



Universidad Técnica Federico Santa María

Estudio de contribución de las ERNC al SIC al 2025

Informe Sectorial Final

Potencial de Biomasa en Chile

Revisado por: **Jorge Pontt O.**
Casilla 110 V, Valparaíso, Chile
Fono: (56) 32 2654553 / 2654554
Fax: (56) 32 2797530
Email: jorge.pontt@usm.cl

Preparado por: **Carlos PONTT**
Staff CIE
Staff NEIM

Coordinado Sr.: **Cristian Guíñez**
USM SA

Fecha : 29 de Julio , 2008



Universidad Técnica Federico Santa María

Potencial de Energía Renovable No Convencional de Biomasa en Chile

ANTECEDENTES

Estudio de energías renovables y eficiencia energética

La Universidad de Chile, a través del Programa de Estudios e Investigación en Energía junto a la Universidad Técnica Federico Santa María a través del Núcleo Milenio de Electrónica Industrial y Mecatrónica y Centro de Innovación en Energía, continuando con su dilatada trayectoria en investigación y desarrollo en distintos ámbitos de interés nacional, con el apoyo de entidades gubernamentales, tales como Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), Comisión Nacional de Energía (CNE), Programa País de Eficiencia Energética (PPEE), junto a entidades privadas como la Asociación Chilena de Energías Renovables (ACERA) y Organizaciones no Gubernamentales (ONG's), están realizando una investigación conjunta para evaluar el potencial técnico-económico de las energías renovables no convencionales y el uso eficiente de la energía, procurando un aporte al abastecimiento eléctrico y diversificación energética, en el sistema interconectado central (SIC), como una manera de reducir la vulnerabilidad del sistema y la dependencia energética del país.

PREAMBULO

El presente informe tiene el carácter de informe de avance, en consecuencia muchos de los temas tratados en él cubren sólo parcialmente el capítulo o sección correspondiente y algunos de los datos presentados en él están sujetos a revisión y pueden cambiar en versiones más avanzadas del estudio. Se incorporan los resultados y la contribución de dos estudio al objetivo general del presente documento: El primero titulado; "Disponibilidad para el uso energético de los Residuos Madereros de la Industria primaria de la Madera" publicado en octubre del 2007 por la CNE, INFOR y GTZ, y el segundo estudio titulado: "Potencial de Generación de Energía por residuos del manejo forestal en Chile, publicado en Enero 2008 por la CNE, GTZ y el Programa de Cooperación Intergubernamental Chile-Alemania. Por las razones indicadas, ni el todo ni sus partes deben ser citados hasta que los autores hagan público el informe final. Por razones de tiempo, recursos y oportunidad, este estudio se realizó en una ventana de tiempo estrecha entre diciembre 2007 y marzo 2008, por lo que sus resultados son estimaciones globales que pueden segmentarse y detallarse con trabajos de mayor alcance y profundidad. Sin embargo, los autores consideran que los resultados son suficientes para contribuir con una perspectiva y orientación general para el perfeccionamiento de una política energética de mediano y largo plazo.



Universidad Técnica Federico Santa María

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio ha permitido determinar la factibilidad de desarrollar en el país la capacidad de generar y suministrar energía eléctrica al SIC a partir de las diferentes fuentes de biomasa disponibles. Se han analizado un grupo de desechos capaces de producir biogás a partir de procesos anaeróbicos, y desechos de cultivos de cereales, disponibilidad de desechos de la actividad agrícolas y desechos provenientes del manejo de plantaciones comerciales (pino, eucalipto, bosque nativo) y residuos generados por la industria forestal y maderera.

Se indica a continuación el resumen del potencial bruto estimado, en un rango de valores con alta dispersión ($\pm 50\%$), donde el biogás tiene un potencial del 30% del total y el potencial de los residuos provenientes de la actividad forestal un 46% del potencial bruto total. El 51% del potencial se encuentra concentrado entre la RM y la VIII Región.

FUENTE BIOMASA	POTENCIAL BRUTO(MW)		
	Min	Max	%
BIOGAS	2.027	4.106	30%
DESECHOS CEREALES	280	600	4%
MANEJO FORESTAL	393	523	4%
RESIDUOS IND FORESTAL	319	927	7%
MANEJO BOSQ. NAT	2.361	4.723	35%
OTRAS BIOMASAS	1.367	2.795	20%
TOTAL	6.747	13.675	100%

Se estima la capacidad potencial factible técnico económico de implementar al 2025 entre 461 a 903 MW con una participación entre un 3,1 % a un 6 % del parque generador, a partir de una matriz de biogás generada por estiércol de la industria agropecuaria (avícolas y porcinos), cultivos energéticos, y la incorporación de nuevas tecnologías en la gasificación y combustión con cogeneración de desechos agrícolas, plantaciones y residuos de la industria forestal y maderera.

La entrada de proyectos en los escenarios de evolución de precios establecidos, permite afirmar alto nivel de realización para proyectos de cogeneración y de combustión directa de desechos forestales y agrícolas. El tamaño de estos proyectos está limitado por la disponibilidad del recurso, distancia de suministro, acceso a través de topografías accidentadas e imprevisibles, lo que incide en el costo de la biomasa y condiciones del entorno donde se proyecta llevar a cabo estos proyectos.

Los proyectos de cogeneración a partir de biogás se desarrollarán paulatinamente en el tiempo en función del costo de la energía, tecnologías y nivel de experiencia en este tipo de plantas, las cuales serán sometidas a un estricto seguimiento ambiental, dadas las características del proceso. Estas plantas, tendrán capacidades instaladas entre 0,5 a 3 MW. Las plantas de cogeneración partir de desechos agrícolas, entre 1 a 5 MW, las plantas de cogeneración a partir de desechos forestales, entre 5 a 15 MW.

La evaluación económica de proyectos ha permitido detectar al gran sensibilidad ante la variación de precios del insumo (biomasa), distancia y nivel de tensión de transmisión e inyección al SIC, teniendo gran incidencia en el costo de la energía de los proyectos.



Universidad Técnica Federico Santa María

Respecto a los proyectos de biogás, el costo de la energía para proyectos de biogás se sitúa entre **7 a 13 centavos de US\$/kWh**, ante una variación de precios de la energía desde 1% al 3,5%, el costo de generación disminuye en 15%. Si se aumenta el costo de la biomasa, el costo de la energía varía sobre el 15%.

Respecto a los proyectos de gasificación de cereales, el aumento de precios del insumo en un 20% incide en un 8% de aumento del costo de la energía, los cuales se sitúan en el rango de **7 a 12 centavos de US\$/kWh**

Respecto a los proyectos de cogeneración, estos son mas estables ante variaciones de precios dado que están comprendidos en un rango de potencia instalada mayor que los proyectos de gasificación y biogás,. El costo de la energía para este tipo de proyectos va desde **7 a 9 centavos de US\$/kWh**. Claro está, que ante un brusco aumento del 50% en el precio del insumo, el COE varía en un 25% respecto a su valor normal

La rentabilidad de los proyectos de biomasa está íntimamente ligado con el tema del aprendizaje y adopción tecnológica a través del tiempo.

En el Escenario 3, se estima al año 2020 que los costos de la energía (COE), asociados a las tecnologías de conversión de biomasa disminuirán en **un 40% de su valor actual, es decir, en un rango de 4 a 8 centavos de US\$/kWh.**, lo que acelerará su adopción y penetración en el mercado energético, compitiendo con otras alternativas.

Se han detectado barreras que limitan el desarrollo de estos proyectos, entre ellas, la dificultad de acceder a participar económicamente en proyectos con alto nivel de inversión, los cuales están reservados a las empresas privadas que ya cuentan con capacidades e instalaciones existentes, lo que les permite disminuir el riesgo de las inversión.

Si existe una política energética que permita eliminar las barreras de entrada y participación a nuevos inversionistas en el mercado energético nacional, se podrían crear diferentes espacios y oportunidades, y configurar escenarios factibles técnicos económicos al 2025 favorables a la inversión en proyectos de biomasa.

Una de las principales amenazas, es la incorporación de nuevas tecnologías que privilegien la producción de biocombustibles a partir del mismo sustrato utilizado como fuente de generación, por lo tanto, subiría los precios del insumo biomasa, llevándolos a un escenario de inversiones poco atractivo.

RECOMENDACIÓN GENERAL

En el presente estudio , que pretende contribuir a la discusión y desarrollo del uso de las fuentes de biomasa, no se han incorporado una serie de fuentes, que en otras latitudes se han implementado exitosamente proyectos para la generación de biogás, principalmente , en Alemania, México y Argentina., por lo que se recomienda iniciar un programa de intercambio y de misiones tecnológicas concretas , bajo el auspicio de la >GTZ, CNE, CORFO, que han liderado este proceso de contribuir a la divulgación y promoción de las Energías Renovables No Convencionales, ERNC.

A modo de resumen del estudio se presenta un cuadro general de resumen que ilustra los diferentes escenarios abordados y señala el escenario más probable que se ha adoptado.



Universidad Técnica Federico Santa María

TABLA RESUMEN DE POTENCIALES A PARTIR DE LA BIOMASA

RESUMEN POT.	POTENCIAL BRUTO 13,675 MW		POT. BRUTO FACTIBLE, 3.244 MW			
Unidades	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
ESCENARIO	ESCENARIO 1		ESCENARIO 2		ESCENARIO 3	
PRECIOS	US\$ 75/MWh + 1% anual		US\$ 102/MWh + 1% anual		US\$ 102/MWh+3,5% anual	
ENTORNO	CONSERVADOR		INNOVADOR		OPTIMISTA	
Año	Capacidad	Generación	Capacidad	Generación	Capacidad	Generación
2007	191	1.339	191	1.339	191	1.339
2008	191	1.339	200	1.402	210	1.472
2009	200	1.402	210	1.472	220	1.542
2010	200	1.402	220	1.542	235	1.647
2011	220	1.542	235	1.647	265	1.857
2012	240	1.682	265	1.857	310	2.172
2013	260	1.822	290	2.032	345	2.418
2014	280	1.962	295	2.172	370	2.593
2015	300	2.102	300	2.102	400	2.803
2016	315	2.208	315	2.208	440	3.084
2017	335	2.348	340	2.383	480	3.364
2018	350	2.453	380	2.663	550	3.854
2019	385	2.698	425	2.978	610	4.275
2020	410	2.873	450	3.154	645	4.520
2021	425	2.978	460	3.224	690	4.836
2022	440	3.084	475	3.329	750	5.256
2023	450	3.154	485	3.399	810	5.676
2024	455	3.189	495	3.469	865	6.062
2025	461	3.231	501	3.511	903	6.328



ÍNDICE

OBJETIVO

METODOLOGIA GENERAL

1	IDENTIFICACION DE LA BIOMASA DISPONIBLE ENEGETICAMENTE.....	11
1.1	Identificación, Clasificación Tipos Biomasa.....	11
1.2	Biomasa Considerada. Alcances y Limitaciones del Estudio.....	11
1.2.1	Fuentes de Generación de Biogás.....	11
1.2.2	Fuentes para la combustión y cogeneración.....	12
1.2.3	No se consideran en la evaluación del potencial:.....	12
1.2.4	Biomasa Considerada en el Estudio.....	13
1.3	Fuentes de Información Consultadas.....	13
1.4	Análisis y Discusión del Alcance del Estudio.....	14
1.5	Definiciones.....	14
2	DISPONIBILIDAD DE LA BIOMASA Y ESTIMACION DEL POTENCIAL BRUTO.....	15
2.1	Metodología.....	15
2.2	Disponibilidad de Desechos Orgánicos Agropecuario para producir biogás.....	16
2.2.1	Sector Avícola.....	16
2.2.2	Sector Porcino.....	20
2.2.3	Sector Cultivos Energéticos.....	23
2.2.4	Resumen del Potencial Bruto a partir del Biogás.....	26
2.2.5	Conclusión.....	26
2.3	Disponibilidad Desechos de Cultivos Agrícolas (cereales).....	27
2.3.1	Sector Cereales.....	27
2.3.2	Resumen del Potencial Bruto a partir de cereales.....	28
2.3.3	Conclusión.....	28
2.4	Disponibilidad de Desechos de la Industria Forestal y Manejo Plantaciones.....	29
2.4.1	Distribución del recurso.....	29
2.4.2	Principales actores del mercado y grupos de interés.....	31
2.4.3	Exportaciones forestales (Ver Anexo Forestal).....	31
2.4.4	Consumos Industriales.....	31
2.4.5	Origen desechos y Disponibilidad.....	31
2.4.6	Resumen del Potencial Bruto por Tipos de Desechos.....	32
2.4.7	Análisis y discusión de Resultados.....	32
2.4.8	Conclusiones.....	32
2.5	Otras Biomosas.....	33
2.5.1	Resumen.....	33
2.6	Resumen Potencial Bruto de la Biomasa por Fuente.....	34
2.6.1	Resumen (A lo mejor transponer la tabla).....	34
2.6.2	Análisis y discusión.....	34
2.6.3	Conclusión.....	34
2.7	Resumen Potencial Bruto Total.....	35
3	ESTIMACION DEL POTENCIAL BRUTO FACTIBLE.....	36
3.1	Metodología de Análisis.....	36
3.2	Tabla con Resumen de Nivel de Factibilidad de cada fuente.....	37
3.3	Resultados por fuente de biomasa.....	37
3.4	Potencial Bruto Factible Total.....	38
4	ESTADO ACTUAL DE LA TECNOLOGIA.....	39
5	EXPERIENCIA TECNOLÓGICA. PLANTAS EXISTENTES Y PROYECTADAS.....	40
5.1	Capacidad Instalada en Chile (2007).....	40
5.1.1	Uso Actual de la Biomasa.....	40
5.1.2	Participación en la generación eléctrica.....	41
5.1.3	Plantas Existentes.....	42
5.2	Potenciales proyectos. Caso Base Referencia 2015.....	43
5.2.1	SEIA.....	43



Universidad Técnica Federico Santa María

5.2.2	CORFO.....	43
5.2.3	Otros Proyectos.....	44
5.2.4	Resumen Caso Base Referencia Al 2015.....	45
6	ESTIMACION DEL POTENCIAL ECONOMICO FACTIBLE	46
6.1	Parámetros técnicos por tecnología	46
6.1.1	Biodigestor con motor cogeneración.....	46
6.1.2	Gasificación con ciclo combinado	47
6.1.3	Gasificación con motor cogeneración	48
6.1.4	Combustión directa con ciclo Rankine	49
6.2	Resumen Potencial Técnico Factible	49
7	ESTIMACION DEL POTENCIAL TECNICO ECONOMICO FACTIBLE	50
7.1	Parámetro Evaluación Económica.....	50
7.1.1	Parámetros Económicos	50
7.1.2	Parámetros del Entorno	52
7.1.3	Parámetros incluidos en la evaluación económica	52
7.1.4	Escenarios de Precios.....	53
7.1.5	Penetración del Mercado	53
7.2	Resultados de la Evaluación Económica.....	54
7.3	Potencial Factible Técnica-Económico al Año 2025.....	62
7.3.1	Potencial Escenario 1. US\$ 75 /MWh + 1% aumento anual.....	63
7.3.2	Potencial Escenario 2. US\$ 102 /MWh + 1% aumento anual.....	64
8	CONCLUSIONES	65
9	BARRERAS	66
10	REFERENCIAS GENERALES CAPITULOS 2, 3, 4, 5	67
11	REFERENCIAS ESPECIFICAS	74



Universidad Técnica Federico Santa María

Listado de Tablas

CAPITULO 1

Tabla 1.1 Biomasa considerada en la evaluación

CAPITULO 2

Tabla 2.1 Total de Criaderos de Aves y Personal por región (I Semestre, 2006)
Tabla 2.2 Existencia de aves por clase y región
Tabla 2.3 Resumen Potencial Bruto (MW) Desechos Avícolas
Tabla 2.4 Existencia de criaderos de porcino al primer semestre 2006
Tabla 2.5 Cantidad Total de Porcinos entre la V y IX Región al Primer Semestre 2006
Tabla 2.6 Potencial Bruto (MW) a partir de estiércol porcino
Tabla 2.7 Superficie sembrada (ha) por grupo de cultivo, periodo 2005/2006 por Región
Tabla 2.8 Superficie sembrada (ha)/ especie de cereales/ región/2005/2006
Tabla 2.9 Superficie (ha) sembradas de tubérculos por especie (2005/2006)
Tabla 2.10 Potencial bruto (MW) a partir de diversos cultivos energéticos
Tabla 2.11 Potencial Bruto a partir del biogás generado por diversas fuentes
Tabla 2.12 Superficie en hectáreas sembradas con cereales (grano seco) 2006
Tabla 2.13 Potencial Bruto a partir de desechos de cereales (maíz, trigo, cebada)
Tabla 2.14 Distribución del recurso forestal por especie
Tabla 2.15 Estructura del Bosque Nativo
Tabla 2.16 Superficie en hectáreas (ha) de bosque natural y plantaciones por región
Tabla 2.17 Empresas Forestales
Resumen Potencial bruto (MW) de la Industria Forestal y Manejo de
Tabla 2.18 Plantaciones
Tabla 2.19 Otras Biomosas
Tabla 2.20 Potencial bruto por Fuente por Región
Tabla 2.21 Resumen Potencial bruto Total Biomasa

CAPITULO 3

Tabla 3.1 Ficha Metodología estimación potencial bruto factible
Tabla 3.2 Tabla Resumen Nivel de Factibilidad
Tabla 3.3 Resumen por fuente del análisis de factibilidad
Tabla 3.4 Resumen Potencial Factible
Tabla 5.1 Centrales generadoras a biomasa instaladas en el SIC al 2007. Fuente CNE.

CAPITULO 5

Tabla 5.2 Proyectos de biomasa que ingresaron al SEIA entre 2003 - 2008. Fuente: SEIA.
Tabla 5.3 Proyecto InvestChile CORFO.
Tabla 5.4 Resumen Capacidad Instalada SIC Caso Base Referencia al 2015



Universidad Técnica Federico Santa María

CAPITULO 6

Tabla 6.1	Parámetros técnicos Biodigestor con Motor Cogeneración.
Tabla 6.2	Parámetros técnicos Gasificación con Ciclo Combinado
Tabla 6.3	Parámetros técnicos Gasificación con Ciclo Combinado
Tabla 6.4	Parámetros técnicos Combustión Directa con Ciclo Rankine.

