

## **Biomasa en Chile**

**Gabriel Nilsson Cifuentes**

Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, ga.nilsson@alumnos.upm.es

**Carlos Rodríguez Monroy**

Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, crmonroy@etsii.upm.es

### **RESUMEN**

El artículo presenta el desarrollo de la biomasa en Chile, dentro del complejo marco energético existente en el país, el cual, aún no logra potenciar e incentivar el desarrollo de energías renovables y depende fuertemente de los combustibles fósiles, acrecentando el riesgo latente de sufrir una crisis energética, en el mediano plazo, producto de la paulatina incorporación de nuevas centrales generadoras de energías, que satisfagan la creciente demanda energética pronosticada. Este artículo aporta antecedentes a la situación energética existente en Chile, junto con un análisis al mercado eléctrico y a las normativas de éste, enfocadas a las energías renovables no convencionales (ERNC), para finalizar con el desarrollo de la biomasa en sus tres estados físicos, mencionando sus características, aplicaciones, procesos de conversión, ventajas y desventajas. Chile presenta una baja participación de las energías renovables en su mix energético, de las cuales, los biocombustibles sólidos y gaseosos, son utilizados principalmente para la generación de energía de baja potencia, mediante cogeneración y extracción y uso de biogás, respectivamente; mientras que los biocombustibles líquidos, están en fase de investigación y desarrollo de pilotos, por parte de varias entidades, para su producción industrial para el sector del transporte.

**Palabras claves:** Chile, energía, biomasa, medio ambiente, sostenibilidad.

### **ABSTRACT**

The article presents the development of biomass in Chile within the country's complex energy framework, which is still unable to strengthen and encourage renewable energy development and relies heavily on fossil fuels, increasing the latent risk of suffering an energy crisis in the medium term, due to the slow incorporation of new energy power plants that meet the growing energy demand forecast. This article provides a background of the energy situation in Chile, along with an analysis of the electricity market and its regulations, focusing on non-conventional renewable energy (NCRE), ending with the development of biomass in its three physical states and mentioning its features, applications, conversion processes, advantages and disadvantages. Chile presents a low share of renewable energies in its energy mix, in which solid and gaseous biofuels are mainly used for low power energy generation, through cogeneration and biogas extraction and use, respectively, while liquid biofuels are under investigation and development of pilot plants, conducted by several entities, for industrial production for the transport sector.

**Keywords:** Chile, energy, biomass, environment, sustainability.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La generación de energía en Chile, a través de Energías Renovables no Convencionales (ERNC), representa una alternativa económica-ambiental, factible para la provisión de energía a comunidades remotas (áreas rurales) y para la expansión de la capacidad eléctrica instalada, ya sea por medio de sistemas aislados o por proyectos conectados a la red eléctrica. El país cuenta con recursos para desarrollar sistemas hidráulicos, solares, geotérmicos, eólicos y de biomasa, principalmente, con el fin de facilitar la diversificación en la matriz energética. Adicionalmente, el uso de energías renovables, es beneficiosa para el medio ambiente, disminuyendo la

contaminación de éste, provocada por las emisiones de gases efecto invernadero (GEI), producto de la combustión de combustibles fósiles, utilizados en la generación de energía eléctrica; no obstante, aun existen barreras que dificultan el desarrollo de las ERNC, asociadas a falta de conocimientos, mejoramientos tecnológicos, capacidades técnicas, apoyo concreto por parte del Estado, entre otros factores (BUN-CA and PNUD, 2002).

La biomasa, perteneciente a las ERNC, presenta características “renovable” y “no convencional”, producto de su bajo impacto ambiental y por la presencia de tecnologías no desarrolladas de manera significativa, respectivamente.

El potencial que posee este tipo de energía en Chile, se ve favorecido por el nivel técnico, existente en el sector forestal, por las tierras susceptibles de ser utilizadas para cultivos energéticos y por la gran cantidad de desechos provenientes de actividades forestales, silvoagrarias, madereras, urbanas, entre otras. Sin embargo, la generación y utilización de esta energía, mediante cultivos energéticos, deberá ser gestionada y regulada de manera estratégica, prudente y sostenible, frente a la producción de cultivos alimenticios o, en definitiva, buscar otras alternativas para su desarrollo.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 MERCADO ELÉCTRICO EN CHILE

Desde el año 1982, mediante la Ley General de Servicios Eléctricos – D.F.L. N°1, el mercado eléctrico chileno independiza los tres principales segmentos del sector eléctrico, generación, transmisión y distribución, permitiendo la entrada de empresas privadas en éstos y estableciendo un mercado de libre competencia para la generación, mientras que para la transmisión y distribución, se define un mercado regulado. Posteriormente, en el año 2004, se promulga la ley N° 19.940, también llamada Ley Corta I, la cual reguló el mercado de la transmisión, para asegurar el suministro eléctrico y mejorar la interconexión entre el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) y el Sistema Interconectado Central (SIC). En el año 2005, se promulga la ley N° 20.018, conocida como Ley Corta II, para incentivar la inversión en generación, a través de un sistema de licitaciones competitivas, asegurando un precio, por un tiempo determinado (Saldías and Ulloa, 2008).

