario, se vincula al desarrollo de proyectos bioenergéticos en el rubro agropecuario.

Entidades de Normalización y Fiscalización

- **INN:** El Instituto Nacional de Normalización, es una fundación de derecho privado. Su rol es contribuir al desarrollo productivo del país, fomentando la elaboración y uso de normas chilenas. Su participación es como promotor para la elaboración y uso de normas, y como soporte técnico para la elaboración de normas o análisis del marco regulatorio de la Bioenergía en Chile.
- **SEA:** El Servicio de Evaluación Ambiental es un organismo público que tiene como función central tecnificar y administrar el instrumento de gestión ambiental denominado “Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental” (SEIA), cuya gestión se basa en la evaluación ambiental de proyectos ajustada a lo establecido en la norma vigente, fomentando y facilitando la participación ciudadana en la evaluación de los proyectos, en este caso bioenergéticos.

- **SEC:** La Superintendencia de Electricidad y Combustibles, se relaciona con el gobierno a través del Ministerio de Energía. Es la principal agencia pública responsable de supervigilar el mercado de la energía. Por tanto actúa como ente fundamental en la normalización y regulación de la utilización de biomasa para generación de energía, pues deben vigilar que las personas cuenten con productos y servicios seguros y de calidad, en los sistemas de electricidad y combustibles.
- **CDEC:** El Centro de Despacho Económico de Carga, es un organismo que nace como ente para la coordinación de la operación de las instalaciones eléctricas de los concesionarios que operen interconectados entre sí, con el fin de preservar la seguridad del servicio en el sistema eléctrico, garantizar la operación más económica para el conjunto de las instalaciones del sistema eléctrico y garantizar el derecho de servidumbre sobre los sistemas de transmisión establecidos mediante concesión. Principalmente se ve su participación en la introducción a la red de energía eléctrica a partir de biomasa.
- **CNE:** La Comisión Nacional de Energía, es un organismo público y descentralizado, con patrimonio propio y plena capacidad para adquirir y ejercer derechos y obligaciones, que se relaciona con el Presidente de la República por intermedio del Ministerio de Energía. Su principal participación en el marco de la estrategia tiene directa relación con la incorporación de la Co-combustión con ERNC.

A2.2. ENTIDADES NO GUBERNAMENTALES VINCULADAS

Proveedores de Biomasa y Empresas de Logística de Abastecimiento

Empresas que poseen biomasa (lignificada y no lignificada), como pequeños y medianos propietarios de terrenos forestales, industria del aserrío, plantas de tratamiento de aguas servidas, rellenos sanitarios, empresas de crianza de animales, industrias agroalimentarias. Además se consideran empresas de manejo, transporte, recolección y procesamiento de biomasa, que suministran biomasa a centros de transformación.

Algunos ejemplos de empresas pertenecientes a este grupo de actores de la cadena de valor de la biomasa son:

- **INDEF:** A través de su subsidiaria Biomasa Chile S.A., es el líder en Chile en el procesamiento de biomasa forestal con fines energéticos. Actualmente posee una sólida capacidad de procesar y originar biomasa forestal, y es uno de los pocos proveedores en Chile que ejecuta directamente todas las etapas del procesamiento y entrega de biomasa.
- **Sumitomo:** Representante en Chile de Sumitomo Corporation Tokyo, es inversionista local en Ecomas S.A. empresa dedicada a la producción de pellets de madera,

biocombustible renovable orientado a reemplazar combustibles fósiles, en donde alcanza un 50% del capital.

- Aguas Andinas: Empresa chilena de servicios sanitarios, que realiza el suministro de agua potable y alcantarillado, en la mayor parte de la ciudad de Santiago de Chile. Es una de las mayores empresas sanitarias de Latinoamérica. Su participación es como proveedor de biomasa, principalmente con la planta de tratamiento de aguas La Farfana, que es el principal centro de tratamiento de aguas de Santiago, depurando cerca del 60% de las aguas servidas de la región y generando, como subproducto de la descomposición de la materia orgánica (en condiciones anaeróbicas), un promedio de entre 60.000 m³ de biogás.

Proveedores de tecnologías de conversión y desarrolladores de proyectos

Empresas que importan tecnologías de conversión de biomasa desarrollada en el extranjero y empresas desarrolladoras de proyectos a nivel nacional.

Algunas empresas que destacan en el ámbito de la biomasa no lignificada:

- Genera Austral: Empresa chilena, liderada por Sr. Matías Errazuriz. Genera Austral, ex Genera4, se dedica principalmente: identificación de diseño y construcción de proyectos de biogás. Poseen diferentes tecnologías adecuadas a los distintos sustratos. Para ello llevan a cabo previamente un exhaustivo análisis del potencial de los sustratos, el que permite un correcto dimensionamiento de la planta y una elección de los equipos más eficientes, eficaces y convenientes.
- Kaiser Energía: Empresa chilena, liderada por el Dr. Felipe Kaiser. Aborda el desarrollo de proyectos de biogás con tecnología alemana, principalmente. En la actualidad Kaiser Energía se encuentra desarrollando proyectos demostrativos con tecnología nacional, que disminuye los costos de inversión.

A modo de ejemplo de empresa que participa en la venta de tecnologías de conversión para biomasa lignificada:

- Ecalsur: Empresa liderada por Sebastián Solter, lleva 7 años en el mercado de calefacción residencial y generación de energía térmica para el sector comercial e industrial. En sus inicios, la empresa se dedicó principalmente a proveer soluciones de calefacción residencial y al área comercial, como por ejemplo, panaderías y pequeñas industrias. Desde hace dos años se aliaron con la empresa española L. Solé e instalaron la primera planta industrial de vapor con caldera de pellets en Chile.

Empresas Generadores, Operadores y Distribuidoras

Empresas que suministran el servicio de operación de plantas que utilizan biomasa para generación energética, ya sea plantas de biogás o plantas de combustión. Además, empresas distribuidoras del producto, distribuidoras de electricidad y distribuidoras de gas. Empresa que utilizan biomasa con fines energéticos, ya sea para la obtención de energía térmica y/o energía eléctrica.

Algunos ejemplos de empresas que participan como generadores, operadores y distribuidores, son:

- **HBS Energía:** Empresa que se dedica a la generación de energía a partir de la transformación mediante digestión anaeróbica de biomasa. El modelo de negocios de esta empresa cruza todos los negocios de la familia; tomates hidropónicos, naciendo así la empresa Tomaval, Chile Beef, principal productor de carnes Premium del país y Bio Cruz, empresa dedicada a la producción de abejorros para la polinización.
- **ECL:** Empresa del grupo Internacional Power GDF Suez, líder global en la generación de energía. E-CL es la principal generadora eléctrica del norte de Chile y la cuarta del país por capacidad instalada. Su participación va directamente ligada a la introducción de biomasa en sus plantas termoeléctricas a carbón, si bien actualmente no han incursionado en este tipo de generación, pero están participando activamente en proyectos de investigación para la introducción de esta modalidad de generación en Chile.
- **ENDESA:** Endesa Chile, incluyendo el 50% de Gas Atacama, es la principal empresa generadora de energía eléctrica en Chile y una de las compañías más grandes del país. Las principales actividades que desarrollan Endesa Chile, están relacionadas con la generación y comercialización de energía eléctrica. Su pertinencia es el interés en la incorporación de energía a partir de biomasa en sus actividades.
- **Energías Industriales:** EISA ha ofrecido por más de 35 años servicios de suministro de energía térmica a través de vapor o agua caliente a empresas productivas de los diferentes rubros. La empresa cuenta con dos áreas de negocio, estas son: venta de vapor y arriendo de calderas. El vapor generado por EISA es una energía renovable, ya que reemplaza la combustión de combustibles fósiles como petróleo y gas. La venta de vapor se realiza con calderas especialmente diseñadas y construidas para quemar una variada gama de desechos forestales y agroindustriales.
- **Vapores del Sur:** Empresa dedicada a satisfacer las necesidades energéticas del sector industrial a través de la generación de vapor a través de combustión de biomasa. Actualmente, el principal proyecto es la instalación y operación de una planta de generación de vapor en formato ESCO, en Salmofood, comuna de Castro, Chiloé.

- KDM Energía: Empresa enfocada en la generación de energías renovables no convencionales (ERNC) y reducción de emisiones de gases efecto invernadero (GEI). Con la Central Eléctrica Loma Los Colorados, ubicada en el relleno sanitario del mismo nombre en la comuna de Til-Til, a 60 km al norte de la ciudad de Santiago, KDM Energía ha desarrollado en Chile el primer proyecto de generación eléctrica en base a biogás, contribuyendo con ello a la diversificación de la matriz energética del país.

Entidades vinculadas a I+D+i

Instituciones que desarrollan investigación, desarrollo e innovación, que actualmente poseen líneas de investigación en bioenergía, tales como:

Universidades

- Universidad Austral: Poseen experiencia en bosque nativo. El equipo de trabajo realizó un análisis nacional del mercado de la biomasa forestal y su potencial energético, en el marco de un convenio de colaboración para el desarrollo del estudio denominado “Evaluación del Mercado de Biomasa y su Potencial” que incluye también como contraparte técnica a CONAF.
- Universidad de Chile: Han desarrollado proyectos en el área de biogás, liderados por la Dra. María Teresa Varnero. También han presentado algunos proyectos relativos a conversión termoquímica.
- Universidad de Concepción: Se encuentra desarrollando actualmente varios proyectos en el ámbito de la bioenergía. La Facultad de Ciencias Forestales trabaja en la producción de biomasa para energía, plantaciones dendroenergéticas y además plantea mejoras en las técnicas de manejo forestal.
- Universidad de la Frontera: Cuentan con un equipo de trabajo que han desarrollado avances en tecnologías de mejoramiento en la producción de biogás, el equipo se encuentra liderado por el Dr. David Jason.

Centros de Investigación

- Núcleo de Tecnología Curauma (NBC-PUCV): al amparo de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso es una instancia integrada por académicos y profesionales de excelencia dedicados a la investigación avanzada, el desarrollo tecnológico, la innovación y la transferencia tecnológica en el área de la biotecnología, destaca por el grupo de Biogás, dirigido por el Dr. Rolando Chamy.
- Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT-UdeC): Al amparo de la Universidad de Concepción, la UDT es una interfaz entre la investigación académica y la industria. A través de su área de bioenergía posee experiencia en el desarrollo de proyectos para la

obtención de combustibles líquidos, sólidos y gaseosos. Así como también en el desarrollo de tecnologías termoquímicas emergentes, como pirolisis y torrefacción, para la utilización de biomasa con fines energéticos. Además posee experiencia en la determinación de potenciales de biomasa para generación energética y ha trabajado con proyectos de generación, uso y acondicionamiento de biogás con fines de inyección a la red y como combustible vehicular.

Consortios Tecnológicos.

- Consortio Bioenercel: se constituyó el año 2009, para desarrollar bioetanol a partir de madera, en él participan las empresas Arauco, CMPC y Masisa, y las instituciones de I&D Universidad de Concepción, Universidad Católica de Valparaíso y Fundación Chile.
- Consortio BAL Biofuels: creado el año 2011, los socios son BAL Chile, Bio Architecture Lab y la Universidad de Los Lagos, a través de su Centro I-Mar. Este consorcio busca obtener bioetanol a partir del alga *Macrocystis pyrifera*.
- Consortio Biocomsa: constituido el año 2009, por las empresas ENAP, Consorcio Maderero y la Universidad de Chile, y plantea el estudio de alternativas tecnológicas para introducir un combustible diésel Fischer Tropsch en Chile. Este consorcio ha establecido experiencias piloto en plantaciones dendroenergéticas
- Consortio Desert Bioenergy: constituido el año 2011, por las empresas E-CL (Electroandina), Prodalmar, Molinera Gorbea, Universidad de Antofagasta, Universidad de la Frontera, CICITEM, plantea el estudio de alternativas tecnológicas para la generación de combustible diésel a partir de microalgas.
- Consortio Algae fuel: constituido el año 2010, por las empresas E-CL (Edelnor), Copec, Rentapack, Bioscan, Universidad Católica de Chile, busca generar biodiesel a partir de microalgas.

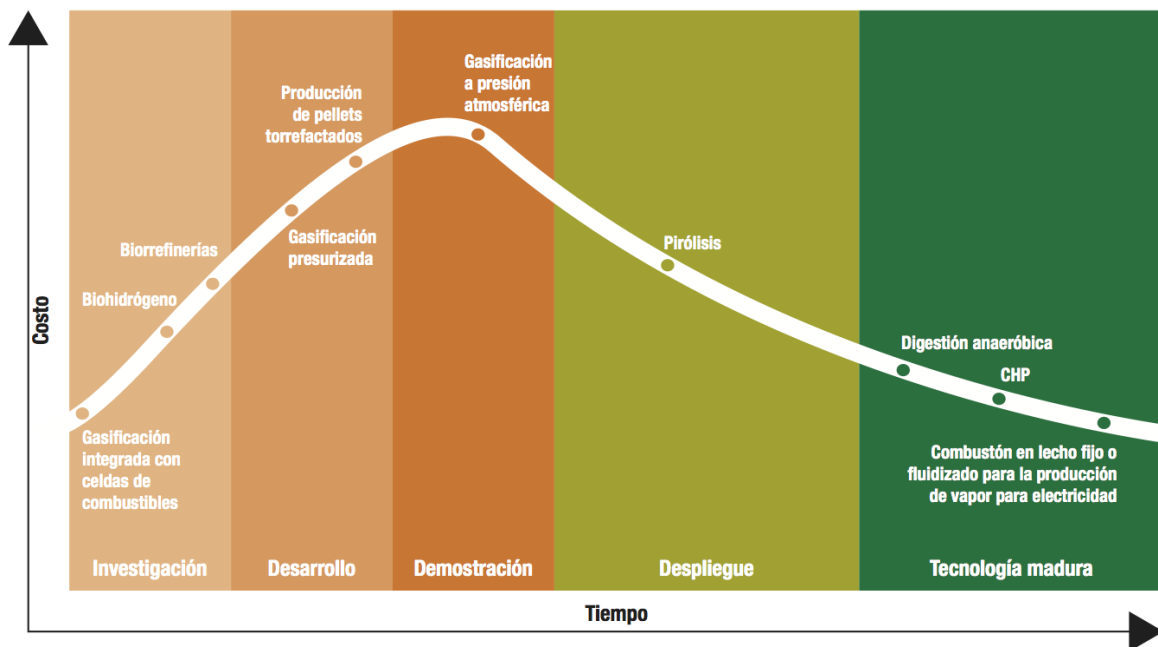
ANEXO 3. TECNOLOGÍAS DE CONVERSIÓN DE BIOMASA

3.1. Introducción

La biomasa puede ser convertida en combustibles y/o energía a través de procesos que pueden ser catalogados de acuerdo a los principios básicos que los sustentan: termoquímicos, biológico, químico y mecánicos. El primero consiste en la descomposición de la biomasa por medio de calor, mientras que en el segundo esto ocurre, debido a la acción de microorganismos. Además, existen alternativas de conversión mecánicas y químicas, en las que se realizan procesos de prensado u otras operaciones unitarias que permiten obtener insumos energéticos aprovechables para la producción de energía térmica y eléctrica.

Una comparación entre el grado de desarrollo y el costo de los procesos, se esquematiza en la Figura A3.1, las cuales se describen en las siguientes secciones.

Figura A3.1: Relación entre estado de desarrollo y costo de tecnologías de conversión de biomasa en energía.



Fuente: Adaptado de International Renewable Energy Agency, 2012¹²

¹² International Renewable Energy Agency. "Renewable energy technologies: Cost analysis series" (2012). IRENA Working Paper.

3.2. Procesos Químicos

Esterificación

a) Descripción

El biodiesel, que está compuesto por ésteres alquílicos de ácidos grasos, es un biocombustible con un alto potencial para sustituir el combustible diesel derivado de petróleo. Se produce mediante una transesterificación de triglicéridos de aceites o grasas con un alcohol de bajo peso molecular, principalmente metanol, en presencia de un catalizador, con generación de glicerol como subproducto. En el caso que se utilice metanol como reactivo, se trata de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME, fatty acid methyl esters), mientras que si se utiliza etanol, el producto resultante será ésteres etílicos (FAEE, fatty acid ethyl esters). El metanol se utiliza comúnmente en la producción de biodiesel, principalmente por el costo y disponibilidad.

Las fuentes renovables para producir biodiesel son aceites naturales (aceites vegetales, grasas animales y aceite de microalgas), siendo los más utilizados a nivel comercial los aceites de soja, palma, raps y colza. Los cultivos energéticos de segunda generación como jatrofa, camelina y microalgas han mostrado mayor potencial como fuentes sostenibles de biodiesel, sin embargo, el costo de la materia prima es la principal desventaja. Una alternativa más económica de materia prima para biodiesel son los aceites vegetales usados, no obstante, presentan algunas dificultades técnicas para su procesamiento, principalmente, por el alto contenido de ácidos grasos libres¹³.

Los aceites y grasas están compuestos de triglicéridos. Las cadenas de ácidos grasos pueden diferir en el número de carbonos y el grado de insaturación (dobles enlaces). El tipo de ácidos grasos de los cuales se componen los triglicéridos difiere considerablemente de un tipo de aceite a otro. La calidad de la materia prima repercute fuertemente en la calidad del biodiesel producido. Dependiendo de las características de la materia prima, se requerirá de pretratamientos con el objeto de producir un aceite vegetal crudo refinado (sin ácidos grasos libres, sin impurezas)¹⁴

La transesterificación puede ser catalizada en medios homogéneos (álcalis y ácidos) y heterogéneos. Los catalizadores homogéneos presentan mayor rendimiento en la obtención de biodiesel cuando el contenido de ácidos grasos libres es menor al 1%. Sin embargo, presentan ciertas desventajas en su aplicación, como por ejemplo, el costo de la separación del catalizador desde la mezcla de reacción, la generación de gran cantidad de agua residual durante la

¹³ Borugadda, V.B.; Goud V. V., Biodiesel production from renewable feedstocks: Status and opportunities. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16(2012), 4763-4784.

¹⁴ Lam, M.K.; Lee K.T.; Mohamed A.R., Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel. A review. Biotechnology Advances 28 (2010), 500-518.

separación, limpieza del catalizador y los productos, y la formación de subproductos no deseados, como jabones.

Con los catalizadores heterogéneos se ha tratado de superar los inconvenientes asociados al uso de catalizadores homogéneos. Los catalizadores heterogéneos son una buena alternativa para reacciones de transesterificación cuando el contenido de ácidos grasos libres es mayor al 1%, ya que muestran una naturaleza menos corrosiva y se pueden evitar las reacciones de saponificación no deseadas. Además, los catalizadores heterogéneos son ambientalmente benignos, pueden ser operados en procesos continuos y pueden ser reutilizados y regenerados.

La selección del proceso de transesterificación depende de la cantidad de ácidos grasos libres, del contenido de agua y de la materia prima. Entre todos los métodos de transesterificación, la reacción basada en catalizadores homogéneos alcalinos (NaOH y KOH) es el método actualmente comercial. La principal razón radica en una cinética más rápida y una operación económicamente viable. El alto consumo de energía y la dificultad de separación del catalizador de los productos han impulsado el desarrollo de catalizadores heterogéneos. Ambientalmente, se estima que los catalizadores heterogéneos y biocatalizadores serán los utilizados en el futuro ¹⁴.

Actualmente, el costo de producción de biodiesel es superior al del diesel de petróleo, por lo que su producción no sería económicamente factible sin la extensión de impuestos y subsidios provenientes del gobierno (en UE y Estados Unidos). El costo global de producción de biodiesel depende fundamentalmente del precio de la materia prima, el que representa el 80% del costo total de producción de biodiesel en caso de utilizar aceites refinados ¹⁴.

b) Ventajas y desventajas

- Las tecnologías de obtención de biodiesel son tecnológicamente simples y están implementadas comercialmente, siendo los países de la Unión Europea los que lideran la producción mundial.
- Junto a aceites producidos masivamente a partir de soya, palmas o raps, es posible utilizar aceites post-consumo, por ejemplo, aquéllos provenientes de cadenas de comida rápida y restaurantes, o grasas residuales de mataderos.
- El cultivo de microalgas para la extracción de aceites y su conversión en biodiesel es posible, sin embargo, en la actualidad no es una alternativa viable económicamente.
- El biodiesel es un combustible compatible con el diesel tradicional, ya que se puede mezclar en toda proporción.
- El biodiesel disminuye las emisiones volátiles en los vehículos, monóxido de carbono e hidrocarburos volátiles, con relación a bencina, y el material particulado, en el caso de diesel.
- No existe disponibilidad de tierras para el cultivo masivo de raps, maravilla u otras oleaginosas destinadas a la producción de biodiesel en Chile; la producción masiva de otros cultivos en terrenos semi-desérticos no ha podido ser demostrada.

- El cultivo de especies oleaginosas para la producción de biodiesel es muy cuestionada desde un punto de vista ecológico, tanto por los efectos de deforestación asociados (ejemplo: palmas en el sudeste asiático) como por altos requerimientos de fertilizantes.
- El rendimiento promedio de biodiesel a partir de oleaginosas es bajo, de 900 litros/ha; en el caso de microalgas, los rendimientos pueden ser sustancialmente mayores.

c) Estado de la tecnología a nivel nacional

En Chile se han implementado diversas iniciativas relacionadas con la producción de biodiesel, entre ellas:

La planta FAME de la empresa Pullman Bus, ubicada en la comuna de Quilicura, utiliza aceites usados, para la producción de biodiesel. Tiene una capacidad de 100.000 litros mensuales, los cuales están destinados para ser mezclados en un 5% con el combustible utilizado en flota de buses.

La planta Ingras de San Bernardo, que también utiliza aceites usados, tiene una capacidad de 100.000 litros mensuales de biodiesel, destinados a la producción de energía eléctrica.

El año 2010, como resultado de un proyecto de investigación de la Universidad de La Frontera, Copec y la empresa Molino Gorbea, se presentó una planta para la producción de biodiesel a partir de raps, junto a una estación de distribución demostrativa, funcionando a escala real.

Los consorcios Algae fuels y Desert Bioenergy, son consorcios empresariales tecnológicos para biocombustibles a partir de microalgas en las regiones del norte de Chile. Ambos plantean obtener biodiesel líquido a partir de microalgas.

Algae fuels, en particular apunta también, a obtener una colección de las mejores variedades de microalgas y el know-how para producir la biomasa, aprovechando las condiciones naturales en el desierto en norte de Chile. Se pretende el uso del dióxido de carbono generado por las microalgas para obtener biodiesel y alimentos.

Alguno de los proyectos I+D, adjudicados en los últimos años son:

- Proyecto Fondef D07I1063 (2007), “Manejo biotecnológico de microalgas oleaginosas nativas para la obtención de biodiesel”, adjudicado por la Universidad de Concepción.
- Proyecto Fondef D08I1181 (2008), “Microbiodiesel”, adjudicado por la Universidad Católica de Temuco.
- Proyecto Fondecyt 1080117 (2008), “Production of biodiesel from Guindilla (Valenzuela Trinervis)”, adjudicado por la Universidad Católica de Chile.
- Proyecto Fondecyt 3080021 (2008), “Biofilm whole cell bioreactor to produce biodiesel from rapeseed oil”, adjudicado por la Universidad de la Frontera.
- Proyecto Fondecyt 1090382 (2009), “Development of an enzymatic membrane reactor (EMR) for high refined biodiesel production”, adjudicado por la Universidad de la Frontera.

3.3. Procesos Biológicos

Fermentación¹⁵

a) Descripción

Este proceso se conoce desde hace muchas décadas; de hecho, durante los años 50 se operaron numerosas plantas de producción de bioetanol en base a licores de plantas de pulpaje al sulfito, principalmente en el norte de Europa. Durante los últimos años los esfuerzos han estado enfocados en la obtención de bioetanol directamente a partir de madera, después de hidrolizar los carbohidratos celulosa y hemicelulosas. El bioetanol resultante puede ser mezclado con bencina en hasta un 20%, para ser utilizado como combustible vehicular. El Brasil también es usan masivamente vehículos Flex que pueden optar por bencina o etanol como combustible.

Las principales etapas durante la producción de etanol a partir de madera son:

- Hidrólisis
- Fermentación
- Concentración de etanol

Existen dos tipos de hidrólisis, éstas son hidrólisis enzimática e hidrólisis ácida, ya sea diluida o concentrada.