CAPITULO 7

Tabla 7.1	Parámetros Económicos Biodigestor Desechos Avícolas
Tabla 7.2	Parámetros Económicos gasificación con CC desechos forestales
Tabla 7.3	Parámetros Económicos Gasificación Desechos Agrícolas
Tabla 7.4	Parámetros Económicos Combustión Directa Desechos Forestales
Tabla 7.5	Penetración del Mercado por tecnología y Plan de Inversiones
Tabla 7.6	Resultados de la evaluación económica
Tabla 7.7	Parámetros Técnicos biodigestor de 3 MW
Tabla 7.8	Inversiones adicionales en Líneas AT y S/E
Tabla 7.9	Escenario 1, US\$ 75/kWh +1% anual, Biogás 3 MW
Tabla 7.10	Escenario 2, US\$ 102 +1% anual, Biogás 3 MW
Tabla 7.11	Escenario 3, US\$ 102/kWh +3,5% anual, Biogás 3 MW
Tabla 7.12	Calculo del COE Variación +1%, Biogás 3 MW
Tabla 7.13	Calculo del COE Variación +3,5%
Tabla 7.14	Indicadores Económicos (Tir, Van, Coe, Tamaño, Tecnología, Región, Escenario)
Tabla 7.15	Resumen del Potencial Factible Económico de Biomasa
Tabla 7.16	Plan de Obras Indicativo Escenario 1 de Precios
Tabla 7.17	Plan de Obras Indicativo Escenario 2 de Precios



Universidad Técnica Federico Santa María

OBJETIVO

El objetivo del presente informe es determinar el potencial factible técnica y económicamente factible al 2025 de disponer una capacidad instalada y de generación de energía eléctrica, a partir de fuentes de biomasa disponible en el país, principalmente entre la III y X Región del país.

METODOLOGIA GENERAL

En primer lugar se realiza la identificación, clasificación, distribución y especificación de la cantidad biomasa presente y disponible la zona geográfica del estudio, indicando su fuente de origen por región, por sector de actividad, complementando con información de los principales actores del mercado e importancia económica. Posteriormente, se estima el potencial energético presente en la biomasa y disponible geográficamente, denominado potencial bruto.

A partir de la información recopilada se procede a estimar el potencial bruto factible considerando aspectos de concentración geográfica del recurso y empresas, disponibilidad y accesibilidad a la fuente de biomasa.

Posteriormente, se identifican las tecnologías actuales utilizadas, en desarrollo y las tendencias futuras en esta área en el mundo. A partir de esta información se estima el potencial de generación si se aplicaran estas tecnologías en Chile, denominado potencial técnico factible, considerando rendimientos de procesos y disponibilidad operacional de plantas. Paralelamente, se establece la situación actual de desarrollo del uso y aprovechamiento de la biomasa en disponible en Chile (2007) y se proyecta la situación al mediano plazo (2015) tomando en cuenta la cartera de proyectos presentes en organismos públicos y privados

Lo anterior, establece las capacidades actuales instaladas y previstas a mediano plazo (2015), identificando la experiencia, infraestructura tecnológica y recurso humano disponible y conocimiento tecnológico. A partir de aquí, se identifican cuales son las tecnologías más probables de incorporar y desarrollar, indicando los factores que inciden en la adopción y aprendizaje de las nuevas tecnologías, cuales son las diferentes barreras que debe enfrentar el desarrollo de la generación de energía a partir de la biomasa.

En la parte final de estudio, se especifican los parámetros técnico-económicos actuales y se realiza la evaluación económica de los proyectos y la sensibilidad ante las variaciones de los parámetros de entrada. Luego, se proyecta en el tiempo, en función de la evolución del aprendizaje tecnológico y costo de la energía bajo tres escenarios de precios, estableciendo un ranking de proyectos, configurando un mapa de desarrollo estratégico para un futuro plan de inversiones en futuras plantas de biomasa en Chile. De acuerdo a lo anterior, se establece un plan indicativo de obras de generación y suministro de energía al SIC, a partir de la biomasa, al 2025, denominado Potencial Técnico-Económico Factible al 2025.

Nota. Para la claridad y facilidad de comprensión de las estimaciones se incorporan de los capítulos, procedimientos de cálculo y utilizados en el documento Anexos.



Universidad Técnica Federico Santa María

1 IDENTIFICACION DE LA BIOMASA DISPONIBLE ENEGETICAMENTE

1.1 Identificación, Clasificación Tipos Biomasa

En función de su origen, una de las posibles clasificaciones que pueden realizarse de la biomasa es la siguiente:

a. Biomasa natural

Se considera biomasa natural a aquella que se produce en los ecosistemas naturales sin la intervención humana, por ejemplo, en bosques, matorrales, herbazales, etc.

b. Biomasa residual

La biomasa residual engloba a todos aquellos residuos o subproductos producidos de forma antropogénica. De esta forma, los principales materiales de este tipo utilizables como biomasa con fines energéticos pueden tener orígenes muy diversos.

c. Biomasa existente en Chile y estudios de evaluaciones previas [Reinke et. Al.]

Principales resultados, que se presenta en [Anexo 1](#) es el siguiente:

- La leña representa el 16% del consumo de energías primarias en Chile.
- Los desechos forestales son una fuente relevante de biomasa, los cuales no son aprovechados en gran parte.
- Estudio del INFOR indica que existen 5.542.649 metros cúbicos sólido sin corteza, provenientes de residuos de la industria maderera, entre la IV y XII región.
- Una gran fuente de biomasa es el manejo de bosques nativos.
- Estudio realizado por GTZ y PUCV, indica potencial de generación eléctrica a partir del biogás generado por la biomasa húmeda de 550 MW, principalmente, a partir de estiércol avícola.

1.2 Biomasa Considerada. Alcances y Limitaciones del Estudio

Se identifica la fuente de biomasa, a partir de la cual se estimará su potencial energético, que representa una parte del total. No se incluyen otras fuentes de biomasa, como los cultivos destinados a su aprovechamiento energético, lo cual limita el estudio a las fuentes indicadas.

Se consideran los siguientes desechos en la evaluación considerando usos y experiencias en otros países, tales como, en México y Argentina

1.2.1 Fuentes de Generación de Biogás

- a) Se consideran sólo los desechos avícolas como sustrato para la producción de biogás, incluyen un universo de criaderos avícolas existentes en el país, dada su disponibilidad, costo cero y del tipo concentrada, lo que incide en una elevada generación específica de biogás respecto a otros desechos o residuos ganaderos y agropecuarios disponibles con menores rendimientos (suero de leche, desechos cerveceros, desechos de poda, desechos alimentarios, aceites usados)¹

¹ Danish Institute of Agricultural Sciences DIAS REPORT N1 123, Agosto 2006, Amon y Boxberger



Universidad Técnica Federico Santa María

- b) Se consideran los desechos porcinos que presentan una fuente alternativa de generación de biogás como lo demuestran experiencias en otras latitudes (Argentina, México, Alemania).
- c) Cultivos agrícolas de contenido energético destinados a la producción de biogás, tales como, raíces, tubérculos, granos, forraje de remolacha más las hojas, papas, maíz, trigo, cebada, alfalfa, entre otros.² [1, Martínez et. Al.]

1.2.2 Fuentes para la combustión y cogeneración

- a) Desechos forestales de plantaciones de Pino Radiata y Eucaliptos, principalmente fuste, ramas y cortezas
- b) Desechos Madereros originados en la industria de la madera, denominados Residuos Aprovechables Energéticamente (RAE) tales como: lampazos, aserrín, despuntes, viruta y corteza.
- c) Se consideran los desechos orgánicos provenientes de los cultivos de cereales **maíz, trigo y cebada**. Estos pueden destinarse alternativamente a la producción de biogás y a la producción de biocombustibles, aspecto que se evalúa solo el potencial de biogás

1.2.3 No se consideran en la evaluación del potencial:

- a) Los desechos orgánicos provenientes de otros animales fuentes de generación de estiércol.
- b) Los desechos orgánicos provenientes de otros cereales energéticos tales como, colza, girasol, pasto.
- c) Los desechos orgánicos domiciliarios y urbanos, de mediana producción de biogás, con buena disponibilidad y pueden generar ingresos por su eliminación.
- d) Los desechos orgánicos presentes en los lodos residuales, de origen industrial y comunales, tales como; lodos primarios, lodos activados aeróbicos, residuos de filtrados, grasas acumuladas, los cuales generan alta producción de biogás, disponibilidad y pueden generar ingresos por su eliminación.
- e) Los desechos orgánicos provenientes de la agroindustria, originados durante la elaboración y procesamiento de productos, tales como: residuos de producción como el afrecho, melaza, desechos de pescados, productos descompuestos, productos fuera de fecha de conservación, sobreproducción. Estos desechos poseen mediana producción de biogás, disponibles discontinuamente, y también pueden generar ingresos por su eliminación y/o mitigación.
- f) Los desechos forestales provenientes de otras plantaciones. En las plantaciones incluidas, no se evalúan la totalidad de los desechos.

² Instalaciones de biogás a mediana y gran escala en Alemania



Universidad Técnica Federico Santa María

1.2.4 Biomasa Considerada en el Estudio

La siguiente tabla indica y delimita la biomasa considerada y delimita el alcance del presente estudio.

Grupo	Origen	Tipo Biomasa	Destino
1	Desechos Avícolas (estiércol)	Húmeda	Plantas de Biogás
2	Desechos Porcinos (Estiércol)	Húmeda	Plantas de Biogás
3	Cultivos Energéticos (raíces, tubérculos, granos y cultivos forrajeros)	Seca	Plantas de Biogás
4	Desechos Cereales	Seca	Gasificación
5	Desechos de Manejos Forestales y Desechos Madereros	Seca	Combustión directa y Cogeneración

Tabla 1.1 Biomasa considerada en la evaluación

1.3 Fuentes de Información Consultadas

a. Nacionales

- Centrales Generadoras a partir de la Biomasa instaladas en el SIC al 2007, CNE.
- Programas y Atracción de Inversiones InvestChile, 2006, 2007 CORFO.
- Proyectos ingresados al Sistema de estudio de Impacto Ambiental, SEIA.
- Informe Interno BIOMASA 2025, 2008, UTFSM.
- Instituto Nacional Forestal, INFOR.
- Instituto Nacional de Estadísticas, INE.
- Instituto Nacional de Normalización, INN
- CORFO
- CONICYT
- CONAMA
- CDEC-SIC
- Comunicaciones internas y correos con fuentes privadas.

b. Internacionales

- International Energy Agency, IEA, Austria
- Department of Energy, DOE, USA
- Policies and Programs on Renewables Energy in EU and OECD Countries
- ISI Journals (Thompson, Elsevier)

c. Eventos Nacionales e Internacionales

- Workshops, Seminars, Technological Fairs

d. Fuentes propias

- Gerd Reinke et Al., UTFSM, "Potencial de ERNC Biomasa en Chile", marzo, 2008.

e. Otras

- Manufacturers and Suppliers web pages.

f.- Las fuentes y referencias específicas se indican en pie de página y en el listado de referencias por capítulo que se indican al final del estudio.



1.4 Análisis y Discusión del Alcance del Estudio

En la presente estimación del potencial de la biomasa para generación de energía no considera fuentes que actualmente son utilizados en otros países y que potencialmente podrían incorporarse aplicaciones paulatinamente en el parque generador, incorporando nuevas técnicas y estrategias de disposición y tratamiento del afluente orgánico, al sistema biodigestor, de forma tal, de aumentar el rendimiento específico de generación de biogás, tales como, estiércol de bovino, y estrategias de confinamiento utilizados para concentrar la recolección y ubicar el centro de generación lo más cerca de la producción de materia orgánica y disminuyendo costos, aspectos importantes al momento de decidir la inversión.

El desarrollo propio del estudio ha llevado a vislumbrar aspectos que con el transcurso del tiempo, cobran importancia de considerarlos parte integrante en el alcance del trabajo, sobretodo, aportar nuevos elementos a la discusión sobre el desarrollo de las ERNC en Chile. El desarrollo del estudio ha dejado entrever la carencia de una clara política de desarrollo energético en el pasado, de haber existido, no se habría generado una crisis de abastecimiento energético en el país.

La gran debilidad del presente estudio es no haber considerado una herramienta de evaluación metodológica de análisis de datos que permitieran realizar una estimación con mayor precisión, incorporando herramientas prospectivas, propias de este tipo de estudio, que se considero fuera del alcance en la propuesta inicial, con la participación de los principales actores involucrados en el mercado de la generación y suministro energético.

1.5 Definiciones

Potencial Bruto	:	Energía teórica presente en la fuente considerada
Potencial Bruto Factible	:	Potencial posible de lograr, considerando aspectos tales como; disponibilidad, accesibilidad y dispersión de la propiedad del recurso.
Potencial Bruto Técnico-Factible	:	El potencia bruto factible considerando los aspectos de rendimiento en el procesamiento y conversión de la energía y factor de planta
Potencial Técnico Económico Factible	:	Es la fracción del potencial bruto técnicamente factible, bajo las consideraciones de parámetros de evaluación económica y de rentabilidad de las inversiones asociadas es viable invertir con una tasa de descuento de 10% con un horizonte de evaluación de 20 años.
Factor Planta (FP)	:	Representa la disponibilidad operacional de la planta
Rendimiento	:	Fracción de energía presente en la fuente extraída como energía útil para la generación eléctrica.
Costo de la Energía (COE)	:	El valor de costo de generación y suministro de la energía en el punto de inyección al SIC. Representa el valor de venta de la energía que proporciona VAN = 0.



Universidad Técnica Federico Santa María

2 DISPONIBILIDAD DE LA BIOMASA Y ESTIMACION DEL POTENCIAL BRUTO

2.1 Metodología

La metodología utilizada para el estudio de la disponibilidad de biomasa específica comprende las siguientes etapas:

a) Caracterización de la fuente que origina o genera la fuente de biomasa, a partir de fuentes que proporcionan datos estadísticos generales y fuentes de información propias del sector de actividad económica bajo estudio. Por ejemplo, fuente de información general, transversal a las diferentes fuentes de biomasa es el Compendio Estadístico del INE y fuentes sectoriales, por ejemplo, para caracterizar la actividad avícola, se consulta la Asociación de Productores Avícolas (APA), para la actividad porcina, se consulta a la Asociación de Productores de Cerdo en Chile (ASPROCER), para las plantaciones forestales, se consulta al Instituto Forestal (INFOR), para la industria maderera, la Corporación de la Madera (CORMA). La información se recopila y se presenta su distribución por región, quienes son los principales actores del mercado y donde se concentra la actividad económica sectorial y cual es la naturaleza del mercado donde están insertos, identificando las tasas de evolución, de crecimiento, empleos asociados, etc. [REFERENCIAS]

b) Una vez caracterizada la fuente que origina la fuente de biomasa (estiércol, desechos orgánicos, cultivos, desechos forestales, madereros, etc.) se determina la cantidad de desecho generado, ya sea a partir, de datos de fuentes consultadas (CNE, GTZ, Compendios, Papers, Estudios y Evaluaciones anteriores o consultas directas a los actores del mercado). Se analiza la fuente y el nivel de confiabilidad de la información obtenida. Generalmente, se consultan diversas fuentes y se cruza la información de forma tal, de confirmar al menos el orden de magnitud, y si tal es el caso, bajo que condiciones y rangos la información obtenida es válida. La información base que es obtenida es la siguiente:

Para desechos avícolas, que cantidad de estiércol/por unidad de fuente / por unidad de tiempo se genera. Bajo que condiciones específicas. A partir de aquí, se procede a extrapolar la información hacia el universo por región, con datos específicos si existen, sino se adoptan ciertas consideraciones, que permitan evaluar la biomasa generada. Aflata de información confiable se procede a establecer un rango de valores, que contenga con probabilidad la información buscada. Además, se recopilan información acerca de las propiedades físicas, químicos, termodinámicas, específicamente el Poder Calorífico contenido en la fuente de biomasa para la estimación del potencial energético.
[REFERENCIAS]

En resumen, el potencial se obtiene con la siguiente relación:

Potencial Bruto = Disp. Biomasa (kg, m3, ha, ssc, /tiempo) x Poder Cal (kJ/kg, m3)

No incorpora consideraciones de disponibilidad, accesibilidad, consideraciones econométricas, las cuales son consideradas posteriormente.

Dada la naturaleza de la información y nivel de incertidumbre o intervalo de confianza de la precisión de la magnitud de la variable analizada, se estima conveniente, como primera aproximación, proporcionar rangos o intervalos donde exista alta probabilidad de pertenezca al rango de valores determinado.



2.2 Disponibilidad de Desechos Orgánicos Agropecuario para producir biogás

2.2.1 Sector Avícola

a) Distribución del recurso

De acuerdo a una encuesta del INE ³ el 85% de las existencias totales de aves se encuentra en los criaderos de la regiones de O'Higgins y Metropolitana. El 68% de las existencias de aves de postura se concentran en los criaderos de las regiones de Valparaíso y Metropolitana, mientras que el 100% de la producción de pollos broilers se produce en criaderos de las regiones de O'Higgins y Metropolitana. En relación al rubro porcino, la encuesta ha permitido determinar que el 90% de las existencias totales de cerdos de criaderos, se encuentran en las regiones de O'Higgins y Metropolitana. Ambas concentran el 93% de los cerdos de engorda y el 88% de las hembras reproductoras.

Respecto a los criaderos avícolas el resultado de la encuesta en 130 criaderos, distribuidos entre la IV y VIII Región, incluyendo la Región Metropolitana se indica en la Tabla 2.1

i

REGION	IV	V	VI	VII	VIII	RM	Total
Criaderos en Explotación	6	34	13	31	23	33	140
%	4%	24%	9%	22%	16%	24%	100%
Personal que trabaja en criaderos	127	474	946	204	228	1753	3732
%	3%	13%	25%	5%	6%	47%	100%

Fuente: INE 2006, APA, Asociación de Productores Avícolas

Tabla 2.1 Total de Criaderos de Aves y Personal por región (I Semestre, 2006)

Se puede ver que la actividad de explotación se encuentra concentrada en criaderos de la V Región con un 24%, la VII Región con 22% y la RM con 24% totalizando el 70% de los criaderos en explotación. Pero lo que indica el personal que trabaja en los criaderos está concentrado entre la VI Región con 25% y la RM con un 47% (casi la mitad), entre ambas aglomeran el 72% de la fuerza laboral en los criaderos de explotación.

Lo anterior se reflejado cuando se analiza la existencia de aves por tipo y por región, más del 83% se encuentra distribuida entre la VI Región con un 47% y la RM con un 38% correspondientes a 19.176.000 y 15.248.000 aves en la VI y RM respectivamente.

Por lo que el análisis posterior se focalizará en estas regiones que presentan condiciones potenciales más favorables que las otras regiones, lo que no significa descartar "a priori" las otras zonas geográficas

En la siguiente tabla, se indica la existencia de aves por región, con una alta concentración entre la RM y la VI Región. Esta área geográfica será considerada de interés para las siguientes etapas del estudio.