El mercado de generación eléctrica, opera bajo despacho económico marginalista, donde los medios de generación que tienen menores costos variables de generación, son los primeros que producen energía, hasta llegar a la curva diaria de despacho, según la demanda establecida. Las empresas privadas de generación, tienen el control absoluto sobre el tipo de tecnologías a utilizar, tamaños de centrales, ubicación geográfica de los medios de generación, entre otros; mientras que el Estado, se encarga de regular y fiscalizar el sector. Este mercado constituye un libre acceso a la red de transmisión troncal (columna vertebral del sistema de transmisión), bajo condiciones no discriminatorias, permitiendo al generador acceder al mercado de contratos de venta de energía y al mercado spot (Saldías and Ulloa, 2008).

Geográficamente, el sector eléctrico chileno se distribuye en 4 sistemas independientes:

1. **Sistema Interconectado del Norte Grande (SING):** El cual abastece a la gran minería y corresponde a un sistema basado principalmente en energía térmica. Este sistema, en el año 2011, presentó una potencia neta instalada, en torno a 4.300 MW.
2. **Sistema Interconectado Central (SIC):** El cual abastece al 90% de la población y corresponde a un sistema basado principalmente en energía hidráulica y térmica. Este sistema, en el año 2011, presentó una potencia neta instalada, en torno a 12.480 MW. Se debe mencionar que el SING y SIC, agrupan el 99% de la potencia instalada en el país.
3. **Aysén y Magallanes:** Corresponden a dos sistemas menores y aislados del sur de Chile, los cuales se basan en energía térmica, hidráulica y eólica. A fines del año 2010, Aysén presentaba una potencia neta instalada, en torno a 50 MW, mientras que Magallanes mostraba una potencia neta instalada, del orden de 90 MW.

## 2.2 SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL

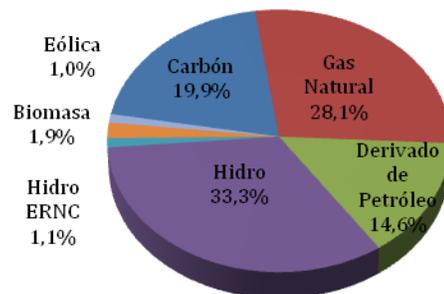
En el año 2009, la energía primaria y secundaria de Chile se centró en los combustibles fósiles y derivados del petróleo, respectivamente, alcanzando un 70% de dependencia de éstos, de los cuales Chile produce en bajas cantidades, importando dichos combustibles en su mayoría; lo cual genera riesgos de volatilidad en precios, tipo de cambio, incertidumbre del suministro, por parte de los proveedores, entre otros factores. Los sectores de mayor consumo energético en el país, son el transporte (35%), industria (21%) y residencial (21%); mientras que los sectores de mayor consumo eléctrico, corresponden a la minería (37%) e industria (28%) (Liberona, 2011).

De acuerdo a cifras del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) y de la Comisión Nacional de Energía (CNE), durante los años 2001 y 2010, el aporte promedio de la producción nacional al consumo local<sup>1</sup> del carbón, petróleo y gas natural, fue de un 10,3%; 2% y 33,8%, respectivamente. Importante mencionar, el descenso producido en la importación de gas natural, producto de la crisis con Argentina, la cual se inicia en el 2004, hasta llegar a su nivel más bajo en el año 2008, posteriormente con las centrales de regasificación de GNL, en el 2009, se comienza a normalizar la importación de este combustible. Los países proveedores de combustibles fósiles de Chile y la participación de éstos, en el año 2010, fueron los siguientes:

- a) Carbón: Colombia (54%), EE.UU. (25%), Indonesia (12%) y Australia (9%).
- b) Petróleo: Brasil (31%), Argentina (24%), Colombia (16%), Ecuador (14%), Inglaterra (12%) y Perú (3%).
- c) Gas Natural gaseoso: Argentina (100%).
- d) Gas Natural Licuado: Guinea (44%), Trinidad y Tobago (22%), Egipto (13%), Qatar (9%), Argelia (6%) y otros (6%).

Si bien, aún existe dependencia con Argentina, en relación a la provisión de gas natural (GN), lo que genera un riesgo país, tal como lo ocurrido en el año 2004, se debe mencionar que en el año 2010, la importación de GN a Argentina fue de un 16% del total de gas natural importado, mientras que el 84% restante, se obtuvo mediante GNL en varios países, reduciendo el riesgo país, de manera considerable. Con respecto a los otros países vecinos de Chile, Perú y Bolivia, no existe infraestructura construida ni acuerdos energéticos concretos, para la importación de combustibles fósiles a Chile; cuyas relaciones internacionales actuales con Perú y Bolivia, se encuentran predominadas por definiciones limítrofes y acceso al mar, respectivamente.