La hidrólisis enzimática se aplica a residuos lignocelulósicos y, como su nombre lo sugiere, requiere el uso de enzimas, para descomponer la celulosa en monómeros de azúcares.

El proceso de hidrólisis ácida diluida es uno de los métodos más antiguos para degradar madera en azúcares simples. Ácido sulfúrico se utiliza usualmente como catalizados, en un proceso en dos etapas: Inicialmente a alta concentración de ácido y baja temperatura y posteriormente en un medio diluido a temperaturas que pueden llegar a 200°C. Un problema recurrente es la formación de compuestos de degradación que inhiben la acción de las bacterias o levaduras durante la fermentación. Se trata de compuestos reducidos como furfural e hidroximetilfurfural, y ácido acético, entre otros.

La fermentación puede realizarse en forma continua, semi continua o batch. En ella, levaduras o bacterias utilizan azúcares para su crecimiento, produciendo etanol como producto principal, sin embargo, dependiendo del tipo de microorganismo usado también se puede obtener butanol, acetona, hidrógeno u otros compuestos.

La concentración y purificación del etanol es una etapa que demanda gran cantidad de energía, ya que la fermentación alcohólica difícilmente supera un 18%, siendo concentraciones de

¹⁵ Borugadda,V.; Goud, V. "Biodiesel production from renewable feedstocks: Status and opportunities" (2012). Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 4763–4784

etanol usuales 8 a 10%. El proceso tradicional de concentración es una destilación fraccionada, siendo posible también usar tecnologías de separación por membranas.

b) Ventajas y desventajas

- Proceso de producción conocido y comercialmente establecido, si se basa en materias primas agrícolas, ricas en almidón o sacarosa. También su uso como combustible vehicular es habitual en algunos países del mundo, en especial, en Brasil y Estados Unidos.
- El bioetanol se puede usar mezclado con bencina en motores tipo Otto convencionales, si su proporción no supera un 10%. También existen motores especialmente diseñados para etanol (tecnología Flex, en Brasil).
- El bioetanol puede servir de oxigenante de bencina, reemplazando aditivos para aumentar el octanaje y disminuir la liberación de contaminantes como monóxido de carbono y determinados hidrocarburos.
- Debe contarse con sistemas de logísticos independientes para almacenar y distribuir el bioetanol, ya que éste es sólo parcialmente miscible con combustibles fósiles tradicionales.
- El etanol tiene una entalpía de combustión sustancialmente menor a la de combustibles vehiculares fósiles, debido a su alto contenido de oxígeno.
- El país no dispone de tierras de cultivo para ampliar fuertemente la producción de trigo, maíz o remolacha, principales cultivos agrícolas que tienen potencial para la producción de bioetanol en Chile; se trata de cultivos esenciales, destinados a la alimentación humana. El sentido ambiental y ecológico de producir bioetanol de materias primas agrícolas es muy cuestionable en el país.
- La producción de etanol de madera u otras fuentes lignocelulósicas no son económicamente viables en la actualidad en Chile. El uso de algas, ricas en carbohidratos, es una alternativa de aún mucho más largo plazo.

c) Estado de la tecnología a nivel nacional

En cuanto a las iniciativas en torno al etanol, la compañía The Etanol South Pacific Inc. fue establecida por un consorcio con la participación de 150 medianos agricultores, pretende producir etanol a partir del maíz en la VI Región.

El consorcio Bioenercel, financiado por Innova Chile, fue creado con el fin de desarrollar, captar y adaptar tecnologías y desarrollar recursos humanos para la producción de bioetanol de segunda generación a partir de biomasa forestal. Las principales materias primas de interés son residuos forestales y cultivos energéticos. Participan la Universidad de Concepción, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Fundación Chile, Arauco, CMPC y MASISA.

Otros proyectos I+D, se enumeran a continuación:

- Proyecto CCF-05 del Programa de Investigación Asociativa: PBCT: Fomento de la Vinculación Ciencia-Empresa. “Procesos óptimos para el tratamiento de materiales lignocelulósicos para la producción de bioetanol”. Adjudicado por la Universidad de Chile.
- Proyecto Innova Bio-Bio 5A1416L8 (2007). “Desarrollo y adaptación de tecnologías para la producción de bioetanol: utilización de residuos agrícolas lignocelulósicos”, adjudicado por la Universidad de Concepción.
- Proyecto Fondecyt 1070492 (2007). “Fuel-oriented biorefinery: utilization of agricultural residues in the production of bioethanol”. Adjudicado por la Universidad de Concepción.
- Proyecto Fondecyt 1080303. (2008). “Bioethanol production from bio-organosolv pretreated lignocellulosic material”. Adjudicado por la Universidad de Concepción
- Proyecto Fondecyt 1110819. (2011). “Production of bioethanol using and integrated biorefinery kraft mill”. Adjudicado por la Universidad de Concepción.

Digestión Anaeróbica¹⁶

a) Descripción

La digestión anaeróbica es un proceso de transformación bioquímica de la biomasa y que se desarrolla en ausencia de oxígeno. Los productos principales de esta reacción son una mezcla de metano (55-70%) y dióxido de carbono (45-30%), conocida como biogás, más un residuo sólido estabilizado. El proceso consta de cuatro etapas, las cuales corresponden a hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, siendo la primera etapa la limitante.

El proceso de digestión anaeróbica tiene lugar en reactores que operan en condiciones controladas de temperatura, siendo éstas conocidas como condiciones mesofílica y termofílica. En la primera, el reactor opera en un rango de 30-35°C de temperatura y con tiempos de residencia del orden de 15-30 días, mientras que en la segunda la generación de biogás tiene lugar con temperaturas de operación que varían en el rango de 55-65°C y con tiempos de residencia de 12-15 días. Una condición termofílica ofrece una mayor tasa de producción de biogás, no obstante demanda mayor inversión en tecnología de monitoreo y control, como también un mayor suministro de energía térmica en la operación. Típicamente, el 30-60% de la biomasa que ingresa al digestor es convertida en biogás.

Existe una gran variedad de reactores de digestión anaeróbica que han sido utilizados para la estabilización de residuos y generación de energía, sin embargo, el tipo de reactor más empleado es el continuo de mezcla perfecta. Otros tipo de reactores corresponden a los continuos de flujo pistón, reactores discontinuos, de biomasa fija y de lecho fluidizado

¹⁶ Equipo SNG Fondef. “ Informe de técnico- económico de tecnologías de conversión de gases biogénicos” (2011). Informe de resultados proyecto Fondef D0711109.

b) Ventajas y desventajas

- Las tecnologías de generación de biogás a partir de biomasa están desarrolladas y disponibles en Chile.
- El espectro de materias primas susceptibles de usar en una digestión anaeróbica es amplio, también como mezcla. Particularmente aconsejable es tratar materias orgánicas residuales, generando no sólo un producto energético (biogás), sino también solucionando un problema ambiental (el tratamiento o disposición del residuo).
- El biogás puede ser utilizado para la producción de calor, electricidad o un sustituto de gas natural, después de un proceso de purificación (o *upgrading*, en inglés); el autoconsumo es una posibilidad atractiva en plantas de pequeño tamaño.
- El residuo de una digestión anaeróbica es un sustrato estable, que contiene todos los minerales de la alimentación al biodigestor, y puede ser usado como fertilizante o mejorador de suelos.
- El proceso de obtención de biogás es lento y el gas muy voluminoso bajo condiciones de presión normales, lo que obliga a construir instalaciones de grandes volúmenes y altas inversiones.
- La digestión anaeróbica es un proceso biológico que es muy sensible a las condiciones de operación, como la temperatura, el grado de agitación del reactor y la composición y su homogeneidad en el tiempo de la alimentación. Por este motivo la complejidad en la operación de estos procesos es una desventaja ante otras tecnologías, convirtiéndose en una barrera importante para el desarrollo de esta tecnología.
- Es difícil asegurar un abastecimiento estable y homogéneo de materias primas, sobre todo cuando se trata de residuos de terceros.

c) Estado de la tecnología a nivel nacional.

En Chile existen numerosos proyectos asociados a la producción de biogás, ya sea para generación de calor, co-generación o combustión en antorcha, tanto en construcción, estudio u operación. A modo de ejemplo, cabe mencionar que actualmente hay 16,9 MW eléctricos instalados. Algunos de los proyectos en construcción son:

- Sigdo Koppers S.A., 1 MW, San Pedro – VI Región
- Servinor Ltda., 250 kW, Rungue – Región Metropolitana.
- Agrosuper, planta piloto de 10 kW, El Gomero – VI Región.
- Regin, plantas pilotos 40 kW, Pto Montt – X Región.

Más detalle de los proyectos, al año 2011, se pueden encontrar en el estudio realizado por Gamma que se titula “Modelos de negocio que rentabilicen aplicaciones de biogás en Chile y su fomento”.

Entre los proyectos I+D, destacan los siguientes:

- Fondef D07I1008 (2007). “Purificación de Biogás y conversión de dióxido de carbono a metano”. Adjudicado por la Universidad de Chile
- Proyecto CCF-02 (2007) del Programa de Investigación Asociativa: PBCT: Fomento de la Vinculación Ciencia-Empresa. Adjudicado por la Universidad de Concepción.
- Proyecto Fondef D07I1109 (2007). “Generación y uso de gases biogénicos en Chile como sustituto del gas natural”. Adjudicado por la Universidad de Concepción.
- Proyecto Fondef D08I1192 (2008). “Metano biogénico como combustible vehicular”. Adjudicado por la Universidad de Concepción.
- Proyecto Fondecyt 1101005 (2010) “Dry reforming of methane, as alternative for biogas upgrading, using RH-based catalysts supported on grafted alumina with zirconia, ceria or magnesia”. Adjudicado por la Universidad de Concepción.

En el año 2007, la Universidad Católica de Valparaíso en conjunto con la Universidad de la Frontera, se adjudicaron un proyecto del Programa de Investigación Asociativa de CONICYT, con el propósito de potenciar el biogás como alternativa energética en Chile, llamado “Biogás como fuente ERNC: oportunidades y desafíos”, en cuyo marco se creó RED Biogás, que tiene por objetivo generar una estructura de coordinación estratégica de vinculación ciencia-empresa con la finalidad de promover proyectos energéticos en biogás a nivel nacional, en base a la experiencia exitosa desarrollada en otros países y los potenciales que existen en Chile.

3.4. Procesos Mecánicos

Pretratamientos¹⁷

Tanto para los procesos de conversión mecánica como para los de conversión termoquímica, se requiere disminuir la humedad y el tamaño de partículas de biomasa.

- **Secado**

El secado de biomasa se puede dividir en secado natural y secado forzado.

El secado natural constituye la forma más simple de secado. Biomasa apilada con un bajo grado de compactación se dispersa en un lugar no expuesto a la humedad y se voltea regularmente, para facilitar la evaporación del agua. Esta operación adquiere relevancia cuando se utiliza paja de trigo y granos.

¹⁷ Obernberger, I.; Thek, G. “The Pellets Handbook “ (2010). London: Earthscan

Existen diversos tipos de equipos para secado forzado, entre ellos, los secadores rotatorios, equipos ampliamente utilizados en procesos de peletizado. Este tipo de secado es por contacto indirecto entre la biomasa y el medio calefactor - que puede ser agua, vapor o gas -, el que circula por un haz de tubos que se encuentra en contacto directo con la biomasa. La temperatura de secado es baja, cercana a los 90°C, lo que minimiza las emisiones. Estos secadores se pueden utilizar con astillas de madera, aserrín, virutas y otros.

El secador de tambor se basa en el contacto directo entre un fluido caliente - gas, aire o vapor - y la biomasa. Pueden funcionar en forma directa, cuando el fluido calefactor es el que pasa directamente por el secador, o en forma indirecta, cuando el medio calefactor calienta una corriente de gas que pasa por el secador. La temperatura de entrada del fluido al secador puede estar entre 300 y 600 °C, generando emisiones de material particulado y/o de otros contaminantes.

Otro tipo de equipo relevante para secado forzado es el secador de cinta. En él una cinta se carga de manera uniforme y continua con la materia prima, mediante un tornillo de alimentación. Un ventilador hace pasar el gas de secado en contacto directo con la materia prima. La biomasa se descarga al final del recorrido de la cinta, la cual se limpia continuamente por un cepillo giratorio, para continuar el ciclo. La temperatura de entrada del gas es de 90 y 100° C. A pesar de la ventaja de poder trabajar a baja temperatura, la poca mezcla entre el material y el gas puede producir heterogeneidad en la distribución de humedad en el material; además, es un equipo más costoso que los secadores de tambor y rotatorio.

▪ *Reducción de tamaño*

Cuando se utilizan troncos, ramas o trozas grandes, se deben producir astillas de biomasa, para luego continuar con la reducción de tamaño, si es requerido.

Para el astillado de madera existen dos tipos de equipos importantes: chipeadores de tambor y de discos. Los de tambor consisten en un tambor rotatorio horizontal, en el que se disponen cuchillas en diferentes configuraciones. El material chipeado es transportado a través del secador, para pasar, al final de su recorrido, por una malla estandarizada, que asegura una distribución de tamaño homogénea del material. En los chipeadores de discos, la biomasa es transportada al disco en diferentes ángulos y es cortada por los cuchillos montados sobre él.

Generalmente se utilizan grandes chipeadores de tambor para troncos de hasta 1 m de diámetro, mientras que los de disco se utilizan para tamaños pequeños.

Con respecto a las tecnologías de molienda de astillas de biomasa, las más utilizadas son las de martillos. En su interior se encuentran martillos recubiertos de carburo, montados sobre un rotor. Los martillos empujan el material contra el puente de molienda que se encuentra en la carcasa del molino, donde tiene lugar la molienda. El tamaño de partícula de la salida se determina por la malla que permite la evacuación del material.

La demanda de energía depende del tamaño de partícula requerido. El material húmedo es más difícil de moler, ya que tiende a obstruir los orificios de la malla.

- **Peletización**

- a) Descripción**

Los pellets de biomasa son combustibles sólidos densificados y estandarizados, que se caracterizan por tener un bajo contenido de humedad (alrededor del 10%), tener alta densidad ($> 600 \text{ kg/m}^3$), ser homogéneos y de bajo contenido de cenizas. Poseen forma cilíndrica, con un diámetro típico de 6 mm y largo menor a 40 mm. Sin embargo, dependiendo del uso, el diámetro puede llegar a los 25 mm.

El proceso de producción de pellets comienza con el secado y disminución del tamaño de partículas. Se requiere un tamaño de partícula menor a 4 mm para producir pellets de 6 mm y una humedad del 10%, es por ello que comúnmente se utiliza como materia prima residuos de aserraderos y de industrias elaboradoras de productos madereros.

Existen dos principales tipos de tecnologías para la producción de pellets de biomasa, éstas son prensas de matriz plana y prensas de matriz anular.

Las prensas de matriz anular consisten en una matriz anular perforada dispuesta en forma vertical, la cual gira sobre rodillos fijos, que empujan la biomasa desde el interior hacia afuera, a través de los orificios (canales de compactación) de la matriz. Los pellets son formados debido a la presión que se genera en el interior de los canales. El calor que resulta de la fricción, provoca emigración de lignina contenida en las partículas hacia la superficie de éstas, sustancia que actúa como agente ligante.

En las prensas de matriz plana, son los rodillos los que giran sobre una matriz dispuesta en forma horizontal. La biomasa es empujada hacia abajo, para pasar por los orificios de la matriz.

Los principales parámetros del proceso son:

- El largo y forma de los canales de compactación
- Diámetro de los orificios
- Cantidad, diámetro y ancho de los rodillos.
- Forma de los rodillos, que pueden ser cónicos o cilíndricos.

La alta calidad de los pellets y su homogeneidad crean grandes diferencias en los sistemas de combustión de pellets, en comparación con los sistemas de combustión tradicionales. Debido a la forma de los pellets, éstos pueden fluir, por lo que son aptos para sistemas de alimentación automática.

Los pellets pueden ser utilizados a pequeña escala (hasta 100 kW), media escala (100 a 1000 kW) o gran escala, con capacidades nominales por sobre los 1000 kW.

Existen diferentes tipos de equipos de combustión de pellets, los que pueden ser tipo hornos, estufas o calderas para calefacción central, o equipos de combustión con quemadores

alimentados horizontalmente, desde abajo o por la parte superior. La elección depende principalmente de la capacidad y el uso deseado.

b) Ventajas y desventajas

- La tecnología de producción es simple y está madura, también los equipos de combustión a nivel domiciliario están disponibles en el mercado local.
- Los pellets de madera son un combustible sólido que está estandarizado para uso residencial. Para aplicaciones industriales, el espectro de materias primas es más amplio, pudiendo contener corteza y caña de cereales, por ejemplo; el contenido y composición de las cenizas puede ser un aspecto crítico en estos casos.
- Las estufas de combustión de pellets son eficientes energéticamente y pueden ser alimentadas de manera continua y controlada. Las emisiones son sustancialmente menores a aquéllas de una estufa a leña.
- El costo de calefacción es significativamente menor con pellets que con combustibles fósiles.
- Los pellets pueden transportarse mediante bombas, almacenarse en estanques y cargarse continuamente a equipos de combustión. Por ello, si se cuenta con sistemas logísticos adecuados, el usuario tiene un confort similar al que ofrecen combustibles fósiles tradicionales.
- El costo de adquisición de estufas a pellets es más elevado que el de equipos a leña de capacidad equivalente, la oferta aún es limitada.
- El costo de pellets es mayor al de madera con un bajo grado de elaboración, como leña, astillas y otros residuos lignocelulósicos que se utilizan a nivel residencial e industrial. Además, dado que no existe un mercado desarrollado en Chile, los precios de compra son relativamente elevados y no existen sistemas de distribución a domicilios.

c) Estado de la tecnología a nivel nacional

En Chile existen dos plantas de pellets, éstas son ECOMAS y ANDES BIOPELLET, con una capacidad instalada del orden de los 100 Mt/a; sin embargo, la producción es mucho menor, debido a que el mercado aún es pequeño y se encuentra en estado de desarrollo. Se estima que la producción de pellet en el 2012 llegó a las 30 mil toneladas, correspondiendo el 90% del mercado a Ecomas.

En cuanto al uso de los pellets, éstos son comercializados en el sector público-residencial, principalmente para calefacción de hogares, edificios y hospitales, y en hornos de panadería, entre otros. A nivel industrial, la empresa IANSA, en sus plantas de Linares y Chillán, utiliza pellets de madera como combustible.

Existe además una planta piloto de peletizado que se encuentra en las instalaciones de la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción, la que está destinada a

realizar ensayos con diferentes tipos de materias primas, prestar servicios a la industria y autoconsumo.

3.5. Procesos Termoquímicos

Combustión^{18 19}

a) Descripción

La combustión directa de biomasa para generación de energía es una tecnología madura y comercialmente disponible, puede ser aplicada en un amplio rango de escalas, desde unos pocos kW (calefacción residencial) a varios MW (generación industrial de calor y/o electricidad).

Las aplicaciones domésticas incluyen chimeneas convencionales y de alta eficiencia, hornos y calderas para calefacción central.

A nivel industrial, la disponibilidad de biomasa y los costos de transporte tienen una fuerte influencia en el tamaño del proyecto y los aspectos económicos relacionados. Sin embargo, es necesario evaluar cada caso; tratamientos orientados a aumentar la densidad energética pueden colaborar a reducir estos impactos.

a.1) Tecnologías

▪ *Combustión*

Para aplicaciones industriales se pueden distinguir tres tipos de tecnologías, éstas son combustión en lecho fijo, combustión en lecho fluidizado y sistema de combustión pulverizado (ver Figura A3.3).

En el lecho fijo, la biomasa es combustionada produciendo gases de salida calientes que son usados para producir vapor. Las cenizas del combustible quemado son removidas por parrillas fijas o móviles⁷. Existen dos tipos principales de alimentadores. Los “alimentadores inferiores” que alimentan a las calderas de aire y combustible bajo la parrilla y los “alimentadores superiores” que suministran combustible a la caldera desde arriba de la parrilla y aire desde abajo.

Los hornos de parrilla (alimentadores superiores) son apropiados para biomasa húmeda, con tamaño de partícula variable y alto contenido de cenizas; entre ellos se encuentran los de parrilla fija, parrilla móvil, “travelling” parrilla, parrillas rotatorias y parrillas vibratorias⁷.

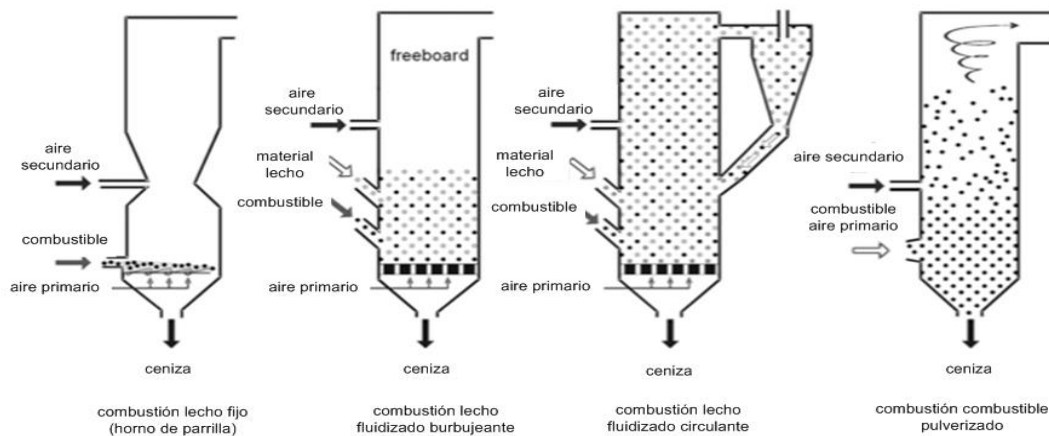
¹⁸ Breeze, P. “Power Generation Technologies” (2005). Oxford: Elseiver

¹⁹ Van Loo, S.; Koppejan, J. “The handbook of biomass combustion and co-firing” (2008). London: Earthscan

Todas estas tecnologías tienen ventajas y desventajas específicas y la selección depende principalmente del tipo de biomasa a utilizar.

Los alimentadores inferiores se utilizan para instalaciones con capacidad nominal menor a 6 MW_t. La biomasa se alimenta en la cámara de combustión a través de un tornillo alimentador desde abajo. El aire primario es alimentado a través de la parrilla, mientras que el aire secundario se alimenta en la entrada de la cámara secundaria de combustión. Se utilizan para biomasa de bajo contenido de humedad y tamaños de partícula menores a 50 mm. En estos equipos las cenizas con bajo punto de fusión causan problemas.

Figura A3.3. Tecnologías de combustión de biomasa



Fuente: Adaptado de van Loo y Koppejan, 2008

Los lechos fluidizados consisten en un estanque cilíndrico lleno de una mezcla en suspensión a alta temperatura de biomasa con un material inerte, que puede ser arena, sílice o dolomita, que representa entre 90-98% de la mezcla del lecho. La alta transferencia de calor que se produce en el lecho favorece la combustión completa a baja temperatura (650-900 °C), con bajo exceso de aire (1,1 – 1,3), y permite la alimentación simultánea de diversos tipos de biomasa, con altas humedades y tamaños de partícula relativamente grandes (40-80 mm). Pueden ser clasificados como unidades atmosféricas o a presión. Los lechos fluidizados atmosféricos, a su vez, pueden dividirse en lechos fluidizados burbujeantes (BFB) y lechos fluidizados circulantes (CFB). La diferencia entre ambas tecnologías radica principalmente en la velocidad de fluidización del combustible. En los lechos circulantes, la velocidad del aire es elevada (5-10 m/s), permitiendo que el combustible circule a través de la caldera, siendo recuperado desde los gases de salida y devueltos al lecho, para su combustión completa. En el caso de las unidades a presión también existen calderas CFB, pero para la combustión de biomasa se acostumbra a utilizar BFB. Tanto la inversión como los costos de operación son elevados, por lo que se les acostumbra a implementar para requerimientos sobre los 20 MW_t.