³ INE, Encuesta de Criaderos de Aves y de Cerdo Primer y Segundo Semestre 2006



Universidad Técnica Federico Santa María

REGION	IV	V	VI	VII	VIII	RM	Total	%	%
a) Pollitos/as, pollos/as y pollonas	202	540	17999	115	165	10458	29479	100%	72,7%
De postura	197	540	65	114	159	523	1598	5%	3,9%
Broilers	5		17529	1	6	9517	27058	92%	66,8%
Productores broilers			403			379	782	3%	1,9%
Reproductores de ponedoras			2			39	41	0%	0,1%
%	1%	2%	61%	0%	1%	35%	100%		
b) Adultos	674	2620	1177	796	998	4790	11055	100%	27,3%
De postura	674	2616	455	796	998	4166	9705	88%	23,9%
Productores broilers			722			548	1270	11%	3,1%
Reproductores de ponedoras		4				76	80	1%	0,2%
%	6%	24%	11%	7%	9%	43%	100%		
Total	876	3.160	19.176	911	1.163	15.248	40.534		100%
	2%	8%	47%	2%	3%	38%	100%		

Fuente: INE 2006

Tabla 2.2 Existencia de aves por clase y región

b) Actores económicos (Fuente: APA)

Prácticamente, es un sector económico con una alta concentración de capitales e instalaciones repartidas entre las siguientes empresas: Empresas Super Pollo, Empresas Ariztía, Sopraval, Agrícola Don Pollo, Agrícola Tarapacá, ésta última ya cuenta con un proyecto para la implementación de una planta de biogás, lo cual es un aspecto a considerar en este sector de actividad (aprendizaje y adopción tecnológica)

Este sector de actividad tiene un crecimiento económico sobre el 3 % anual, que permite establecer una disponibilidad creciente de desechos avícolas al 2025.

También es importante considerar que las crecientes necesidades energéticas de los centros de producción pueden ser autoabastecidos, en calor y electricidad, a partir de dichas plantas de biomasa y suministrar al SIC la energía no consumida. Por otro lado, el costo bajo asociada a la materia prima para producir biogás es bajo, no incurriendo en costos adicionales al transporte de ella. Por tales razones, se considera apropiado, presentar propuestas que atraigan el interés y que los proyectos sean rentables.

c) Estimación de Generación de Biogás a partir de desechos avícolas

Las unidades de producción avícola industrial generan grandes cantidades de desechos sólidos que incluyen excretas, residuos de alimentos, y animales muertos. Las excretas sin mezclar provienen de la cría y mantenimiento de gallinas ponedoras.

Se concluye que la naturaleza y calidad y cantidad del estiércol generado depende del tipo de ave, alimentación, peso, edad, y manejo durante las etapas de crecimiento y engorda.

Los factores determinantes en el proceso de generación de biogás son:



Universidad Técnica Federico Santa María

c 1) *Las reacciones bioquímicas en la formación del biogás. Se inicia con la hidrólisis de carbohidratos, grasas y proteínas, que se descomponen hasta generar ácidos carbónicos, compuestos orgánicos, alcoholes y dióxido de carbono. Posteriormente, la fase metano génesis, con la formación de ácido acético, hidrógeno, dióxido de carbono y metanol, finalmente generando una mezcla de metano con dióxido de carbono, denominado biogás.*

c 2) *La composición del sustrato, la relación carbono/nitrógeno, la existencia de bacterias promotoras de la formación del metano, determinan la cantidad de biogás.*

c 3) *Las condiciones del proceso, caracterizada por una temperatura adecuada, concentración apropiada, tiempo de residencia del sustrato en el biodigestor óptimo, nivel del pH, homogeneidad de la mezcla y nivel de agitación que permita elevados rendimientos de conversión para que las bacterias puedan realizar el proceso de fermentación*

c 4) *El diseño y tamaño apropiado del digestor, para el volumen de carga del sustrato y excelentes condiciones anaeróbicas, que permita producir un biogás de calidad*

Para la estimación de producción de biogás, se considera un valor promedio, que presenta gran variabilidad según lo indicado anteriormente y se asumirá que se utilizarán los equipos mas adecuados para producir biogás, lo cual no es necesariamente cierto. La producción diaria de biogás (m³/d) se expresa en relación con el volumen del biodigestor (m³/ m³d), el contenido de sólidos totales (m³/kgST) y sólidos volátiles (m³/kgSV) del material de carga, durante un periodo de 60 días. El empleo de excretas de aves como materia prima para la biodigestión anaerobia ha sido evaluado por diversos autores, siendo posible una producción diaria de biogás cercana a los 4 m³ / m³ de biodigestor, con cargas diarias de 5,5 kg SV/ m³ de biodigestor 4.[2] Una elevada producción de biogás se observa al siguiente día de la carga, para luego declinar. con el transcurso del tiempo (Morrison et al.1980). Se ha reportado valores que van desde 330 a 760 m³ de Biogás /tonelada seca de sustrato. Para efecto de la estimación el valor mas elevado y se calcula el potencial con el valor menor.

d) Potencial Bruto (MW) a partir de desechos avícolas

A continuación se presenta en la Tabla 2.3 el resumen del Potencial Bruto a partir del biogás generado por desechos avícolas.

REGION	Min	Max	%
	MW		
IV	10	23	2%
V	36	83	8%
VI	219	505	47%
VII	10	24	2%
VIII	13	31	3%
IX			0%
X			0%
RM	175	402	38%
TOTAL(MW)	463	1.068	100%

Fuente: Elaboración Propia,
Tabla 2.3 Resumen Potencial Bruto (MW) Desechos Avícolas

⁴ Rev. Fac. Ing. UCV v.20 n.4 Caracas oct. 2005



Universidad Técnica Federico Santa María

e) Análisis y Discusión de resultados

Los valores estimados presentan gran dispersión debido a la calidad del estiércol generado, y las condiciones de alimentación e intensidad de crecimiento y prácticas avícolas adoptadas en diferentes centros de producción. Es por ello, que se presenta un rango del potencial, dado que se reportan diferentes rendimientos de producción de biogás (330 a 760 m³/ton) y la producción de estiércol es variable (0,6 % al 1% de la masa corporal). Lo que implica que para determinar que capacidad de diseño y tamaños óptimos de equipos, es necesario llevar a cabo una evaluación específica del estiércol que será considerado para la producción de biomasa.

f) Conclusión

Podemos afirmar, que el potencial bruto partir de desechos avícolas está comprendido en el rango de 463 MW a 1068 MW, potencial que presenta una gran variabilidad dado la heterogeneidad de sustrato generado, condiciones de proceso y diseño diferentes de una planta a otra.

En ambos casos, el potencial existente entre la RM y VI Región concentran el 85% del potencial total de estiércol avícola. El análisis posterior se focalizará en estas regiones.



Universidad Técnica Federico Santa María

2.2.2 Sector Porcino

- a) Industria de la carne de cerdo (Ver Anexos)
- b) Crecimiento del Mercado (ver Anexos)
- c) Crecimiento del consumo (Ver Anexos)
- d) Distribución del recurso

En relación los criaderos de porcino, estos se encuentran principalmente concentrados entre la VI y RM con un 49% de un total de 140,

REGION	V	VI	VII	VIII	IX	RM	Total
Total de criaderos en explotación	8	32	12	13	38	37	140
%	6%	23%	9%	9%	27%	26%	100%
Personal que trabaja	73	1892	160	384	107	712	3328
%	2%	57%	5%	12%	3%	21%	100%

Fuente: INE 206

Tabla 2.4 Existencia de criaderos de porcino al primer semestre 2006

Se puede observar que ambas regiones citadas concentran el 78% de la fuerza laboral de un total de 3328 personal existente.

Cuando se analiza la existencia de porcinos se ve claramente que la actividad está concentrada entre la VI región y RM, como se en la Tabla 2.4



Universidad Técnica Federico Santa María

REGION	V	VI	VII	VIII	IX	RM	TOTAL	%
a) Reproductores (total)	3.280	183.614	8.278	14.284	4.024	38.225	251.705	9%
<i>Machos en servicio</i>	65	2.059	165	181	91	445	3.006	0,1%
<i>Machos en crianza</i>	3	123	8	8	30	58	230	0,0%
<i>Hembras en reproducción</i>	3.012	152.852	6.909	11.847	3.637	31.263	209.520	7,6%
<i>Hembras en crianza</i>	200	28.580	1.196	2.248	266	6.459	38.949	1,4%
%	1%	73%	3%	6%	2%	15%	100%	
b) Cerdos en engorda(total)	21.930	1.902.974	67.435	133.858	36.045	336.097	2.498.339	91%
<i>Hembras de desecho</i>	22	220	59	282	144	656	1.383	0,1%
<i>Lechones</i>	4.570	223.597	9.403	17.133	5.801	47.853	308.357	11%
<i>Crianza y recría</i>	11.968	293.925	30.475	49.968	4.359	114.921	505.616	18%
<i>Engorda</i>	5.370	1.385.232	27.498	66.475	25.741	172.667	1.682.983	61%
%	1%	76%	3%	5%	1%	13%	100%	
TOTAL	25.210	2.086.588	75.713	148.142	40.069	374.322	2.750.044	100%
%	1%	76%	3%	5%	1%	14%	100%	

Fuente : INE 2006, Distribución % elaboración propia

Tabla 2.5 Cantidad Total de Porcinos entre la V y IX Región al Primer Semestre 2006

Se aprecia claramente que el 90 % de las unidades de porcino se distribuyen entre la VI y RM, con 2.068.588 y 2.750.044 unidades respectivamente, correspondiendo principalmente a cerdos en engorda.

e) Principales actores del mercado (Fuente: ASPROCER)

La Asociación de Productores de Cerdos en la actualidad está compuesta por productores industriales, medianos y pequeños, reuniendo a 38 empresas que suman 196 mil hembras reproductoras, que representan un 90% de la producción total de cerdos del país.

Los principales productores asociados a ASPROCER son: AGRICOLA AASA S.A. , AGRICOLA CHOROMBO S.A. , AGRICOLA EL MONTE S.A., AGRICOLA GENETICA PORCINA LTDA., AGRICOLA IBATAO LTDA., AGRICOLA JACQUES Y LORENZINI LTDA., AGRICOLA MANQUEHUE LTDA., AGRICOLA MANSEL S.A., AGRICOLA SANTA LUCIA LTDA., AGRICOLA SUPER LTDA., AGRICOLA PIC ANDINA LTDA., AGRICOLA Y AVICOLA SCHUMACHER LTDA., AGRICOLA Y FRUTICOLA VENETO LTDA., AGRICOLA Y GANADERA CHILLAN VIEJO LTDA., AGRICOLA Y GANADERA SANTA CLARA LTDA., AGROINDUSTRIAL ALKA S.A., BARRA CASTAÑEDA ORLANDO, CARLOS SABBAGH PISANO, CARLOS TAPIA AZOCAR, FERNANDEZ FERRERA EMILIO, GARCIA KOHLER EUSEBIO, GARCIA KOHLER RODOLFO , GARCIA KOHLER TOMAS, HUGO GOMEZ Y CIA. LTDA., JUAN LYON CIA. LTDA., LONGOVILO S.A., PROGRAMANJA S.A., RAMON ACHURRA Y CIA. LTDA., RICARDO YANINE MIHAD, SOCIEDAD AVICOLA SAN LUIS DE CUNCUMEN LTDA., SOCIEDAD AGRICOLA Y GANADERA PEHUEN LTDA., SOCIEDAD AGRICOLA LA ISLITA LTDA., SOCIEDAD AGRICOLA LOS TILOS LTDA., SOCIEDAD AGRICOLA SOLER CORTINA S.A., SOCIEDAD DISTRIBUIDORA DE CERDOS LTDA., SUCESION SALVADOR YANINE, TRONCOSO SERGIO, LA VILLITA S.A.



Universidad Técnica Federico Santa María

Este sector de económica tiene un crecimiento del 10% del año 2005 en relación al 2004. Al término de I semestre 2006, acumulaba un crecimiento del 14% respecto al periodo anterior debido principalmente al aumento sostenido de carne de porcino destinado a la exportación. La existencia total de porcinos al término del II Semestre 2006 alcanza el nivel 2.854.646 unidades, comparando al primer semestre y segundo semestre 2005, representa una variación del 4% y 11% respectivamente, lo que permite señalar una creciente disponibilidad de residuos provenientes del estiércol de porcinos. Las proyecciones de exportaciones de cerdos al 2010, realizadas en conjunto entre el sector Avícola y Productores de Cerdo, indican una alta de crecimiento, correspondiendo 77% para la exportación de aves y 234% respecto a las exportaciones del año 2005.

f) Estimación potencial bruto a partir del biogás producido por de desechos porcinos

La producción de biogás depende del tipo de sustrato y de su relación C/N, condiciones de alimentación del sustrato al digestor (si es fresco o no), el tiempo de retención en el digestor, de las condiciones óptimas del proceso, buen rango de temperaturas para que las bacterias puedan llevar la fermentación, buen manejo y control del pH. Es por eso que se ha estimado para las condiciones extremas, a partir de datos, ya sea obtenidos de laboratorio (Xuan An, Botero y Preston) o datos de otras fuentes, indicando valores de producción de biogás desde 75 m³/ton a 550 m³ (1:8) de biogás por año/tonelada de sustrato.

Este parámetro puede manejarse, al utilizar diferentes tipos de mezclas de estiércol (bovino, porcino, avícola⁵). Se reportan notables mejoras en la bibliografía consultada [3,4, 5, 6, 7]. Considerando la amplia variabilidad de generación de biogás, se ha establecido un rango para el potencial adoptando los valores extremos, obteniéndose un potencial estimado entre **439 a 732 MW**, cuyo resumen representa a continuación:

REGION	Min	Max	%
IV			0%
V	1	2	0%
VI	337	562	77%
VII	12	20	3%
VIII	25	42	6%
IX	5	8	1%
X			0%
RM	59	98	13%
TOTAL(MW)	440	733	100%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2.6 Potencial Bruto (MW) a partir de estiércol porcino

g) Análisis y Discusión

Dispersión de valores debido a las condiciones de centros de producción, alimentación, intensidad y prácticas adoptadas, las cuales varían de un lugar a otro. Se pueden encontrar rendimientos de producción de biogás desde 75 m³/ton a 550 m³/ton. Se identifica gran concentración y disponibilidad creciente del recurso, dado el crecimiento del mercado, ubicado entre la RM y la VI Región (más del 90% del potencial). En esta zona geográfica se focalizará la factibilidad de plantas de biogás a partir de una mezcla de estiércol de porcino.

⁵ "Instalaciones de biogás a mediana y gran escala en Alemania", Autor: Prof. Dr.- Ing. Carlos Modesto Martínez Hernández (Univ. Central de las Villas, Cuba); Prof. Dr.- Ing. Stefan Böttiger y Dr. Hans Oechsner (Univ. de Hohenheim, Stuttgart); PD Dr. Norbert Kanswohl y Dr. agr. Mathias Schlegel (Univ. de Rostock), Fecha de Publicación: 08/01/2008



2.2.3 Sector Cultivos Energéticos

a) Generalidades (ver Anexos)

b) Distribución del recurso

La superficie total sembrada con cultivos anuales disminuyó entre los años 1996-97 y 2005-06, desde 888.739 hectáreas a 781.806 hectáreas. No obstante, la superficie con cereales destaca por experimentar una reducción menor. La Región de La Araucanía presenta la mayor superficie sembrada 247.959 hectáreas, predominando el trigo con 122.000 hectáreas.

En el rubro de cultivos industriales, el lupino lidera en superficie sembrada con 28.490 hectáreas, siendo la Región de La Araucana la que presenta la mayor cifra: 26.340 hectáreas sembradas.

Se aprecia que el 76 % de la superficie sembrada corresponde a cereales, donde la IX Región concentra el 32% del total de cereales y de superficie sembrada. Entre la VI y IX Región acumulan el 86% del cultivo de cereales, 65% del cultivo de tubérculos, 93% de cultivos industriales, indicados en la Tabla 2.5

REGION	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	RM	Resto	Total	%
Cereales	3.170	7.860	95.716	95.964	129.927	191.773	47.299	19.860	3.663	595.232	76%
%	1%	1%	16%	16%	22%	32%	8%	3%	1%	100%	
Leguminosas y Tubérculos	6.240	2.782	7.267	20.400	14.659	20.046	18.700	4.670	1.350	96.114	12%
%	6%	3%	8%	21%	15%	21%	19%	5%	1%	100%	
Industriales	450	1.070	4.090	16.880	26.370	36.140	4.660	1.070	-	90.730	12%
%	0%	1%	5%	19%	29%	40%	5%	1%	0%	100%	
Total	9.860	11.712	107.073	133.244	170.956	247.959	70.659	25.600	5.013	782.076	100%
%	1%	1%	14%	17%	22%	32%	9%	3%	1%	100%	

Fuente: INE2006

Tabla 2.7 Superficie sembrada (ha) por grupo de cultivo, periodo 2005/2006 por Región

Respecto a los cultivos de cereales: 53% del total corresponde a trigo, con el 68% de las siembras concentradas entre la VII y IX Región, 15% del total de la superficie corresponde a la avena, con el 81% de las siembras concentradas en las mismas regiones, el arroz representa el 5% del total y se concentra el 78% de los cultivos en la VII Región, el maíz representa el 21% del total sembrado, con el 82 % de las siembras concentradas entre VI y VII Región. Lo anterior configura que las siembras de cereales se distribuyen entre la VI y IX región, representando el 86% del total de superficie sembrada donde las regiones VIII y IX concentran más del 52% de la superficie sembrada, que se señala en la Tabla 2.6



Universidad Técnica Federico Santa María

REGION	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	RM	Resto	Total	%
Hectáreas (ha)											
TRIGO	2.460	5.600	20.210	43.610	90.070	122.000	23.680	6.090	1.000	314.720	53%
%	1%	2%	6%	14%	29%	39%	8%	2%	0%	100%	
AVENA	40	80	100	1.380	24.860	47.680	14.040	60	1.950	90.190	15%
%	0%	0%	0%	2%	28%	53%	16%	0%	2%	100%	
CEBADA	40	310	20	990	4.660	15.430	7.490	80	40	29.060	5%
%	0%	1%	0%	3%	16%	53%	26%	0%	0%	100%	
ARROZ	-	-	1.640	21.760	4.580	-	-	-	-	27.980	5%
%	0%	0%	6%	78%	16%	0%	0%	0%	0%	100%	
MAIZ	630	1.870	73.400	27.830	5.440	270	-	13.630	490	123.560	21%
%	1%	2%	59%	23%	4%	0%	0%	11%	0%	100%	
OTROS	-	-	346	124	317	6.393	2.089	-	183	9.452	2%
%	0%	0%	4%	1%	3%	68%	22%	0%	2%	100%	
total	3.170	7.860	95.716	95.694	129.927	191.773	47.299	19.860	3.663	594.962	100%
%	1%	1%	16%	16%	22%	32%	8%	3%	1%	100%	

Fuente: INE 2006

Tabla 2.8 Superficie sembrada (ha)/ especie de cereales/ región/2005/2006

Igualmente respecto a los cultivos de tubérculos y leguminosas, están principalmente concentrados en las siembras de papas y porotos con un 27% y 66% respectivamente.

Las siembras de poroto se concentran entre VII y VIII con 77% del total de cultivo de esta especie. La papa se concentra entre la VIII y X Región con un total del 68% de las siembras totales de esta especie en el país.

Esto se indica en la tabla 2.7, indicando lo cultivos de porotos, lentejas, garbanzos, papas y otros tubérculos.