De acuerdo a cifras de la CNE, en octubre 2011, la potencia bruta instalada del país por tipo de combustible, ascendía a 16.970 (MW), lo cual se detalla en la figura N°1.



**Figure 1: Potencia Bruta Instalada en Chile - 2011**

De acuerdo a las cifras presentadas por el Gobierno de Chile, la demanda eléctrica entre los años 1987 y 2006, se ha duplicado cada 10 años, para lo cual es necesario aumentar la potencia instalada en Chile, en más de 8.000 (MW) para el año 2020 (Álvarez, 2011a), con el objeto de satisfacer la demanda eléctrica en el largo plazo, junto con diversificar la matriz eléctrica del país. En base a cifras de las CNE, el crecimiento anual promedio entre los años 1998 y 2010, de la potencia instalada fue de un 6,3%, mientras que el incremento anual promedio de la demanda eléctrica, fue de un 4,9%, llegando a una demanda eléctrica en el año 2010 de 55.210 (GWh). Dicha demanda es satisfecha principalmente por centrales termoeléctricas (63%), de variados combustibles, y por

<sup>1</sup> Consumo nacional, equivale a la producción nacional e importaciones.

centrales hidroeléctricas de embalses (35%). Este crecimiento en la potencia instalada en Chile, se basa fuertemente en centrales de combustibles fósiles (gas natural (últimos años), derivados de petróleo y carbón) y en la incorporación gradual de centrales hidroeléctricas, las cuales se verán incrementadas en los próximos años, mediante el proyecto Hidroaysén, que una vez culminado en su totalidad, inyectará 2.750 (MW) al SIC.

Adicionalmente, el aporte real generado por las ERNC, ascendió a 612,6 MW (mayo 2011), el cual se detalla en la siguiente tabla (Álvarez, 2011b):

**Tabla 1: Aporte de ERNC**

<b>Fuente Renovable no Convencional</b>	<b>SIC</b>	<b>SING</b>	<b>Magallanes (*)</b>	<b>Aysén</b>	<b>Total</b>
Hidráulica Pasada < 20 MW	178,2	14,9	0	20,4	213,5
Eólica	175,8	0	2,3	2	180,1
Biomasa	219	0	0	0	219
<b>Total ERNC</b>	<b>573</b>	<b>14,9</b>	<b>2,3</b>	<b>22,4</b>	<b>612,6</b>

(\*) Magallanes considera sistema aislado de parque eólico Cabo Negro.

(\*\*) Datos actualizados a mayo 2011, con todos los proyectos que han inyectado energía al sistema.

Por otra parte, el mercado eléctrico chileno actual presenta uno de los precios más altos de la energía en Latinoamérica, cuyo precio al cliente residencial en el año 2010 fue en torno a 0,14 (USD/KWh), ubicándose por sobre el precio promedio de los países OCDE, desde fines del año 2007 (Álvarez, 2011c).

En base a lo expuesto y el objetivo de Chile, de ser un país que supere la pobreza y deje atrás definitivamente el subdesarrollo, se requiere aumentar la capacidad de generación eléctrica durante esta década, mediante energías seguras, limpias y económicas, las cuales sean coherentes con una planificación energética de largo plazo, acorde a las necesidades futuras del país, el cual proyecta un crecimiento anual, en torno a un 6%.

### **3. PRINCIPALES LEYES ESTABLECIDAS EN CHILE, ASOCIADAS A ERNC**

Dentro de los aspectos legales, relacionados con la utilización y desarrollo de ERNC, se establece la Ley N°20.257, la cual plantea un horizonte de trabajo en este tipo de energías, hasta el año 2024. Esta ley pretende incentivar, de manera coercitiva, la generación de energía, mediante el uso de estas energías, situación que con las leyes cortas I y II no se establecía directamente, para lograr diversificar en parte, la matriz energética del país e independizarse de las fuentes energéticas convencionales.

La Ley N°20.257, introduce modificaciones a la Ley General de Servicios Eléctricos, respecto de la generación de energía eléctrica con fuentes de energías renovables no convencionales (ERNC), exigiendo a toda empresa eléctrica que efectúe retiros de energía desde los sistemas eléctricos, con capacidad instalada superior a 200 (MW), para comercializarla con distribuidoras o clientes finales, estén o no sujetos a regulación de precios, a acreditar ante la Dirección de Peajes del Centro de Despacho Económico (CDEC) respectivo, que un cierto porcentaje de sus retiros en cada año calendario, haya sido inyectado a cualquiera de los sistemas, por medios de generación renovables no convencionales, propios o contratados. Dicho porcentaje de retiro está asociado de manera progresiva, siendo de un 5% para los años 2010 a 2014 y aumentando éste anualmente un 0,5%, a partir del año 2015, con el objetivo de llegar al 10% para el año 2024.