En los sistemas de combustión pulverizada, la biomasa, en forma de aserrín o viruta fina, es inyectada neumáticamente al horno. El aire utilizado para el transporte se utiliza como aire primario, para la combustión. El tamaño de partícula máximo permitido es de 20 mm y la humedad no debe exceder el 20%. Este tipo de tecnologías es poco utilizada para biomasa²⁰, principalmente recurren a ella las grandes termoeléctricas en base carbón.

El vapor producido por cualquiera de las tecnologías antes mencionadas es utilizado directamente en diversos procesos industriales (eficiencia del 60-90%) o inyectado a turbinas de vapor para generar electricidad (eficiencia del 10-30%).

Co-generación (CHP)

La co-generación es la producción simultánea de electricidad y calor desde una única fuente de energía. Los sistemas CHP (combined heat and power) pueden alcanzar mayores eficiencias que la producción de electricidad, pues utilizan el calor residual en procesos industriales y/o en sistemas de calefacción distrital. En la medida que se utilice calor de menor calidad (menor energía), mayor será la eficiencia global del procesos (eficiencias 60-90%). La viabilidad de las plantas CHP de biomasa, usualmente, dependen del precio de la electricidad, de la existencia de una fuente de consumo de energía térmica y de la disponibilidad y costo del suministro de materia prima.

Co-Combustión

La co-combustión de biomasa con carbón en grandes plantas termoeléctricas en base carbón se está convirtiendo rápidamente en una alternativa común. En Estados Unidos y Europa existe una capacidad instalada de aproximadamente 100 GW²¹ con una proporción de un 3% a un 95% de biomasa en el combustible. La ventaja de co-combustionar biomasa es que la eficiencia eléctrica suele ser más alta que en plantas que sólo combustionan biomasa.

Existen tres tipos de tecnologías para co-combustión:

- Co-combustión directa, en la que la biomasa y el carbón son alimentadas juntas en la caldera
- Co-combustión indirecta, donde la biomasa es transformada en gas y quemada con el carbón.
- Co-combustión paralela en la que la biomasa es quemada por separado y el vapor generado es suministrado a una planta de carbón

²⁰ Debido a las propiedades mecánicas (gran elasticidad) de la biomasa

²¹ IEA Bioenergy (2009), Bioenergy – a Sustainable and Reliable Energy Source: A review of status and prospects

Para más detalles ver el Anexo 4 de co-combustión.

a.2) Aspectos Ambientales

La combustión de biomasa ofrece ventajas medioambientales reconocidas:

- Reducción neta de las emisiones de CO₂ si se usa biomasa proveniente de un cultivo sustentable.
- Reducción en emisiones de SO_x, por un menor contenido de azufre de la biomasa.
- Reducción de emisiones de NO_x, debido a un muy bajo contenido de nitrógeno y una temperatura de combustión menor.
- Reducción en la emisión de material particulado, atribuible tanto a un menor contenido de cenizas, como a una mayor reactividad de la biomasa en la combustión.

Aun cuando la combustión de biomasa presenta numerosas cualidades desde un punto de vista ambiental, se requieren sistemas de abatimiento para mitigar las emisiones que se generan en la combustión, tales como; ciclones, lavado de gases y precipitadores electroestáticos, entre otros.

a.3) Tecnologías de abatimiento

a.3.1) Tecnologías de abatimiento de material particulado

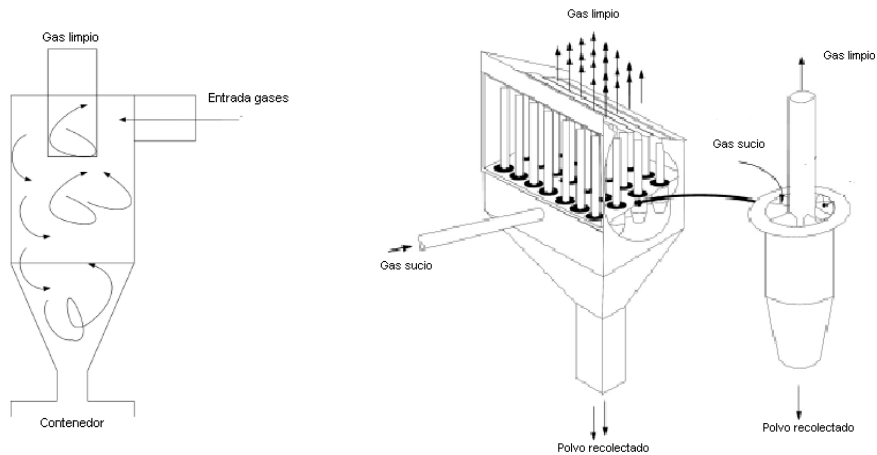
Ciclones y multiciclones

Un ciclón corresponde a un equipo circular, en el que la separación de partículas se produce por un efecto combinado de gravedad y fuerza centrífuga. En el equipo, los gases de combustión son obligados a seguir una trayectoria helicoidal, lo que produce una fuerza centrífuga sobre las partículas, obligándolas a que migren hacia el exterior de la corriente gaseosa y caigan al interior de un contenedor (Figura A3.4). La trayectoria de los gases puede ser forzada mediante dos mecanismos:

- El gas entra al ciclón en forma tangencial.
- El gas entra al ciclón en forma axial y es obligado a rotar usando un soplador.

La eficiencia de estos equipos aumenta con el peso de las partículas (tamaño), siendo eficientes sólo para la remoción de partículas mayores a 10 micrones.

Figura A3.4. Esquema de un ciclón (iz) y multiciclón (der).



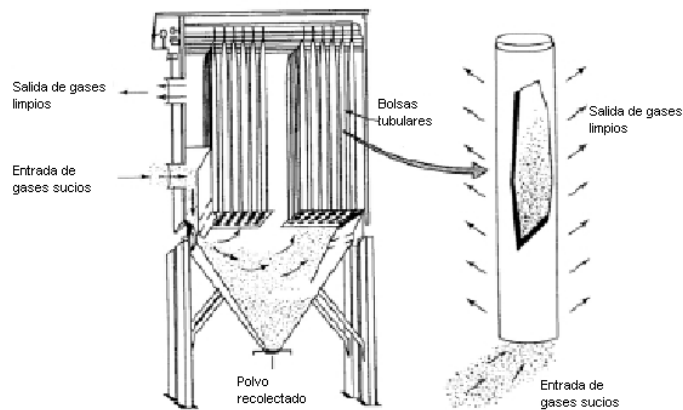
Fuente: Adaptado de van Loo y Koppejan, 2008

Un multiciclón consiste en un número determinado de ciclones de diámetro pequeño funcionando en paralelo. Esto se realiza para mejorar la eficiencia, aumentando la velocidad en la superficie interna de los ciclones y la superficie de contacto, que permite aumentar la retención de partículas.

Filtro de mangas

El principio de operación de los filtros de mangas es relativamente simple. Consiste una serie de bolsas de tela, de forma tubular, que se disponen verticalmente en un compartimento. El gas pasa a lo largo de las bolsas y luego radialmente a través de la tela (Figura A3.5). De esta forma, las partículas quedan retenidas en las paredes de las bolsas. Dependiendo del tipo de tela, se pueden retener partículas desde 0.1 micrones. Sin embargo, no son recomendados para fuentes que puedan emitir hidrocarburos condensables.

Figura A3.5. Esquema de un filtro de mangas



Fuente: Adaptado de van Loo y Koppejan, 2008

Los filtros de mangas se operan cíclicamente, alternado periodos largos de filtrado y periodos cortos de limpieza. De acuerdo al sistema de limpieza, se pueden clasificar en:

- Filtro de limpiado por pulso de aire: En este tipo de filtros las bolsas son cerradas en el fondo, abiertas en la parte superior y soportadas por retenes interiores llamados jaulas. El gas fluye desde el exterior hacia el interior de las bolsas y después hacia afuera por el escape de gas. Las partículas son recolectadas sobre el exterior de las bolsas y caen dentro de una tolva debajo del filtro de tela. Durante la limpieza, se inyecta pulso de gas a alta presión (0.03 a 0.1 segundos, 90 -100 psig) dentro de las bolsas. El pulso es soplado a través de una boquilla en la parte superior de las bolsas y establece una onda de shock que continúa adelante y hacia el fondo de la bolsa. La onda hace que la tela se flexione, se aleje de la jaula y vuelva enseguida a ésta con fuerza, desprendiendo la pasta de polvo.
- Filtro de limpiado por flujo de aire invertido: En este tipo de filtro las bolsas están abiertas en el fondo, cerradas en la parte superior y el gas fluye desde el interior hacia el exterior de las bolsas, mientras el polvo es capturado en el interior. Sin embargo, algunos pueden recolectar polvo sobre el exterior de las bolsas. La limpieza se realiza forzando aire limpio a través de los filtros en la dirección opuesta al flujo de gas con material particulado. El cambio en dirección del flujo de gas causa que la bolsa se pliegue y rompa la pasta del filtro, la cual es luego recolectada.

- Filtros limpiados por agitación: En ellos, las bolsas se encuentran unidas a una barra agitadora, por su extremo superior. Al momento de la limpieza, la barra se mueve rápidamente, haciendo que la tela se flexione y la pasta de polvo se resquebre y caiga dentro de la tolva. No toda la pasta es removida del filtro, sino que una parte es dejada, para mantener la eficiencia de recolección. Estos filtros son muy flexibles en su diseño, permitiendo diferentes tipos de telas, arreglos de bolsas y tamaños de filtros de tela.

Precipitadores electrostáticos

Los precipitadores electrostáticos utilizan campos eléctricos para extraer partículas desde una corriente de gas. Se utilizan comúnmente para remover partículas sólidas o líquidas desde grandes flujos continuos de gases, como los gases de combustión de grandes calderas, con eficiencias del orden de 95-99%.

Los principales tipos de precipitadores electrostáticos son:

- Precipitadores de placa alambre: En ellos, el gas fluye entre placas paralelas de metal y electrodos con alto voltaje. Estos electrodos son alambres largos con pesas, colgando entre las placas o soportados por armazones rígidos. El flujo del gas debe pasar por cada alambre a medida que fluye a través de la unidad. Las partículas se depositan en las placas y en el alambre electrodo de descarga, desde donde son removidas mediante golpeteos. El voltaje causa que el aire entre los electrodos se rompa eléctricamente, una acción conocida como “corona”. Generalmente a los electrodos se les da una polaridad negativa, ya que la corona resiste mayor voltaje negativo que positivo antes de que se generen chispas. Los iones generados en la corona siguen las líneas del campo eléctrico desde los alambres hasta las placas recolectoras. Luego, cada alambre establece una zona de carga a través de la cual las partículas deben pasar, las cuales, interceptan a algunos de los iones, los que se les adhieren. A medida que las partículas pasan cada alambre, sucesivamente son llevadas cada vez más cerca de las paredes, sin embargo, la turbulencia en el gas tiende a mantenerlas uniformemente mezcladas en el gas; luego, se genera una competencia entre las fuerzas eléctricas y las dispersoras. Cuando las partículas se acercan mucho a las paredes, la turbulencia decae a niveles bajos y las partículas son recolectadas. Tienen mejor eficiencia para partículas mayores a 10 micrones.
- Precipitadores de placa plana: Generalmente se utilizan para caudales entre 170.000 y 340.000 m³/hr. Las placas planas incrementan el campo eléctrico promedio que puede ser usado para recolectar las partículas y proporcionan un área superficial mayor para la recolección de las partículas. Las coronas no pueden generarse sobre las placas planas por sí mismas, por lo que se colocan electrodos generadores de coronas, que pueden ser agujas puntiagudas adheridas a los bordes de las placas o alambres de corona independientes. Pueden operar con polaridad positiva o negativa. Tienen amplia aplicación en la remoción de partículas de alta resistividad con diámetros másicos medios pequeños (de 1 a 2 μm).
- Precipitadores tubulares: Este tipo de precipitador, como su nombre lo indica, son tubos en los que los electrodos a alto voltaje se orientan a lo largo del eje. Generalmente se utilizan varios tubos operando en paralelo, para grandes flujos de gas. Los tubos pueden tener forma circular, cuadrada o hexagonal, dentro de los cuales el

gas puede fluir hacia arriba o hacia abajo. El electrodo en un tubo opera a un voltaje en toda la longitud y la corriente varía a medida que las partículas son removidas del sistema.

- Precipitadores húmedos: Corresponde a un precipitador, en cualquiera de las configuraciones mencionadas anteriormente, que opera con paredes húmedas en vez de secas. A las paredes se les puede aplicar un flujo de agua en forma continua o intermitente, que permite lavar las partículas recolectadas hacia un contenedor para su disposición.
- Precipitadores de dos etapas: Corresponde a un dispositivo en el que el electrodo de descarga o ionizador se encuentra en serie y seguido por los electrodos de recolección. Tiene la ventaja de aumentar el tiempo de carga de las partículas. Este tipo de precipitador es generalmente utilizado para volúmenes de flujo de gas menores a 85,000 m³/hr. Pueden colocarse módulos en paralelo o en arreglos serie-paralelo, consistentes de un pre-filtro mecánico, ionizador, celda de la placa recolectora, post-filtro y caja de poder.

La siguiente tabla presenta la aplicabilidad de cada uno de los precipitadores electrostáticos:

Tabla A3.1. Aplicabilidad de los diferentes tipos de precipitadores electrostáticos.

Tipo	Aplicación
Placa Alambre	Grandes volúmenes de gas (> 340.000 m ³ /hr).
Placa Plana	Para volúmenes de gas entre 170.000 y 340.000 m ³ /hr. Para partículas de alta resistividad con diámetros másicos medios pequeños de 1 a 2 µm.
Tubular	Se aplican donde el particulado es húmedo y pegajoso.
Húmedos	Cualquiera de los tipos anteriores puede operar con paredes húmedas en vez de secas. Este sistema mejora la recolección de partículas, permitiendo mayores velocidades de flujo y por lo tanto permite reducir los tamaños de los equipos.
Dos Etapas	Para flujos menores a 85.000 m ³ /hr. Se aplican a fuentes submicrométricas emitiendo vapores de aceite, humos, gases de combustión u otros particulados pegajosos.

Torres de lavado o scrubbers

En estos sistemas los contaminantes son removidos principalmente mediante impacto, difusión, intercepción y/o absorción del contaminante sobre pequeñas gotas de agua. Además de material particulado, dependiendo de los aditivos que se le pueden añadir al flujo de agua, también pueden remover NO_x, SO_s, contaminantes ácidos o metales volátiles. Se distinguen 5 tipos de torres de lavado, éstos son:

- Torres de aspersión: El tipo más simple de torres de lavado, en ellas el gas entra a una cámara en la que se pone en contacto con el vapor de agua producido por boquillas de aspersión. La aspersión del líquido puede ser en contracorriente, co-corriente o perpendicular al flujo de gas.
- Torres de aspersión ciclónica: En ellas, la corriente del gas residual fluye a través de la cámara en un movimiento ciclónico, que se produce debido a que el gas entra tangencial a la pared de la cámara o debido a la acción de espas giratorias. El agua de lavado es rociada desde boquillas dispuestas una tubería central o desde la parte superior de la torre. En estos equipos las gotas de líquido atrapadas en la corriente de gas experimentan una fuerza centrífuga, causando que migren hacia las paredes de la torre. Las gotas se impactan contra la pared de la torre y caen al fondo de la misma.
- Torres de lavado dinámicas: Son similares a las torres de aspersión, pero con la adición de un rotor eléctrico, que puede estar dentro o fuera de la torre, y cuya función es cortar el agua de lavado en gotas finamente dispersas. Un eliminador de rocío o un separador ciclónico remueven el líquido y el material particulado capturado. Estos sistemas remueven eficientemente el material fino.
- Columnas de platos: Consisten en una torre vertical con una serie de platos perforados montados horizontalmente dentro de la torre. El gas entra a la torre por el fondo y sube a través de orificios en las bandejas, mientras el líquido fluye desde arriba a través de cada plato. El objetivo de los platos es proporcionar más área de contacto líquido-gas.
- Torres de lavado por Venturi: En ellas, el flujo de gas se hace pasar por una boquilla tipo Venturi, en la que las gotas de líquido se inyectan justo antes de la restricción de área, de modo que las partículas a alta velocidad chocan con el líquido que se mueve a menor velocidad, sacándolas del flujo de gas.

En la siguiente tabla se comparan los tipos de torres de lavado:

Tabla A3.2. Comparación de los tipos de torre de lavado.

Tipo	Aplicación	Flujo de gases m ³ /h	
Aspersión	Material particulado grueso	> 5µm(§) 90% 3-5 µm 60-80% < 3 µm < 50%	2.500 a 170.000
Ciclónico	Material particulado grueso y fino	> 5 µm 95% < 1 µm 60-75%	2.500 a 170.000
Dinámico	Material particulado fino	> 5 µm 95% < 1 µm 60-75%	1.700 a 85.000
Bandejas	Material particulado grueso y gases solubles	5 µm 97% < 1 µm 50%	1.700 a 127.000
Venturi	Material particulado grueso y fino	> 5 µm 99% < 1 µm 50%	1.700 a 153.000

a.3.2) Tecnologías de abatimiento de óxido de azufre

Existen tres métodos principales para disminuir las emisiones de óxido de azufre, las cuales son:

- Utilizar combustible con bajo contenido de azufre, que es el caso de la biomasa
- Reducir el contenido de azufre en los gases de salida
- Combustión en lecho fluidizado

Entre los mecanismos de reducción de azufre en los gases de salida, los más utilizados son los lavadores de gases húmedos, los cuales son similares a los lavadores para material particulado, pero en vez de agua se utiliza una solución alcalina como solvente, usualmente agua con cal. El flujo del gas puede ser a contracorriente, perpendicular o en paralelo con el líquido, comúnmente se utiliza la configuración en contracorriente, en los que el gas entra por el fondo del equipo.

Los equipos de absorción se pueden clasificar en torres empacadas, columnas de platos, torres de lavado por Venturi y cámaras de aspersión.

Las torres empacadas son los más utilizados y consisten en torres rellenas de un material de empaque, cuya función es proporcionar un área de superficie grande para facilitar el contacto entre el líquido y el gas. Estas torres pueden alcanzar altas eficiencias de remoción y tienen menos requerimientos de agua que otros sistemas de absorción, sin embargo, en el interior de ellas se pueden generar altas caídas de presión y obstrucción.

Las tecnologías de combustión de lecho fluidizado permiten el control de óxido de azufre, mezclando caliza molida o cal con el combustible, lo que produce la remoción del SO_2 en cuanto éste se forma. Esto se produce debido a que el SO_2 reacciona con cal formando compuestos sólidos, que luego son retirados junto con las cenizas. Se utiliza generalmente caliza, debido a que tiene menor costo, además y a que a las temperaturas del lecho ésta se descompone formando cal.

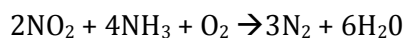
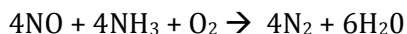
a.3.3) Tecnologías para monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles

El control de las emisiones de monóxido de carbono y de compuestos orgánicos volátiles se realiza usualmente mejorando el proceso de combustión y no mediante procesos de abatimiento, debido a que se producen por la combustión incompleta del combustible.

a.3.4) Tecnologías de abatimiento de óxidos de nitrógeno (NO_x)

Para controlar las emisiones de óxidos de nitrógeno, existen los siguientes métodos aplicables a la combustión de biomasa:

- Disminución del exceso de aire en la combustión: Al disminuir el exceso de aire se limita la concentración de oxígeno en la zona de combustión, reduciendo así la formación de NO_x. La reducción del exceso de aire también se traduce en una reducción de los requerimientos de energía.
- Recirculación de los gases de combustión: Consiste en extraer una fracción de los gases de combustión desde la salida del economizador y retornarlos hacia el aire primario, lo que produce una disminución en la concentración de oxígeno en la zona de combustión y, por lo tanto, una caída de la temperatura de combustión.
- Reducción catalítica selectiva: Consiste en introducir un agente reductor (amoníaco o urea) a la corriente de gases de combustión. La urea en las condiciones de operación produce a su vez amoníaco. El amoníaco, al pasar a través de un lecho catalítico reduce selectivamente los NO_x. Las reacciones que se llevan a cabo son las siguiente:



Para que ocurran las reacciones, se requieren una presencia constante de oxígeno y una temperatura mínima de operación mínima de 300° C. El material generalmente utilizado para los catalizadores son los óxidos metálicos (óxidos de titanio, óxido de zirconio, etc.), pero también pueden ser fabricados a partir platino y zeolitas. Con esta tecnología se pueden obtener reducciones de las emisiones sobre un 90%.

- Reducción no catalítica selectiva: También consiste en introducir un agente reductor, amoníaco o urea, al flujo de gases de combustión, pero sin utilizar un catalizador, lo que obliga a que los gases de combustión estén a muy alta temperatura. La reducción de los óxidos de nitrógeno se ve favorecida frente a reacciones con otros componentes de los gases de combustión, por la temperatura y por la presencia de oxígeno en los gases de combustión. La reducción de emisiones varía entre un 40% y un 80%.

b) Ventajas y Desventajas

- La combustión es un proceso simple y ampliamente utilizado para la obtención de energía, tanto a nivel residencial como industrial.
- Es posible utilizar biomasa con acondicionamientos mínimos de tamaño y humedad, lo que disminuye el costo de generación.
- Las tecnologías de combustión directa de biomasa consideran un amplio espectro de equipos, los que van desde un sencillo fogón a fuego abierto hasta calderas de alto rendimiento, utilizadas en la industria.
- La combustión directa de biomasa permite generar energía térmica con altos niveles de eficiencia; las pérdidas a través de gases y por radiación pueden ser minimizadas.

- Existe la posibilidad de producir calor útil y electricidad en centrales de cogeneración. También una trigeneración es posible, si parte del calor se destina a la generación de frío, mediante sistemas de absorción.
- Un proceso de combustión en equipos simples, típicamente usados a nivel residencial, requieren de biomasa con un bajo nivel de humedad y no toleran la presencia de contaminantes; a nivel industrial, dependiendo de la tecnología usada, la tolerancia con respecto a la biomasa alimentada puede ser mucho mayor. En todos los casos, es aconsejable una alimentación homogénea.
- Cuando se utiliza biomasa con alto contenido de cenizas de bajo punto de fusión, típicamente residuos agrícolas, se puede generar corrosión y aglomeración de escorias, causando daños en los equipos. Las cenizas producto de la combustión deben gestionarse y/o disponerse adecuadamente.

c) Estado de la tecnología a nivel nacional

La combustión de biomasa en Chile es utilizada a nivel industrial, ya sea para la producción de calor o para la obtención combinada de calor y electricidad. Ejemplo de ello lo constituyen las empresas forestales, que utilizan parte de sus subproductos y residuos para generar vapor, el que utilizan en sus procesos y para generar electricidad. Actualmente, existe una capacidad instalada para cogeneración en base a biomasa forestal de 851 MWe, de los que 293 MWe están conectados al SIC. Algunas de las plantas de co-generación operativas y proyectos aprobados se listan a continuación:

- Planta de cogeneración Viñales, que pertenece a Celulosa Arauco y Constitución, se ubica en la comuna de Constitución. Su capacidad máxima es de 210 t/h de vapor y 41 MW de energía.
- Planta de Cogeneración de Energía Eléctrica y Vapor con Biomasa en CFI Horcones, que pertenece a Celulosa Arauco y Constitución. Su capacidad máxima es de 210 t/h de vapor y 31 MW.
- Sistema de Cogeneración de Energía con Biomasa Vegetal Cogeneración MASISA Cabrero. Su capacidad es de 10 MW.
- Planta cogeneración San Francisco de Mostazal, perteneciente a la Compañía Papelera del Pacífico S.A. Su capacidad máxima es 45 t/h de vapor y 15 MW.
- Central de cogeneración Coelemu (DIA aprobada), genera electricidad a través de la utilización de una turbina de 7,0 MW de potencia y la generación de 11 t/h de vapor para el aserradero colindante de propiedad de Forestal León Ltda

Pirólisis

a) Descripción

La pirólisis es un proceso que consiste en la descomposición térmica de la biomasa en ausencia de oxígeno, para producir un sólido rico en carbón y una mezcla de volátiles, cuya fracción condensable es conocida como bio-oil.

Cualquier tipo de biomasa puede ser utilizada para los procesos de pirólisis, sin embargo, los procesos son aplicados a biomasa lignocelulósica, principalmente, biomasa forestal.