Universidad Técnica Federico Santa María

REGION	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	RM	Resto	Total	%
	Hectáreas (ha)										
Poroto	650	790	2.670	13.570	6.060	1.210	-	670	32	25.652	27%
%	3%	3%	10%	53%	24%	5%	0%	3%	0%	100%	
lenteja	-	10	-	340	510	290	-	-	1	1.151	1%
%	0%	1%	0%	30%	44%	25%	0%	0%	0%	100%	
garbanzo	-	110	1.160	1.740	930	20	-	-	-	3.960	4%
%	0%	3%	29%	44%	23%	1%	0%	0%	0%	100%	
Papa	5.590	1.870	3.410	3.740	6.600	17.980	18.700	4.000	1.310	63.200	66%
%	9%	3%	5%	6%	10%	28%	30%	6%	2%	100%	
Otros	-	2	27	1.010	59	546	-	-	7	1.651	2%
%	0%	0%	2%	61%	4%	33%	0%	0%	0%	100%	
TOTAL	6.240	2.782	7.267	20.400	14.159	20.046	18.700	4.670	1.350	95.614	100%
%	7%	3%	8%	21%	15%	21%	20%	5%	1%	100%	

Fuente; INE 2006

Tabla 2.9 Superficie (ha) sembradas de tubérculos por especie (2005/2006)

c) Estimación del potencial

A partir de estos se estima el potencial de generación de biogás a partir de datos de rendimientos y resultados de las experiencias obtenidas en Alemania. La metodología de cálculo se indica en anexos

REGION	Min	Max	%
IV	14	28	1%
V	19	39	2%
VI	280	587	25%
VII	180	358	16%
VIII	180	385	17%
IX	260	519	23%
X	75	153	7%
RM	62	127	6%
Otras	55	110	5%
TOTAL(MW)	1.125	2.306	100%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2.10 Potencial bruto (MW) a partir de diversos cultivos energéticos

d) Análisis y Discusión

Este potencial está asociado a los cultivos energéticos y considera la totalidad de la superficie cultivada, por lo que es una estimación teórica bruta. El trigo aporta cerca del 50%, seguido del maíz con 39%, la papa con 8% y la cebada con un 3%.

A igual que las fuentes de biomasa ya discutidas, el rendimiento presenta gran dispersión entre los cultivos agrícolas, tipos de tierra, intensidad y manejo y mantenimiento de los nutrientes, entre otros factores.

e) Conclusión



Universidad Técnica Federico Santa María

Lo anterior, indica que si se desea instalar una planta de biogás a partir de esta fuente, se requiere una evaluación previa del rendimiento del cultivo para dimensionar la capacidad y tamaño de la planta y equipos asociados.

2.2.4 Resumen del Potencial Bruto a partir del Biogás

a) Resumen Potencial bruto Biogás

REGION	POTENCIAL BIOGAS (MW)						TOTAL BIOGAS	
	AVICOLAS		PORCINOS		CULTIVOS ENER		Min	Max
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
IV	10	23			14	28	24	51
V	36	83	1	2	19	39	56	124
VI	219	505	337	562	280	587	836	1.654
VII	10	24	12	20	180	358	202	402
VIII	13	31	25	42	180	385	218	458
IX			5	8	260	519	265	527
X					75	153	75	153
RM	175	402	59	98	62	127	296	627
Otras					55	110	55	110
TOTAL(MW)	463	1.068	439	732	1.125	2.306	2.027	4.106

Tabla 2.11 Potencial Bruto a partir del biogás generado por diversas fuentes

2.2.5 Conclusión

El potencial bruto para la generación de biogás es importante. No se han incluido el potencial de biogás de otras fuentes importantes, utilizadas en el mundo, como lo son los residuos urbanos y los provenientes del tratamiento de aguas servidas.

Es muy probable que los sectores con potencial lo utilicen para autoabastecerse en necesidades de calor y electricidad antes de venderlo al sistema eléctrico.

Sin considerar los cultivos energéticos, el potencial avícola y porcino es interesante debido a la concentración geográfica y económica donde se ubican, prácticamente entre la RM y VI Región, cercanos a los centros de consumo y asociados a una actividad exportadora en crecimiento



2.3 Disponibilidad Desechos de Cultivos Agrícolas (cereales)

2.3.1 Sector Cereales

a) Distribución del recurso

La superficie sembrada con cereales (grano seco) al año 2006, de acuerdo al INE totalizaba 594.962 ha, principalmente compuesta por trigo 314720 ha, avena 90.190 ha, cebada 29.060 ha, arroz 27.980 ha, maíz 123.560 ha y centeno y otros cereales con 9.452 ha.. La distribución de la superficie por región y por tipo de cereal sembrado se indica en la Tabla 2.2

Superficie(ha) sembradas con cereales (grano seco, 2006)								
Región/Esp	Trigo	Avena	Cebada	Arroz	Maíz	Otros	Total	%
IV	2.460	40	40	-	630	-	3.170	1%
V	5.600	80	310	-	1.870	-	7.860	1%
VI	20.210	100	20	1.640	73.400	346	95.716	16%
VII	43.610	1.380	990	21.760	27.830	124	95.694	16%
VIII	90.070	24.860	4.660	4.580	5.440	317	129.927	22%
IX	122.000	47.680	15.430	-	270	6.383	191.763	32%
X	23.680	14.040	7.490	-	-	2.089	47.299	8%
RM	6.090	60	80	-	13.630	-	19.860	3%
Resto	1.000	1.950	40	-	490	183	3.663	1%
Total	314.720	90.190	29.060	27.980	123.560	9.442	594.952	100%
%	53%	15%	5%	5%	21%	2%	100%	

Fuente: INE 2006

Tabla 2.12 Superficie en hectáreas sembradas con cereales (grano seco) 2006 ⁶

Se aprecia que el trigo representa el 51% de la superficie sembrada, seguida del maíz con 21% y la avena con 15%, representando el 89% de la superficie total sembrada en el país, concentrando más del 70% distribuida en la VII Región con 16%, VIII Región con 22% y IX Región con 32% de la superficie total.

b) Evaluación del potencial Bruto asociado a los desechos de cereales.

Se considera la generación de residuos en un rango de 150 a 320 kg/ha/mes, según el tipo de cereal. En anexos se describe la metodología de cálculo

⁶ Compendio estadístico, 2006, Instituto Nacional de Estadísticas



Universidad Técnica Federico Santa María

2.3.2 Resumen del Potencial Bruto a partir de cereales

REGION	POTENCIAL BRUTO DESECHOS CERALES (MW)		
	Min	Máx.	%
IV	0	0	0%
V	0	0	0%
VI	30	65	11%
VII	40	84	14%
VIII	70	143	24%
IX	110	231	39%
X	30	77	13%
RM			0%
Otras			0%
TOTAL(MW)	280	600	100%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.13 Potencial Bruto a partir de desechos de cereales (maíz, trigo, cebada)

2.3.3 Conclusión

El nivel potencial está concentrado entre la VII y IX Región, siendo interesante de focalizar el estudio en la accesibilidad y propiedad del recurso y además de analizar cuales son los destinos alternativos para estos desechos.



2.4 Disponibilidad de Desechos de la Industria Forestal y Manejo Plantaciones

2.4.1 Distribución del recurso

El recurso forestal está compuesto por bosques nativos y plantaciones forestales a lo largo del país, con 15,6 millones de hectáreas, 13,6 millones de ha de bosque nativo y 2,0 millones de ha correspondientes a plantaciones forestales, distribuidos por especies, indicados en la Tabla

RECURSO FORESTAL	SUPERFICIE (ha)	(%)	(%)
BOSQUE NATIVO	13.457.140	100%	87%
Siempreverde	4.138.536	30,8%	27%
Lenga	3.391.421	25,2%	22%
Coihue de Magallanes	1.791.860	13,3%	12%
Roble - Raulí - Coihue	1.446.043	10,7%	9%
Ciprés de las Guaitecas	970.326	7,2%	6%
Coihue - Raulí - Tapa	562.593	4,2%	4%
Esclerófilo	403.417	3,0%	3%
Alerce	260.976	1,9%	2%
Araucaria	261.083	1,9%	2%
Roble - Hualo	184.359	1,4%	1%
Ciprés de la Cordillera	46.526	0,3%	0%
PLANTACIONES FORESTALES(ha)	2.078.646	100%	13%
Pino Radiata	1.408.430	67,8%	9%
Eucalipto	489.603	23,6%	3%
Atriplex	58.501	2,8%	0%
tamarugo	20.686	1,0%	0%
Pino Oregón	16.459	0,8%	0%
Acacias	8.130	0,4%	0%
Alamo	6.008	0,3%	0%
Algarrobo	4.568	0,2%	0%
<i>Nothofagus so</i>	1.176	0,1%	0%
Otras Especies	65.085	3,1%	0%
TOTAL RECURSO FORESTAL(ha)	15.535.786		100%

Fuente: INFOR

Tabla 2.14 Distribución del recurso forestal por especie

El 91% de las plantaciones forestales están concentradas en Pino Radiata y Eucalipto. El bosque nativo, el 69% está concentrado en tres especies: Siempreverde, Lenga y Coihue de Magallanes.

El bosque natural está conformado por cuatro tipo de estructura: Bosque Adulto, Renoval, Bosque Adulto /renoval y Bosque Achaparrado.



Universidad Técnica Federico Santa María

BOSQUE NATURAL (ha)		%
Tipo de Estructura	Superficie (ha)	
Bosque adulto	5.936.129	44%
Renoval	3.757.492	28%
Bosque Adulto/renoval	894.815	7%
Bosque Achaparrado	2.975.386	22%
Total (ha)	13.563.822	100%

Fuente: INFOR

Tabla 2.15 Estructura del Bosque Nativo

A partir de la Información del Instituto Forestal, INFOR. **Superficie de Plantaciones Forestales IV y XI Región**, actualizada a Diciembre 2006, se extrae los datos contenidos en los Cuadros de distribución por comunas, por región, por tipo de plantación.

A partir de estos cuadros se reagrupa la información por Región y por tipo de plantación (pino, eucaliptos) en superficie, cuyo resumen se presenta en Tabla 2.3

REGION	BOSQUE NATIVO	%	PLANTACIONES	%	TOTAL	%
	Ha		Ha		Ha	
I	7.682	0%	24.825	1%	32.507	0%
II	-	0%	1.040	0%	1.040	0%
III	-	0%	2.595	0%	2.595	0%
IV	1.377	0%	74.179	4%	75.556	0%
V	94.008	1%	52.962	3%	146.970	1%
RM	93.345	1%	14.404	1%	107.749	1%
VI	117.798	1%	90.216	4%	208.014	1%
VII	369.708	3%	388.123	19%	757.831	5%
VIII	785.766	6%	791.831	38%	1.577.597	10%
IX	907.521	7%	389.946	19%	1.297.467	8%
X	3.610.314	27%	208.825	10%	3.819.139	25%
XI	4.830.743	36%	39.544	2%	4.870.287	31%
XII	2.625.054	20%	158	0%	2.625.212	17%
TOTAL	13.443.316	100%	2.078.648	100%	15.521.965	100%
%	87%		13%		100%	

Tabla 2.16. Superficie en hectárea(ha) de bosque natural y plantaciones por región

En este resumen por región se detecta que el 83% del bosque nativo está concentrado entre la X y XII Región, el 86% de las plantaciones forestales se concentran entre las VII y X región. Respecto al total estas regiones acumulan el 48% del recurso forestal existente en el país.



Universidad Técnica Federico Santa María

2.4.2 Principales actores del mercado y grupos de interés

EMPRESAS FORESTALES(CORMA)	
FORESTAL ARAUCO SA	Presencia en 5 regiones
FORESTAL MINICO SA	5 regiones
MASISA SA	VII a X
FORESTAL BIO BIO SA	VIII
CBB Bosques Ltda	VII; VIII y IX
VOLTERRA SA	Eucaliptus VIII y IX
FORESTAL TIEERA CHILENA SA	Eucaliptus, VIII y IX
BOSQUES CAUTIN SA	VIII y IX

FUENTE: INFOR

Tabla 2.17 Empresas Forestales

2.4.3 Exportaciones forestales (Ver Anexo Forestal)

2.4.4 Consumos Industriales

El consumo industrial de madera durante el año 2004 fue de 31.997.963 m3 ssc. y el consumo industrial del bosque natural fue de 623.721 m3 ssc.

De acuerdo al estudio "Disponibilidad de Pino Radiata (2003-2032)" se mantendría el ritmo de cosechas actual y puede aumentar al 2010 entre 32 a 33 millones, mantenerse durante 5 años al ritmo de 32 millones para luego crecer a 37 millones hacia el 2032.

2.4.5 Origen desechos y Disponibilidad

Manejo Forestal (Pino y Eucalipto)
Residuos Industria Forestal y Maderera
Residuos Manejo del Bosque Nativo Comercial



2.4.6 Resumen del Potencial Bruto por Tipos de Desechos

REGION	Manejo Forestal		Residuos Industria		Manejo Bosq Nat.		Total Pot Bruto		%
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
IV	1	1	0	0	0	0	1	1	0%
V	37	49	2	6	17	33	55	87	1%
VI	17	23	10	30	21	41	48	94	2%
VII	68	91	52	151	65	130	185	372	6%
VIII	152	203	181	528	138	276	472	1.007	16%
IX	76	101	36	103	159	319	271	523	8%
X	42	56	32	94	634	1.268	709	1.419	23%
RM	-		0	0			0	0	0%
Otras	-		-	-	1.327	2.655	1.327	2.655	43%
TOTAL	393	523	313	912	2.361	4.723	3.067	6.158	100%
%		9%		15%		77%		100%	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.18. Resumen Potencial bruto (MW) de la Industria Forestal y Manejo de Plantaciones

2.4.7 Análisis y discusión de Resultados

Se confirma lo enunciado inicialmente en relación al bosque nativo, el cual representa el 77% del potencial bruto total. Si consideramos solo el manejo de plantaciones y residuos de la industria forestal y maderera, el potencial bruto es de 1435 MW.

2.4.8 Conclusiones

Se observa que el 80% de las plantaciones forestales se concentran entre la VII y IX región, por lo que el potencial factible se focalizará en esas regiones.

La tasa de forestación promedio entre los años 2002-2004 fue 112.742 hectáreas por año, correspondiendo a 57.067 hectáreas de forestación y 55.675 ha de reforestación.

El detalle del procedimiento se describe en Anexos. El Potencial Bruto (teórico) a partir de los residuos del manejo forestal y residuos industriales (prácticamente aserrín de pino), concentrados entre la VII y IX Región



Universidad Técnica Federico Santa María

2.5 Otras Biomosas

2.5.1 Resumen

Se estima el aporte de otras biomosas, no consideradas en el estudio, y que se propone sean validadas en las siguientes fases del estudio del potencial de las ERNC en Chile.

REGION	Otras Biomosas	
	MW	
	Min	Max
IV	24	51
V	56	124
VI	700	1.250
VII	202	402
VIII	190	350
IX	50	250
X	75	153
RM	70	215
Otras	-	-
TOTAL(MW)	1.367	2.795

Fuente: Elaboración Propia
Tabla 2.19 Otras Biomosas



Universidad Técnica Federico Santa María

2.6 Resumen Potencial Bruto de la Biomasa por Fuente

2.6.1 Resumen (A lo mejor transponer la tabla)

POTENCIAL BRUTO POR FUENTE DE BIOMASA Y POR REGION												
REGION		IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	RM	Otras	TOTAL	%
Fuente Biomasa		MW										
Biogas (Avicola, Porc, Cult.)	Min	24	56	836	202	218	265	75	296	55	2.027	30%
	Max	51	124	1.654	402	458	527	153	627	110	4.106	
Total Des.Cer. (trigo, maíz, ceb.)	Min			30	40	70	110	30			280	4%
	Max			65	84	143	231	77			600	
Manejo Forestal Pino, Eucaliptus	Min	1	37	17	68	152	76	42	-	-	393	4%
	Max	1	49	23	91	203	101	56			523	
Residuos Industria Forestal, Maderera	Min	0	2	10	52	181	36	32	0	5	319	7%
	Max	0	6	30	151	528	103	94	0	16	927	
Manejo Bosq Nat. Areas comerciales	Min	0	17	21	65	138	159	634		1.327	2.361	35%
	Max	0	33	41	130	276	319	1.268		2.655	4.723	
Otras Biomosas (no incluidas)	Min	24	56	700	202	190	50	75	70	-	1.367	20%
	Max	51	124	1.250	402	350	250	153	215	-	2.795	
Total Pot Bruto(MW)	Min	49	167	1.614	629	950	696	889	366	1.388	6.747	100%
	Max	103	335	3.063	1.260	1.958	1.531	1.802	842	2.780	13.675	
%		1%	2%	22%	9%	14%	11%	13%	6%	20%	100%	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2.20 Potencial bruto por Fuente por Región

2.6.2 Análisis y discusión

Se puede observar dispersión en la estimación debido a la existencia de diferentes valores encontrados para evaluación del potencial energético de cada fuente.

Se estima el 30% del potencial asociado al biogás y 45% asociado a las fuentes del sector forestal y actividades asociadas.

La estimación para las otras biomosas debe ser ratificada con estudios complementarios.

2.6.3 Conclusión

Se debe enfocar el análisis posterior en base a la información previa existente, es decir, focalizarse en los desechos avícolas para la generación de biogas y desechos forestales. Las demás fuentes quedan como alternativas a tener presentes a evaluar



Universidad Técnica Federico Santa María

2.7 Resumen Potencial Bruto Total

FUENTE BIOMASA	POTENCIAL BRUTO(MW)		%
	Min	Max	
BIOGAS	2.027	4.106	30%
DESECHOS CERALES	280	600	4%
MANEJO FORESTAL	393	523	4%
RESIDUOS IND FORESTAL	319	927	7%
MANEJO BOSQ. NAT	2.361	4.723	35%
OTRAS BIOMASAS	1.367	2.795	20%
TOTAL (MW)	6.747	13.675	100%

Tabla 2.21 Resumen Potencial bruto Total Biomasa



3 ESTIMACION DEL POTENCIAL BRUTO FACTIBLE

3.1 Metodología de Análisis

A través de un análisis por fuente y tipo de biomasa, tipo de combustible y tecnología de conversión propuesta para la generación de energía, se analiza su concentración geográfica, mercado y actores económicos, la accesibilidad y disponibilidad del recurso y finalmente, el nivel de factibilidad., agrupados en doce (12) campos que se indican a continuación:

(1)Tipo de Biomasa.	(2)Tipo de Combustible	(3) Proceso Tecnológico de Conversión del Combustible para la generación de energía		
(4)Fuente Biomasa	(5)Concentración Geográfica	(6)Mercado y Actores económicos	(7)Modelo de Negocios.	(8) Accesibilidad
(9)Disponibilidad	(10) Factibilidad	(11)Potencial Bruto Factible.	(12) Potencial Bruto Factible. Rango	

Donde cada campo se explica a continuación :

- (1) Biomasa Natural o Residual (Seca, Húmeda)/Dispersa/Agrupada/Concentrada
- (2) Combustible que alimenta al Sistema de Conversión y Generación (biogás, madera seca, húmeda)
- (3) Motor-generator, Gasificación con Motor-Cogeneración, Ciclo combinado, combustión directa
- (4) Fuente que produce el combustible (Desechos Agropecuarios, agrícolas, residuos forestales)
- (5) Lugares o regiones de concentración de la fuente de biomasa, expresada en %
- (6) Antecedentes del Mercado y de la propiedad del recurso y expectativas económicas futuras
- (7) Propietario del recurso que invierte para autoabastecimiento y/o venta de la energía generada con recursos propios y/o adquiridos a terceros. Propietarios del recurso que traspasan a terceros el recurso necesario para la generación de energía
- (8) Nivel de Accesibilidad al recurso del generador. Si es el mismo propietario, es 100%. Si no lo es, debe ir a buscarlo y acceder al lugar y/o comprarlo de acuerdo a lo que se determine entre el propietario del recurso y el generador (comprador del recurso), 90% si es en la misma región, .Otra alternativa, el comprador solo adquiere el recurso actuando como distribuidor de plantas de generación. Se crea una cadena logística de suministro de biomasa para plantas de generación, 80%
- (9) Fuente de la biomasa es continua, discontinua, estacional, solo durante ciertos periodos. A este nivel se indicará 95% asumiendo que la planta generadora dispondrá de los mecanismos y sistemas de acumulación y almacenamiento que le permita alimentar la planta durante todo el año.
- (10) El Nivel de Factibilidad (%) se calcula como se indica = (5) x (8) x (9)
- (11) Potencial Bruto Factible = Potencial Bruto (MW) x Nivel de Factibilidad
- (12) Se indica los valores extremos del potencial bruto factible considerando el rango indicado en el capítulo 2

Tabla 3.1 Ficha Metodología estimación potencial bruto factible



3.2 Tabla con Resumen de Nivel de Factibilidad de cada fuente

FUENTE	FACTIBILIDAD
BIOGAS	21%
DESECHOS CEREALES	53%
MANEJO FORESTAL	20%
RESIDUOS IND FOR.	20%
MANEJO BOSQ. NAT.	20%
OTRAS BIOMASAS	30%

Tabla 3.2 Tabla Resumen Nivel de Factibilidad

3.3 Resultados por fuente de biomasa

En la siguiente tabla se indica el resumen del análisis realizado para cada fuente.