La ley permite que cualquier empresa eléctrica que exceda el porcentaje señalado anteriormente, asociado a sus correspondientes retiros y año, pueda convenir el traspaso de sus excedentes a otra empresa eléctrica, los que podrán realizarse incluso entre empresas de diferentes sistemas eléctricos del país. Además, frente al no cumplimiento de la obligación, se establecen multas de 0,4 (UTM por cada MW/hora de déficit), respecto a las inyecciones que debiese haber acreditado la empresa y de 0,6 (UTM por cada megawatt/hora de déficit), en caso repetir el incumplimiento, antes de tres años.

Las empresas podrán utilizar cualquiera de los medios de generación renovable no convencional, que sean fuente de energía primaria, tales como: biomasa, hidráulica de pasada, geotérmica, solar, eólica, mares y otros medios de generación, que utilicen energías renovables para la generación de electricidad, contribuyan a diversificar las fuentes de abastecimiento de energía en los sistemas eléctricos y causen un bajo impacto ambiental.

De acuerdo a lo indicado por dicha ley y su Resolución Exenta N°1.248, los traspasos de excedentes energéticos se asimilan a un esquema de certificados verdes (green certificates), dado que no existe un precio predeterminado para la energía producida por medios renovables (feed in tariffs), como tampoco se lleva a cabo un proceso de licitación ex – ante, de las obligaciones de producción con medios renovables. Las inyecciones al sistema, con medios renovables, se pueden demostrar mediante producción propia, producción comprada a terceros o comprando certificados por los montos de energía requeridos (Fuentes, 2011).

Sin embargo, se deben mencionar 2 aspectos, que considera la ley y su resolución, los cuales podrían afectar el correcto funcionamiento de los certificados verdes, los cuales son:

- Los excedentes traspasados de un año a otro, no pueden ser transados en el año siguiente, en la forma de certificados verdes, cuando las inyecciones del año corriente sean menores que la correspondiente obligación.
- Los excedentes de inyecciones posibles de ser traspasados al año siguiente, están restringidos a las inyecciones del año corriente, pudiéndose perder parte de los excedentes interanuales.

Dado lo anterior, la transferencia total de los excedentes, de un año a otro, que lleve a cabo una empresa con superávit de excedentes, se realizaría cuando dicha empresa se vuelva deficitaria en excedente, entre dos períodos consecutivos; mientras que el efecto que podrían generar ambos aspectos, es la disminución de los rendimientos de las plantas, para evitar la sobreproducción y el establecimiento de generadoras de energías renovables poco eficientes, con el fin de evitar excedentes y cumplir con la normativa vigente (Fuentes, 2011).

En relación a los biocombustibles líquidos, en el Decreto N°11 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, se establece que el bioetanol sólo podrá mezclarse con gasolina automotriz para su uso en motores de ignición por chispa, en un 2% o en un 5% del volumen resultante de la mezcla, mientras que el biodiesel sólo podrá mezclarse con petróleo diesel en un 2% o en un 5% del volumen resultante de la mezcla. En ambos casos, el producto mezclado deberá cumplir con la calidad exigida en las respectivas especificaciones de los combustibles fósiles, que han sido objeto de la mezcla.

Por último, en relación a los biocombustibles gaseosos y sus respectivos procesos y usos, éstos se rigen por diversas normativas, asociadas a la gestión de residuos sólidos, código y reglamento sanitario, protección agrícola, uso de suelo, servicios de gas y concesiones de distribución y transporte de gas. En el caso, de los proyectos que manejen residuos y rellenos sanitarios, éstos deberán someterse obligatoriamente al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), para acreditar el cumplimiento de la normativa ambiental (Ley sobre Bases Generales del Medio Ambiente) y que sus impactos se encuentran adecuadamente controlados. Adicionalmente deberán cumplir con la Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades (Ley N°18.695) y el Decreto Supremo N°189/2005, del Ministerio de Salud, en donde se establece el reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básica en los Rellenos Sanitarios. En el caso, de los proyectos de generación eléctrica e inyección de energía al sistema eléctrico, utilizando el biogás como combustible de generación, éstos deberán sujetarse a las disposiciones pertinentes, en particular a lo dispuesto en la Ley General de Servicios Eléctricos (LGSE), reglamentos y normativa técnica correspondiente, junto con las normativas legales, asociadas a la promoción de ERNC, expuestas anteriormente (Ley corta I, II y Ley N°20.257) (Gamma Ingenieros, 2010).