La pirólisis puede llevarse a cabo a muy distintas velocidades de calentamiento, temperatura de reacción y tiempos de residencia, dependiendo de los productos que se deseen favorecer²². En función de lo anterior, pueden distinguirse los siguientes tipos de pirólisis: convencional, lenta y rápida. En la Tabla A3.3 se presentan las condiciones de proceso y el producto principal de cada tipo de pirólisis.

Tabla A3.3. Condiciones de proceso y producto de los diferentes tipos de pirólisis.

Tipo de pirólisis	Tiempo de residencia	Velocidad de calentamiento	Temperatura (°C)	Producto
Carbonización	Días	Muy baja	400	Carbón vegetal
Lenta	5-30 min	baja	500	Bio oil, gas, carboncillo
Rápida	0,5-5 s	Muy alta	650	Bio oil
Flash-líquido	< 1 s	Muy alta	< 650	Bio oil
Flash-gas	< 1 s	Muy alta	< 650	Gas, productos químicos
Ultra	< 0,5	Muy alta	1000	Bio oil, gas
Hidropirólisis (con agua)	< 10 s	Alta	< 500	Bio oil
Metanopirólisis (con metanol)	< 10 s	Alta	>700	Productos químicos

Fuente: Adaptado de Mohan, 2006 ²³

La pirólisis lenta puede ser realizada mediante el método tradicional de carbonización y a través de procesos modernos. Se caracteriza por bajas velocidades de calentamiento y largos tiempos de residencia, tanto para el sólido, como para los gases generados. Los procesos tradicionales emplean pozos, montículos u hornos, donde los productos líquidos y gas se dejan escapar al ambiente. En los procesos modernos se recupera el líquido y se utilizan los gases como fuente de calor. El producto principal de la carbonización es carbón vegetal utilizado como combustible sólido o como materia prima para carbones activados.

²² Bridgwater, A.V., Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. Biomass and Bioenergy 38 (2012), 68-94.

²³ Mohan et al. "Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review" (2006). Energy & Fuels 20, 848-889

La pirólisis rápida se caracteriza por altas velocidades de calentamiento y cortos tiempos de residencia de vapor. Generalmente requiere que la biomasa alimentada tenga tamaños de partículas pequeñas y un diseño que condense los vapores rápidamente. Existen diferentes configuraciones de reactores que incluyen lechos fluidizados, agitados o lechos móviles y sistemas de vacío. Los procesos rápidos están diseñados para maximizar el rendimiento de bio-oil, producto que puede obtenerse con rendimiento que varían entre un 50 y 75%¹³ con respecto a la masa de la biomasa alimentada²². El bio oil se puede emplear para energía, la extracción de productos químicos de alto valor ²⁴ u otras aplicaciones.

El bio-oil es un líquido de color café oscuro variando a negro, dependiendo del contenido de partículas sub-micrométricas de carbón presentes. Más denso que el agua y con un fuerte olor a humo, el bio-oil tiene un poder calorífico similar al de la madera y cerca del 50% del poder calorífico de un petróleo combustible en términos volumétricos. El contenido de agua del bio-oil varía entre 15 y 35% y proviene del agua contenida en la materia prima y del agua de reacción. El límite superior del contenido de agua está dado por la separación espontánea del bio-oil en dos fases, una fase hidrofóbica, donde predominan compuestos derivados de la lignina, y una fase acuosa. En general, es necesario secar la materia prima hasta un contenido de agua menor a 10%, si se desea obtener un bio-oil combustible con un bajo contenido de agua. La composición del bio-oil es compleja y contiene una gran cantidad de compuestos de un amplio rango de pesos moleculares, es altamente oxigenado y presenta diversos tipo de funcionalidades de oxígeno (ácidos, azúcares, alcoholes, cetonas, aldehídos, fenoles y derivados, furanos y otros²²).

La aplicación más inmediata del bio-oil es su uso como combustible industrial. Se ha estudiado la aplicación de bio-oil en calderas, hornos industriales, hornos de cal, motores de combustión interna, turbinas y plantas termoeléctricas ²⁵. Los resultados de estos estudios indican que es posible utilizar bio-oil como combustible en numerosas aplicaciones, sin embargo, en la mayoría de los casos se requieren el cambio de material de partes en contacto con el bio-oil y modificaciones de diseño no triviales, por lo que, con excepción del uso en calderas y hornos, es necesario mejorar la calidad del bio-oil como combustible.

La pirólisis rápida y aplicaciones de bio-oil son todavía materias de investigación. La existencia de empresas (ENSYN, Dynamotive, BTG) da cuenta del desarrollo de diferentes tecnologías de pirólisis rápida hasta una escala demostrativa industrial. Sin embargo, puede considerarse que estas tecnologías todavía no están maduras, ya que no se registra la demostración de una operación industrial continua por tiempos prolongados a plena capacidad. La falta de aplicaciones comerciales del bio-oil podría ser una de las razones. Recientemente un consorcio

²⁴ Brownsort, P. "Biomass pirólisis processes: Review of scope, control and variability" (2009). UKBRC working paper 5.

²⁵ Chiaramonti, D; Oasmaa, A.; Solantausta, Y. 2007. Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11(6):1056–1086.

finlandés liderado por Metso, está buscando bajar los costos de capital para producir bio-oil aprovechando las sinergias que se obtienen al integrar una planta de pirólisis con una caldera de lecho fluidizado de biomasa, la cual provee la arena caliente para la pirólisis y quema los sub-productos de la pirólisis²⁶.

La pirólisis rápida ha experimentado un desarrollo sostenido durante los últimos 30 años. Si hace algunas décadas el énfasis era encontrar aplicaciones de bio-oil crudo, actualmente la atención se centra en mejorar la calidad del bio-oil, para obtener un producto comercialmente más atractivo. La pirólisis ofrece grandes oportunidades en la valorización de residuos en centros de procesamiento de biomasa, cuando se pueden utilizar directamente los residuos generados, y en la disposición de residuos, cuando el costo de los residuos es cero o incluso negativo. Aunque es posible ver la pirólisis rápida como una tecnología de conversión de biomasa separada, también se puede visualizar dentro de un contexto más amplio en diferentes escenarios de utilización integral de la biomasa para productos químicos y combustibles.

b) Ventajas y desventajas

- Dependiendo de la temperatura de operación y el tiempo de residencia, es posible favorecer la obtención de un producto sólido (carboncillo), líquido (bio oil) o gas (gas combustible pobre). Los productos sólidos y líquidos tienen aplicaciones en el desarrollo de materiales y combustibles, y el gas puede quemarse, para satisfacer los requerimientos del proceso.
- Los procesos pirolíticos permiten el procesamiento de diversos tipos de materias primas forestales, incluso si contienen materiales contaminantes como papel y plástico; aún así, determinados compuestos inorgánicos pueden disminuir fuertemente el rendimiento de bio oil.
- Las capacidades de producción y la inversión son bajas, con relación a otras alternativas de conversión de biomasa.
- El requerimiento energético para una conversión pirolítica es bajo, la mayor demanda de energía está dada por el secado del material.
- La pirólisis lenta, para fabricar carbón vegetal, se conoce y aplica desde hace milenios. La pirólisis rápida o flash, en tanto, aún está en desarrollo; existen muy pocas plantas a nivel mundial.
- La pirólisis rápida o flash requiere que la biomasa esté seca y tenga tamaño de partícula pequeño.

²⁶ Solantausta, Y., Oasmaa, A.; Sipilä, K.; Lindfors, C.; Lehto, J.; Autio, J.; Jokela, P.; Alin, J.; Heiskanen, J., Bio-oil production from biomass: steps toward demonstration. *Energy Fuels* 26(2011):233–240.

- El bio oil es un producto muy complejo, en el cual se han identificado más de 400 compuestos; además, es inestable, ya que reacciona con el tiempo y tiene características corrosivas.

c) Estado de la tecnología a nivel nacional.

En Chile la tecnología de pirólisis lenta es utilizada para producción de carbón vegetal. También, existe al menos una planta que emplea pirólisis lenta para producción de carbones activados a partir de cuescos de durazno y de pino (PetroChil).

En cuanto a pirólisis rápida de biomasa, existe una iniciativa a nivel piloto, que corresponde a la planta piloto de pirólisis rápida que se encuentra en las instalaciones de la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción, la cual está basada en un reactor diseñado localmente, que consiste en tres lechos fluidizados en serie. La planta se encuentra operativa y tiene una capacidad de procesamiento de 30 kg de aserrín por hora.

Gasificación

a) Descripción

La gasificación consiste en la conversión de biomasa en una mezcla de gases mediante su degradación térmica a altas temperaturas, típicamente entre 800-1400°C. La energía suele provenir de una combustión parcial y muy controlada de parte de la biomasa, a través de la incorporación de pequeñas proporciones de un agente oxidante; puede ser aire, vapor, dióxido de carbono, oxígeno o una mezcla de éstos. Dependiendo de la temperatura y del agente oxidante, el proceso puede generar un gas combustible, compuesto por CO, H₂, CH₄ e hidrocarburos livianos, o bien gas de síntesis, que consiste en una mezcla de monóxido de carbono e hidrógeno. El gas combustible se genera a temperaturas de hasta 1000 °C y se puede utilizar en combustión directa o en turbinas o motores a gas. Por su parte, el gas de síntesis se genera a temperaturas por sobre los 1100 °C y se puede utilizar en la producción metano, productos de síntesis Fischer Tropsch y muchos otros productos.

En el proceso se generan alquitranes, por lo que, dependiendo de su uso final, el gas debe ser sometido a un proceso de limpieza.

Los gasificadores pueden ser clasificados en reactores de lecho fijo o fluidizado. En los reactores de lecho fijo la biomasa es alimentada por el tope del reactor y se pueden clasificar en co-corriente y contracorriente. Los reactores de lecho fluidizado se pueden dividir en burbujeantes y circulantes; en ellos la biomasa es alimentada por el fondo del reactor, la cual es fluidizada por el agente oxidante. En los lechos fluidizados se logra una mejor transferencia de

calor y mejores eficiencia de conversión, además, es posible añadir al agente fluidizante un catalizador, para mejorar la eficiencia de la conversión.^{27 28}

b) Ventajas y desventajas

- Existen procesos simples, continuos y discontinuos, para la generación de gases combustibles.
- Los productos gaseosos resultantes de un proceso de gasificación pueden ser alimentados a calderas mucho más simples y de menor inversión que símiles diseñados para biomasa sólida. Aun así, esta alternativa no se ha impuesto comercialmente, debido a la complejidad y el costo asociados a la operación de ambos procesos en serie.
- Las reacciones de gasificación ocurren de manera muy rápida; por tanto, los reactores son relativamente pequeños, en función del volumen de biomasa tratada.
- La producción de gas de síntesis (para síntesis Fischer Tropsch, por ejemplo) es muy compleja, debido a la necesidad de purificar los gases de alquitranes. A su vez, una operación comercialmente viable requiere de muy altas capacidades e inversiones extremadamente altas. El uso de los gases en motores de combustión también requieren de una limpieza exhaustiva.
- Una gasificación requiere de biomasa más limpia que un proceso de combustión, el material debe estar seco.

c) Estado de la tecnología a nivel nacional.

La gasificación en Chile se encuentra en etapas piloto, no existiendo ninguna planta a nivel industrial.

Existe un proyecto I+D Iberoeka, ejecutado por Trivinco International junto con INDEF, denominado “Diseño y desarrollo de una planta piloto de gasificación de biomasa con optimización de los rendimientos combinada con un sistema captador de energía solar”, cuyo objetivos técnicos apuntan a la implementación de una tecnología de gasificación a nivel piloto. Actualmente la planta está terminando su fase de puesta en marcha.

El proyecto Fondef D041I1093, llamado “Desarrollo de un reactor molecular para la generación de energía a partir de biomasa a pequeña y mediana escala”, ejecutado por la Universidad de Chile diseñó, construyó y evaluó un reactor de gasificación.

²⁷ Kumar et al. “Thermochemical biomass gasification: A review of the current status of technology” (2009). Energies 2, 556-581

²⁸ Boerrigter, H.; Rauch, R. “ Review of applications of gases from biomass gasification”(2006). ECN Report, ECN-RX--06-066.

Torrefacción

a) Descripción

La torrefacción es un tratamiento termoquímico que se desarrolla en ausencia de oxígeno, a presión atmosférica y a temperaturas entre 200 y 300°C. Se caracteriza por tiempos de residencia prolongados, alrededor de 1 hora, y razones de calentamiento menores a 50°C/min. En el proceso, también conocido como “roasting” o pirólisis tenue, se liberan gases de bajo contenido energético, que representan hasta un 30% del contenido másico inicial, mientras que el producto sólido conserva alrededor del 90% del contenido energético, obteniéndose una densificación energética con un factor típico de 1,3 en base másica.²⁹

El sólido obtenido posee propiedades físico y químicas sustancialmente diferentes a las de la biomasa de origen, que dependen de las propiedades de ésta y de las condiciones de procesos:

- La densidad volumétrica, en base seca, disminuye entre 10 - 20% con respecto a la biomasa de origen.
- La humedad disminuye desde 10% hasta 1-6%.
- La energía consumida al disminuir el tamaño de partícula de la biomasa disminuye en 70-90%, mientras que la capacidad de los equipos de molienda aumenta en un factor de 7,5 -15%.
- La densidad de los pellets hechos a partir de biomasa torrefactada alcanzan densidades entre 750 -850 kg/m³ y poseen una dureza mecánica entre 1,5 y 2 veces mayor a la de los pellets convencionales.
- El poder calorífico de la biomasa torrefactada fluctúa entre 20 y 24 MJ/kg, lo que implica que la densidad energética de los pellets torrefactados se sitúa entre 15-18.5 GJ/m³, lo que es comparable con la densidad energética del carbón, que típicamente se encuentra entre 21-22 GJ/m³

Por otro lado, se ha comprobado que los pellets torrefactados permanecen estables por largo tiempo al sumergirlos en agua, a diferencia de los pellets tradicionales que se desintegran con facilidad. Todas las propiedades mencionadas contribuyen a la disminución de las barreras logísticas asociadas al uso de biomasa y hacen de la biomasa torrefactada y, en particular, de los pellets fabricados con biomasa torrefactada, un combustible de alta calidad, cuyo uso es atractivo para aplicaciones como gasificación y combustión, y sustituto de carbón en centrales termoeléctricas.³⁰

²⁹ Bergman, P. “Combined torrefaction and pelletisation. The TOP process.” (2005). ECN report, ECN –C-05-073.

³⁰ Tulumuro et al. “Biomass Torrefaction Process Review and Moving Bed Torrefaction System Model Development”. (2010). INL report, INL/EXT-10-19569

Con respecto al equipamiento que se utiliza, éste en su mayoría se ha utilizado en otras aplicaciones, tales como combustión, secado y gasificación; se trata de reactor de tambor rotatorio, reactor de tornillo transportador, reactor de lecho móvil, horno de múltiples hogares y cinta transportadora oscilante, entre otros.³¹

b) Ventajas y desventajas

- La torrefacción es un proceso sencillo, que se puede implementar con equipamiento existente y probado para otros usos. Se pueden concebir plantas comerciales de tamaño pequeño y moderado.
- La madera torrefactada tiene un poder calorífico un 10-20% mayor que la biomasa original; además, es frágil, por lo que puede ser triturada con facilidad en equipamiento convencional (por ejemplo, molino de martillos), y absorbe bajas proporciones de agua.
- Una aplicación preferente de biomasa torrefactada es la producción de pellets; éstos tienen una densidad energética en base volumétrica entre un 20 y 30% superior a pellets convencionales, lo que facilita y disminuye el costo de transporte.
- Pellets torrefactados son una buena alternativa para alimentar calderas industriales o centrales eléctricas, entre ellas, en co-combustión con carbón.
- El requerimiento energético de un proceso de torrefacción es bajo, cercano a un 5% del PCI de la biomasa alimentada.
- La torrefacción es una tecnología en desarrollo. Actualmente existe una planta a nivel industrial operativa en Holanda y diversas plantas piloto a nivel mundial, incluida una en Chile.

c) Estado de la tecnología a nivel nacional

En Chile existe una sola iniciativa en torrefacción, que corresponde al proyecto Fondef B09-I-1015, denominado “Desarrollo de herramientas logísticas y tecnológicas para el mejoramiento de las propiedades de pellets de madera utilizando un pre -tratamiento de torrefacción”. El proyecto se ejecuta en la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción y su objetivo principal es implementar la tecnología a nivel piloto y realizar un estudio de pre-factibilidad técnico-económica, para la implementación a nivel industrial. La planta piloto está en operación y el proyecto finaliza en mayo de 2013.

³¹ Kleinschmidt, C. “Overview of international development in torrefaction” (2011).

ANEXO 4. DISPONIBILIDAD DE BIOMASA

Se han realizado distintos esfuerzos por evaluar el potencial de biomasa lignocelulósica de origen forestal y agrícola para la producción de energías renovables. En este contexto destacan diversos estudios, entre los que cabe citar:

- “Evaluación de Mercado de Biomasa Forestal y su Potencial”, en ejecución por Universidad Austral – 2013, encargado por el Ministerio de Energía con convenio con CONAF;
- “Residuos de la industria primaria de la madera – disponibilidad para uso energético” ejecutado por INFOR – 2007, encargado por la CNE y GTZ;
- “Estudio Potencial de generación de energía por residuos del manejo forestal en Chile”, ejecutado por Bertrán, J y Morales, E. – 2008, encargado por la CNE y GTZ ;
- “Identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponible en Chile para la generación de biogás”, ejecutado por Chamy, R. y Vivanco, E. – 2007, encargado por la CNE y GTZ;
- “Antecedentes para la Evaluación Económica para el Establecimiento de Plantaciones Dendroenergéticas”, ejecutado por Universidad de Concepción – 2010, encargado por el Ministerio de Energía;
- Estudio Diseño de un instrumento de fomento para proyectos de biogás – biomasa que apunten a la asociatividad de tenedores del recurso biomásicos, ejecutado por Sustentank – 2012, encargado por el Ministerio de Energía; y
- Estudio Propuesta de Perfeccionamiento de Entorno a Proyectos de Aprovechamiento Energético de Lodos y Residuos Sólidos Urbanos, ejecutado por Gamma Ingenieros S.A. – 2011, encargado por el Ministerio de Energía.

A continuación se resumen aquellos resultados principales de estos estudios que son relevantes en el contexto de la Estrategia Nacional de Bioenergía.

Potencial de biomasa lignificada

A. Catastro de Bosque Nativo

Estudio “Evaluación de Mercado de Biomasa Forestal y su Potencial” de Universidad Austral³²

La Universidad Austral de Chile se encuentra desarrollando por encargo del Ministerio de Energía y con la Corporación Nacional Forestal como contraparte el proyecto “Evaluación de Mercado de Biomasa Forestal y su Potencial”. La finalidad de este proyecto es promover el uso de la biomasa forestal como fuente de energías renovables, a través del levantamiento de información y el diseño de una plataforma de información pública que oriente las decisiones de inversión para el recurso forestal en Chile y su aprovechamiento energético. A través de este estudio se espera contar con información cartográfica sobre el potencial de la biomasa forestal, tanto de bosque nativo como de plantaciones dendroenergéticas, para complementar las plataformas de información pública de energías renovables no convencionales que actualmente se encuentra desarrollando el Ministerio de Energía.

El proyecto definió un procedimiento metodológico para la estimación de biomasa aprovechable para uso energético en bosque nativo. Los objetivos establecidos para el desarrollo de este procedimiento fueron: (a) Estimación de la superficie de bosque nativo que puede ser incorporada en actividades de planificación de manejo silvícola, con el propósito de generar una oferta de biomasa sostenida y (b) estimación de la producción de biomasa y productos madereros que se generaría a partir del manejo de bosque nativo.

El procedimiento metodológico desarrollado por el equipo consultor fue validado a través de talleres de consulta a expertos, quienes aportaron con consideraciones y alcances de utilidad, para responder a los objetivos establecidos.

De acuerdo al Estudio, la superficie bruta de bosque nativo es de 13,3 millones de hectáreas, en tanto la superficie neta con potencial para manejo silvícola es de 6,5 millones de hectáreas. Esta superficie corresponde al potencial teórico. El detalle en cuanto a tipos forestales y distribución geográfica se muestra en la Tabla A4.1.

³² Universidad Austral de Chile: Evaluación de mercado de biomasa forestal y su potencial. Por encargo del Ministerio de Energía y con la contraparte de la Corporación Nacional Forestal. Informe Final – Versión 6.0, Abril de 2013.

Tabla A4.1. Superficie bruta y neta de bosque nativo según tipo forestal y por regiones³³.

Tipo Forestal	Regiones								Total
	IV - VI	VII	VIII	IX	XIV	X	XI	XII	
Lenga		1582	56273	24.734	68.723	93.669	669.070	898.320	1.802.361
Coihue de Magallanes					9.363	60.669	317.006	215.738	602.776
Roble-Hualo	22.473	149.668	13.726						185.866
Roble-Raulí-Coihue		133.100	388.226	268.066	165.428	150.845			1.105.684
Coihue-Raulí-Tepa			44.260	55.664	197.312	91.714			388.949
Esclerófilo	222.419	48.616	15.444	428	7.961	370			287.277
Sub. Renovales de Canelo		72	1.834	8.924	35.468	154.756	16.630	17	217.691
Sub. Tepú					60	43.172	32.171		75.403
Sub. Mirtáceas		640	2.632	9.777	6.467	31.702	2.024		53.243
Sub. Coihue de Chiloé					11.851	496.567	660.727		1.169.144
Sub. Siempreverde			866	23.445	99.752	239.320	32.817	38	396.372
Sub. Coihue							245.914		245.914
Superficie neta (ha)	244.891	333.667	523.281	391.059	595.210	1.362.773	1.966.370	1.114.112	651.364
Superficie bruta (ha)	447.249	384.713	768.633	937.197	868.033	2.759.286	4.398.745	276.1610	1.332.5465
Superficie neta (%) ^a	548	86,7	68,1	41,7	68,6	49,4	44,7	40,3	49,0

La Biomasa Neta de madera de bosque nativo susceptible de ser obtenida por operaciones de raleos es de 9,4 MMt (base seca) por año; sin embargo, esta masa no corresponde al Potencial

³³ Pág. 59.

Técnico. Para estimarlo, debe considerarse como restricción adicional que muchas superficies de bosque nativo no son accesibles, para realizar labores de raleo.

No existen antecedentes en la literatura que permitan hacer una estimación sobre el Potencial Técnico.

Tabla A4.2. Biomasa disponible de bosque nativo entre las Regiones de Coquimbo y Magallanes.

Región	Biomasa Bruta (t a ⁻¹)	Biomasa Neta (t a ⁻¹)
IV	1.466	0
V	7.744	4.898
VI	60.142	52.290
RM	6.752	2.620
VII	489.143	477.966
VIII	1.649.843	1.026.018
IX	1.204.897	602.679
X	2.696.784	1.265.986
XIV	1.260.501	935.340
XI	3.811.817	3.399.519
XII	1.757.199	1.682.123
Total	12.946.288	9.446.507

Nota: La biomasa bruta corresponde al potencial teórico y el potencial neto descuenta la biomasa consumida en la actualidad (masa en base seca).

B. Catastro de residuos de aserraderos

Estudio “Residuos de la industria primaria de la madera – disponibilidad para uso energético” ejecutado por INFOR³⁴.

El estudio tuvo por objetivo evaluar la disponibilidad de residuos madereros producidos por la industria primaria de la madera y aprovechables energéticamente. El área de estudio consideró los aserraderos móviles y permanentes operativos a la fecha del estudio, ubicados entre las Regiones de Coquimbo y Magallanes. La metodología contempló la realización de encuestas a 595 aserraderos. Se consideró una muestra de 102 aserraderos móviles portátiles, 152 aserraderos móviles tradicionales y 341 aserraderos existentes y operativos.

La especie pino radiata es la más utilizada, con un 96,7% del consumo; las especies nativas constituyen sólo un 1,9%. La producción total de madera aserrada es de 5.555.153 m³ssc³⁵, volumen que es aportado en un 93,8% por aserraderos permanentes, en un 1,2% por aserraderos móviles portátiles y en un 5% por los aserraderos móviles tradicionales.