		REGION									TOTAL
		IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	RM	Otras	
Total Biogás		Capacidad MW									
	Min	5	12	172	42	45	55	15	61	11	418
	Max	11	26	341	83	94	109	32	129	23	847
Total Des.Cer.	Min	-	-	16	21	37	58	16	-	-	148
	Max	-	-	34	44	76	122	41	-	-	317
Manejo Forestal	Min	0	7	3	14	30	15	8	-	-	78
	Max	0	10	5	18	40	20	11	-	-	104
Residuos Industria	Min	0	0	2	10	36	7	6	0	1	63
	Max	0	1	6	30	105	21	19	0	3	185
Manejo Bosq Nat.	Min	0	3	4	13	28	32	126	-	264	470
	Max	0	7	8	26	55	64	253	-	529	941
Otras Biomosas	Min	7	17	213	61	58	15	23	21	-	416
	Max	16	38	380	122	106	81	47	65	-	855
Total Pot Bruto Factible (MW)	Min	12	40	411	161	234	182	195	82	277	1.594
	Max	26	81	774	324	477	416	401	195	555	3.249

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.3 Resumen por fuente del análisis de factibilidad



Universidad Técnica Federico Santa María

3.4 Potencial Bruto Factible Total

El potencial bruto factible se estima en 3249 MW

-	Total Pot Bruto Factible	
	MW	
REGION	Min	Max
IV	12	26
V	40	81
VI	411	774
VII	161	324
VIII	234	477
IX	182	416
X	195	401
RM	82	195
Otras	277	555
TOTAL(MW)	1.594	3.249

Fuente: Elaboración Propia
Tabla 3.4 Resumen Potencial Factible



Universidad Técnica Federico Santa María

4 ESTADO ACTUAL DE LA TECNOLOGIA

Consultar ANEXO TECNOLOGICO



5 EXPERIENCIA TECNOLÓGICA. PLANTAS EXISTENTES Y PROYECTADAS

5.1 Capacidad Instalada en Chile (2007)

5.1.1 Uso Actual de la Biomasa

La biomasa en Chile ha tenido una fuerte presencia dentro de la matriz energética nacional, principalmente en forma de leña llegando el año 2006 a representar cerca del 16% de las energías primarias y el 17,5% a nivel de energías secundarias.

Consumo Bruto Energías Primarias 2006

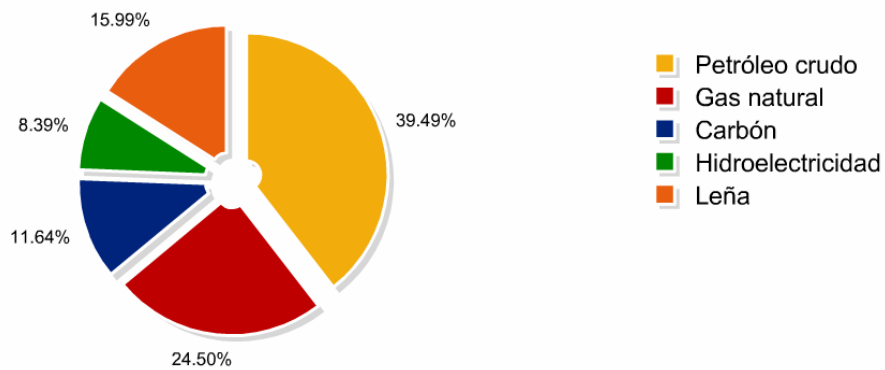


Figura 7 Consumo Bruto Energías Primarias 2006. Fuente: CNE.

Consumo Final Energía Secundaria 2006

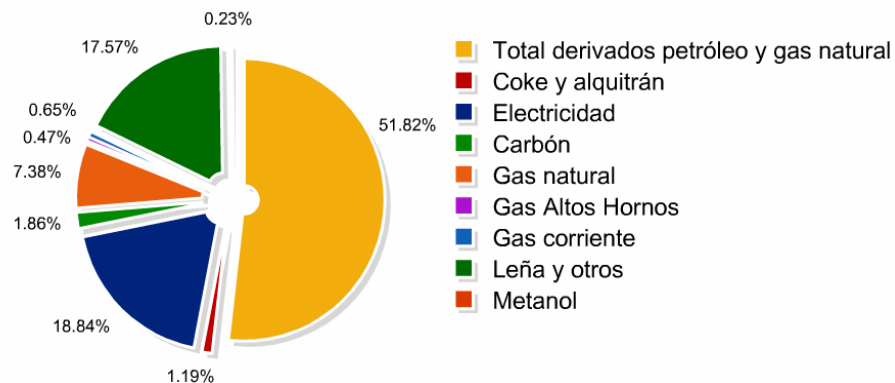


Figura 8 Consumo Final Energías Secundarias 2006. Fuente: CNE.

El sector industrial y minero junto al comercial, público y residencial, son los consumidores de leña, siendo el subsector residencial el que consume toda esta biomasa de su sector, llegando el año 2006 a 29.212 teracalorías.

Cabe mencionar que las mayores utilizations de leña a nivel residencial son para calefacción y cocina, destacándose el gran impacto ambiental, especialmente en ciudades del sur del



Universidad Técnica Federico Santa María

país, debido a la mala combustión a la cual es sometida (alto % de humedad). Un sistema de certificación del combustible en cuestión y mejores tecnologías en sistemas de calefacción son imperantes en esta materia, para así asegurar una buena calidad de combustible y combustión, los cuales traen consigo mejoras en la eficiencia energética y el impacto medio ambiental, y consigo el ahorro familiar y una mejora en la calidad de vida.

Consumo Sectorial Leña 2006

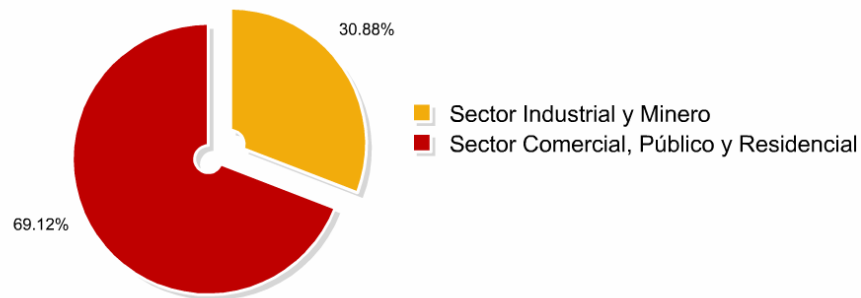


Figura 9 Consumo Sectorial de leña año 2006. Fuente: CNE.

5.1.2 Participación en la generación eléctrica

Con referencia a la generación eléctrica, la biomasa representa el 2,11% de la potencia instalada en el Sistema Interconectado Central (SIC), a julio del 2007. La generación a partir de biomasa es realizada principalmente por la industria del papel y celulosa, la cual aprovecha residuos de sus materias primas y procesos para utilizarlos como combustible. Cabe destacar a la vez la cogeneración en este tipo de instalaciones lo cual al recuperar energía residual, implica un mayor aprovechamiento de la energía.

Además de este sector industrial, la empresa Energía Verde genera electricidad en base a desechos forestales, completando así junto a la industria del papel y celulosa la generación actual en base a biomasa en Chile.

Capacidad Instalada Generación SIC Jul - 07 9.041,6 [MW]

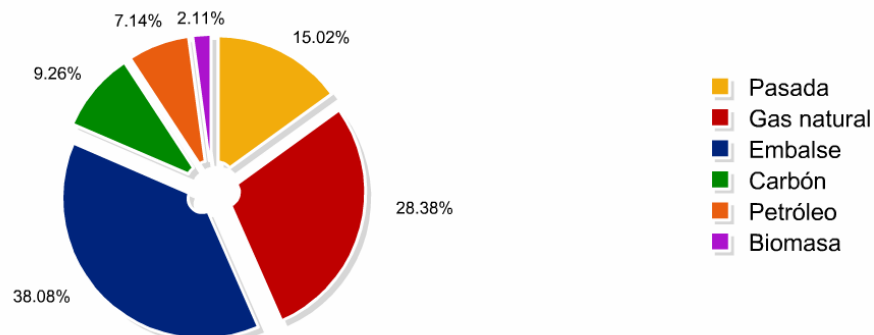


Figura 10 Capacidad instalada SIC a julio 2007. Fuente CNE.



Universidad Técnica Federico Santa María

5.1.3 Plantas Existentes

Las plantas de generación eléctrica (y cogeneración), que se encuentran instaladas y operando a base de biomasa al año 2007 en el SIC son las siguientes:

CAPACIDAD INSTALADA ENM EL SIC AL 2007					
Central	Empresa	En Servicio	Combustible	N° unidades	[MW]
Arauco	ARAUCO GENERACION S.A.	1996	vapor-licor negro	5	33
Celco	ARAUCO GENERACION S.A.	1996	vapor-licor negro	2	20
Cholguán	ARAUCO GENERACION S.A.	2003	vapor-des forest.	1	9
Valdivia	ARAUCO GENERACION S.A.	2004	vapor-des forest.	1	61
Laja	E. VERDE S.A.	1995	vapor-des forest.	1	8,7
Constitución	E. VERDE S.A.	1995	vapor-des forest.	1	8,7
Licantén	ARAUCO GENERACION S.A.	2004	vapor-des forest.	1	5,5
Nueva Aldea I	ARAUCO GENERACION S.A.	2005	vapor-des forest.	1	13
Nueva Aldea III	CENELCA	2006	vapor-licor negro	1	20
FPC	Forestal y Pap. Concepción	2007	vapor-des forest.	1	12
TOTAL [MW] INSTALADOS EN EL SIC					190,9

Tabla 5.1 Centrales generadoras a biomasa instaladas en el SIC al 2007. Fuente CNE.

La totalidad de ellas tienen utilizan recursos dendroenergéticos ya sea directa o indirectamente, ya sea desechos forestales o licor negro generado en procesos de la industria del papel y celulosa.

Se puede observar que 138 MW (72%) de capacidad instalada en el SIC al 2007, corresponde a vapor – desechos forestales, con unidades de generación cuya capacidad instalada se sitúa entre 5.5 a 12 MW. Las otras unidades corresponden al desechos de la industria de la Celulosa (Arauco, Celco, FPC).

d) Potencia Instalada al 2007

Potencia Instalada al 2007: 191 MW



5.2 Potenciales proyectos. Caso Base Referencia 2015

5.2.1 SEIA

Con relación a los potenciales proyectos biomásicos a realizarse en el corto y mediano plazo, se ha hecho una búsqueda de los proyectos que se encuentran en la base de datos del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), entre el año 2003 y el 2008.

Nombre proyecto	Estado	Ubicación	Combustible	Potencia [MW]
Cogeneración de Energía de Forestal y Papelera Concepción S.A.	Aprobado	Octava Región	Desechos forestales y astillas	10
Cogeneración de Energía con Biomasa Vegetal cogeneración de energía con biomasa vegetal	Aprobado	Octava Región	Aserrín	S/I
Modificación proyecto caldera a biomasa en planta Pacífico, Minico	Aprobado	Octava Región	S/I	S/I
Sistema de Cogeneración de Energía con Biomasa Vegetal Cogeneración MASISA Cabrero	Aprobado	Octava Región	Desechos forestales y aserrín	9,6
Planta Cogeneración San Francisco de Mostazal	En calificación	Quinta región	Desechos madereros, agroindustriales y lodos	15
Planta de Cogeneración de Energía Eléctrica y Vapor con Biomasa en CFI Horcones Caldera de Biomasa CFI Horcones	En calificación	Octava Región	Desechos forestales	S/I

Fuente: SEIA

Tabla 5.2 Proyectos biomásicos que ingresaron al SEIA entre 2003 - 2008. Fuente: SEIA.

Nuevamente se aprecia la utilización de dendroenergía principalmente en estos proyectos, y un proyecto que utilizaría otras fuentes de biomasa como lo son los desechos agroindustriales.

Por otro lado, se ha confeccionado también un listado con los proyectos de biomasa pertenecientes a InvestChile, el cual es un programa de atracción de inversiones creado el año 2000 por la Corporación de Fomento de la Producción.

5.2.2 CORFO

Nombre proyecto	Estado	Ubicación	Combustible	Potencia [MW]
Sistema de biodigestión para desechos industriales	Beta	Octava región	Lodos de distintas fuentes y grasas	0,5



Universidad Técnica Federico Santa María

Bioenergía para el Valle de Aconcagua	Gamma	Quinta región	Biogás (residuos industriales y municipales)	1
Producción Biogás y Planta de Tratamiento de Desechos Coltauco	Gamma	Sexta región	Desechos	1,8
Planta Térmica de Biomasa Curacautín	Beta	Novena región	Desechos forestales	4,5
Planta Térmica de Biomasa Dinahue	Beta	Octava región	Desechos forestales	4,5
Planta de Bioenergía V Región Laguna Verde	Gamma	Quinta región	Desechos forestales y agrícolas	2,7
Planta de Biomasa Ligno-Cellulose	Beta	Octava región	Chip proveniente de plantaciones for de corta rotación	9,5
Proyecto BioEiberger: Planta AgroEnergía Los Ángeles	Beta	Octava región	Biogás y Bioetanol (rap, trigo, maíz, tubérculo etc.)	5
Energía Verde Opuntia	Alfa	Cuarta región	Biogás (tuna)	3
Proyecto Planta Biomasa CHP ProArauco	En funcionamiento ?	Octava región	Corteza y aserrín	2,5
CEPADE	En funcionamiento ?	Octava región	Biogás	1,25
Planta de Co-generación San Francisco de Mostazal	Beta	Sexta región	Desechos forestales	15
TOTAL [MW] INSTALADOS EN EL SIC				51,25

Fuente: CORFO
 Tabla 5.3 Proyecto InvestChile CORFO.

5.2.3 Otros Proyectos

Se estima en 24 MW de capacidad relacionada con otros proyectos.



Universidad Técnica Federico Santa María

5.2.4 Resumen Caso Base Referencia Al 2015

CAPACIDAD(MW) CASO BASE REFERENCIA	
Instalado en SIC al 2007	191
Proyectos en el SEIA	35
Programa InvestChile, CORFO	51
Otros Proyectos	24
Proyectada entre 2008-2015	110
Total Instalado al 2015	301

Tabla 5.4 Resumen Capacidad Instalada SIC Caso Base Referencia al 2015

CASO BASE REFERENCIA TOTAL 2015: 301 MW



Universidad Técnica Federico Santa María

6 ESTIMACION DEL POTENCIAL ECONOMICO FACTIBLE

6.1 Parámetros técnicos por tecnología

En el procedimiento de cálculo se consideraron los parámetros técnicos de mayor relevancia para cada una de las tecnologías a ser aplicadas.

Se resumen enseguida los conceptos de estos parámetros técnicos, para poder ser considerados en la posterior evaluación económica.

6.1.1 Biodigestor con motor cogeneración

Los siguientes parámetros técnicos fueron estimados en base a la conveniencia de la situación de aplicación supuesta, la que dice relación con el autoabastecimiento de las plantas avícolas, las cuales poseen una demanda eléctrica de 2 [MW] como base.

Además en esta situación el desecho de las aves o materia prima para el biodigestor no presenta costo de adquisición. Por otro lado con los gases de escape del motor de combustión se produce vapor, el cual es asimilado por el proceso de la planta.

Parámetros técnicos	Valor	Unidad
Potencia instalada	2	[MW]
Eficiencia ⁷	20%	%
Factor Planta ⁸	80%	%
Energía Eléctrica	14,0	[GWh/año]
Poder Calórico metano (CH ₄)	35877	[kJ/m ³]
F. conversión. Gas ⁹	520	[m ³ /ton DQO]
Factor ¹⁰	1,5	[ton DQO/Ton MO]
% de metano	58%	%
Biomasa requerida	15.544	[ton MO/año]
Eficiencia. gases de escape	35%	%
Eficiencia HRSG	65%	%
Vapor generado	17.585	[ton/año]
Presión Vapor	10	[bar]
Temp. Vapor	400	°C
Entalpía	3264	[kJ/kg]

Tabla 6.1 Parámetros técnicos Biodigestor con Motor Cogeneración.

⁷ Bioresource Technology 98(2007)

⁸ A techno economic comparison of power production by biomass, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6(2002), 181-248

⁹ Bioresource Technology 98(2007)

¹⁰ A techno economic comparison of power production by biomass, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6(2002), 181-248



Universidad Técnica Federico Santa María

$$\begin{aligned} \text{Potencial bruto factible (Biogás)} &= 847 \text{ MW} \\ \text{Potencial Técnico Factible} &= 847 \times 20\% \times \text{Factor Planta} = 136 \text{ MW} \end{aligned}$$

6.1.2 Gasificación con ciclo combinado

Para el análisis de esta tecnología se considera que de los potenciales descritos en capítulos anteriores el más apto para poder producir un nivel de potencia capaz de justificar un ciclo combinado es el desecho forestal, como este tipo de materia prima se encuentra disperso en una gran superficie se considero un costo de transporte el cual se especifica posteriormente.