### **3.1 FOMENTO Y PROYECTOS DE LEY**

Complementariamente, en Chile existen diversos instrumentos de fomento, con los cuales se apoya el desarrollo de proyectos de ERNC, entre los que se destacan 35 potenciales instrumentos de fomento, que corresponden a créditos, subsidios y fondos concursables, entregados por entidades gubernamentales e internacionales, así como beneficios tributarios (Gamma Ingenieros, 2010). Además, los proyectos de energías renovables, pueden formar

parte del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), asociado al Protocolo de Kyoto, invirtiendo en proyectos que reduzcan las emisiones de gases, en países en vías de desarrollo (países no incluidos en el Anexo 1 del Protocolo de Kyoto).

Dentro de los proyectos de ley, que se encuentran en trámite en el Congreso chileno, se consideran (De Martino et al., 2010):

- a) Proyecto de ley que modifica la Ley 19.657 sobre concesiones de energía geotérmica.
- b) Proyecto de ley que modifica la Ley General de Servicios Eléctricos (LGSE), para incentivar el desarrollo de ERNC.
- c) Proyecto de ley que obliga a las concesionarias de distribución de electricidad, a permitir e implementar la conexión del sistema de medición líquida, que facilite la generación de ERNC.
- d) Proyecto de ley para la creación de un fondo nacional, destinado a financiar proyectos y programas de investigación y desarrollo de biocombustibles líquidos.

#### 4. BIOMASA

La biomasa se puede clasificar en función del producto generado y su estado físico, en el cual, ésta se presenta:

- ✓ *Biocombustibles sólidos*: Producto de biomasa, utilizado en aplicaciones térmicas (calor y electricidad).
- ✓ *Biocombustibles líquidos*: Biocarburantes utilizados en automoción, tales como el bioetanol y biodiesel.
- ✓ *Biocombustibles gaseosos*: Producto de la fermentación anaeróbica de la biomasa, formando biogás, el cual posee como componentes principales el metano y dióxido de carbono.

##### 4.1 CARACTERÍSTICAS, CONVERSIÓN DE BIOMASA EN ENERGÍA Y APLICACIONES

Las principales características, para evaluar la factibilidad técnica y económica de un proceso de conversión energética, a través, de biomasa, son: *tipo de biomasa, características químicas y físicas, contenido de humedad, porcentaje de cenizas, poder calorífico, densidad aparente y la recolección, transporte y manejo* (BUN-CA and PNUD, 2002).

Los principales procesos de conversión de biomasa, son *procesos de combustión directa* (quema directa de biomasa para la generación de electricidad, gas y vapor), *procesos termo-químicos* ( transforman la biomasa en un producto de más alto valor, con una densidad y un poder calorífico mayor) y *procesos bioquímicos* ( procesos que utilizan las características bioquímicas de la biomasa y la acción metabólica de los microorganismos para la producción de combustibles gaseosos y líquidos, tales como: digestión anaeróbica y producción de combustibles alcohólicos, biocombustibles líquidos y gases de rellenos sanitarios).

Las principales formas de energías, obtenidas a través de la biomasa, son: *calor y vapor, combustible gaseoso (biogás), biocombustibles líquidos (bioetanol y biodiesel), electricidad y cogeneración.*

##### 4.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA GENERADA POR BIOMASA

Las ventajas de la energía, a partir de biomasa, pueden ser (Saldías and Ulloa, 2008):

1. Fuente renovable de energía, que no contribuye al calentamiento global del planeta.
2. Mitiga el efecto invernadero, al capturar el gas metano de desechos agrícolas y rellenos sanitarios.
3. La combustión de biomasa, produce menos cenizas que al compararla con la combustión del carbón natural y puede usarse como abono orgánico en los suelos.
4. La combustión de biomasa, produce niveles ínfimos de sulfuros, no contribuyendo a las emanaciones por lluvia ácida.
5. La conversión de los residuos forestales, agrícolas y urbanos, para la generación de energía, reduce significativamente los problemas actuales, asociados al manejo de esos desechos.

6. La biomasa es un recurso local, el cual no está sujeto a fluctuaciones de precios en mercados internacionales de combustibles, por lo que, su uso reduciría la dependencia y presión sobre el precio de derivados del petróleo.
7. El uso de la biomasa puede incentivar a economías rurales, generando mayores opciones de trabajo e ingresos, y reduciendo las presiones económicas sobre la producción agropecuaria y forestal.

Las desventajas de la energía, proveniente de la biomasa, pueden ser (Saldías and Ulloa, 2008):

1. La biomasa presenta una baja densidad relativa de energía, requiriendo altos volúmenes de combustible, para generar niveles de potencia comparables con los producidos por los combustibles fósiles; impactando directamente en el coste de transporte y manejo del combustible.
2. Su combustión incompleta, produce materia orgánica, monóxido de carbono y otros gases dañinos. Además, si se produce la combustión a elevadas temperaturas, se producen óxidos de nitrógeno, lo cuales aportan a la lluvia ácida.
3. El potencial calórico de la biomasa depende significativamente del clima, humedad y densidad de la materia prima.
4. A nivel general, las energías provenientes de la biomasa, son menos eficientes que las energías provenientes de los combustibles fósiles, dado que presentan capacidades caloríficas inferiores.