En rendimiento promedio de madera aserrada (m³) de pino con respecto a rollizos (m³ssc) es de un 52%. El material restante se reprocesa, para generar astillas y tapas, los que se comercializan. En proceso global de aserrío genera tres tipos de residuos, susceptibles de ser usados energéticamente: Lampazos, aserrín y corteza. La Tabla A3.3 muestra los volúmenes y masas correspondientes.

Tabla A4.3. Generación de residuos por parte de la industria del aserrío en Chile.

Subproducto	Volumen (m ³ ssc/año) para corteza (m ³ /año)	Contenido de agua (%)	Densidad base húmeda (t/m ³)	Masa base húmeda (t a ⁻¹)	Masa base seca (t a ⁻¹)	Poder calorífico base húmeda (MWh/t)	Potencial energético (GWh/a)
Consumo trozas en aserraderos (2005)	17.205.663						
Lampazos	611.844	33	0,65	397.699	266.458	3,5	1.375
Aserrín industria primaria	2.810.643	33	0,65	1.826.918	1.224.035	3,5	6.312
Corteza	1.292.583	33	0,38	491.182	329.092	3,1	1.506
Aserrín industria secundaria	176.150	33	0,65	114.498	76.713	3,5	396
Despunte	309.323	33	0,65	201.060	134.710	3,5	694
Viruta	342.106	33	0,65	222.369	148.987	3,5	769
Total					2.179.995		11.052

Fuente: Elaboración propia en base a información de González et al., 2007, pág. 87, 88.

³⁴ González, P. et al.: Residuos de la industria primaria de la madera. Disponibilidad para uso energético. Publicado por CNE, INFOR y GTZ, 2007.

³⁵ Metros cúbicos sólidos sin corteza.

La mayor parte de la biomasa residual se consume actualmente, tanto en plantas para generar electricidad, como calderas de vapor en plantas de celulosa, tableros y de secado de madera, principalmente. En el Estudio se realizó encuestas a aserraderos, en el que entre otros se consultó sobre el destino de lampazos, aserrín y corteza. Sólo aquello que “se regala” o “se acumula” puede considerarse disponible para fines energéticos. La Tabla A3.4 entrega el detalle respectivo.

Tabla A4.4. Uso de residuos de la industria del aserrío.

Subproducto	Potencial energético	Comercialización	Autosonsumo	Disponible (regala o acumula)	
	(GWh/a)	t húmedas	t húmedas	t húmedas	GWh/a
Consumo trozas en aserraderos (2005)					
Lampazos	1,4	298.660	59.477	39.562	137
Aserrín industria primaria	6,3	967.150	634.570	225.198	778
Corteza	1,7	327.415	129.725	34.041	118
Aserrín industria secundaria	0,4	61.626	43.119	9.752	34
Despunte	0,7	77.621	120.146	3.293	11
Viruta	0,8	75.066	136.751	10.551	36
Total				322.397	1.114

Fuente: Elaboración propia en base a información de González et al., 2007, pág. 76.

En definitiva, los residuos de la industria del aserrío son masivos y corresponden principalmente a lampazos, aserrín y corteza. Desde mediados de la década pasada esta biomasa se consume en gran parte por las empresas del sector forestal-industrial, para generar energía. Una parte menor, 322.000 t/a (con 33 % de agua) ó 1.100 GWh/a corresponden al Potencial Técnico.

C. Catastro residuos de plantaciones forestales

Estudio Potencial de generación de energía por residuos del manejo forestal en Chile³⁶.

Este estudio tuvo por objetivo realizar una primera aproximación a la determinación de la viabilidad de desarrollar en Chile el potencial de generación de energía a partir de residuos del manejo de la biomasa forestal. Su objetivo se centró en verificar si el manejo forestal y su resultado, los desechos de cosecha, raleos y podas, son una alternativa promisorio para tales fines. Se determinaron los potenciales de generación de las plantaciones forestales de acuerdo a determinados criterios y restricciones.

Se analizaron los datos sobre plantaciones de pino radiata y eucalipto para las 152 comunas comprendidas entre la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins y la Región de Los Lagos.

Se calculó que sería factible instalar una potencial total eléctrica máxima de 626 MWe.

Este resultado se considera erróneo. De hecho:

Si se asume un rendimiento de generación eléctrica de 23,7% (valor considerado en el estudio), se tiene un potencial térmico máximo de 2.641 MW_{th}. Considerando, adicionalmente las 8.400 horas de operación anuales supuestas, se puede calcular un potencial energético de la biomasa disponible de 22.187 MWh.

Este potencial equivale a 4 MMT de biomasa (base seca) con un PCI de 19.680 (MJ/t). Este monto excede largamente el Potencial Teórico esperable: La cosecha anual de pino y eucalipto fue de 34.569 miles de m³ssc el año 2010³⁷, lo que equivale a 16,5 MMT (en base seca). Si el resultado del Estudio fuera correcto, la relación entre la masa producto del manejo forestal y el total de la masa cosechada de pino y eucalipto sería de: $4.059 \text{ (Mt/a)} / 16.500 \text{ (Mt/a)} = 24,6\%$.

Debido a ello, se presenta una aproximación del Potencial Teórico considerando los siguientes factores de generación:

³⁶ Bertrán, J., Morales, E.: Estudio Potencial de generación de energía por residuos del manejo forestal en Chile. Encargado por GTZ y CNE, 2008.

³⁷ http://www.infor.cl/es/iym.html?c=mercado&task=cuadros_industria&mid=68

Para pino radiata:

- Primera, segunda y tercera poda: 12,04, 2,56 y 2,56 m³ssc/ha, respectivamente;
- Raleo comercial y cosecha: 0,0098 y 0,1 m³ssc/m³ cosechado, respectivamente.

Para eucalipto:

- Cosecha: 0,063 m³ssc/m³ cosechado.

Tomando el año 2005 como base de cálculo, se estima:

Residuos de plantaciones de pino:

- Podas: 302.345 t (base seca)
- Raleo comercial: 93.172 t (base seca)
- Cosecha: 1.088.639 t (base seca)

Subtotal pino: 1.484.338 t (base seca)

Residuos plantaciones eucalipto:

- Cosecha: 308.040 t (base seca)

Total (pino+eucalipto): 1.792.378 t (base seca)

Por tanto, se considera un Potencial Teórico de 1,8 MMt/a (base seca) ó 10.278 GWh/a

Para estimar el Potencial Técnico, se debe considerar los usos actuales del recurso. De acuerdo a ejecutivos de empresas del sector, el año 2012 se intervinieron 26.000 ha de plantaciones cosechadas de pino, un tercio del total cosechado; los lugares de cosecha de eucalipto aún no se intervienen. Por tanto, la biomasa disponible aún es considerable y corresponde a aprox. 1,4 MMt/a (base seca) ó 7.500 GWh/a

D. Catastro de residuos de cosecha de trigo y avena

De Mellado (2007)³⁸, el rendimiento de paja de trigo se puede calcular de acuerdo a la relación siguiente:

$$\text{Rendimiento paja (t/ha)} = 0,56 + 1,4 \times \text{Rendimiento de grano (t/ha)}$$

Para el caso de avena, se aplica la misma fórmula, debido a que, de acuerdo a opinión de agricultores consultados, el rendimiento de paja de avena es sólo levemente menor al rendimiento de paja de trigo, situación similar al rendimiento de granos.

Si se consideran los siguientes datos para la temporada 2011/2012³⁹:

- Rendimiento trigo: 49,5 (qqm/ha)
- Rendimiento avena: 44,7 (qqm/ha)
- Superficie plantada trigo: 245.277 (ha)
- Superficie plantada avena: 100.936 (ha)
- Rendimiento paja de trigo: 7,49 (t/ha)
- Rendimiento paja de avena: 6,82 (t/ha)

El rendimiento de paja de trigo y avena es el siguiente:

Disponibilidad teórica paja de trigo: 7,49 (t/ha) x 245.277 (ha) = 1,8 MMt/a

Disponibilidad teórica paja de avena: 6,82 (t/ha) x 100.936 (ha) = 0,7 MMt/a

Por tanto, el Potencial Teórico conjunto de paja de trigo y avena (12% de agua) es de 2,5 MMt/a ó 10.278 GWh/a

Se estima que el Potencial Técnico difiere sólo ligeramente del Potencial Teórico. Lo anterior, debido a que la totalidad de los terrenos donde se genera paja de trigo o avena son accesibles y no existen restricciones legales, ambientales, topográficos o de otro tipo para su uso. La única limitación es la proporción de material que permanece en terreno a la forma de cañas (la altura usual de corte es de 20 cm) y el material que se pierde durante la recolección y el enfardado. Se estima que, en función de ello, el 75% del potencial teórico puede ser recuperado.

En cuanto a los usos actuales, cabe consignar que la paja de trigo se usa principalmente para estabulación de animales; la avena, adicionalmente, como alimento de ruminantes. En base a consultas a agricultores de las Regiones del Biobío y de la Araucanía, se estima que ambos usos

³⁸ Mellado, M., 2007. El trigo en Chile: Cultura, ciencia y tecnología. 683p. Colección de Libros INIA, no.21. Centro Regional de Investigación Quilamapu, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chillán Chile.

³⁹ INE: Cultivos Anuales, Esenciales, Informe Anual 2011, pág. 19

son menores a un 10% del total producido. En cuanto a usos energéticos, el año 2012 se puso en marcha una planta de generación eléctrica de COMASA en Lautaro, la que usa paja de trigo y avena, y biomasa forestal como combustible. Se estima que la alimentación máxima de residuos agrícolas es de 30 Mt/a, debido a limitaciones técnicas. Vale decir, una proporción muy pequeña con relación al total disponible.

En función de las consideraciones anteriores, se estima que el Potencial Técnico corresponde a un 65% del Potencial Teórico: 1,6 MMT/a de paja, con un 12% de agua, ó 6.667 GWh/a.

E. Potencial de las plantaciones dendroenergéticas

En Chile existe un gran potencial para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas.

Los cultivos dendroenergéticos son cultivos de plantas leñosas destinadas a la producción de energía, ya sea a través de su combustión o conversión en combustibles líquidos o gaseosos. Este tipo de cultivo tiene la ventaja que la cosecha puede realizarse en ciclos mucho más cortos que aquéllos concebidos para la producción de madera, con rendimientos significativamente más altos; las plantaciones pueden establecerse cerca del lugar de uso, disminuyendo los problemas y costos logísticos; y la cosecha puede realizarse con maquinaria diseñada para procesar troncos de bajo diámetro, de manera expedita y masiva.

Estudio “Evaluación de Mercado de Biomasa Forestal y su Potencial” de Universidad Austral⁴⁰

Se está cuantificando la superficie potencialmente disponible para establecer plantaciones dendroenergéticas. En base a una metodología validada por un grupo experto, para la determinación de la superficie se han considerado los siguientes cuatro escenarios:

- **Escenario Global Plantaciones en Dendroenergéticas:** Superficie estimada para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas, la cual contempla toda la zona de estudio excluyendo aquellas superficies que tienen alguna restricción legal, uso actual no forestable y capacidades de uso I, II, III y VIII.
- **Escenario Resguardo Agrícola en Plantaciones Dendroenergéticas:** Superficie estimada para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas, la cual equivale al escenario global excluyendo aquellas superficies de uso actual agrícola y aquellos de capacidad de uso del suelo de la clase IV.
- **Escenario Resguardo Hídrico en Plantaciones Dendroenergéticas:** Superficie estimada para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas, la cual corresponde al escenario global, excluyendo principalmente, los terrenos con precipitaciones menores a 750 mm anuales y la capacidad de uso VII.

⁴⁰ Universidad Austral de Chile: Evaluación de mercado de biomasa forestal y su potencial. Por encargo del Ministerio de Energía y con la contraparte de la Corporación Nacional Forestal. Informe Final – Versión 1.2, mayo de 2013.

- **Escenario Resguardo Hídrico Agrícola en Plantaciones Dendroenergéticas:** Superficie estimada para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas, la cual fue obtenida a partir del escenario de resguardo hídrico, excluyendo los terrenos con uso actual agrícola. Es decir, apesar de que un terreno de uso actual agrícola se haya encontrado en una capacidad de uso no arable (V a VIII), fue descartado para uso de plantaciones dendroenergéticas forestales.

En cada escenario se han descartado superficies de acuerdo a distintos criterios, entre ellos: el uso actual del suelo, restricciones legales, erosividad, erosión e información climática, edáfica y topográfica.

En la Tabla A4.5 se presentan los resultados de superficies disponibles resultantes de la evaluación de los escenarios en las regiones comprendidas entre Coquimbo y Magallanes. Se observa que bajo el escenario global, existirían cerca de 3,76 millones de hectáreas disponibles (Magallanes la región más importante, con 1,71 millones de hectáreas), mientras que en el escenario más restrictivo la superficie bajaría a 1,99 millones de hectáreas (383 mil hectáreas entre Coquimbo y Aysén). Los resultados finales de este proyecto estarán disponibles el segundo semestre de 2013, a través de la página web del Explorador de Biomasa Forestal.

Tabla A4.5. Superficie disponible según escenarios, tipos de superficie y región.

Región	Superficie total de la región (1.000 ha)	Superficies (miles de hectáreas) según escenario														
		Global				Resguardo agrícola				Resguardo hídrico			Resguardo hídrico-agrícola			
		P	S	T	Total	P	S	T	Total	P	S	Total	P	S	Total	
Coquimbo	4.058,0	23,7	12,3	11,9	47,9	5,6	5,6	9,0	20,2	nc	nc	nc	nc	nc	nc	
Valparaíso	1.639,6	11,3	41,8	73,1	126,2	1,4	7,4	40,8	49,6	nc	nc	nc	nc	nc	nc	
Metropolitana	1.540,3	32,9	11,3	14,6	58,8	1,0	1,5	5,8	8,3	nc	nc	nc	nc	nc	nc	
O'Higgins	1.638,7	45,1	52,7	42,0	139,9	2,6	4,7	9,5	16,7	nc	nc	nc	nc	nc	nc	
Maule	3.029,6	135,5	74,5	31,2	241,2	2,3	3,9	9,5	15,7	125,8	60,3	186,2	2,0	3,6	5,6	
Biobío	3.706,9	151,2	135,7	105,7	392,6	14,8	14,5	26,0	55,4	98,9	69,8	168,7	8,4	6,5	14,9	
La Araucanía	3.184,2	221,4	134,4	126,4	482,2	26,5	22,3	30,5	79,3	182,2	77,4	259,6	50,0	18,7	68,8	
Los Ríos	1.843,0	123,3	77,2	23,7	224,2	98,4	54,4	17,9	170,7	66,9	45,0	111,8	66,2	43,8	110,1	
Los Lagos	4.858,4	48,0	99,8	58,0	205,8	21,4	57,4	43,3	122,0	42,9	83,7	126,6	42,3	83,5	125,8	
Aysén	10.849,4	61,4	35,8	31,1	128,4	38,0	28,0	26,3	92,3	43,4	17,1	60,5	41,8	16,8	58,6	
Magallanes	13.229,7	1.600,0	112,4	0,0	1.712,4	1.600,0	112,4	0,0	1.712,4	1.497,3	105,0	1.602,3	1.497,3	105,0	1.602,3	
Total de Coquimbo a Aysén	36.348,1	853,8	675,6	517,7	2.047,1	212,0	199,7	218,6	630,3	560,1	353,3	913,4	210,8	172,9	383,8	
Total de Coquimbo a Magallanes	49.577,8	2.453,8	788,0	517,7	3.759,5	1.812,0	312,1	218,6	2.342,7	2.057,4	458,3	2.515,7	1.708,1	277,9	1.986,0	

P: superficie primaria; S: superficie secundaria; T: superficie terciara.

nc: no corresponde en este escenario.

Superficie primaria: superficie con potencialidad para establecer plantaciones forestales dendroenergéticas, estimada a partir del Escenario Global, como aquella que presenta erosión actual en los grados “bajo o nulo” y erosión potencial “bajo o nulo”.

Superficie secundaria: superficie aptas para establecer plantaciones forestales tradicionales de rotaciones largas, estimadas a partir del Escenario Global, como aquella que presenta erosión potencial “moderada”.

Superficie terciaria: superficie considerada para fines de protección y recuperación del suelo, estimada a partir del escenario global, como aquella que presenta erosión potencial “severa” y “muy severa”.

Estudio “Antecedentes para la Evaluación Económica para el Establecimiento de Plantaciones Dendroenergéticas”, Universidad de Concepción⁴¹.

El estudio tuvo por objetivo general “Identificar y cuantificar los costos y beneficios (económicos, sociales y ambientales) involucrados en todo el proceso de plantaciones dendroenergéticas (forestales y agroforestales) hasta su explotación (cosecha)” en la zona de estudio comprendida entre la Región de Coquimbo y de Aysén.

La metodología de trabajo consistió en la recopilación y análisis de información desde distintas fuentes bibliográficas disponibles en el país y el extranjero, de 10 especies forestales y 3 especies agroforestales. El énfasis se centró en el conocimiento de sus requerimientos edáficos, climáticos, crecimiento, identificación de las tecnologías silvícolas, método de valoración económica e impactos ambientales de la producción de biomasa para energía, asociado al establecimiento, manejo y cosecha del cultivo.

La información recolectada fue utilizada para elaborar una cobertura cartográfica de desarrollo potencial y ficha dendroenergética para cada especie, tablas de costos de establecimiento y cosecha de los cultivos, determinación de rendimientos de las especies para la producción de biomasa y su requerimientos hídricos, determinación del balance de carbono y evaluación energética de los cultivos, determinación de los impactos sociales y ambientales de los cultivos y, por último, la construcción de un software de evaluación económica.

En relación a los costos de establecimiento y cosecha (incluyendo acopio-secado), se plantea que al considerar una densidad de plantación típica en cultivos dendroenergéticos, e.g. 10.000 pl/ha, los costos de establecimiento y cosecha son mayores con *S. viminalis*, \$

⁴¹ Estudio “Antecedentes para la evaluación económica para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas”. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción – Comisión Nacional de Energía, Chile. (2010)

3.225.374 ha⁻¹, y menores con el grupo de especies de eucalipto, \$ 2.447.514/ha.⁴² El alto costo de *S. viminalis* se explica por el costo de plantación (54%) y costo de cerco (13%). El costo de cerco es proporcionalmente mayor a densidades de plantación menores y también en predios pequeños. Este aspecto es relevante si se desea estimular los cultivos energéticos en propiedades de pequeños propietarios.

Potencial de biomasa no lignificada

Existen diversos estudios a nivel nacional, que revelan la existencia de un alto potencial de biomasa disponible para la generación de biogás. Sin embargo, la mayoría de estos estudios estiman sólo hasta el potencial técnico, además difieren en metodologías, y no cuentan con actualizaciones periódicas, por lo que si bien dan luces de un potencial existente, no son una herramienta que permita tomar decisiones de inversión.

Para fines de la presente estrategia, se considera el estudio realizado por Chamy *et al.* (2007), además se han revisado otros estudios validados por la entidad Ministerial, y publicaciones científicas generadas por el equipo consultor (Bidart *et al.*, 2013a-b-c)⁴³, se observa que, a nivel de **Potencial Técnico**, no existen mayores diferencias en el balance global con el estudio de Chamy *et al.* (2007), considerando que en este tipo de estudios es común observar diferencias de hasta cuatro órdenes de magnitud (Heffes *et al.*, 2011).

A continuación se presentan tablas comparativas por sectores de algunos estudios realizados para la estimación del potencial de generación de biogás a partir de residuos agropecuarios, plantas de tratamiento de aguas servidas y rellenos sanitarios, todos estos estudios a nivel nacional.

⁴² Ambos valores, evaluados en la zona centro de Chile.

⁴³ C. Bidart, M. Fröhling, F. Schultmann. Livestock manure inventory and potential usage for biogas for energy generation. (to be submitted). (2013a);

C. Bidart, M. Fröhling, F. Schultmann. Electricity and substitute natural gas generation from conversion of wastewater treatment plant sludge. (submitted) (2013b)

C. Bidart, M. Fröhling, F. Schultmann. Municipal solid waste and production of substitute natural gas and electricity as energy alternatives. Applied Thermal Engineering 51 (2013c) 1107-1115.

▪ *Potencial de residuos agropecuarios*

Tabla A4.6. Resumen comparativo de estudios de potencial de biogás a partir de residuos agropecuarios.

Estudio	Purines (GWh/a)	Residuos agrícolas (GWh/a)	Total (GWh/a)
Bidart <i>et al.</i> (2013)	2.083	3.250	5.333
Chamy <i>et al.</i> (2007)	4.056	2.389	6.445
Sustentank (2012)	14.139	2.611	16.750

Potencial de plantas de tratamiento de aguas servidas

Tabla A4.7. Resumen comparativo de estudios de potencial de biogás a partir de residuos PTAS.

Estudio	PTAS (GWh/a)
Bidart <i>et al.</i> (2013)	222
Chamy <i>et al.</i> (2007)	1.611
Gamma Ingenieros(2012) ⁴⁴	194

⁴⁴ Estudio: Propuesta de Perfeccionamiento de Entorno a Proyectos de Aprovechamiento Energético de Lodos y Residuos Sólidos Urbanos, Gamma Ingenieros (2012)

▪ **Potencial de rellenos sanitarios**

Tabla A4.8. Resumen comparativo de estudios de potencial de biogás a partir de residuos Rellenos Sanitarios

Estudio	Rellenos sanitarios (GWh/a)
Bidart <i>et al.</i> (2013)	2.417
Chamy <i>et al.</i> (2007)	972
Gamma Ingenieros(2012)	444

En el Estudio encargado por la CNE a Ingeniería Alemana denominado “Estudio de Pre-evaluación del aprovechamiento energético de los residuos sólidos urbanos”, de febrero de 2012, se estimó el potencial energético de la producción y captura de biogás en sistemas de disposición final de los residuos sólidos urbanos, este potencial asciende a 2.389 GWh/a.

ANEXO 5: ESTADO ACTUAL DE LA BIOENERGÍA EN CHILE

Proyectos de generación eléctrica

En los últimos años la generación de electricidad a partir de biomasa ha sido impulsada por grandes empresas forestales en sistemas de cogeneración, llegando a una capacidad instalada conectada al SIC de 302,8 MW a noviembre del año 2012 (CER, 2012).

Tabla A5.1 Proyectos eléctricos en operación

Central	Empresa	Región	Combustible	Potencia Bruta MW	Potencia Neta MW (SIC)
Arauco	Arauco	VIII	Licor Negro-Biomasa-Petróleo Diesel N°6	96	9,0
Celco-Constitución	Arauco	VII	Licor Negro-Biomasa-Petróleo Diesel N°6	40	8,0
Cholguán/Trupán	Arauco	VIII	Biomasa-Petróleo Diesel N°6	29	13,0
Licancel	Arauco	VII	Licor Negro-Biomasa-Petróleo Diesel N°6	29	4,0
Valdivia	Arauco	XIV	Licor Negro-Biomasa-Petróleo Diesel N°6	140	61,0
Nueva Aldea I	Arauco	VIII	Biomasa-Petróleo Diesel N°6	30	14,0
Laja	CMPC	VIII	Biomasa	16,7	8,7
Constitución	AES GENER	VII	Biomasa	13	8,7
Escuadrón (ex FPC)	Eléctrica Nueva Energía S.A	VIII	Biomasa	s/i	15,0
Nueva Aldea II	Arauco	VIII	Licor Negro-Biomasa-Petróleo Diesel N°6	140	25,0
Masisa	Masisa	VIII	Biomasa	10,5	9,6
Mostazal	Energía Pacífico	VI	Biomasa	15,6	8,7
Bioenergía Lautaro	COMASA	IX	Biomasa	25,0	23,0
Planta Biogás HBS	HBS Energía	VIII	Biogás	2,2	1,0
Loma Los Colorados I	KDM	RM	Biogás	2,0	2,0
Loma Los Colorados II	KDM	RM	Biogás	28,0	7,1
Santa Fe	CMPC	VIII	Biomasa	100	55
Viñales	Arauco	VII	Biomasa	41	30

Fuente: Adaptado de Centro de Energías Renovables (CER), 2012

Cabe mencionar que el 6 de junio de este año se inauguró la planta de biogás de la empresa agrícola ANCALI, ubicada en la Región del Biobío. Esta planta tiene una capacidad instalada de 1.5 MW, y actualmente están generando para inyección al SIC aproximadamente un 1 MW.