Parámetros técnicos	Valor	Unidad
Potencia eléctrica instalada	75	[MW]
Eficiencia ¹¹	36%	%
Factor Planta	80%	%
Energía Eléctrica	525,6	[GWh/año]
Biomasa de Entrada	1.647.439	[m estéreo/año]
Poder Calorífico de Biomasa	8789	[kJ/kg]
Densidad Biomasa	0,55	[ton/m ³ ssc]

Tabla 6.2 Parámetros técnicos Gasificación con Ciclo Combinado .^{12 13 14}

$$\begin{aligned} \text{Potencial bruto factible (Desechos Forestales)} &= 1230 \text{ MW} \\ \text{Potencial Técnico Factible} &= 1230 \times 36\% \times \text{Factor Planta} = 354 \text{ MW} \end{aligned}$$

¹¹ Perspectives for the use of biomass as fuel in combined cycle power plants, Franco, Giannini, International Journal of Thermal Sciences, 44(2005)

¹² Wood Energy prospects. Proceedings of XVII IUFRO, World Congress

¹³ Investigation of Potential for electricity generation from forestry-by products in NSW, CSIRO Report N° 655

¹⁴ Wood-fired energy systems, Australian Forest Industries Journal



6.1.3 Gasificación con motor cogeneración

La gasificación con motor cogenerador, está estimado teniendo como objetivo el aprovechamiento de los desechos agrícolas, los cuales por su gran dispersión presentan un costo alto de recolección, por ende los niveles de potencias esperados los transforma buenos candidatos para utilizar motores de combustión interna de potencias de 2 [MW]. En esta tecnología se considera la venta de vapor producido en base a los gases de escape del motor.

Parámetros técnicos	Valor	Unidad
Potencia instalada	2	[MW]
Eficiencia ¹⁵	36%	%
Factor Planta	80%	%
Energía Eléctrica	14,0	[GWh/año]
Biomasa	17.807	[ton/año]
Poder calorífico ¹⁶	14168	[kJ/kg]
E. gases de escape	35%	%
Eficiencia HRSG	65%	%
Vapor generado	17.585	[ton/año]
Presión Vapor	10	[Bar]
Temp. Vapor	400	°C
Entalpía	3264	[kJ/kg]

Tabla 6.3 Parámetros técnicos Gasificación con Ciclo Combinado

Potencial bruto factible (Cereales)= 317 MW

Potencial Técnico Factible = 317 x 20% x Factor Planta = 51 MW

¹⁵ Gasificación de biomasa en lechos fluidizados,. Para los proyectos de HATC los rangos van de 0.5 a 3 MWe y para los proyectos de GICC los rangos oscilan de 7 a 30 MWe. Estos sistemas avanzados tienen eficiencias más altas, 35-40%, Brandon, O. H., King, G. H., Kinsey, D. V. (1984), «The role of Thermochemical Processing in Biomass Exploitation». En: *1st European Workshop on Thermochemical Processing of Biomass*, págs. 11-34, editado por Bridgwater, A. V., Butterworths & Co Ltd.

¹⁶ Food and Processing residues in California: Resource Assessment and Potential for power generation, Matteson, Jenkins Bioresource Technology, 98 (20007



Universidad Técnica Federico Santa María

6.1.4 Combustión directa con ciclo Rankine

En este tipo de tecnología es de la que se poseen referentes en Chile, como son el caso de Energía Verde. Para este análisis esta tecnología se considero aplicable principalmente para el aprovechamiento de los desechos forestales, esto debido al gran potencial existente de este último. Al igual que para el caso de la tecnología de gasificación con ciclo combinado, se considero un costo de recolección de la materia prima.

Tabla 6.4 Parámetros técnicos Combustión Directa con Ciclo Rankine

Parámetros técnicos	Valor	Unidad
Potencia instalada	50	[MW]
Eficiencia	20 %	%
Factor Planta	80%	%
Energía Eléctrica	350,4	[GWh/año]
Biomasa	1.098.292	[m estéreo/año]
Poder calorífico	8789	[kJ/kg]
Densidad	0,55	[ton/m ³ ssc]

Potencial bruto factible (Desechos Forestales) = 1230 MW
Potencial Técnico Factible = 1230 x 20% x Factor Planta = 197 MW

6.2 Resumen Potencial Técnico Factible

BIOGAS	: 136 MW
DESECHOS CEREALES	: 51 MW
DESECHOS FORESTALES	: 354 MW
TOTAL	: 541 MW



7 ESTIMACION DEL POTENCIAL TECNICO ECONOMICO FACTIBLE

7.1 Parámetro Evaluación Económica

7.1.1 Parámetros Económicos

TECNOLOGÍA DE BIODIGESTOR DESECHOS AVICOLAS		Unidades
Inversión		
Biodigestor	1200	US\$/kW
Motor cogenerador	435	US\$/kW
Terreno	30%	%
Obras civiles	10%	%
Instalación	30%	%
Contingencia	15%	%
Ingeniería	15%	%
Puesta en marcha	10%	%
Costos operacionales		
Operaciones	22,96	US\$/kW-año
Mantenimiento	36,5	US\$/kW-año
Biomasa	0	US\$/Ton MO

Tabla 7.1 Parámetros Económicos Biodigestor Desechos Avícolas

TEC. Gasificación CCDESECHOS FORESTALES		Unidades
Inversión		
Gasificador	519	US\$/kW
Turbina de gas	216	US\$/kW
Turbina de vapor	48	US\$/kW
Preparación de combustible	113	US\$/kW
Hot gas cleanup	43	US\$/kW
Sistema de control	9	US\$/kW
Terreno	30%	% de inv equipos
Obras civiles	10%	% de inv equipos
Instalación	45%	% de inv equipos
Contingencia	15%	% de inv equipos
Ingeniería	10%	% de inv equipos
Puesta en marcha	10%	% de inv equipos
Costos operacionales		
Operaciones	22,96	US\$/kW-año
Mantenimiento	36,5	US\$/kW-año
Biomasa	16,00	US\$/m.estero

Tabla 7.2 Parámetros Económicos gasificación con CC desechos forestales



Universidad Técnica Federico Santa María

TECNOLOGÍA DE GASIFICACIÓN DESECHOS AGRICOLAS		Unidades
Inversión		
Gasificador	519	US\$/kW
Motor cogenerador	435	US\$/kW
Preparación de combustible	113	US\$/kW
Hot gas cleanup	43	US\$/kW
Terreno	30%	%
Obras civiles	10%	%
Instalación	30%	%
Contingencia	10%	%
Ingeniería	10%	%
Puesta en marcha	10%	%
Costos operacionales		
Operaciones	22,96	US\$/kW-año
Mantenimiento	36,5	US\$/kW-año
Biomasa	30,00	US\$/Ton

Tabla 7.3 Parámetros Económicos Gasificación Desechos Agrícolas

TECNOLOGÍA DE COMBUSTIÓN DIRECTA DESECHOS FORESTALES		Unidades
Inversión		
Caldera	444	US\$/kW
Turbina de vapor	148	US\$/kW
Des-aereador	56	US\$/kW
Torre de enfriamiento	29	US\$/kW
Sistema de control	9	US\$/kW
Secador	79	US\$/kW
Preparación de combustible	113	US\$/kW
Terreno	30%	%
Obras civiles	10%	%
Instalación	30%	%
Contingencia	10%	%
Ingeniería	10%	%
Puesta en marcha	10%	%
Costos operacionales		
Operaciones	22,96	US\$/kW-año
Mantenimiento	36,5	US\$/kW-año
Biomasa	16,00	US\$/m.estereo

Tabla 7.4 Parámetros Económicos Combustión Directa Desechos Forestales



Universidad Técnica Federico Santa María

7.1.2 Parámetros del Entorno

Para determinar el potencial técnico económico factible se integran a lo señalado respecto al entorno, se estiman los indicadores económicos para los escenarios indicados, junto con el valor del costo de la energía **COE (Cost of Energy)** para cada tecnología y potencias instaladas incorporando las siguientes variables adicionales:

- Distancia disponibilidad recurso
- Distancia centros de consumos
- Distancia al Sistema Interconectado
- Impacto Ambiental
- Conocimiento de la tecnología en el país
- Capacidad y experiencia de otras plantas similares.
- Infraestructura existente
- Recursos Humanos Calificados disponibles
- Infraestructura Instalada y disponible

7.1.3 Parámetros incluidos en la evaluación económica

- Distancia al SIC
- Nivel de tensión de transmisión
- Las S/E requeridas para la conexión al sistema de transmisión y conexión al SIC

Para el cálculo del COE (Valor de la energía para VAN Cero) se estima a partir de las planillas de evaluación por cada tecnología, haciendo variar el precio de la energía hasta lograr VAN=0

Además, se incorpora una tasa de penetración y distribución plan de inversiones

- Otra componente de la inversión que incluida en la evaluación es la línea de transmisión, el costo por kilómetro. La distancia de la línea se determina por medio de la ubicación geográfica de los sitios seleccionados y su distancia a la línea más adecuada del SIC, se añadió un recargo a esta distancia, un factor 1,5, a fin de incluir las irregularidades del terreno y errores de precisión.
- También se incluye en la inversión el valor de la franja de paso de la línea, el cual corresponde a un 15% del costo de esta.
- Otro costo incluido es el de la subestación final, que permite conectar la línea de la central a la línea del SIC, este valor, según voltaje, Otras consideraciones fueron:
- Tasa de descuento: 10%
- Factor de planta: 80%
- Periodo de evaluación: 20 años
- Impuestos: 17%
- Precio potencia Firme: 8,97 US\$/kWh/mes
- Precios bonos de carbono: 10 US\$/Ton hasta 2012 y 8 US\$/Ton en adelante
- Reducción de CO: 40% de la energía generada



Universidad Técnica Federico Santa María

7.1.4 Escenarios de Precios

- Escenario 1. Precio de la Energía: US\$ 75/MWh + 1% anual
- Escenario 2. Precio de la Energía: US\$ 102/MWh +1% anual
- Escenario 3. Precio de la Energía : US\$ 102/MWh+3,5% anual

La siguiente Tabla indica la penetración del mercado y plan de inversiones para cada tecnología evaluada

7.1.5 Penetración del Mercado

La siguiente Tabla indica la penetración del mercado y plan de inversiones para cada tecnología evaluada.

Tabla 7.5 Penetración del Mercado por tecnología y Plan de Inversiones

	TECNOLOGÍA DE BIODIGESTOR		TECNOLOGÍA DE GASIFICACIÓN		TECNOLOGÍA DE COMBUSTIÓN DIRECTA		TECNOLOGIA Gasificacion Con Combinado	
	Adopcion/ Penetracion Mer	Plan de Inversiones	Adopcion/ Penetracion Mer	Plan de Inversiones	Adopcion/ Penetracion Mer	Plan de Inversiones	Adopcion/ Penetracion Mer	Plan de Inversiones
Año 0	0%	40%	0%	40%	0%	40%	0%	70%
Año 1	0%	50%	0%	50%	50%	50%	40%	30%
Año 2	30%	10%	50%	10%	100%	10%	80%	
Año 3	70%		80%		100%		100%	
Año 4	100%		100%		100%		100%	



Universidad Técnica Federico Santa María

7.2 Resultados de la Evaluación Económica

Se indica los resultados para la evaluación económica de una planta de biogás de 3 MW, con una inversión adicional en 10 km de líneas de conexión al SIC de 66 kV y S/E de inyección.

Tabla 7.6 Resultados de la evaluación económica.

	Escenario			Costo de la Energía(COE)	
	1	2	3	1%	3,5%
TD=10%					
20 años				cUS\$/kWh	cUS\$/kWh
VAN (MMUS\$)	2,562	7,068	11,541	5,29	4,73
TIR (%)	13%	18%	21%		



Universidad Técnica Federico Santa María

Biodigestor

Tabla 7.7. Parámetros Técnicos biodigestor de 3 MW

TECNOLOGÍA DE BIODIGESTOR DESECHOS AVICOLAS		Unidades	
Parámetros técnicos			
Potencia instalada	3	MW	
Eficiencia	20%	%	
Factor Planta	80%	%	
Energía Eléctrica	21,0	GWh/año	
P.C. metano	35877	kJ/m ³	
F. conv. Gas	520	m ³ /Ton DQO	
Factor	1,5	Ton DQO/Ton MO	
% de metano	58%	%	
Biomasa	23.316	Ton MO/año	
E. gases de escape	35%	%	
Eficiencia HRSG	65%	%	
Vapor generado	26.378	Ton/año	
Presión Vapor	10	bar	
Temp. Vapor	400	°C	
Entalpía	3264	kJ/kg	

Tabla 7.8. Inversiones adicionales en Líneas AT y S/E

inversiones adicionales conexión SIC								
Pot	Inv Tecnolo	Inv	Dist	Tension	Costo Línea	S/E	Inversion Adicional	InvTotal
MW	MMUS\$/MW	MMUS\$	km	kV	MUS\$/km	MUS\$	MMUS\$	MMUS\$
1	3,4335	3,4335	10	66	30	200	0,500	3,9
2	3,4335	6,867	10	66	30	200	0,500	7,4
3	3,4335	10,3005	10	66	30	200	0,500	10,8
1	3,4335	3,4335	30	66	30	200	1,100	4,5
2	3,4335	6,867	30	66	30	200	1,100	8,0
3	3,4335	10,3005	30	66	30	200	1,100	11,4
1	3,4335	3,4335	50	154	60	450	3,450	6,9
2	3,4335	6,867	50	154	60	450	3,450	10,3
3	3,4335	10,3005	50	154	60	450	3,450	13,8

Tabla 7.9. Escenario 1, US\$ 75/kWh +1% anual, Biogás 3 MW



Universidad Técnica Federico Santa María

inversion adicional	500.000	
Precios electricos		Unidades
Factor de Precio	75,000	US\$/MWh
Precio Pot Nudo	8,97	US\$/kW-mes
Precio Vapor	16999	US\$/Ton
Peaje	8000	US\$/MW-año
Relacion Precio	0,3	US\$-kWhe/US\$-kWv
Vapor	907	kWh/Ton
Depreciación	20	años
Tasa de descuento	10%	
Indicadores		Unidades
VAN	\$ 2.562.696	US\$
TIR	13%	%
Ivan	\$ 0,59	
Inversión Específica	3,43	MMUS\$/MW

Tabla. 7.10. Escenario 2, US\$ 102 +1% anual, Biogás 3 MW

inversion adicional	500.000	
Precios electricos		Unidades
Factor de Precio	102,000	US\$/MWh
Precio Pot Nudo	8,97	US\$/kW-mes
Precio Vapor	23119	US\$/Ton
Peaje	8000	US\$/MW-año
Relacion Precio	0,3	US\$-kWhe/US\$-kWv
Vapor	907	kWh/Ton
Depreciación	20	años
Tasa de descuento	10%	
Indicadores		Unidades
VAN	\$ 7.068.657	US\$
TIR	18%	%
Ivan	\$ 1,64	
Inversión Específica	3,43	MMUS\$/MW



Universidad Técnica Federico Santa María

Tabla 7.11. Escenario 3, US\$ 102/kWh +3,5% anual, Biogás 3 MW

inversion adicional	500.000	
Precios electricos		Unidades
Factor de Precio	102,000	US\$/MWh
Precio Pot Nudo	8,97	US\$/kW-mes
Precio Vapor	23119	US\$/Ton
Peaje	8000	US\$/MW-año
Relacion Precio	0,3	US\$-kWhe/US\$-kWv
Vapor	907	kWh/Ton
Depreciación	20	años
Tasa de descuento	10%	
Indicadores		Unidades
VAN	\$ 11.541.837	US\$
TIR	21%	%
Ivan	\$ 2,67	
Inversión Específica	3,43	MMUS\$/MW

VAN aumenta en 57% cuando el precio de la energía aumenta en +3,5% anual respecto al 1% anual



Universidad Técnica Federico Santa María

Tabla 7.12 Calculo del COE Variación +1%, Biogás 3 MW

inversion adicional	500.000	
Precios electricos		Unidades
Factor de Precio	52,900	US\$/MWh
Precio Pot Nudo	8,97	US\$/kW-mes
Precio Vapor	11990	US\$/Ton
Peaje	8000	US\$/MW-año
Relacion Precio	0,3	US\$-kWhe/US\$-kWv
Vapor	907	kWh/Ton
Depreciación	20	años
Tasa de descuento	10%	
Indicadores		Unidades
VAN	-\$ 16.296	US\$
TIR	10%	%
Ivan	-\$ 0,00	
Inversión Específica	3,43	MMUS\$/MW

Tabla 7.13. Calculo del COE Variación +3,5%

inversion adicional	500.000	
Precios electricos		Unidades
Factor de Precio	47,300	US\$/MWh
Precio Pot Nudo	8,97	US\$/kW-mes
Precio Vapor	10721	US\$/Ton
Peaje	8000	US\$/MW-año
Relacion Precio	0,3	US\$-kWhe/US\$-kWv
Vapor	907	kWh/Ton
Depreciación	20	años
Tasa de descuento	10%	
Indicadores		Unidades
VAN	\$ 14.242	US\$
TIR	10%	%
Ivan	\$ 0,00	
Inversión Específica	3,43	MMUS\$/MW

Disminución del 11% del valor de COE cuando el precio de la energía aumenta en 3,5% en lugar de 1% anual



Universidad Técnica Federico Santa María

Tabla 7.14- Indicadores Económicos (Tir, Van, Coe Por Tamaño, Tecnología , Por Región Por Cada Escenario)

RESUMEN DE INDICADORES ECONOMICOS PROYECTOS BIOMASA POR TECNOLOGIA, DESECHO Y REGION

	REGION	Potencia	Dist	Nivel	Inversion	COE	Esc 1	75 US\$/MWh	Esc 2	102 US\$/MWh
			SIC	AT	Pta+Lin+S/E		Van	Tir	Van	Tir
		MW	km	kV	MMUS\$	US\$/MWh	MMUS\$		MMUS\$	
Desechos Avicolas	V	1	10	66	3,9	67,3	0,4	11,5%	1,9	16,2%
Biodigestor Mot Cog	V	2	10	66	7,4	61,6	1,5	12,8%	4,5	17,5%
	V	3	10	66	10,8	59,7	2,6	13,2%	7,1	18,0%
INVERSION ESPECIFICA	VI	1	30	66	3,9	81,2	- 0,3	8,9%	1,2	13,4%
3,43	VI	2	30	66	8,0	68,5	0,7	11,3%	3,7	15,9%
	VI	3	30	66	11,4	64,3	1,8	12,1%	6,3	16,8%
	RM	1	50	154	6,9	135,5	- 3,4	1,7%	- 1,9	5,9%
	RM	2	50	154	10,3	95,1	- 2,3	6,6%	0,7	10,9%
	RM	3	50	154	13,8	82,0	- 1,2	8,8%	3,3	13,2%

Nota: se considera costo cero asociado al insumo de desechos avícolas, ya que se produce ene. mismo lugar