## **5. BIOMASA EN CHILE**

La potencia instalada en Chile, asociada a biomasa, asciende a 326 (MW), equivalente a un 1,9% de la potencia bruta instalada en el país y cuya generación fue de un 2,3% de la energía bruta del año 2010, al ser utilizada como combustible en centrales termoeléctricas.

La biomasa en Chile, comprende los tres grupos de productos energéticos obtenidos a partir de ésta, en función de su estado físico, los cuales son: biocombustibles sólidos, biocombustibles líquidos y biocombustibles gaseosos.

### **5.1 BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS**

Su desarrollo se concentra en la zona centro sur del país, dada las condiciones climáticas, plantaciones forestales, existencia de bosques nativos, alta actividad silvoagropecuaria, zona industrial forestal y la necesidad de calefacción, por parte de la población. Actualmente, las centrales que utilizan la biomasa, como combustible primario o una mezcla entre dicho combustible y derivados de petróleo (licor negro), presentan una potencia bruta total de 313,9 (MW). Dichas centrales, pertenecen en su mayoría, a empresas asociadas al sector forestal y maderero, las cuales generan energía a partir de sus propios procesos, mediante cogeneración, en donde sus excedentes de energía son inyectados al SIC, dado la localización de sus plantas. Otro aspecto que favorece esta generación de energía, es la obtención del biocombustible, a partir de sus procesos productivos y/o desechos, logrando una disminución de sus costos asociados a tratamiento de residuos, transporte de combustibles, impuestos en la compra de combustibles, entre otros; y adicionalmente, con la posibilidad de emitir bonos de carbono, asociados al protocolo de Kyoto.

En Chile no existe un mercado de residuos forestales para la generación de energía eléctrica, lo cual se traduce en un mercado energético acotado, en donde dicha generación como modelo de negocio, no pertenece al core business de la mayoría de las empresas.

A diciembre 2011 existían 7 proyectos en evaluación, asociados a generación de energía, mediante biocombustibles sólidos, los cuales representan una potencia de 277 (MW) y una inversión total de 473 (MMUSD) (Central Energía, 2011). Sin embargo, se debe mencionar que dicha potencia no será totalmente inyectada al SIC, dado que al igual que en las actuales centrales de generación de energía con biocombustibles sólidos, la gran mayoría de las empresas, se asocian al sector forestal y sólo inyectarán excedentes de energía al sistema, en función de sus procesos industriales, prioritariamente.

El potencial de generación de energía, a partir de biomasa residual procedente del manejo de bosques plantados, se puede estimar entre los 310 y 470 (MW) de potencia eléctrica instalable. Dicho potencial se encuentra concentrado en las regiones VII, VIII y IX, en las cuales, se desarrolla la industria forestal y existe la mayor cantidad de superficies de plantaciones forestales (Bertran and Morales, 2008).

## 5.2 BIOCMBUSTIBLES LÍQUIDOS

Presentan un bajo desarrollo, dado que actualmente el enfoque se centra en la investigación y ejecución de proyectos, con los cuales, se han implementado paulatinamente, plantas pilotos de volumen industrial.

De acuerdo a lo indicado por el Ministerio de Agricultura y ODEPA, 2007, si bien Chile presenta aptas condiciones técnicas y especialización adecuada de profesionales del rubro agrícola, posee una limitación principal, asociada a la escasez relativa de terrenos agrícolas cultivables, para este tipo de biocombustibles, razón por la cual se busca la producción de biocombustibles líquidos de segunda generación, tales como algas y recursos forestales, con el objeto de no competir por el suelo agrícola, entre cultivos alimenticios y energéticos.

Asociado a la investigación y desarrollo (I+D), existen Consorcios Tecnológicos Empresariales de Investigación en biocombustibles líquidos, conformados por empresas públicas y privadas, universidades, fundaciones y centros de investigación, los cuales se encuentran trabajando en la obtención de biocombustibles líquidos, a partir de lignocelulosas, microalgas y macroalgas. Estos consorcios corresponden a: Biocomsa (lignocelulosas), Bioenercel (lignocelulosas), Algaefuel (microalgas), Desert Bioenergy (microalgas) y Bal Biofuels (macroalgas) (Arriaza, 2010).

Otros estudios y desarrollos en el país, corresponden a la Universidad Mayor, con un proyecto asociado a la obtención de bioenergía, a partir del cultivo del nopal. La Universidad de Chile y Universidad de Tarapacá, de manera separada, se encuentran desarrollando la obtención de biodiesel, en base al cultivo de jatropha en terrenos no calificados para producción agroalimentaria, del norte del país. La Universidad de Chile en su Programa Domeyko en Energía, propone optimizar el tratamiento de lignocelulosas, para la obtención de bioetanol (Boza, 2011).