La participación de la biomasa en la generación eléctrica bruta del SIC durante el 2012 se estimó en un 3,7%, mostrando un aumento considerable respecto al 2011 (1,9%)⁴⁵, lo que se debió al inicio de operación de las nuevas plantas termoeléctricas: Viñales de Arauco Bioenergía y Lautaro de Comasa. Del aporte total de las ERNC a la inyección del SIC (6,3%) durante el 2012, el 51,4% fue en base a biomasa (CER, 2012).

La capacidad total instalada de plantas de cogeneración en base a biomasa forestal alcanza los 851 MWe (14 plantas), de los cuales 572 MWe corresponden a Arauco Bioenergía; 220 MWe a CMPC (Energías Forestales S.A.); 17,4 MWe a Energía Verde (AES Gener); 11, 1 MWe a Masisa Ecoenergía; 15,6 MWe a Energía Pacífico y 15 MWe a Nueva Energía (ex FPC). Estas plantas abastecen primordialmente las necesidades térmicas y eléctricas de los procesos industriales de las empresas forestales (autoconsumo) y, además, cuentan con excedentes de 394 MWe conectados al SIC⁴⁶.

Proyectos de autoabastecimiento eléctrico/térmico u otros usos

No se cuenta con información referente a proyectos eléctricos menores para autoconsumo, ni de proyectos de generación térmica para uso industrial y comercial, puesto que son más difíciles de cuantificar, debido a que no todos requieren ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Referente al uso de pellet de madera como combustible sólido estandarizado, el mercado nacional está en etapa temprana de desarrollo y su aplicación ha estado enfocada al uso residencial, público y comercial. Existen dos empresas productoras de pellet: Ecomas y Andes Biopellet, ambas ubicadas en la Región del Biobío, las que abastecen el mercado nacional. Durante el 2012 el consumo de pellet llegó a 30.000 t⁴⁷ y experimentó un crecimiento considerable respecto al 2006, fecha en que Ecomas comenzó sus operaciones. Actualmente, los pellets se comercializan desde la Región Metropolitana hasta Puerto Montt, y prontamente se extenderá a Coyhaique y Chiloé.

En cuanto a proyectos de biogás, existen proyectos actualmente en funcionamiento, a partir de purines, con distintos fines. Con el fin de disminuir emisiones, hay proyectos que capturan biogás, como es el caso de las instalaciones de Agrícola Super, rellenos sanitarios y la planta de aguas servidas del Gran Concepción de ESSBIO. También existen proyectos que utilizan el biogás generado para energía térmica y eléctrica, como es el caso de algunas lecherías en la Región de Los Lagos, agroindustrias y un par de plantas de aguas servidas. Un detalle de estos proyectos, se presenta en la Tabla A5.2.

⁴⁵ Generación Bruta: Sistemas SING 1999-2012; SIC 1999-2012. Comisión Nacional de Energía

⁴⁶ Elaboración propia en base a diversas fuentes de información disponible.

⁴⁷ Información entregada por Felipe Salazar de Ecomas S.A.

Tabla A5.2. Proyectos de Biogás

Instalación	Generación biogás (miles de m ³ /año)	Uso del biogás
Purines y Estiércoles		
Agrícola Super	20.780	Combustión en antorcha, autoconsumo para biodigestor
Proyecto Lechería Rupanco (50 vacas)	12	Electricidad
Proyecto Lechería X Región (80 vacas)	15	Electricidad
Agroindustria		
CCU Temuco	569	Energía térmica para autoconsumo
Mafrisur	260	Combustión en antorcha
Orati	S/I	Energía térmica para autoconsumo
Viña Francisco de Aguirre	31	Combustión en antorcha
Viña Concha y Toro	S/I	Combustión en antorcha
Inducom	1.350	Combustión en antorcha
Aguas Servidas		
Coltauco	S/I	Cocina
Empedrado	S/I	Cocina y refrigeración
La Farfana	19.000	Venta de biogás
Concepción	2.500	Combustión en antorcha
Rellenos Sanitarios		
Consortio Santa Marta	43.800	Combustión en antorcha
El Molle	13.000	Combustión en antorcha
Cohihues-La Yesca	10.000	Combustión en antorcha
Copielemu	5.500	Combustión en antorcha
El Empalme	2.500	Combustión en antorcha
Coronel	7.500	Combustión en antorcha
El Panul	5.000	Combustión en antorcha

Fuente: Sustentank, 2012

Investigación y desarrollo

En el ámbito de la Investigación actualmente se encuentran en desarrollo numerosos proyectos en el ámbito de la bioenergía, liderados por universidades y centros tecnológicos, y financiados principalmente por entidades como la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT), a través de concursos como FONDEF regular, FONDEF de Bioenergía (2010), IDeA (2012), y Corporación de Fomento a la Producción (CORFO), entidad que canaliza los fondos a través de los concursos de InnovaChile e InnovaBIOBIO Chile, en sus diferentes líneas.

La Tabla A5.3 presenta un desglose en función de las áreas específicas de investigación de los proyectos actualmente en desarrollo a nivel nacional. Se observa que la investigación relacionada con biocombustibles líquidos representa casi el 50% de los proyectos identificados.

Tabla A5.3 Proyectos de investigación en desarrollo

Área de investigación	Número de proyectos
Biocombustibles líquidos	82
Biocombustibles gaseosos	34
Biocombustibles sólidos	22
Aplicaciones para calor y electricidad	14
Otros	13
Total	165

Fuente: Ministerio de Energía 2012

Cabe destacar que el año 2010, el Fondo de Fomento al Desarrollo Tecnológico y Científico (FONDEF) creó un programa temático para proyectos de investigación en bioenergía, con el objetivo de contribuir a aumentar la competitividad y participación de la bioenergía en la matriz energética, resolviendo aspectos críticos en la cadena de valor de los biocombustibles (líquidos, sólidos y gaseosos).

Destaca el fuerte impulso que le está dando el Ministerio de Energía al desarrollo de biocombustibles de segunda generación, que no compiten con los alimentos. Mediante dos convocatorias de InnovaChile de CORFO (2008 y 2009) se invitó a universidades, entidades tecnológicas y empresas chilenas y extranjeras, a presentar propuestas de Consortios Tecnológicos Empresariales de Investigación en la producción de biocombustibles a partir de material lignocelulósico y micro y macro algas.

En el contexto antes mencionado, se adjudicaron cinco consorcios, con un financiamiento de 13.500 millones de pesos por el Ministerio de Energía e InnovaChile, y 9.200 millones de pesos de inversión privada. Los consorcios de biocombustible comprenden programas de 5 años y están trabajando en la investigación y desarrollo de gran parte de la cadena de valor de biocombustibles, incluyendo la producción de biomasa a bajo costo (micro y macro algas, plantaciones energéticas), logística de

abastecimiento de biomasa y procesos y tecnologías para la producción de biocombustibles y subproductos.

Tabla A5.4 Consorcios tecnológicos de biocombustibles

Consortio	Tipo de biomasa	Socios
BIOENERCEL	Lignocelulosa	Universidad de Concepción, Universidad Católica de Valparaíso, Fundación Chile, CMPC Celulosa y Masisa http://www.bioenercel.com/
BIOCOMSA	Lignocelulosa	Enap, Universidad de Chile, Consorcio Maderero http://www.consorcibiocomsa.cl
BAL BIOFUELS	Macro algas	BAL Chile, Bio Architecture Lab, Universidad de Los Lagos http://balbiofuels.cl/
DESERT BIOENERGY	Micro algas	E-CL (Electroandina), Prodalmar, Molinera Gorbea, Universidad de Antofagasta, Universidad de la Frontera, CICITEM
ALGAEFUEL	Micro algas	E-CL (Edelnor), Copec, Rentapack, Bioscan, Universidad Católica de Chile

Fuente: Ministerio de Energía 2012.

ANEXO 6: MINUTAS ACTIVIDADES ETAPA DE CONSULTA

A6.1. Reunión Ministerio de Medio Ambiente

Antecedentes generales

El presente documento tiene el propósito de recoger la visión del Ministerio de Medio Ambiente, respecto a la utilización de biomasa para generación de energía, además de recibir observaciones sobre las líneas de acción que se están proponiendo en el estudio.

Con el fin de informar a los invitados acerca de las líneas de acción y programas propuestos en el estudio, se hizo entrega, previo al taller, de un documento que revisa los aspectos relevantes para la utilización de biomasa con fines energéticos.

La reunión se realizó el día 26 de marzo del año 2013, en las dependencias del Ministerio de Medio Ambiente.

Lista de asistentes

INSTITUCIÓN	NOMBRE	ABREVIACIÓN
UDT (Equipo consultor)	Cristina Segura	CS
UDT (Equipo consultor)	Álex Berg	AB
UDT (Equipo consultor)	Andrea Moraga	AM
UDT (Equipo consultor)	Christian Bidart	CB
UDT (Equipo consultor)	Mauricio Flores Ruiz	MFR
Ministerio de Energía (Contraparte técnica)	Viviana Ávalos	VA
CER (Contraparte técnica)	Verónica Martínez	VM
Ministerio de Medio Ambiente	Viviana Ubilla	VU
Ministerio de Medio Ambiente	Marcelo Fernández	MF
Ministerio de Energía	Ximena Ubilla	XU

Cabe mencionar, que dentro de los invitados a esta reunión se encontraban el Sr. Joost Mejer, Jefe de Sección de Residuos Sólidos y la Sra. Carolina Ascui, de la División de Políticas y Regulación Ambiental, quienes no pudieron asistir debido a compromisos adquiridos con anterioridad.

A6.2. Reunión Ministerio de Agricultura

Antecedentes generales

El presente documento tiene el propósito de recoger la visión del Ministerio de Agricultura y entidades asociadas (FIA, INDAP, CONAF, INFOR y ODEPA) de la utilización de biomasa para generación de energía, además de recibir observaciones sobre las líneas de acción que se están proponiendo en el estudio.

Con el fin de informar a los invitados acerca de las líneas de acción y programas propuestos en el estudio, se hizo entrega, previo al taller, de un documento que revisa los aspectos relevantes para la utilización de biomasa con fines energéticos.

La reunión se realizó el día 26 de marzo del año 2013, en las dependencias del Ministerio de Agricultura

Lista de participantes

INSTITUCIÓN	NOMBRE	ABREVIACIÓN
UDT (Equipo consultor)	Cristina Segura	CS
UDT (Equipo consultor)	Álex Berg	AB
UDT (Equipo consultor)	Andrea Moraga	AM
UDT (Equipo consultor)	Christian Bidart	CB
UDT (Equipo consultor)	Mauricio Flores	MF
Ministerio de Energía (Contraparte técnica)	Viviana Ávalos	VA
CER (Contraparte técnica)	Verónica Martínez	VM
Ministerio de Agricultura	Andrés Valdivieso	AV
FIA	Fernando Bas	FB
INDAP	Macario Achondo	MA
Ministerio de Agricultura	Carlo Rojas	CR
Ministerio de Agricultura	Benjamin Barros	BB
Ministerio de Agricultura	Nicolás Ortuzar	NO
CONAF	Ernesto Weil	EW

A6.3. Reunión de co-combustión

Antecedentes generales

El presente documento tiene el propósito de recoger las visiones de la introducción de la co-combustión como Energía Renovable No Convencional (ERNC), desde los diversos actores públicos y privados, así como recibir observaciones sobre las líneas de acción que se están proponiendo en el estudio.

Con el fin de informar a los invitados acerca de las líneas de acción y programas pertinentes a la co-combustión, se hizo entrega, previo al taller, de un documento que revisa los aspectos relevantes para la introducción de la co-combustión en las centrales a carbón y presenta la línea de acción propuesta que ha desarrollado el equipo consultor para llevar a cabo en el mediano plazo la introducción de co-combustión carbón-biomasa.

La reunión se realizó el día 26 de marzo del año 2013, en las dependencias del Ministerio de Energía.

Lista de participantes

INSTITUCIÓN	NOMBRE
UDT (Equipo consultor)	Cristina Segura
UDT (Equipo consultor)	Álex Berg
UDT (Equipo consultor)	Andrea Moraga
UDT (Equipo consultor)	Christian Bidart
UDT (Equipo consultor)	Mauricio Flores
Ministerio de Energía (Contraparte técnica)	Viviana Ávalos
CER (Contraparte técnica)	Verónica Martínez
ENDESA	Katherine Kopfer
ECL	Rossana Gaete
ECL	Jaime Misraji
Collahuasi	Diego Lizana
CONAF	Ernesto Weil
INDEF	Carlos Vásquez

Cabe mencionar, que dentro de los invitados a esta reunión se encontraban representantes de Guacolda, Colbún, Enel Green Power Chile, SEC, CDEC-SIC y CDEC-SING

A.6.4. Taller de Biogás

Antecedentes generales

El presente documento tiene el propósito de recoger las visiones de desarrollo del biogás desde diversos actores públicos y privados, así como recibir observaciones sobre las líneas de acción que se están proponiendo en el estudio. Con el fin de informar a los invitados acerca de las líneas de acción y programas pertinentes al biogás, se hizo entrega, previo al taller, de un documento que revisa los aspectos relevantes de la bioenergía en Chile; específicamente para la generación de energía a partir de biomasa no lignificada, plantea aspectos conceptuales e institucionales, analiza la disponibilidad de recursos biomásicos, describe el estado actual del biogás en el país, identifica los desafíos que dificultan un mayor aprovechamiento energético de la biomasa y presenta las propuestas de líneas de acción que ha desarrollado el equipo consultor para potenciar su desarrollo.

El taller realizado el día 27 de marzo del año 2013, en el **Salón Volga del hotel Plaza San Francisco, ubicado en Alameda 816, Santiago de Chile** tuvo como objetivo principal discutir los alcances de la transformación de biomasa no lignificada, a través de digestión anaeróbica, para la obtención de biogás, en el marco del estudio, además como se ha mencionado, discutir las líneas de acción pertinentes a este tipo de biomasa.

El programa del taller se presenta en la Figura A6.4.1.

Figura A64.1. Programa Taller de Trabajo

8:30 – 8:45	Llegada y registro
8:45 – 10:00	Presentación del Estudio “Recomendaciones para la elaboración de una Estrategia Nacional de Bioenergía”
10:00 – 10:30	Coffee break
10:30 – 13:00	Discusión general de puntos críticos (ver numeral 3.2)
13:00 – 14:30	Almuerzo

Lista de participantes

INSTITUCIÓN	NOMBRE
UDT (Equipo consultor)	Christian Bidart
UDT (Equipo consultor)	Cristina Segura
UDT (Equipo consultor)	Andrea Moraga
Ministerio de Energía (Contraparte técnica)	Viviana Ávalos
CER (Contraparte técnica)	Verónica Martínez
Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)	Claudio Acuña
Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)	Glenda Gimenez
Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC)	Karin von Osten
Ministerio Medio Ambiente	María Jesús Llambias
FIA	Aquiles Neuenschwander
Gas Valpo	José Ubiergo
Metrogas	Antonio Correa
Metrogas	Juan Francisco Richards
HBS Energía	Alfredo Songer
Genera Austral	Matías Errázuriz
E-CL	Rossana Gaete
Ministerio de Agricultura	Carlo Rojas
Ministerio de Agricultura	Hernán Irrázaval
Ministerio Medio Ambiente	Viviana Ubilla
EcoRiles	Claudio Muñoz
Ministerio de Agricultura	Andrés Valdivieso
Ministerio de Energía	Ximena Ubilla

A6.5. taller de biomasa lignificada

Antecedentes generales

El presente documento tiene el propósito de recoger las visiones de desarrollo de la utilización de biomasa lignificada para generación energética desde los diversos actores públicos y privados, así como recibir observaciones sobre las líneas de acción que se están proponiendo en el estudio.

Con el fin de informar a los invitados acerca de las líneas de acción y programas pertinentes a la biomasa lignificada con fines energéticos, se hizo entrega, previo al taller, de un documento que revisa los aspectos relevantes de la bioenergía en Chile; específicamente para la generación de energía a partir de biomasa lignificada, plantea aspectos conceptuales e institucionales, analiza la disponibilidad de recursos biomásicos, describe el estado actual de la bioenergía en el país, identifica los desafíos que dificultan un mayor aprovechamiento energético de la biomasa y presenta las propuestas de líneas de acción que ha desarrollado el equipo consultor para potenciar su desarrollo.

El taller realizado el día 2 de abril del año 2013, en el **hotel Aurelio, ubicado en Salas 135, Concepción, Chile** tuvo como objetivo principal discutir los alcances de la transformación de biomasa lignificada con fines energéticos, en el marco del estudio, además como se ha mencionado, discutir las líneas de acción pertinentes a este tipo de biomasa.

El programa del taller se presenta en la Figura A6.5.1.

Figura A6.5.1. Programa Taller de Trabajo

8:30 – 8:45	Llegada y registro
8:45 – 10:00	Presentación del Estudio “Recomendaciones para la elaboración de una Estrategia Nacional de Bioenergía”
10:00 – 10:30	Coffee break
10:30 – 13:00	Discusión general de puntos críticos
13:00 – 14:30	Almuerzo

Lista de participantes

INSTITUCIÓN	NOMBRE
UDT (Equipo consultor)	Maritza Díaz
UDT (Equipo consultor)	Cristina Segura
UDT (Equipo consultor)	Álex Berg
UDT (Equipo consultor)	Andrea Moraga
UDT (Equipo consultor)	Alejandro Pacheco
Ministerio de Energía (Contraparte técnica)	Viviana Ávalos
CER (Contraparte técnica)	Verónica Martínez
Corporación Nacional Forestal (CONAF)	Ernesto Weil
Sumitomo	Felipe Salazar
Bioforest – Arauco	Christian Sieveking
Neumann Secadores	Cristian Pavéz
Neumann Secadores	Arturo Rock
Infor	Juan Carlos Pinilla
infor (GIZ)	Cisco Aust
Infor	Álvaro Sotomayor
Lignofuel	Daniela Espinoza

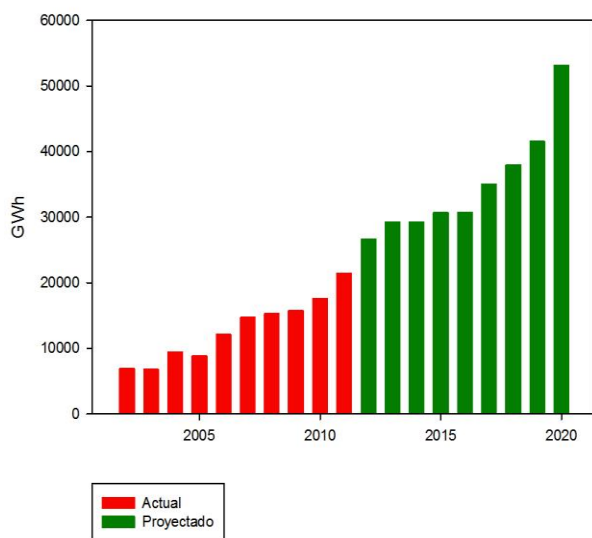
ANEXO 7: CO-COMBUSTIÓN, UNA ALTERNATIVA PARA LA INTRODUCCIÓN DE LA BIOMASA EN LA MATRIZ ENERGÉTICA NACIONAL

7.1. Introducción

Un 62% de la energía eléctrica producida en Chile el año 2011 se generó en base a combustibles fósiles y un 38% fue de tipo renovable; sin embargo, sólo un 4,8% del total fue reconocida como energía renovable no convencionales (ERNC), por provenir de fuentes eólica, biomasa o hidráulica de pasada (potencia < 20 MW)⁴⁸.

Con respecto a las fuentes fósiles, existe un aumento muy marcado del consumo de carbón, desplazando en forma gradual al gas natural y al diésel, por su menor costo. Al año 2011 20.000 GWh se generan con carbón y al año 2020 se pronostica un aumento a 54.000 GWh o más. Esta tendencia, si bien tiene justificación económica, tiene efectos ambientales adversos, entre los que cabe citar altas emisiones de dióxido de carbono y diversos contaminantes gaseosos, y un efecto negativo sobre la huella de carbono de aquellos productos nacionales que requieren de mucha energía durante su fabricación (por ejemplo, el cobre).

Figura A7.1. Consumo eléctrico de centrales térmicas en base a carbón⁴⁹.



Fuente: Elaboración propia, a partir de información del CDEC-SING, CDEC-SIC y SEA

La biomasa forestal/leña juega un papel de gran importancia como fuente primaria de energía, ya que participa con un 19,7%⁵⁰. Sin embargo, su uso ha estado restringido a la combustión domiciliar a la forma de leña, proceso muy ineficiente y de elevado costo medioambiental, y a procesos industriales,

⁴⁸ Central Energía, 2012. Central de información y discusión de energía en Chile. Capacidad Instalada. INTERNET: <http://www.centralenergia.cl/centrales/> Enero, 2013.

⁴⁹ Para la proyección al 2020 se consideraron las centrales que posiblemente que entrarían en funcionamiento en dicho periodo, considerando información de *Central Energía, 2012. Central de información y discusión de energía en Chile y diarios electrónicos.*

⁵⁰ Balance Nacional de Energía 2011. Ministerio de Energía

para cubrir requerimientos térmicos y de poder. En cuanto a la generación eléctrica nacional, su participación se reduce a un 2,8 %⁵¹. El uso de la biomasa es un factor preponderante para aumentar la participación de las ERNC en la matriz eléctrica y el camino más promisorio, para que las empresas termogeneradoras del país puedan cumplir con lo requerido por la ley 20.257⁵¹.

Una alternativa técnicamente factible y económicamente atractiva para incorporar la biomasa a la matriz eléctrica en el corto y mediano plazo es su co-combustión con carbón en centrales existentes o a implementar en el futuro. La experiencia internacional ha demostrado la viabilidad técnica de la co-combustión con biomasa, reduciendo los niveles de emisiones y gases de efecto invernadero, permitiendo además una diversificación de la matriz energética y la valorización de residuos⁵². La co-combustión con carbón aprovecha las altas eficiencias eléctricas que poseen las plantas a carbón de altas capacidades con relación a generadoras en base a biomasa de tamaño menor. Técnicamente está demostrado que un reemplazo de hasta un 5% de la energía es sencillo de llevar a cabo, sin modificar el proceso existente; sustituciones mayores, de hasta un 20%, requieren adaptaciones menores⁵³; y mayores porcentajes de reemplazo, por lo general, requieren cambios de mayor envergadura.

7.2. Tecnologías de combustión

Actualmente, las tecnologías de carbón pulverizado y de lecho fluidizado son las más utilizadas para calderas de co-combustión, con una capacidad térmica mayor a 20 MW. Estos hornos están equipados con sistemas mecánicos o neumáticos de alimentación. En principio pueden ser distinguidas las siguientes tecnologías:

- Combustión de carbón pulverizado
- Combustión en lecho fluidizado

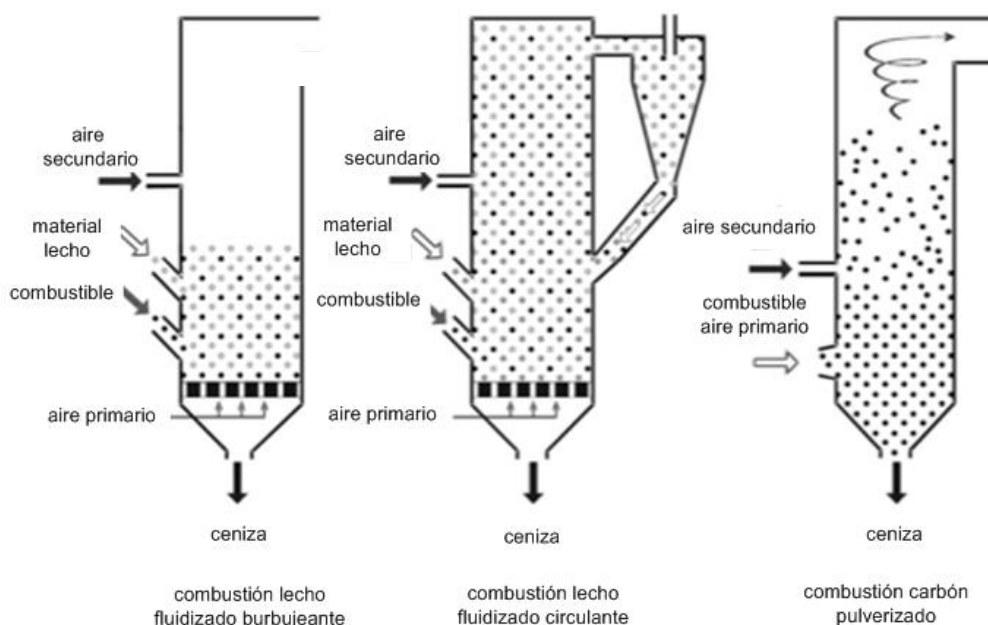
Los principios básicos de estas dos tecnologías son mostradas en la siguiente figura:

⁵¹ Ley de Fomento a las ERNC, 2008. Evaluación comparativa de centrales de generación de energías renovables mediante la aplicación de la nueva ley de fomento a las ERNC aprobada en Chile. INTERNET: <http://web.ing.puc.cl/~power/alumno08/renewables/index.html> Enero, 2013.