Bajo el escenario de variación de precios del 3,5% anual en el escenario 1, el proyecto de biogás de 1 MW a 30 km del SIC presenta un COE de 6.9 cUS\$/kWh en lugar de 8,12 cUS\$/kWh, disminuyendo el costo de energía en 15% respecto al escenario con 1% de aumento anual. Si se incorporan costos asociados al traslado de la biomasa del orden de US\$ 5/Ton MO, el COE sube en +15%, sensibles a la variación de costo del insumo

					-		-		-	
Desechos Cereales	RM	1	30	66	3,3	82,6	- 0,4	8,2%	1,1	14,1%
Gasificacion Mot Cog	RM	2	30	66	5,5	73,9	0,1	10,3%	3,3	16,7%
	VI	1	50	154	5,7	120,0	- 2,6	2,4%	- 1,0	7,4%
INVERSION ESPECIFICA	VI	2	50	154	7,9	92,4	- 2,0	6,3%	1,1	11,8%
2,22	VI	5	30	66	12,2	68,6	1,8	11,8%	9,6	19%
	VI	5	30	154	13,4	72,3	0,8	10,7%	8,6	17,2%
	VI	5	50	66	12,8	70,5	1,3	11,2%	9,1	17,8%
	VI	5	50	154	14,6	76,1	- 0,3	9,7%	7,5	15,9%

Variación del +20% de precio de cereales aumenta el costo en un 8%, pasando de 7,23 a 7,85 cUS\$/kWh(+7,5%)



Universidad Técnica Federico Santa María

(Continuación Tabla 7.14)

RESUMEN DE INDICADORES ECONOMICOS PROYECTOS BIOMASA POR TECNOLOGIA, DESECHO Y REGION										
	REGION	Potencia	Dist	Nivel	Inversion	COE	Esc 1	75 US\$/MWh	Esc 2	102 US\$/MWh
			SIC	AT	Pta+Lin+S/E		Van	Tir	Van	Tir
		MW	km	kV	MMUS\$	US\$/MWh	MMUS\$		MMUS\$	
Desechos Forestales	V	3	30	66	6,4	72,6	0,6	11,7%	8,4	29,3%
Combustion Directa	V	5	30	66	9,9	70,8	1,7	13,0%	14,7	31,7%
	V	3	50	66	7,0	74,8	0,0	10,1%	7,9	26,6%
	V	5	50	66	10,5	72,3	1,1	11,9%	14,2	29,7%
	V	5	50	154	12,2	76,2	- 0,5	9,3%	12,5	25,1%
	VI	5	70	66	11,1	73,6	0,6	10,9%	13,6	28,0%
	VI	10	70	66	19,9	71,0	3,3	12,9%	29,4	31,5%
	VI	10	70	154	22,2	73,7	1,1	10,9%	27,2	27,9%
INVERSION ESPECIFICA	VI	30	30	154	54,9	69,1	14,3	14,5%	92,5	34,4%
1,76	VI	30	100	154	59,1	70,8	10,4	13,0%	88,6	31,8%
	VII	5	30	154	11,0	73,5	0,6	11,0%	13,7	28,1%
	VII	10	30	66	18,7	69,6	4,4	14,1%	30,5	33,7%
	VII	50	30	154	90,1	68,7	25,2	14,8%	155,6	35,0%
	VIII	5	50	66	10,5	72,3	1,1	11,9%	14,2	29,7%
	VIII	10	50	154	21,0	72,3	2,2	11,9%	28,3	29,6%
	VIII	50	70	154	92,5	69,3	23,0	14,3%	153,3	34,0%
	IX	5	50	66	10,5	72,3	1,1	11,9%	14,2	29,7%
	IX	10	100	154	24,0	75,7	- 0,6	9,6%	25,5	25,6%
	IX	50	100	154	94,3	69,8	21,3	13,9%	151,7	33,3%

Si consideramos aumentamos el valor de la biomasa desde 9,6 a US\$16/m estero (+50% precio insumo), el valor del COE sube de 7,23 a cUS\$ 8,15/kWh(+13%), pero bajo escenario de precios +3,5%, baja a 7,3 (compensa el aumento del insumo)



Universidad Técnica Federico Santa María

(Continuación Tabla 7.14)

RESUMEN DE INDICADORES ECONOMICOS PROYECTOS BIOMASA POR TECNOLOGIA, DESECHO Y REGION										
	REGION	Potencia	Dist	Nivel	Inversion	COE	Esc 1	75 US\$/MWh	Esc 2	102 US\$/MWh
			SIC	AT	Pta+Lin+S/E		Van	Tir	Van	Tir
		MW	km	kV	MMUS\$	US\$/MWh	MMUS\$		MMUS\$	
					-		-		-	
Desechos Forestales	V	3	30	66	4,5					
Gasificacion Ciclo Combinado	V	3	70	66	5,7					
	VI	5	30	66	6,8	70,0	0,02	10,0%	7,9	17,9%
	VI	10	50	66	13,1					
	VI	5	50	66	7,4					
INVERSION ESPECIFICA	VI	10	100	66	14,6					
2,09	VII	5	100	66	8,9					
	VII	5	50	154	9,1					
	VII	10	100	154	17,8	78,0	- 1,3	9,4%	12	15,3%
	VIII	5	100	66	8,9					
	VIII	10	50	154	14,8					
	IX	5	30	66	6,8					
	IX	5	50	154	9,1					
	IX	5	100	154	12,1	89,5	- 3,6	7,1%		

Los proyectos de gasificación de desechos forestales con ciclo combinado presentan un COE entre 7 a 9 cUS\$/kWh, con una variación del +50% precio insumo, el COE pasa de 8,9 a 11,1 cUS\$/kWh (+25%) en la planta de 5 MW con 100 km de línea AT en 154 kV, costo de generación muy a la variación de precios de la biomasa



7.3 Potencial Factible Técnica-Económico al Año 2025

CAPACIDAD INSTALADA PROYECTADA POTENCIALMENTE FACTIBLE TECNICA-ECONOMICAMENTE REALIZABLE Y CAPACIDAD DE GENERACION POTENCIALMENTE FACTIBLE EN LOS DIFERENTES ESCENARIOS AL 2025, A PARTIR DE DIFERENTES FUENTES DE BIOMASA PRESENTES EN CHILE						
RESUMEN POT.	POTENCIAL BRUTO 13,675 MW		POT. BRUTO FACTIBLE, 3.244 MW			
Unidades	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
ESCENARIO	ESCENARIO 1		ESCENARIO 2		ESCENARIO 3	
PRECIOS	US\$ 75/MWh + 1% anual		US\$ 102/MWh + 1% anual		US\$ 102/MWh+3,5% anual	
ENTORNO	CONSERVADOR		INNOVADOR		OPTIMISTA	
Año	Capacidad	Generación	Capacidad	Generación	Capacidad	Generación
2007	191	1.339	191	1.339	191	1.339
2008	191	1.339	200	1.402	210	1.472
2009	200	1.402	210	1.472	220	1.542
2010	200	1.402	220	1.542	235	1.647
2011	220	1.542	235	1.647	265	1.857
2012	240	1.682	265	1.857	310	2.172
2013	260	1.822	290	2.032	345	2.418
2014	280	1.962	295	2.172	370	2.593
2015	300	2.102	300	2.102	400	2.803
2016	315	2.208	315	2.208	440	3.084
2017	335	2.348	340	2.383	480	3.364
2018	350	2.453	380	2.663	550	3.854
2019	385	2.698	425	2.978	610	4.275
2020	410	2.873	450	3.154	645	4.520
2021	425	2.978	460	3.224	690	4.836
2022	440	3.084	475	3.329	750	5.256
2023	450	3.154	485	3.399	810	5.676
2024	455	3.189	495	3.469	865	6.062
2025	461	3.231	501	3.511	903	6.328

Tabla 7.15. Resumen del Potencial Factible Económico de Biomasa



Universidad Técnica Federico Santa María

7.3.1 Potencial Escenario 1. US\$ 75 /MWh + 1% aumento anual

Tabla 7.16. Plan de Obras Indicativo Escenario 1 de Precios

PLAN DE OBRAS BIOMASA AL 2025 INDICATIVO, ESCENARIO N°1													
	AI 2007	2008-2015	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
IV		3											
V		20	3		3		3		3		3		
VI		24	5	10		5	10		5	10		5	
VII	60	10		5	10		10		5	10		10	
VIII	90	43						10		10		10	
IX	41	5							5		5		
RM		6		2		3							
	191	110											
		Total/año	8	17	13	8	23	10	18	30	8	25	0
		Acumulado	309	326	339	347	370	380	398	428	436	461	461



Universidad Técnica Federico Santa María

7.3.2 Potencial Escenario 2. US\$ 102 /MWh + 1% aumento anual

Tabla 7.17. Plan de Obras Indicativo Escenario 2 de Precios

PLAN DE OBRAS BIOMASA AL 2025 INDICATIVO, ESCENARIO N°2													
	AI 2007	2008-2015	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
IV		3											
V		20	3		3		3		3		3		
VI		24	5	10		5	10		5	10		5	
VII	60	10		5	10		10		5	10		10	
VIII	90	43	5	10	5	10		10		10		10	
IX	41	5			5		5		5		5		
RM		6		2		3							
	191	110											
		Total/año	13	27	23	18	28	10	18	30	8	25	0
		Acumulado	314	341	364	382	410	420	438	468	476	501	501



Universidad Técnica Federico Santa María

8 CONCLUSIONES

- a) Existe un gran potencial de generación de energía en Chile a partir de la Biomasa presente, en sus diferentes manifestaciones.
- b) El potencial asociado a la producción de biogás es enorme, pero es de escala reducida, y permite generar energía para autoabastecerse y generación de calor. El costo de la tecnología de bio digestores no permite tamaño de plantas que permita suministrar energía al SIC. No obstante, permite una gran fuente de ahorro energético en pequeña escala (plantas de 0,1 a 3 MW).
- c) La generación de biogás a partir de cultivos energéticos compite con la disponibilidad de tierras para cultivos alimenticios.
- d) El escenario 2 y 3 permite que la mayoría de los proyectos de biomasa sean rentables, pero el costo de la biomasa y la dispersión del recurso atenta con el aporte de esta fuente de suministro.
- e) La evaluación del potencial energético de las diferentes biomasa abordadas, excepto las forestales, se tuvo que recurrir a datos de referencias de estudios de proyectos de otros países, debido a una ausencia en la evaluación de la biomasa y su potencial energético en Chile. En el caso contrario, el apoyo constante de la GTZ ha contribuido a generar documentación de evaluación del recurso en Chile.
- f) Se ha estimado el potencial factible económico de la biomasa en 500 MW al 2025. No obstante, si el costo de las tecnologías de conversión y la experiencia y conocimiento tecnológico fueran diferentes a las actuales, sin lugar a dudas, el potencial sería mayor, por ejemplo, se estimó 541 MW factibles técnicamente, lo que podría aumentar el potencial estimado al 2025 de 500 MW a 841 MW.



9 BARRERAS

Respecto a las dificultades y barreras generales relacionadas con la Biomasa, indicadas en los alcances y limitaciones del estudio

GEOGRAFICAS

Gran dispersión de las fuentes. La geografía longitudinal del país y la estructura del SIC no favorece la incorporación de mini/micro-centrales al SIC ya que en general, los recursos energéticos están ubicados lejos de los centros de consumo y la infraestructura del sistema troncal de transmisión del SIC tiene limitaciones.

FINANCIERAS Y FISCALES

Ausencia de incentivos. El sistema regulatorio actual es imperfecto porque no tiene los incentivos adecuados para estimular la inversión en ERNC's que al ser energías innovativas tienen un costo de inversión mayor, sobretodo al comienzo de su aplicación. Cabe destacar que en los países avanzados, el programa de incentivos ha sido vital para la incorporación de ERNC's, el desarrollo de tecnologías y externalidades positivas.

CULTURALES

Poca cultura, experiencia e inmadurez de ERNC's en mercado chileno. La madurez de la tecnología externa permite que el desarrollo de proyectos de este tipo cuenten con bajo riesgo tecnológico. Sin embargo, en la adaptación, aplicación y soporte de la tecnología, emergen las debilidades de escasez de recursos humanos especializados, infraestructura tecnológica, capacidad de manufactura y servicios, falta de capacidad industrial local (cluster de Energía) lo que frena y encarece el desarrollo de proyectos ERNC.

ESCASA EVALUACION DE RECURSOS

Identificación y Catastro de recursos. Como ya se ha planteado, Chile cuenta con un gran potencial de energías biomasa no explotadas, y sobretodo mal identificadas y evaluadas incluso no teniendo estudios que cuantifiquen completamente el recurso, lo que significa que cualquier estrategia de desarrollo de estos proyectos debe acompañarse de estudios exhaustivos del potencial disponible.

POCA CAPACIDAD DE GESTION TECNOLOGICA Y NEGOCIACION

Capacidad de negociación con proveedores y tiempos de espera. La provisión de equipos y sistemas compite con la alta demanda de otros países y usuarios, lo que plantea tiempos largos de espera y costos mayores.

EN RESUMEN

Su principal dificultad es la ubicación distribuida y transporte del recurso. Las plantas de biomasa tienen ventajas de aplicación como cogeneración en que se empleen residuos o desechos. En la medida de que hay que recolectar la biomasa, el costo de la logística de adquisición del recurso y de su transporte limita el tamaño y rentabilidad de la planta. Respecto de la generación eléctrica, la biomasa compite con otros usos como es la generación de bio-combustibles.



Universidad Técnica Federico Santa María

10 REFERENCIAS GENERALES CAPITULOS 2, 3, 4, 5

[1] IEA Bioenergy, **Biogas Upgrading to Vehicle Fuel Standards and Grid Injection**, Margareta PERSSON, Owe JÖNSSON, Arthur WELLINGER

[2] IEA Bioenergy, **Biogas Production and Utilisation**

[3] **Agriculture and Waste – policies and policy options for reducing GHG Emissions in WALES**

[4] **Baseline projections for agriculture and implications for emissions to air and water.**

[5] **Rural Development Plan 2007 -2013: Wales Strategic Approach** (2006)

[6] **Assessment of Methane Management and Recovery Options for Livestock Manures and Slurries.** (AEA, 2005)

[7] **Cost curve assessment of mitigation options in greenhouse gas emissions from agriculture** (IGER, 2001)

[8] **Wise about Waste:** The National Waste Strategy for Wales (2002)

[9] UK landfill methane emissions: **Evaluation and appraisal of waste policies and projections to 2050.** Golder Associates (2005).

[10] Local Authority Waste Recycling, **Recovery and Disposal (LAWRRD) model** (developed by AEA for Defra).

[11] **Impact of Energy from Waste and Recycling Policy on UK Greenhouse gas Emissions** (ERM 2006).

[12] **Assessment of Methane Management and Recovery Options for Livestock Manures and Slurries**, Report for: Sustainable Agriculture Strategy Division, Department for Environment Food and Rural Affairs, London SW1P 3JR

[13] IEA Bioenergy, **Biogas upgrading to Vehicle Fuel Standards and Grid, 2005**

[14] Remade Scotland, **An introduction to Anaerobic Digestion of Organic Wastes**, Final Report, November 2003, Fabien Monnet,

[15] CHALMERS in association with Volvo Technology Transfer AB, **The Potential of Biogas as Vehicle Fuel in Europe– A Technological Innovation Systems Analysis of the Emerging Bio-Methane Technology**, PHILIP ERIKSSON, MARTIN OLSSON, Department of Energy and Environment, Division of Environmental System Analysis CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Göteborg, Sweden, 2007, Report No. 2007:6, ISSN: 1404-8167

[16] ADEME et GAZ de FRANCE (GdF), sandrine.wenisch@ademe.fr, Gaz de France Direction de la Recherche elodie.minodier@gazdefrance.com, **Analyse du Cycle de Vie des modes de valorisation énergétique du biogaz issu de méthanisation de la Fraction Fermentescible des ordures ménagères collectées sélectivement en France- Synthèse - Septembre 2007** Analyse du Cycle de Vie réalisée par : RDC-Environnement ;



Universidad Técnica Federico Santa María

michael.ooms@rdcenvironment.be, bernard.decaevel@rdcenvironment.be,
www.rdcenvironment.be, Revue critique et co-rédaction de la synthèse réalisées par :
Bio Intelligence Service : yannick.leguern@biois.com, eric.labouze@biois.com,
www.biois.com.

[17] Energy Policy, Cost development of future technologies for power generation—A study based on experience curves and complementary bottom-up assessments, Lena Neij _ The International Institute for Industrial Environmental Economics, Lund University, Box 196, 221 00 Lund, Sweden

[18] Cogeneration Technologies™ An EcoGeneration Solutions™LLC. Company, Considering a Cogeneration or Trigeneration (District Energy) Power Plant?

[19] Summary and analysis of the potential for production of renewable methane (biogas and SNG) in Sweden. Malmö, May 2004 Authors: Marita Linné, BioMil and Owe Jönsson, SGC, Revised March, 2005: Johan Rietz, SGC BioMil AB biogas, miljö och kretslopp

[20] The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany, Frank Sensfuß a, , Mario Ragwitz a, Massimo Genoese b,1, a Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research, Breslauer Str. 48, 76139 Karlsruhe, Germany, b Institute for Industrial Production, Universität Karlsruhe (TH), Hertzstr. 16, 76187 Karlsruhe, Germany

[21] A techno-economic comparison of power production by biomass fast pyrolysis with gasification and combustion, A.V. Bridgwater*, A.J. Toft, J.G. Brammer, Bio-Energy Research Group, Aston University, Birmingham B4 7ET, UK

[22] Amount, availability, and potential use of rice straw (agricultural residue) biomass as an energy resource in Japan, Yukihiko Matsumuraa, , Tomoaki Minowab, Hiromi Yamamoto, aDepartment of Mechanical System Engineering, Hiroshima University, 1-4-1 Kagamiyama, Higashihiroshima-shi., Hiroshima 739-8527, Japan, bBiomass Recycle Research Laboratory, National Institute of Advanced and Industrial Science and Technology, 2-2-2 Hiro., Suehiro, Kure-shi, Hiroshima 737-0197, Japan, cSocioeconomic Research Center, Central Research Institute of Electric Power Industry, 1-6-1 Ohtemachi, Chiyoda-ku., Tokyo 100-8126, Japan

[23] An economic analysis of bio-energy options using thinnings from overstocked forests, Brian L. Polagyea, , Kevin T. Hodgsonb, Philip C. Maltea, aDepartment of Mechanical Engineering, University of Washington, Box 352600, Seattle, WA, USA, bCollege of Forest, Resources, University of Washington, Box 352100, Seattle, WA, USA

[24] Assessing the long-term system value of intermittent electric generation technologies, Alan D. Lamont , Lawrence Livermore National Laboratory, PO Box 550, L-644, Livermore, California 94550, USA

[25] Assessment of straw biomass feedstock resources in the Pacific Northwest, Gary M. Banowetza, , Akwasi Boatengb, Jeffrey J. Steiner, Stephen M. Griffitha, Vijay Sethid, Hossien El-Nashaara, aUS Department of Agriculture, Agricultural Research Service, National Forage Seed, Production Research Center, 3450 S.W. Campus Way., Corvallis, OR 97331, USA, bUS Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Eastern Regional Research Center, 600 E. Mermaid Lane, Wyndmoor., PA 19038, USA, cUS Department of Agriculture, Agricultural Research Service, National Program Staff, GWCC, 5601 Sunnyside



Universidad Técnica Federico Santa María

Avenue, Beltsville, MD 20705-5140, USA, dWestern Regional Research Institute, Laramie, 365 North 9th Street, Laramie, WY 82072, USA

[26] Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies, Annette Evans, Vladimir Strezov *, Tim J. Evans, Graduate School of the Environment, Macquarie University, Sydney, NSW 2109, Australia

[27] Biomass co-firing potentials for electricity generation in, Poland—Matching supply and co-firing opportunities, Ma° rten Berggren, Emil Ljunggren, Filip Johnsson , Department of Energy Conversion, Chalmers University of Technology, SE 412 96 Go¨teborg, Sweden

[28] Biomass-fired cogeneration systems with CO2 capture and storage, Sk Noim Uddin¹, Leonardo Barreto², ¹Center for Energy Environment Resources Development (CEERD), Foundation for International Human Resource, Development (FIHRD), P.O. Box 23, Radjadamnern Post Office, Bangkok 10200, Thailand, ²Energy Economics Group, Paul Scherrer Institute (PSI), CH-5232, Villigen PSI, Switzerland

[29] Conditions and costs for renewables electricity grid connection: Examples in Europe, Derk J. Swidera, , Luuk Beurskens^b, Sarah Davidson^c, John Twidell^{c,d}, Jurek Pyrkoe^e, Wolfgang Pru¨ ggler^f, Hans Auerf, Katarina Verting, Romualdas Skemah, ^aUniversity of Stuttgart, Germany
^bEnergy Research Centre of the Netherlands, The Netherlands, ^cIT Power, UK, ^dAMSET Centre, UK, ^eLund University, Sweden, ^fVienna University of Technology, Austria, ^gEnergy Restructuring Agency, Slovenia, ^hLithuanian Energy Institute, Lithuania

[30] Cost development of future technologies for power generation—A study based on experience curves and complementary bottom-up assessments, Lena Neij , The International Institute for Industrial Environmental Economics, Lund University, Box 196, 221 00 Lund, Sweden

[31] Economic viability of utilizing biomass energy from young stands—The case of Finland, Anssi Ahtikoskia, , Jani Heikkila¨ ^b, Virpi Alenius^a, Matti Sirenc, ^aRovaniemi Research Unit, Finnish Forest Research Institute, Etela¨ ranta 55, PB 16, FI-96301 Rovaniemi, Finland, ^bBiowatti Ltd., Western Finland, Hevosaankatu 3, FI-28 600 Pori, Finland
^cVantaa Research Unit, Finnish Forest Research Institute, Jokiniemenkuja 1, PB 18, FI-01301 Vantaa, Finland

[32] Economics of trigeneration in a kraft pulp mill for enhanced energyn efficiency and reduced GHG emissions, Andrea Costaa, , Jean Parisa, , Michael Towers^b, Thomas Brownec, ^aE´cole Polytechnique Montre´al, Chemical Department, P.O. Box 6079, succ. Centre villeMontre´al, Que´bec, Canada H3C 3A7, ^bPulp and Paper Research Institute of Canada, c/o BC Chemicals, P.O. Box 6000, Prince George, B.C., Canada V2N 2K3, ^cPulp and Paper Research Institute of Canada, 570 boul. St-Jean, Pointe-Claire, Que´bec, Canada H9R 3J9

[33] Energy potential of waste from 10 forest species, in the North of Spain (Cantabria), S. Pe´rez *, C.J. Renedo, A. Ortiz, M. Mañana, Department of Electrical and Energy Engineering, University of Cantabria, 39005, Santander, Spain

[34] Engineering economic analysis of biomass IGCC with, carbon capture and storage, James S. Rhodes^a, , David W. Keith^b, ^aDepartment of Engineering and Public Policy, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA 15213, USA, ^bDepartment of Chemical and Petroleum Engineering and Department of Economics, University of Calgary, Calgary, Alberta,



Universidad Técnica Federico Santa María

Canada T2N 1N4

[35] Experimental studies on cofiring of coal and biomass blends in India, K.V. Narayanan, , E. Natarajanb, aMechanical Engineering Department, Sathyabama University, Chennai 600 119, India, bInstitute for Energy Studies, Anna University, Chennai 600 025, India

[36] Food and processing residues in California: Resource assessment and potential for power generation, Gary C. Matteson *, B.M. Jenkins, Department of Biological and Agricultural Engineering, One Shields Avenue, University of California, Davis, CA 95616, United States

[37] HTHP syngas cleaning concept of two stage biomass gasification for FT synthesis, Hans Leibold , Andreas Hornung, Helmut Seifert, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Institute for Technical Chemistry, Thermal Waste Treatment Division, D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen,, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, Germany

[38] Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review q, Ye Sun, Jiayang Cheng *, Department of Biological and Agricultural Engineering, North Carolina State University, Raleigh, NC 27695-7625, USA

[39] Impacts of a renewable portfolio generation standard on US energy markets, Andy S. Kydes ,1 Energy Information Administration, United States Department of Energy, USA

[40] Innovative energy technologies and climate policy in Germany, Katja Schumachera, , Ronald D. Sandsb, aGerman Institute for Economic Research (DIW Berlin), Ko'nigi'n-Luise-Strasse 5, 14195 Berlin, Germany, bJoint Global Change Research Institute, 8400 Baltimore Avenue, Suite 201, College Park, MD 20740, USA

[41] Key barriers for bioenergy in Europe: Economic conditions, know-how and institutional capacity, and supply chain co-ordination, s McCormick , Tomas Ka° berger, ternational Institute for Industrial Environmental Economics (IIIEE), Lund University, P.O. Box 196, 221 00 Lund, Sweden

[42] Logistics issues of biomass: The storage problem and the multi-biomass supply chain, Athanasios A. Rentizelas *, Athanasios J. Tolis, Ilias P. Tatsiopoulos, Department of Mechanical Engineering, Sector of Industrial Management and Operational Research,, National Technical University of Athens, 9 Iroon Polytechniou Street, Zografou 15780, Athens, Greece

[43] Mathematical modelling and simulation approaches of agricultural residues air gasification in a bubbling fluidized bed reactor. D.A. Nemtsov, A. Zabaniotou , Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Aristotle University of Thessaloniki,, Thessaloniki, Greece

[44] On the use of electrolytic hydrogen from variable renewable energies for the enhanced conversion of biomass to fuels, Dimitri Mignard , Colin Pritchard, School of Engineering and Electronics, University of Edinburgh, Edinburgh EH9 3JK, Scotland, UK

[45] Opportunities and impediments to the expansion of forest bioenergy in Australia, R.J. Raison, CSIRO Forestry & Forest Products, PO Box E4008, Kingston ACT 2604, Australia

[46] Optimal energy exchange of an industrial cogeneration in a day-ahead electricity market, J.M., Yustaa, , P.M. De Oliveira-De Jesusb, H.M. Khodrc, a Department of Electrical Engineering, University of Zaragoza, Spain, b Department of Electrical and Computer



Universidad Técnica Federico Santa María

Engineering of Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, c Knowledge Engineering and Decision-Support Research Group of the Electrical Engineering Institute of Porto, Portugal

[47] Optimization of biomass fuelled systems for distributed power generation using Particle Swarm Optimization, P. Reche L´opez a, M. G´omez Gonz´alez b, N. Ruiz Reyes a, F. Jurado c, , a Department of Telecommunication Engineering, University of Ja´en, 23700 EPS Linares, Ja´en, Spain, b Junta of Andalusia, 23470 Maestro Francisco Yuste 2, Cazorla, Ja´en, Spain, c Department of Electrical Engineering, University of Ja´en, 23700 EPS Linares, Ja´en, Spain

[48] Perspectives for the use of biomass as fuel in combined cycle power plants, A. Franco , N. Giannini, Dipartimento di Energetica “L. Poggi”, Universit`a di Pisa, Via Diotisalvi, 2-56126 Pisa, Italy

[49] Potential for rural electrification based on biomass gasification in Cambodia, Hitofumi Abea,b, , Akio Katayamab,c, Bhuvneshwar P. Sahb,d, Tsuyoshi Toriub,e, Sat Samyf,, Phon Pheachf, Mark A. Adamsf, Pauline F. Griersona, aEcosystems Research Group, School of Plant Biology, The University of Western Australia, Crawley, WA 6009, Australia, bJICA study team for ‘The Master Plan Study on Rural Electrification by Renewable Energy in The Kingdom of Cambodia’, Phnom Penh, Cambodia, cNippon Koei Co. Ltd., Tokyo 102-0083, Japan, dPasco Corporation, Tokyo 153-0043, Japan, eSojitz Research Institute, Ltd., Tokyo 107-0052, Japan, fMinistry of Industry, Mines and Energy, Phnom Penh, Cambodia, gSchool of Biological Earth and Environmental Science, University of New South Wales, Sydney, NSW 2052, Australia

[50] Quantification of employment from biomass power plants, Patricia Thornleya, , John Rogersb, Ye Huangc, aTyndall Centre for Climate Change Research, University of Manchester, Room H4, Pariser Building, P.O. Box 88, M60 1QD, UK, bAston University, UK, cUniversity of Ulster, Northern Ireland

[51] Simulation of micro-CHP diffusion by means of System Dynamics, El Mehdi Ben Maallaa, Pierre L. Kunschb, , aSMG Department, Universit´e Libre de Bruxelles, Campus de la Plaine CP 210/01, Boulevard du Triomphe, BE-1050 Brussels, Belgium, bMOSI Department, Vrije Universiteit Brussel, Pleinlaan 2, BE-1050 Brussels, Belgium

[52] The development of a computer model for a fixed bed gasifier and its use for optimization and control, Benny Gøbel, Ulrik Henriksen *, Torben Kvist Jensen, Bjørn Qvale, Niels Houbak, Biomass Gasification Group, Department of Mechanical Engineering, Technical University of Denmark, Nils Koppels Alle´ , DTU – Building 403, DK – 2800 Kongens Lyngby, Denmark

[53] The potential for bioenergy production from Australian forests, its contribution to national greenhouse targets and recent developments in conversion processes, P.Y.H. Funga; , M.U.F. Kirschbaumb, R.J. Raisonb, C. Stucleyc
aCSIRO Forestry and Forest Products, Private Bag 10, Clayton South, Vic. 3169, Australia
bCSIRO Forestry and Forest Products, PO Box E4008, Kingston, ACT 2604, Australia
cEnecon Pty Ltd, P.O. Box 417, Canterbury, Vic. 3126, Australia

[54] The potential for energy production from crop residues in Zimbabwe
R.M. Jingura , R. Matengaifa, School of Engineering Sciences and Technology, Chinhoyi University of Technology, P. Bag 7724, Chinhoyi, Zimbabwe



Universidad Técnica Federico Santa María

[55] Thermo-economic analysis for the optimal conceptual design of biomass gasification energy conversion systems, David Brown a,* , Martin Gassner b, Tetsuo Fuchino a, François Marechal b,1, a Tokyo Institute of Technology, S1-18, 2-12-1 Ookayama, Meguro Ward, Tokyo 152-8550, Japan, b Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, LENISE-STI-EPFL, Station 9, CH-1015 Lausanne, Switzerland

NOTAS

NOTA 1.

Agrícola Tarapacá Producirá Biogás y Compós, Innovador sistema permitirá aprovechar excretas de aves. Con la presencia del Director Regional de CORFO, Claudio Ibáñez, y el Jefe del Área Comercial de Agrícola Tarapacá, Rodolfo Barbosa, fue presentado el proyecto que permitirá a dicha empresa, perteneciente a Empresas Ariztía, incorporar tecnologías de producción limpia para aprovechar las excretas generadas por la crianza de aves, de modo de obtener guano estabilizado y biogás. La iniciativa permitirá la venta de un guano libre de patógenos y de larvas de insectos a los agricultores de Arica, quienes podrán elaborar compós para aportar nutrientes a sus tierras, sin por eso gatillar la proliferación de moscas. Asimismo, la agrícola usará el guano para generar biogás y de ese modo suplir, en parte, la compra de gas natural que utiliza para calefaccionar sus incubadoras y criaderos de pollos. La iniciativa tiene un costo total de 65,8 millones de pesos, de los cuales INNOVA Chile de CORFO aportó \$ 22 millones, para apoyar una investigación tecnológica de 12 meses. Claudia Monsalve, ingeniero químico del proyecto, explicó que “la innovación en estos procesos limpios, ampliamente conocidos y usados, fue la adaptación de las tecnologías al insumo que constituye las excretas de aves y a las variables ambientales, de suelo y agua, propias del desierto nortino”. Respecto a la producción de guano estabilizado, dijo que “el estudio dio con los parámetros adecuados para garantizar la biodegradación del material, a través de la inyección de aire, la introducción de enzimas para acelerar el trabajo de los microorganismos y la mantención de una temperatura óptima”. Agregó que estudios de laboratorio confirmaron que este guano está libre de patógenos y larvas, por lo que es completamente inocuo, al término de 12 días. En cuanto al biogás, el proyecto piloto incluyó la compra de un biodigestor. Esta máquina, mediante la ausencia de oxígeno, permite la descomposición de las excretas y otros residuos del faenamiento de aves, con el fin de obtener una mezcla de dióxido de carbono y metano. Las pruebas hechas han demostrado que el biogás de guano tiene un poder calorífico entre 9 mil y 12 mil kilocalorías por metro cúbico. Asimismo, el residuo del biodigestor puede ser usado para compós. En estos momentos, la empresa utiliza una mezcla de propano y butano con un poder calorífico entre 18 mil y 20 mil kilocalorías. Si bien el biogás tiene la mitad de esa capacidad, la empresa estima que podría suplir hasta el 50 por ciento del actual consumo de gas natural de las incubadoras.

NOTA 2.

Revista Electricidad Interamericana, http://www.revistaei.cl/noticias/index_neo.php?id=11439
Fecha: 09-07-2008

“Biocombustibles podrían cubrir 16% de gasto energético de Chile en un año”. Los residuos de la industria forestal y la silvicultura, estimados en más de 17 millones de toneladas al año, son el principal potencial aprovechable en el país. Se trata de biocombustibles de segunda generación que, a diferencia de los obtenidos del trigo o el arroz, no tienen un alto impacto en la agricultura.



Universidad Técnica Federico Santa María

Un informe confidencial del Banco Mundial filtrado al diario The Guardian la semana pasada fue lapidario: los biocombustibles han sido esponsables del alza del 75% del precio de los alimentos en el planeta. Esta es la razón por la cual Europa y otros países como Chile apuesten a producir biodiésel o bioetanol a partir de los residuos forestales o agrícolas y no de raps o maíz, como tradicionalmente se obtienen los biocombustibles. Y esa es la apuesta país anunciada por Michelle Bachellet el 21 mayo. De hecho, se invertirán más de 6 millones de dólares -a través de un fondo concursable de InnovaChile- en el consorcio público-privado que investigue, desarrolle y comercialice biocombustibles de segunda generación. Las propuestas evaluadas que esperan respuesta en septiembre son dos: Bioenercel (Forestal Arauco, U. Concepción y Masisa, entre otros) y ForEnergy (Enap, U. de Chile y Consorcio Maderero, entre otros).

Residuos forestales Los biocombustibles de segunda generación se obtienen de materias lignocelulósicas, es decir, residuos agrícolas del maíz, trigo y otros, pastos, hierbas y madera. Y es en esta última donde los expertos ven el potencial en Chile. “Somos un país forestal y por lo tanto los residuos de la industria forestal y de la silvicultura (podas, raleos) pueden ser utilizados para la generación de biocombustibles”, asegura Horacio Bown, académico de la U. de Chile y miembro del proyecto de ForEnergy. El consorcio tiene proyectado producir un millón de toneladas de biomasa anual obtenidos de desechos forestales. Es decir, alrededor de 200 toneladas de biodiésel al año. Charles Kimber, gerente de asuntos corporativos de Arauco, señala que se pueden obtener 400 litros de bioetanol a partir de una tonelada de pino radiata o eucaliptos. Especies de rápido crecimiento en Chile. Se estima que el potencial de biomasa de las plantaciones forestales (pino y eucaliptos) es de más de 2 millones de toneladas anuales, dice José Rafael Campino, vicepresidente de Corma y Forestal Sur. Esto equivale a generar 1,8 millones de MWh de electricidad al año. Si suma el bosque nativo no protegido y disponible para manejo, dice el experto, se agregan 15 millones de m³ al año y generar cinco millones de MWh de electricidad anual.

Energía y biomasa. El año pasado Chile consumió alrededor de 42 millones de MWh de electricidad al año, en el Sistema Interconectado Central (que cubre de Taltal a Chiloé y que abastece al 93% de la población del país). Si se utilizara todo el potencial actualmente disponible para producir biocombustibles de segunda generación se podría cubrir hasta el 16% del gasto energético en un año. Otro estudio de la Fundación de Innovación Agraria, que analizó el potencial del bosque nativo manejado de acuerdo con los planes de la ley, se sumarían 134 mil hectáreas anuales y producir un millón de metros cúbicos de biodiésel por año, dice Rodrigo Vega, director ejecutivo de FIA: “Calculamos que eso podría cubrir el 20% de la demanda estimada de biocombustibles para el 2014”.

Fuente: La Tercera



Universidad Técnica Federico Santa María

11 REFERENCIAS ESPECIFICAS

¹ Carlos Modesto Martínez Hernández, Stefan Böttinger, Hans Oechsner; Norbert Kanswohl, Mathias Schlegel. Instalaciones de biogas a mediana y gran escala en Alemania, <http://www.engormix.com>. Fecha de Publicación: 08/01/2008

2 OLIVIA PALACIOS, Evaluación de un Sistema Discontinuo de Biodigestión Anaerobia para el tratamiento de desechos avícolas Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora, Rev. Fac. Ing UCV v.20 n.4 Caracas oct. 2005

³ J Köttner M; Kaiser A; Viviana A. M. 2003. Tecnología de fermentación en seco para la producción de biogas- un mecanismo práctico para el saneamiento de ciclo cerrado, estabilización de residuos y recuperación de nutrientes. 2do simposio internacional sobre saneamiento ecológico, Abril del 2003. ECOSAN. Symposium. Luebeck. Alemania, 2004. **423-430 p.**

⁴ Svensson L M; Christensson K; Björnsson L. 2005. Biogas production from crop residues on a farm-scale level: is it economically feasible under conditions in Sweden Bioprocess Biosyst Eng (2005) 28: 139-148.

⁵ Weiland P. 2000. Anaerobic waste digestion in Germany-Status and recent developments. Biodegradation 11: 415-421, 2000.

⁶ Svensson L M; Christensson K; Björnsson L. 2005. Biogas production from crop residues on a farm-scale level: is it economically feasible under conditions in Sweden Bioprocess Biosyst Eng (2005) 28: 139-148.

⁷ Weiland P. 2003. Production and Energetic Use of Biogas from Energy Crops and Wastes in Germany. Applied Biochemistry and Biotechnology, vol.109, 2003.