En relación a la producción o uso industrial de biocombustibles líquidos, existen 4 plantas que producen éstos, las cuales son (Colegio Ingenieros Agrónomos de Chile, 2011):

- i) Planta FAME de empresa Pullman Bus, localizada en la región Metropolitana, cuya capacidad de producción de biodiesel es de 100.000 (L/mes), el cual es utilizado exclusivamente por la empresa.
- ii) Planta piloto de investigación para la obtención de biodiesel, a partir de raps, desarrollada por la Universidad de la Frontera y empresas privadas, situada en la IX región, la cual desarrolla de manera íntegra la cadena de producción, para la elaboración del biocombustible.
- iii) Planta de empresa Ingras, localizada en la región Metropolitana, encargada de la producción, almacenamiento y comercialización de biodiesel, el cual es generado a partir de aceites y grasas recuperadas, y cuya capacidad de producción de un 1.000.000 (L/mes).
- iv) Planta piloto experimental, a cargo de la empresa Clean Energy, captadora de CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, para la generación de biodiesel, mediante el cultivo de microalgas, la cual se encuentra localizada en la V región y cuyos insumos provienen de la fundición y refinería Ventanas.

## 5.3 BIOCMBUSTIBLES GASEOSOS

Su desarrollo se centra en la extracción y uso del biogás, concentrado en zonas de grandes poblaciones, generadoras de altos volúmenes de residuos domiciliarios/industriales, y en zonas con una elevada actividad agropecuaria.

Actualmente, las empresas que generan energía a partir de biogás, lo realizan a partir de su extracción de éste, en rellenos sanitarios y presentan una potencia bruta instalada de 11,8 (MW). A diciembre de 2011, existía 1 proyecto en evaluación, el cual representa una potencia de 14 (MW) y una inversión total de 36 (MMUSD)

(Central Energía, 2011); en donde al igual que en las centrales actuales, la empresa propietaria de la futura central, presenta entre sus activos, rellenos sanitarios para la extracción de biogás.

El potencial de biogás en Chile, asciende a 4.190 (GWh/año), considerando los siguientes sustratos: purines de cerdo, purines de bovinos, guano de aves, desechos forestales, lodo piscicultura, desechos de cultivos y residuos agroindustriales, cuya concentración del biogás potencial se localiza en la zona centro sur del país, específicamente en la regiones Metropolitana, VI y VIII (Gamma Ingenieros, 2011). Sin embargo, si bien existen fuentes para su generación, producto de la elevada actividad agropecuaria, la mayor población en el país, el tratamiento de residuos domiciliarios e industriales, entre otros; aún no se ha generado un salto sustancial en su desarrollo, producto de que existe un bajo nivel de captación y producción, en relación al alto potencial disponible, en donde gran parte del biogás captado es quemado sin utilización energética, por falta de conocimiento y experiencia técnica (Gamma Ingenieros, 2010).

## 6. CONCLUSIONES

Chile requiere de forma imperiosa diversificar su matriz energética, así como incorporar fuertemente ERNC en ésta, para independizarse en una mayor cuantía de los combustibles fósiles y sus externalidades, como también para no depender de ciclos climáticos (años lluviosos y secos), con el objeto de disminuir riesgos y costos futuros, que pueden ser perjudiciales para el desarrollo del país. Sobre la base de la meta objetivo país, para el año 2020, se prevé un gran dinamismo en el sector energético chileno, el cual deberá estar regulado en todos sus aspectos, por parte del Estado, para lograr satisfacer las demandas energéticas futuras, en base a ERNC sostenibles.

Tanto en los biocombustibles sólidos y gaseosos, Chile presenta un alto potencial para su desarrollo y la obtención de energía, a partir de éstos. Las empresas que realizan dicha generación de energía, logran optimizar sus costos, al utilizar sus propios desechos como combustibles, reduciendo sus costos de transporte o tratamientos de residuos, y añadiendo un valor agregado a la empresa, al inyectar parte de esa energía al sistema; no obstante, para lograr alcanzar volúmenes necesarios, que permitan un desarrollo autosostenible en la cogeneración o en la generación de energía eléctrica por biogás, se requiere de infraestructura e inversión, que permitan establecer las respectivas obligaciones con el regulador.

Si bien la principal limitación que existe en el país, para la producción de biocombustibles líquidos, es la escasez de terrenos agrícolas cultivables, se deben buscar otro tipo de desarrollos, con los cuales el país afronte la generación de estos biocombustibles, estableciendo políticas y estrategias de crecimiento, que logren un equilibrio entre las oportunidades de desarrollo, asociadas a la producción de alimentos y productos primarios e industriales, tanto para el mercado local como el foráneo, y al mismo tiempo potencie las diversas condiciones de agua, suelo y clima, en las cuales se puedan adaptar distintas especies, para la generación de biocombustibles.