⁵² Hus PJ, Tillman DA. "Cofiring multiple opportunity fuels with coal at Bailly generating station". Biomass Bioenergy 19; (2000) 385-94

⁵³ IEA-ETSAP and IRENA© Technology Brief E21. "Biomass Co-firing Technology Brief". Enero, 2013.Pag. 7

Figura A7.2. Tecnologías de combustión



Fuente: Adaptado de van Loo y Koppejan, 2008

La combustión de carbón *pulverizado* es la tecnología de generación de potencia más madura a nivel mundial; en Chile las plantas de carbón pulverizado son la mayoría, alrededor de un 90%, a excepción de la Central Térmica Andina y Central Térmica Hornitos de E-CL, que utilizan tecnología de *lecho fluidizado*⁵⁴, en las cuales el carbón es quemado en suspensión con el aire.

En cuanto a las iniciativas de implementación de proyectos de co-combustión, Chile no posee registros de este tipo de iniciativas en las bases de datos de SOFOFA y de SEIA⁵⁵. En cuanto a investigación, las bases de datos nacionales sólo registran el proyecto FONDEF D09I1173 que contempla, entre otras cosas, la implementación de una planta piloto de 150 kW de lecho fluidizado, para realizar co-combustión de carbón y biomasa⁵⁶, la cual se lleva a cabo en instalaciones de UDT.

⁵⁴ La Tercera Digital, 2011. Las tecnologías que compiten para generar electricidad con carbón. INTERNET: <http://diario.latercera.com/2011/05/22/01/contenido/negocios/27-69879-9-las-tecnologias-que-compiten-para-generar-electricidad-con-carbon.shtml>. (revisión 12/01/2013)

⁵⁵ INTERNET: www.sofofa.cl, www.seia.cl. Enero, 2013 (revisión 03/01/2013)

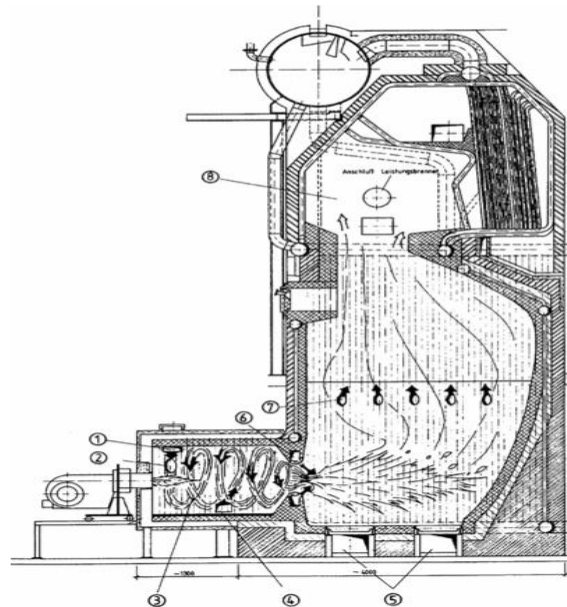
⁵⁶ Único proyecto en Chile de co-combustión, forma parte del Fondef D09I 1173 "Implementación de procesos de co-combustión de carbón y biomasa en Chile: estudio de factibilidad técnica y económica"

Combustión de combustible pulverizado

En estos sistemas, el combustible es inyectado neumáticamente al horno y el rango de temperaturas de operación es de 1300-1700°C. La calidad del combustible pulverizado debe ser constante: la humedad de la biomasa no debe superar el 20% en base seca (esto implica secar la biomasa previamente) y el tamaño de partículas debe ser de 10-20 mm de diámetro. La alternativa de operación más simple y con menores modificaciones, es el uso de chancadores, las que se encuentran disponibles en las plantas termoeléctricas generadoras en base a carbón, para triturar la biomasa junto al carbón. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los equipos no están diseñados para tratar materiales fibrosos como la biomasa, por lo que su eficiencia disminuye, si el reemplazo supera un 5%, y la granulometría del carbón suele ser menor⁵⁷.

Otro factor limitante de importancia tiene relación con la ceniza generada por la combustión y eventuales problemas de aglomeración y corrosión, debido a una alteración de su punto de fusión. Por tanto, dependiendo del tipo de carbón y el origen de la biomasa podrán establecerse restricciones adicionales.

Figura A7.3. Horno combustible pulverizado. Explicaciones: 1 entrada aire primario 2 entrada combustible 3 gasificación y combustión parcial 4 recirculación gases de combustión 5 depósitos de cenizas 6 entrada aire secundario 7 entrada aire terciario 8 tubos de agua de la caldera



Fuente: van Loo y Koppejan, 2008

⁵⁷ Savolainen, K. "Co-firing of biomass in coal-fired utility boilers". Applied Energy 74; (2003), pag. 376

Combustión de lecho fluidizado (FBC)

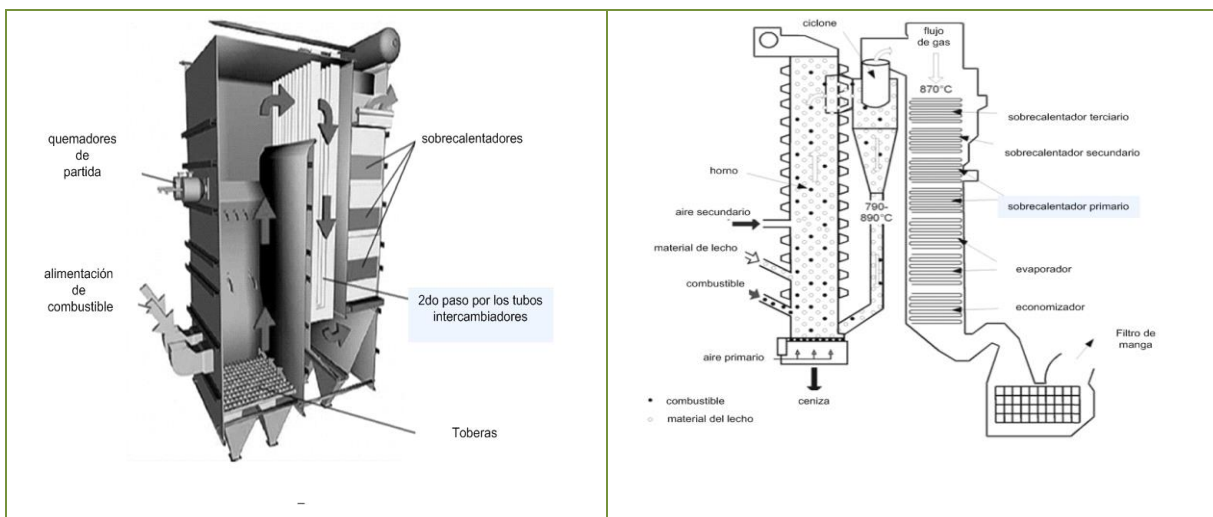
La tecnología de co-combustión en lecho fluidizado ha sido adoptada desde fines de los 90, principalmente en el norte de Europa, gracias a que proporciona mayor flexibilidad en el uso de combustibles con propiedades físicas y químicas muy diferentes, incluyendo combustibles fósiles, biocombustibles y materiales residuales. Las pruebas de co-combustión de biomasa con carbón realizadas en las unidades de lecho fluidizado muestran que se produce una sinergia positiva entre los combustibles, sin requerimientos especiales a los materiales de construcción o a la operación.

Un lecho fluidizado consiste en un estanque cilíndrico con un plato perforado en el fondo, relleno con una suspensión de lecho caliente de material inerte y granular; comúnmente el lecho está formado por arena o dolomita. El material del lecho representa entre el 90 y el 98% de la mezcla de combustible y material inerte.

La intensa transferencia de calor y mezclado característica de este tipo de proceso entrega buenas condiciones para una combustión completa, con una baja demanda de exceso de aire. Existen 2 tipos de lechos fluidizados, burbujeante (BFB) y circulante (CFB), la diferencia principal radica en la velocidad de fluidización, en los BFB es de 1-2 m/s y para CFB 5-10 m/s, lo que también determina el tamaño máximo de partículas de biomasa a alimentar; bajo 80 mm y 40 mm respectivamente.

Los hornos de lecho fluidizado convencionales no pueden operar con altas proporciones de paja y/o combustibles similares con alto contenido de álcalis. Sin embargo, los hornos modernos de BFB, que operan con bajas temperaturas (de 650-850°C), pueden quemar combustibles con bajos puntos de fusión sin problemas de sinterización. La alta eficiencia de la tecnología FBC es especialmente interesante a grandes escalas (capacidades sobre 20 MW_{th}). Por el contrario, para plantas pequeñas, la inversión y los costos de operación son usualmente demasiado altos, comparados con sistemas de lecho fijo. Una desventaja es la alta cantidad de polvo que se emite con los gases de combustión de salida, haciendo necesario la incorporación de precipitadores electrostáticos y otros sistemas de limpieza de los gases de combustión. Parte del material del lecho también se pierde con las cenizas, haciendo necesario añadir nuevo material a la planta periódicamente.

Figura A7.4. Hornos de lecho Fluidizado



Fuente: Adaptado de van Loo y Koppejan, 2008

7.3. Experiencia Internacional

La Agencia Internacional de Energía (IEA) ha identificado alrededor de 150 plantas en el mundo que usan carbón con biomasa⁵⁸. La mayoría de estas plantas están ubicadas en el norte de Europa y Estados Unidos, con algunas unidades en Asia y Australia. Muchas de ellas corresponden a productoras de calor y potencia (CHP), y algunas sólo producen electricidad. Sus rangos de capacidad varían entre 50 y 700 MW.

Dinamarca es uno de los pioneros en Europa en la utilización de biomasa para generar electricidad, habiendo iniciado en la década de los 80 el desarrollo de tecnologías de combustión de paja de cereales en sistemas de parrilla. Durante la década de los 90, unidades de combustión de la central térmica de Studstrup fueron modificadas para la co-combustión de paja/carbón y, el estudio de estas unidades, permitió concluir que hasta un 10% (base energética) de paja, podía ser co-combustionada sin riesgo de aumentar las velocidades de corrosión generadas para una alimentación de carbón. La biomasa forestal es muy utilizada en plantas de co-combustión de carbón pulverizado: Desde 1993, la central de Hässelbyverket (Estocolmo) co-combustiona 250.000 ton/año de pellets de madera (80% de sustitución); Electrabel utiliza 300.000 ton/año de pellets de madera para la planta de Rodenhuize y la planta en Nijmegen, Holanda, alimenta pellets de madera, con un 25% de sustitución. Avedorevaerket (Dinamarca) es una de las plantas térmicas más eficientes del mundo con capacidad de combustión de carbón y co-combustión de gas natural, petróleo y pellets de madera. Unidades de lecho fluidizado diseñadas para carbón, también han sido probadas con procesos de co-combustión con biomasa. Este es el caso de la planta de Jaworzno, Polonia, en la cual la biomasa residual ha sido incorporada para co-combustión, desde el año 2006.

Entre las plantas más modernas de co-combustión con biomasa se encuentra la primera caldera de lecho fluidizado operada bajo condiciones supercríticas, en Lagisza, Polonia; la planta de co-combustión de residuos/biomasa de la empresa Igelsta (Suecia); y las plantas de co-combustión de carbón/biomasa de Kvarnsveden (Suecia) y NPS (Tailandia). Esta última está diseñada para co-combustionar hasta un 50% (base energética) de biomasa local (corteza de eucalipto y cáscara de arroz) en mezcla con antracita y/o carbón bituminoso. En este caso, el alto contenido de cloro de la corteza de eucalipto, en combinación con el contenido de calcio y potasio de la ceniza, podría amplificar fácilmente los problemas de aglomeración en calderas de alta eficiencia. Sin embargo, el alto contenido de sílice presente en las cenizas de la cáscara de arroz tiene un efecto abrasivo que permite mantener limpios los tubos.

⁵⁸ IEA-ETSAP and IRENA© Technology Brief E21. "Biomass Co-firing Technology Brief". Enero, 2013.Pag. 5

7.4. Barreras

La implementación de proyectos de co-combustión depende principalmente de la disponibilidad segura y económica de biomasa, en tal sentido, comparte algunas de las barreras que se ya han mencionado en la estrategia. Respecto a barreras particulares para la implementación de procesos de co-combustión:

- El no reconocimiento de la co-combustión como ERNC por parte del Estado. Bajo la ley 20.257, las grandes generadoras de electricidad deben lograr paulatinamente que sus retiros de energía de fuentes de ERNC, sean al menos un 10% al año 2024.
- Bajo reemplazo de biomasa por carbón con las tecnologías actuales. Hoy se utiliza masivamente tecnología de carbón pulverizado, que permite bajos reemplazos de biomasa, alrededor de un 5%. Implementar tecnologías de combustión de lecho fluidizado permitiría mayores porcentajes de utilización de biomasa.
- Resistencia a la inversión y costos adicionales de operación y mantención. Modificar las instalaciones actuales en base a carbón para que puedan operar con biomasa presenta bajos costos, pero, aun así, éstos son adicionales a la operación convencional. Por otro lado, invertir en tecnologías nuevas que permiten mayores porcentajes de reemplazo de biomasa, implican costos de hasta un 30% mayor⁵ que las formas convencionales de generación.

7.5. Potencial del uso de biomasa para co-combustión

En Chile existe una capacidad instalada de plantas termoeléctricas en base a carbón de 3.500 MW aproximadamente y se proyectan 5.900 MW⁵⁹ adicionales. El consumo de carbón en el país es de aproximadamente 9 millones de toneladas por año en centrales eléctricas, las que generan alrededor de 20.000 GWh⁶⁰. Proyectando el consumo futuro, incluyendo las nuevas centrales que entrarán en operación en el corto plazo y mediano plazo:

⁵⁹ Proyectos con SEIA aprobados y/o en construcción

⁶⁰ Anuario y Estadística de Operación 2002-2011, CDEC-SING, pags 49-51 y Estadística de operación 2002-2011, CDEC-SIC, pags 60- 61

Tabla A7.1. Proyección del consumo de carbón y biomasa al 2020

Año	Consumo carbón (miles ton secas/año)	Consumo biomasa, 5% (miles ton secas/año)	Consumo biomasa, 10% (miles ton secas/año)	Consumo biomasa, 15% (miles ton secas/año)	Consumo biomasa, 20% (miles ton secas/año)
2011	7.541	599	1.199	1.798	2.398
2012	9.359	744	1.488	2.232	2.976
2013	10.277	817	1.634	2.451	3.268
2014	10.277	817	1.634	2.451	3.268
2015	10.769	856	1.712	2.568	3.424
2016	10.769	856	1.712	2.568	3.424
2017	12.288	977	1.954	2.930	3.907
2018	13.388	1.060	2.120	3.181	4.241
2019	14.577	1.159	2.318	3.476	4.635
2020	18.650	1.483	2.965	4.448	5.930

Fuente: Elaboración propia, a partir de información de la CNE y SEA

Para una sustitución progresiva de carbón por biomasa, desde un 5% hasta un 20% en energía de aquí al 2020, se requeriría entre 0.8 y 6 millones de toneladas de biomasa por año (ver Tabla A7.1).

En perspectiva, un 5% de reemplazo de biomasa lignocelulósica, correspondería aproximadamente a un 4%, de las 20 millones de toneladas anuales para consumo industrial actual⁶¹ que comprende; producción de celulosa, madera aserrada y uso energético.

Si se considera el potencial disponible de biomasa forestal residual del manejo forestal de plantaciones de pino y eucalipto, aproximadamente 1,8 millones de toneladas anuales, en base seca (ver Anexo 4), la ocupación sería de un 45%, reemplazos superiores al 12% coparían toda la biomasa forestal residual disponible. Un manejo sustentable del bosque nativo o la utilización de residuos de cosecha de trigo y avena son alternativas interesantes. Considerando los residuos de cosecha de avena y trigo, con un potencial teórico de 2,5 millones de toneladas anuales, con un 12% de humedad (ver Anexo 4), se estima una utilización total cercana al 20%. Sin embargo, realizar co-combustión con desechos de cereales plantea varios desafíos tanto en el transporte, referidos a su baja densidad energética y alta higroscopicidad junto con problemas en la quema con carbón, debido al bajo punto de fusión de sus cenizas, todos estos factores limitan el porcentaje de reemplazo posible. En el caso del bosque nativo, como ya se ha expuesto, existe una gran incertidumbre en cuanto a su potencial real, debido a la carencia de caminos que dificultan el acceso y una fuerte oposición de la opinión pública a su explotación

⁶¹ Anuario Forestal, Infor 2010, pag. 48

industrial. En el sentido antes expuesto, la biomasa obtenida a partir de las plantaciones dendroenergética es una alternativa importante de considerar.

Plantaciones dendroenergéticas

El uso extensivo de la biomasa en sistemas de co-combustión puede generar una competencia desleal por la biomasa, aumentando los precios de ésta y, por ello, afectando a sus usuarios actuales. En tal sentido, es recomendable restringir la co-combustión, por ejemplo; una utilización preferente de biomasa proveniente de cultivos dendroenergéticos.

En el país no hay plantaciones dendroenergéticas comerciales, sólo existen ensayos piloto, 34 en total, distribuidos en 25 comunas de las regiones de Valparaíso, Metropolitana, del Maule, del Biobío y La Araucanía. Alrededor del 60 % de los ensayos se encuentran en nueve comunas de la región del Biobío. La superficie de los ensayos varía entre 0,4 y 334 hectáreas y las especies ensayadas fueron Acacia, Eucaliptus, Pino Radiata, Miscanthus, Paulownia y Salix.

De acuerdo al estudio de la Universidad Austral⁶², en un escenario conservador restrictivo, la cantidad de hectáreas disponibles para cultivos dendroenergéticos, desde la Región de Coquimbo hasta la Región de Aysén es de 383 mil hectáreas. A continuación se indica un desglose por regiones:

Tabla A7.2. Superficie disponible para cultivos dendroenergéticos y cantidad de biomasa producida

Región	Superficie (miles de hectáreas)	Biomasa producida ⁶³ (miles de toneladas seca)
Coquimbo	-	-
Valparaíso	-	-
Metropolitana	-	-
O'Higgins	-	-
Maule	5,6	112
Bío Bio	14,9	298
Araucanía	68,8	1376
Los Ríos	110,1	2202
Los Lagos	125,8	2516
Aysén	58,6	1172
Total	383,8	7676

⁶² Universidad Austral de Chile. "PROYECTO EVALUACIÓN DE MERCADO DE BIOMASA Y SU POTENCIAL", 2013, pag. 100

⁶³ Se ha considerado un rendimiento promedio de 20 ton S/ha/a, de acuerdo con el estudio de la Universidad Austral de Chile. "PROYECTO EVALUACIÓN DE MERCADO DE BIOMASA Y SU POTENCIAL", 2013, pag. 61

7.6. Implementación de co-combustión en Chile

Implementar co-combustión desde un punto de vista económico involucra inversiones y costos de operación y mantención (O&M) para la generación eléctrica. Dependiendo si es co-combustión directa, ya sea por alimentación conjunta o separada en la misma caldera, o co-combustión indirecta⁶⁴, los montos varían notablemente. De experiencias internacionales, la inversión para proyectos de co-combustión, que implica modificaciones en plantas generadoras de electricidad en base a carbón, son de aproximadamente de 300-700⁶⁵ US\$/kW, para alimentación conjunta y de 760-900⁶⁵ US\$/kW, para alimentación separada. En el caso de co-combustión indirecta, la inversión corresponde a 3.000-4.000 US\$/kW. Los costos O&M, en todos los casos, se corresponde a 5-10 US\$/MWh. La inversión para proyectos fotovoltaicos y eólicos varían entre 1.400-2.475⁶⁶ US\$/kW y los costos O&M a partir de estas energías, oscilan entre 200-300⁶⁶ US\$/MWh y 52-165⁶⁶ US\$/MWh, respectivamente. Como se puede notar la inversión y los costos O&M para implementar otro tipo de ERNC son onerosas que la co-combustión, luego se puede privilegiar este tipo de generación en desmedro de otras, si esta última es reconocida como ERNC. Es plausible que el Estado establezca mecanismos adicionales para incentivar a otros tipos de ERNC, por ejemplo estableciendo cuotas de generación.

Costos de generación a partir de co-combustión

La factibilidad económica de implementar co-combustión, se analizó considerando el precio del combustible y el transporte, carga y descarga de éste^{67,68}. En la tabla siguiente se muestra las propiedades de los combustibles considerados.

Tabla A7.3. Propiedades combustibles

Combustible/variable	Carbón ⁵²	Chips ^{69,70}	Pellets ⁷¹	Pellets torrefactados ⁷¹
Poder calorífico Inferior [MWh/toneladas]	8,14	3,41	4,86	6,03
Humedad en base seca [%]	10	50	7-10	1-5
Densidad a granel [kg/m ³]	860	195	620	800

El pretratamiento de la biomasa, ya sea a través de peletización y/o torrefacción⁷² mejora ostensiblemente las propiedades de ésta, logrando disminuir el efecto del transporte, carga y descarga del combustible en el costo total, como se verá a continuación.

⁶⁴ ver Apéndice 1 para detalles

⁶⁵IEA-ETSAP and IRENA© Technology Brief E21. "Biomass Co-firing Technology Brief". Enero, 2013.Pags. 4 y 5

⁶⁶REN21. 2012. Renewables 2012 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). Pag. 28

⁶⁷Para el carbón se despreja el costo de transporte, pues su adquisición final es en las cercanías de las plantas de generación eléctrica

⁶⁸Para reemplazos pequeños de biomasa por carbón se considera que los costos de O&M son iguales

⁶⁹ Campino;J. SEMINARIO GENERACIÓN ENERGÍA CON BIOMASA, UDT, Concepción, 2006.

⁷⁰ Documento generado por la FAO, <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/j6439s/j6439s06.pdf>

⁷¹ Koppejan; J.; Melin; S. Status overview of torrefaction technologies. Final Report. IEA 32 Bioenergy Task Report

⁷²Para las tecnologías mencionadas, UDT cuenta con plantas pilotos para realizar estudios

Tabla A7.4. Costos de generación eléctrica considerando sólo costo de combustible

Combustible/variable	Carbón	Chips	Pellets	Pellets torrefactados
Precio [US/tonelada]	100 ⁶⁰	67 ⁷³	67 (precio biomasa)	67 (precio biomasa)
Costo transporte unitario ⁷⁴ [US/tonelada/km]	-	0.19	0,12	0,12
Distancia terrestre transporte ⁷⁵ [km]	-	100	100	100
Costo terrestre transporte [US/tonelada]	-	19	12	12
Costo marítimo ⁷⁶ transporte [US/tonelada]	-	15	15	15
Costo peletizado ⁷¹ [US/MWh]	-	-	12	15
Costo torrefacción ⁷¹ [US/MWh]	-	-	-	19
Costo total c/transporte terrestre [US/MWh]	-	72	58	53
Costo total c/transporte+marítimo terrestre [US/MWh]	35	84,5	62	60,4

Si se considera un reemplazo energético de 5% por biomasa, se estima que los costos de generación global de la energía por concepto del combustible utilizado (95% carbón+5% biomasa) son 38,5 US/MWh para chips, 37,1 US/MWh para pellet y 36,9 US/MWh para pellet torrefactados, en el caso de transporte terrestre. Si se incluye el costo de transporte marítimo, los costos de generación suben a: 39,1 US/MWh para chips, 37,2 US/MWh para pellet y 37 US/MWh para pellet torrefactado. De acuerdo a la ley 20.257, la multa por no cumplir con la cuota de ERNC exigida es 0,4 UTM^{77,78}, lo que contribuiría a disminuir el costo total de generación asociado a la adquisición de combustible y transporte.

En el marco del proyecto Fondef D09 I 1173 “Implementación de procesos de co-combustión de carbón y biomasa en Chile: estudio de factibilidad técnica y económica” se ha desarrollado un ranking de implementación de co-combustión en centrales a carbón existentes y por implementar en el corto plazo, en el país. Este ranking considera; distancia de la planta de generación a los centros producción de biomasa, factibilidad de implementación técnica de co-combustión, antigüedad y finalmente el costo de generación. Las plantas termoeléctricas a carbón tienen menores costos de transporte si se encuentran más cerca de los centros de producción de biomasa (ubicados principalmente de la VIII Región al sur),

⁷³ Universidad Austral de Chile. “PROYECTO EVALUACIÓN DE MERCADO DE BIOMASA Y SU POTENCIAL”, 2013, pag. 172

⁷⁴ Se utilizó la metodología presentada en Bertrán, J., Morales, E.: Estudio Potencial de generación de energía por residuos del manejo forestal en Chile. Encargado por GTZ y CNE, 2008.

⁷⁵ Distancia promedio de transporte

⁷⁶ Comunicación personal con generadoras eléctricas

⁷⁷ LAS ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES EN EL MERCADO ELÉCTRICO CHILENO, CNE/GTZ, marzo 2009, pag. 65.

⁷⁸ Valor de la UTM en junio de 2013 es de \$ 40.085, equivalente a US\$ 80. Por lo que 0,4 UTM/MWh equivalen a US\$ 32/MWh. El valor mensual de la UTM se encuentra disponible en línea en www.bcentral.cl, (revisión 7/06/2013)

pues es un factor que influye de manera importante en la generación eléctrica, de hecho se corresponde entre un 25-45% del costo total. En el ranking, los primeros lugares los ocupan centrales ubicadas en la VIII Región

Tabla A7.5. Ranking implementación de co-combustión en centrales termoeléctricas a carbón

Ranking ^(*)	Central	Región	Tecnología	Consumo de carbón (miles de toneladas/a)	Consumo de biomasa ⁷⁹ (mi ltoneladas/a)
1	Santa María I ⁸⁰	VIII	PF ⁸¹	1.042,44	70
2	Bocamina II ⁸⁰	VIII	PF	1.810,35	122
3	Petropower	VIII	CFB ⁸²	140,24	19
4	Bocamina I	VIII	PF	375,85	26
5	Campiche	V	PF	930,75	63
6	Nueva Ventanas	V	PF	733,88	57
7	Ventanas 2 y Ventanas 1	V	PF	898,59	65
8	Guacolda IV	III	PF	536,04	34
9	Guacolda III	III	PF	520,21	36
10	Norgener2 y Norgener 1	II	PF	826,02	62,1
11	Guacolda II	III	PF	462,46	28
12	Guacolda I	III	PF	567,12	33
13	Angamos 1 y Angamos 2	II	PF	1.225,13	55,5
14	CTH	II	CFB	371,0	38,4
15	CTA	II	CFB	457,47	42,2
16	CTM1 y CTM2- Mejillones	II	PF	939,49	63,5
17	U15, U14, U12, U13- Tocopilla	II	PF	1.230,72	61,5

Fuente: Adaptado de resultado del Fondef D09 I 1173^(*)La metodología desarrollada para elaboración del ranking está en proceso de protección, por ello no es posible entregar más detalles.

⁷⁹ Se supuso un 5% de reemplazo energético para la tecnología PF y 10% para CFB

⁸⁰ Dato teórico

⁸¹ Carbón pulverizado

⁸² Lecho fluidizado circulante

ANEXO 8: PROGRAMA DE APOYO A LA INVERSIÓN PARA LA ADQUISICIÓN DE CALDERAS A BIOMASA EN PYMES

Se evaluó los periodos de recuperación, en años, de la inversión de calderas a biomasa de diferentes tamaños (potencia) en función del uso, de la demanda de energía térmica anual, y del ahorro obtenido por reemplazo de combustibles fósiles (gas natural, gas licuado y diésel) por biocombustibles sólidos, astillas con un contenido de 30% de humedad y pellet. Cabe mencionar, que en la inversión sólo se contempló el costo de la caldera, sin incluir costos adicionales de infraestructura y/o equipos auxiliares que pudieran ser requeridos en algunos sistemas de generación térmica de biomasa. Los datos se presentan en la Tabla A8.2.

Tabla A8.1. Parámetros utilizados para el cálculo

	Astillas	Pellet	Gas Licuado	Diésel	GN (m3)*
PCI (MWh/t)	3,50	4,98	14,07	12,68	0,0108
Densidad (t/m3)			0,55	0,84	0,000784
Precio (\$/t)	28.200	160.000	763.636	1	780,00
Precio (US\$/t)	60,00	340,43	1.625	0	1,66
Eficiencia calderas	0,85	0,90	0,92	0,90	0,95
\$/MWh	\$8.057	\$32.129	\$54.265		\$56.539

* La eficiencia térmica de calderas según tipo de combustible, se estimó considerando un valor promedio de lo especificado en catálogos de calderas

Tabla A8.1. Comparación de calderas a biomasa, astillas con 30% de humedad(*)

Tipo de Calderas	Potencia nominal KWth	Inversión (MMUS\$)	Demanda energía anual MWhth	Biomasa 30% (t/año)	Ahorro (US\$) GL	Ahorro (US\$) Diesel	Ahorro (US\$) GN	Payback (reemplazo de diesel)
Calefacción residencial	20	0,004	20	6,7	2.107	2.172	2.827	1,96
Calefacción edificios	80	0,043	175	59	18.433	19.005	24.736	2,24
Calefacción edificios	150	0,090	300	101	31.599	32.579	42.404	2,76
Calefacción edificios	250	0,150	1.000	336	105.330	108.598	141.346	1,38
Calefacción y ACS hotel	300	0,160	1.100	370	115.863	119.458	155.481	1,34
Calefacción y ACS hotel	300	0,160	1.281	431	134.927	139.114	181.064	1,15
Calefacción y ACS hotel	350	0,180	1.600	538	168.527	173.757	226.154	1,04
Calefacción y ACS Edificios res	450	0,200	2.400	807	252.791	260.636	339.231	0,77
Calefacción Universidad	750	0,275	10.000	3.361	1.053.297	1.085.982	1.413.460	0,25
Vapor Industrial (2.5 tv/h)	2.000	0,25	6.000	2.017	631.978	651.589	848.076	0,38
Vapor Industrial (3 tv/h)	2.500	0,75	8.160	2.743	859.490	886.161	1.153.384	0,85
Vapor Industrial (3 tv/h)	2.500	0,75	9.800	3.294	1.032.231	1.064.262	1.385.191	0,70
Vapor Industrial (4 tv/h)	3.800	1,14	10.000	3.361	1.053.297	1.085.982	1.413.460	1,05
Vapor Industrial (5 tv/h)	4.200	1,50	12.850	4.319	1.353.486	1.395.487	1.816.297	1,07
Vapor Industrial (5 tv/h)	4.200	2,10	26.218	8.813	2.761.533	2.847.228	3.705.811	0,74

Nota 1: no se contempló el aumento en costos de O&M de sistemas a biomasa, biomasa utilizada.

(*) Payback, de reemplazo de diesel en años

Tabla A8.3. Comparación de calderas a biomasa, pellet. (*)

Tipo de Calderas	Potencia nominal KWth	Inversión (MMUS\$)	Demanda energía anual MWth	Pellet (t/año)	Ahorro (US\$) GL	Ahorro (US\$) Diesel	Ahorro (US\$) GN	Payback (reemplazo de diesel)
Calefacción residencial	20	0,004	20	4,5	991	1.056	1.711	4,03
Calefacción edificios	80	0,043	175	39,0	8.670	9.242	14.973	4,60
Calefacción edificios	150	0,090	300	66,9	14.863	15.844	25.668	5,68
Calefacción edificios	250	0,150	1.000	223,1	49.544	52.812	85.560	2,84
Calefacción y ACS hotel	300	0,160	1.100	245,4	54.498	58.094	94.116	2,75
Calefacción y ACS hotel	300	0,160	1.281	285,8	63.466	67.653	109.603	2,37
Calefacción y ACS hotel	350	0,180	1.600	357,0	79.270	84.500	136.896	2,13
Calefacción y ACS Edificios res	450	0,200	2.400	535,5	118.905	126.750	205.344	1,58
Calefacción Universidad	750	0,275	10.000	2.231,1	495.438	528.123	855.602	0,52
Vapor Industrial (2.5 tv/h)	2.000	0,25	6.000	1.338,7	297.263	316.874	513.361	0,79
Vapor Industrial (3 tv/h)	2.500	0,75	8.160	1.820,6	404.277	430.949	698.171	1,74
Vapor Industrial (3 tv/h)	2.500	0,75	9.800	2.186,5	485.529	517.561	838.490	1,45
Vapor Industrial (4 tv/h)	3.800	1,14	10.000	2.231,1	495.438	528.123	855.602	2,16
Vapor Industrial (5 tv/h)	4.200	1,50	12.850	2.867,0	636.638	678.639	1.099.448	2,21
Vapor Industrial (5 tv/h)	4.200	2,10	26.218	5.849,6	1.298.939	1.384.634	2.243.217	1,52

(*) Payback, de reemplazo de diesel en años

Los costos de calderas difieren considerablemente dependiendo de la tecnología, automatización y proveedor de calderas.

ANEXO 9: PROGRAMA DE INCENTIVO PARA ESTUDIOS DE PRE-INVERSIÓN DE PROYECTOS DE BIOGÁS.

De acuerdo a estudios desarrollados, los sectores que ofrecen mayor potencial para el desarrollo de proyectos de biogás en el país corresponden a: i) lodos proveniente de plantas de tratamiento de agua, ii) biogás liberado espontáneamente desde rellenos sanitarios, iii) purines, y iv) residuos generados post-cosecha. El potencial técnico total asciende a aproximadamente 1.116 MWth (Chami et al., 2007). Residuos generados por la industria de lácteos, bebidas alcohólicas y de procesamiento de beneficio animal resulta ser marginal (menor al 4%).

Tabla A9.1. Sectores e indicadores económicos más relevantes de estudios de potencial.

Sector	Potencial económico (GWh _e a ⁻¹)	Fracción comercial de potencial económico (GWh _e a ⁻¹)*	N° proyectos comerciales	Potencial ya empleado (GWh _e a ⁻¹)	Proyectos en ejecución
Plantas de tratamiento de agua	75	55	5	52,3	3
Rellenos sanitarios	1.050	1.073	23	471	1
Purines	779	589	28	282	2
Residuos agrícolas	1.112	612	31	58	2
Total	3.016	2.329	87	863	8

(*) Esta fracción comercial del potencial económico ofrece un costo de generación menor al precio de mercado de la energía eléctrica, no así la totalidad del potencial económico. Ver Bidart *et al.* (2013a-c).

El método para la estimación del número de proyectos que serían, a nivel de prefactibilidad, económicamente atractivos, se llevó a cabo a través de una herramienta de análisis económico para energías renovables geográficamente distribuidas denominada *cost-supply curves*, también denominadas *curvas de suministro* (Izquierdo *et al.*, 2010). Para el caso de rellenos sanitarios, el estudio en que se aplica esta herramienta ya se encuentra disponible en literatura (Bidart *et al.*, 2013a); para plantas de tratamiento de aguas, purines y residuos de agrícolas aún se encuentran en etapa de revisión (Bidart *et al.*, 2013b, 2013c). Es importante destacar que no existe para el país trabajos análogos que permitan desarrollar un análisis similar. Los estudios antes citados consideran, en la selección bajo criterios económicos, proyectos en un marco de referencia que implica: generación eléctrica con transferencia a un tercero (puede ser inyección a la red), uso de calor para consumo interno (calefacción del reactor) a una tasa de aproximadamente 25%, liberación al ambiente de calor remanente y digestato sin valor comercial. Este marco de referencia permite llevar a cabo *evaluaciones macro-económicas* conducentes al desarrollo de políticas. Los planes operacionales son los que permitirán establecer, bajo análisis caso a

caso, cuál es la mejor opción para un proyecto de biogás en particular en un contexto específico, es decir, con autoconsumo, inyección a la red eléctrica, con venta de calor residual o generación térmica neta.

A partir de estudios desarrollados (Bidart *et al.*, 2013a-c)⁸³, se distingue para cada sector un potencial económico y que representa la energía que tendría sentido explotar, en términos económicos, considerando digestión anaeróbica de la biomasa disponible para generación de energía eléctrica sin uso comercial del calor obtenible como sub-producto al emplear sistemas de cogeneración (*Combined Heat and Power* - CHP). En estos términos, es un potencial que puede ser explotado a escala comercial, aunque no necesariamente sea económicamente atractivo, pues *su costo de generación puede ser mayor al precio de mercado de la energía, una condición en que se requeriría de subsidios*.

Considerando una proyección del precio de energía eléctrica del orden de 12 ct € kWh_e (Bidart *et al.* 2013b) para proyectos de generación de baja escala en el mediano plazo, el potencial económico se reduce a una fracción comercial de éste, y que está compuesta de un número determinado de proyectos. Para el caso de las plantas de tratamiento de agua, el potencial económico asciende a 75 GWh_e a⁻¹, con una fracción comercial de 55 GWh_e a⁻¹, y que a su vez lo componen 5 plantas, que representan 5 proyectos potenciales de generación eléctrica a través de digestión anaeróbica de lodos aeróbicos.

Tabla A9.2. Sectores e indicadores económicos más relevantes de estudios de potencial.

Sector	Potencia comercialmente factible (MW _e)	Fracción comercial (GWh _e a ⁻¹)	Número de proyectos potenciales (N°)	Inversión esperada (MM US\$)	Generación empleo (N° puestos)	Costo del programa (MMUS\$)
Plantas de tratamiento de agua	8,6	2,7	2	18.8	137	0,09
Rellenos sanitarios	120	602,0	22	264	1.918	0,98
Purines	89	307,0	26	196	1.423	1,16
Residuos agrícolas	127	554,0	29	279	2.031	1,29
Total	344	1.466	79	757	5.509	3,5

De los proyectos que componen la fracción comercial existen algunos en operación y en los que, por lo tanto, la biomasa generada ya está siendo utilizada. Por lo anterior, por ejemplo, para las plantas de

⁸³ Bidart^a, C.; Fröhling, M.; Schultmann, F. Municipal solid waste and production of substitute natural gas and electricity as energy alternatives. *Applied Thermal Engineering*. 51 (2013) 1107-1115.

Bidart^b, C., Fröhling, M.; Schultmann, F. Electricity and substitute natural gas generation from the conversion of wastewater treatment plant sludge. *Applied Energy*. (2013). Submitted.

Bidart^c, C.; Fröhling, M.; Schultmann, F. Livestock Manure and Crop residue for energy generation: Macro-assessment at a national scale. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* (2013). Submitted.

tratamiento de agua, de los 5 proyectos comerciales existen 3 en operación, dejando sólo 2 proyectos que podrían ser ejecutados en el futuro.

Del número de proyectos potenciales (es decir número de proyectos comerciales menos proyectos en ejecución) es posible calcular la potencia eléctrica equivalente comercialmente factible suponiendo un factor de operación de 90%. Considerando parámetros internacionales que indican una inversión intensiva de plantas de biogás en Europa de aproximadamente 2,2 MM US\$ MW_e⁻¹ (instalado)⁸⁴, y una tasa de generación de empleo de 16 puestos MW_e⁻¹ (instalado)⁸⁵, es posible calcular el número de puestos de trabajo generado y la inversión esperada máxima. Para el caso del sector de plantas de tratamiento de agua, la inversión esperada asciende a 12,8 MMUS\$ con una generación de empleo de 137 puestos de trabajo directos e indirectos.

Tabla A9.3. Regiones con mayor concentración de potencial técnico, y escalas mínimas y máximas esperadas expresadas en electricidad equivalente.

	Regiones con mayor potencial técnico (%)	Escala mínima (kW _e)	Escala máxima (MW _e)
Plantas de tratamiento de agua	XIII 49%; VIII 15%	260	5
Rellenos sanitarios	XIII 67 %	170	54
Purines	XIII 62%; IX 11%	315	22
Residuos agrícolas	VI 32%; VII 19%; IX 18%	500	6

De los estudios antes citados (Bidart *et al.*, 2013a-c), se ha estimado que el rango de escala de los proyectos que, a nivel de pre-factibilidad y bajo los supuestos anteriormente enunciados, son rentables, corresponden a lo indicado en la tabla A9.3. La variación en capacidad se debe, en lo fundamental, al tipo de substrato y a su disponibilidad, así como también condiciones específicas de operación y suministro de biomasa supuestas en la evaluación. Por otra parte, se indica en la misma tabla las regiones en que se observa la mayor concentración de potencial técnico. Como se puede observar, los tres primeros sectores (plantas de tratamiento de agua, Rellenos sanitarios y purines) concentran la mayor parte de

⁸⁴ Hahn, H. Guideline for Financing agricultural biogas projects – training material for biogas investors. Fraunhofer IWES, Kassel, Germany, 2011.

⁸⁵ IEA Bioenergy Task 37. Country Report, Germany. Moss, Norway, 2012.

su potencial en la Región Metropolitana (XIII), mientras que para los residuos agrícolas éste se encuentra en la Región Libertador B. O'Higgins (VI), Región del Maule (VII) y Región de la Araucanía (IX).

El programa de biogás, considerando que contempla como criterio base de su ejecución la rentabilidad económica de los proyectos, puede considerar como criterios de selección externalidades ambientales o sociales positivas, tales como la reducción de biomasa residual a disponer en rellenos sanitarios, número de puestos de trabajo generados para igual capacidad instalada, comercialización o uso de subproductos (calor y/o digestato), mantenimiento de espacios público (uso de biomasa proveniente de ellos), uso de tecnología de mayor eficiencia energética, entre otros.

El programa contempla el financiamiento de estudios de factibilidad, con un monto máximo de 20 MM Ch\$ por proyecto. De esta forma, el financiamiento de los 79 proyectos potenciales (considerando los cuatro sectores en análisis), significan una inversión por parte del Estado de aproximadamente 3,5 US\$ MM. Considerando la inversión esperada máxima que asciende a 757 MM US\$, la relación inversión privada versus inversión estatal alcanza una razón de 216:1.

ANEXO 10. REVISIÓN ESTRATEGIAS INTERNACIONALES DE BIOENERGÍA

Para el desarrollo de este documento se han tomado en consideración documentos y estrategias de países que se encuentran fomentando la incorporación de la bioenergía dentro de sus matrices energéticas. A continuación se presentan una tabla en que se resume los puntos relevantes de cada una de ellas.

Tabla A10.1. Revisión de estrategias internacionales⁸⁶

Documento	País	Puntos relevantes
BC Bioenergy Strategy	Canadá	Plantea convertir los retos actuales en nuevas oportunidades, tanto para la silvicultura y la agricultura, diversificando las economías rurales, convirtiendo la adversidad, disposición, en la oportunidad de recuperar el máximo valor los bosques y otros residuos, a través de la conversión de éstos a bioenergía. Lo anterior con miras a una región con bajas emisiones de carbono.
Estrategia Española de cambio climático y energía limpia Horizonte 2007- 2012 - 2020	España	Esta estrategia persigue el cumplimiento de los compromisos de España en materia de cambio climático y el impulso de las energías limpias. Los objetivos operativos son: asegurar la reducción de las emisiones de GEI en España, contribuir al desarrollo sostenible y al cumplimiento de compromisos de cambio climático, aumentar la concientización y sensibilización pública en lo referente a energías limpias y cambio climático, fomentar I+D+i en materia de cambio climático y energías limpias, garantizar la seguridad del abastecimiento de energía fomentando la penetración de energías de carácter renovable, limitando la tasa de crecimiento de la dependencia energética exterior y finalmente, impulsar el uso racional de la energía y el ahorro de recursos.
Programa de Biomasa del Departamento de Energía de Estados Unidos	Estados Unidos	Plantea desarrollar tecnologías sostenibles y competitivas que permitan la producción a gran escala de biocombustibles, bioproductos y bioenergía, que reducirán las emisiones de carbono y la dependencia del petróleo.
Bioenergy policy and	Suecia y	El principal objetivo de este estudio fue identificar los principales

⁸⁶ Los documentos consultados se adjuntan en los anexos digitales.

market development in Finland and Sweden	Finlandia	factores que han influido en la rápida expansión en las últimas décadas de la bioenergía en Finlandia y Suecia. Se identifican los factores críticos para la implementación de bioenergía, estos son: establecimiento y mantenimiento de una base sostenible de recursos biomásicos, demostración de sistemas y tecnologías y la formación de mercados (tecnología, biomasa).
2011 Bioenergy Action Plan	California	El Plan 2011 fue desarrollado mediante la identificación de oportunidades y desafíos actuales que enfrenta la industria de la bioenergía. Su principal objetivo es la expansión en el uso sostenible de la bioenergía, tanto en generación de energía eléctrica, como en la producción de biocombustibles, para cumplir con las metas trazadas a nivel gubernamental. Se propone aumentar la producción de bioenergía en las instalaciones ya existentes y construir nuevas instalaciones, integrar las instalaciones de producción bioenergía con otros procesos y fomentar la co-combustión. Además de eliminar los obstáculos legales y reglamentarios.
A sustainable energy and climate policy for the environment, competitiveness and long-term stability	Suecia	Este acuerdo plantea las reglas a largo plazo para la participación de los diferentes agentes en el mercado de la energía, basándose en los tres pilares de la cooperación energética de la Unión Europea: sostenibilidad ecológica, competitividad y seguridad en el suministro.
Estrategia regional de aprovechamiento sostenible de la biomasa forestal del Principado de Asturias	Principado de Asturias, España	Fomentar el aprovechamiento de la biomasa forestal primaria de los montes de Asturias con fines energéticos, como fuente de energía renovable, gestionable y capaz de generar múltiples efectos positivos sobre el desarrollo rural, la calidad de las masas forestales regionales y el medio ambiente. Además incluye la diversificación energética, el uso de los recursos regionales, la eco-innovación y el desarrollo económico y empresarial.
UK Bioenergy Strategy	Reino Unido	La estrategia señala que las normas actuales de sostenibilidad aplicada a los incentivos de las energías renovables tendrán que ser más estrictas para crear un camino sostenible hacia el cumplimiento de las aspiraciones a largo plazo establecidos por el marco de principios que incluyen: mejorar las oportunidades de abastecimiento interno, promover el desarrollo de los mercados de suministro sostenibles y promover el despliegue de bajo riesgo de las opciones tecnológicas
Bio-energy in Europe: changing technology choices	Unión Europea	Plantea que la bioenergía ya se considera como una de las principales opciones en el corto y mediano plazo para mitigar gases de efecto invernadero y como sustituto de combustibles fósiles en Europa. Además se esboza que todos los países europeos han incluido la bioenergía en su matriz y en sus políticas, tanto ambientales (cambio climático), energéticas,

		agrícolas y de residuos.
Roadmap de Bioenergía de Australia	Australia	La bioenergía tiene un papel vital que desempeñar como parte del futuro de la energía limpia de Australia. Los recursos para producir bioenergía son abundantes y actualmente están subutilizados o son desechos que requieren disposición. La tecnología está probada, y las oportunidades son significativas. Se plantean los siguientes beneficios de la bioenergía: reducción en emisiones de gases efecto invernadero, mejora la seguridad energética, utilización de fuente de energía renovable, suministro de energía controlable y continuo, producción de energía térmica, fuentes de empleo y desarrollo económico, mínimos costos de infraestructura, mitigación de la salinidad de suelos y soporte a empresas existentes a través de la diversificación del negocio al integrar la generación de energía.
La Estrategia de Bioenergía de Nueva Zelanda	Nueva Zelanda	Tiene como objetivo el crecimiento económico, la creación de empleos y aumentar el valor del recurso forestal existente de Nueva Zelanda y de los nuevos cultivos energéticos, proporcionando un impulso al crecimiento de la bio-economía. Se plantea que al año 2040 proveerán más del 25% de las necesidades energéticas del país, incluyendo un 30% de los combustibles de transporte del país.