Dada las características, condiciones y seguridad que presenta Chile, se deben buscar mayores incentivos, hacia la inversión extranjera y al conocimiento técnico especializado, que permitan realizar un salto sustancial, en materia de generación eléctrica, mediante energías renovables y la utilización sostenible de los recursos naturales del país; incorporando nuevas inversiones al sector eléctrico, personal capacitado técnicamente, proyectos innovadores y eficientes, nuevas empresas de generación en energías renovables y una institucionalidad ambiental, que en base a normativas actualizadas y basadas en la planificación energética del país, logre desarrollar los mejores proyectos.

## REFERENCIAS

- Álvarez, R., 2011a, Presentación al Senado “*Chile y los dilemas de su política energética*”, Septiembre 2011, Ministerio de Energía.
- Álvarez, R., 2011b, Presentación “*Antecedentes sobre la matriz energética en Chile y sus desafíos para el futuro*”, Junio 2011, Ministerio de Energía.
- Álvarez, R., 2011c, Presentación a Sofofa “*La encrucijada energética de Chile: Los desafíos del desarrollo*”, Octubre 2011, Ministerio de Energía.

- Arriaza, J., 2010, Presentación “*Estado actual de los biocombustibles en Chile*”, Ministerio de Energía, División de Energías Renovables no Convencionales.
- Bertran, J., Morales, E., 2008, “*Potencial Biomasa Forestal*”, Comisión Nacional de Energía y Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Chile.
- Biomass User Network (BUN-CA) y Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 2002, “*Manuales sobre energías renovables – Biomasa*”, 1ª edición, Costa Rica.
- Boza, S., 2011, “*Políticas y capacidades de I&D e innovación, para el desarrollo de los biocombustibles en Colombia y Chile*”, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y Oficina Regional para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Central Energía, 2011, “*Proyectos de Generación en Chile*”, <http://centralenergia.cl/proyectos/proyectos-generacion-chile/>, 15/12/11.
- Colegio de Ingenieros Agrónomos de Chile, Plantas de biocombustibles líquidos, <http://www.ingenierosagronomos.cl/pcomciac/archives/590>, 15/12/11.
- Comisión Nacional de Energía (CNE), Capacidad Instalada por sistema eléctrico nacional 2011, [http://antiguo.cne.cl/cnewww/opencms/06\\_Estadisticas/energia/Electricidad.html](http://antiguo.cne.cl/cnewww/opencms/06_Estadisticas/energia/Electricidad.html), 12/12/11.
- Comisión Nacional de Energía (CNE), Importaciones de Hidrocarburos 2010, <http://www.cne.cl/estadisticas/energia/hidrocarburos>, 28/02/2012.
- De Martino, G., De Buen, O., Gorenstein, J., Gonçalves, L., Dourado, R., Navarro, J., 2010, “*Energías Renovables para Generación de electricidad en América Latina: mercado, tecnologías y perspectivas*”, International Copper Association, Ltd. (ICA Latinoamérica).
- Fuentes, F., 2011, “*Energías Renovables: Políticas de Fomento en Chile*”, <http://fen.uahurtado.cl/wp/wp-content/uploads/2010/07/I-267.pdf>, 15/11/11.
- Gabinete Ministerial y Unidad de Bioenergía de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) del Ministerio de Agricultura, 2007, “*Contribución de la política agraria al desarrollo de los Biocombustibles en Chile*”, Chile.
- Gamma Ingenieros S.A., 2010, Estudio para la Comisión Nacional de Energía “*Análisis estratégico de elementos de política para biogases combustibles en Chile*”, N° 610-48-LE09, Chile.
- Gamma Ingenieros S.A., 2011, Estudio para la Comisión Nacional de Energía “*Modelo de negocios que rentabilicen aplicaciones de biogás en Chile y su fomento*”, N° 584105-8-LE10, Chile.
- Liberona, F., 2011, Presentación de Seminario “*Debate Crecimiento, Medio Ambiente y Equidad: ¿Qué matriz energética necesita Chile?*”, Abril 2011, Fundación Terram.
- Saldías, H.; Ulloa, H.; 2008, “*Evaluación comparativa de centrales de generación de energías renovables mediante la aplicación de la nueva ley de energías renovables recientemente aprobada en Chile*”, Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.
- Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), Estadística de recursos energéticos, [http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/estadisticas/estadistica\\_de\\_produccion\\_minera/30\\_produccion\\_minera\\_2010\\_recursos\\_energeticos.pdf](http://www.sernageomin.cl/pdf/mineria/estadisticas/estadistica_de_produccion_minera/30_produccion_minera_2010_recursos_energeticos.pdf), 15/04/12.

### **Autorización y Renuncia**

*Los autores autorizan a LACCEI para publicar el escrito en las memorias de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito*