



Bioenergía en Chile



Bioenergía en Chile

Autores

Manuel Paneque
Celián Román-Figueroa
Rodrigo Vázquez-Panizza
José Miguel Arriaza
Darío Morales
Marcela Zulantay



Editado por
Manuel Paneque

Santiago de Chile, 2011

Las opiniones contenidas en este documento son de exclusiva responsabilidad de sus autores. Las denominaciones y la forma en que aparecen presentados los datos en esta publicación no implican, de parte de la FAO ni de la Universidad de Chile juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites. Las opiniones expresadas en esta publicación son las de sus autores, y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la FAO.

BIOENERGIA EN CHILE

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile
124 páginas

Autores

Manuel Paneque; Celián Román-Figueroa; Rodrigo Vásquez-Panizza;
José Miguel Arriaza; Darío Morales; Marcela Zulantay

Inscripción N°: 211.265
del Registro de Propiedad Intelectual
ISBN: 978-92-5-307085-5

Grupo de Bioenergía

Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe
Av. Dag Hammarskjöld 3241, Vitacura
Casilla 10095, Santiago de Chile
e-mail: fao-rlc@fao.org

Laboratorio de Bioenergía y Biotecnología Ambiental
Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables
Facultad de Ciencias Agronómicas
Universidad de Chile
Av. Santa Rosa 11315, La Pintana
Casilla 1004, Santiago de Chile
e-mail: mpaneque@uchile.cl

Edición 500 ejemplares

Diseño y Diagramación: Sebastián Alvear Chahuán
Impreso por Alfabetas Artes gráficas.

Todos los derechos reservados. La FAO fomenta la reproducción y difusión del material contenido en este producto informativo. Su uso para fines no comerciales se autorizará de forma gratuita previa solicitud. La reproducción para la reventa u otros fines comerciales, incluidos fines educativos, podría estar sujeta a pago de tarifas. Las solicitudes de autorización para reproducir o difundir material de cuyos derechos de autor sea titular la FAO y toda consulta relativa a derechos y licencias deberán dirigirse por correo electrónico a: copyright@fao.org, o por escrito al Jefe de la Subdivisión de Políticas y Apoyo en materia de Publicaciones, Oficina de Intercambio de Conocimientos, Investigación y Extensión, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00153 Roma (Italia).

© FAO 2011

Bioenergía en Chile

Presentación

En los últimos tres a cuatro años, el tema de la Bioenergía, y especialmente el de los biocombustibles, se ha transformado en uno prioritario para los países de la Región, producto de la alta volatilidad en los precios del petróleo, el problema del cambio climático en razón de la emisión de gases de efecto invernadero y la necesidad de los países en controlar la dependencia de su matriz energética.

Las tímidas políticas públicas de fomento a las energías limpias, la escasez de expertos y la falta de inversión en nuevas tecnologías son algunas de las principales barreras, identificadas en la Región.

En comparación con otras fuentes de energía, la bioenergía potencialmente ofrece muchas ventajas a los países en desarrollo si se maneja de manera adecuada. Sin embargo, el desarrollo de la bioenergía también ha provocado una gran preocupación acerca de su viabilidad económica, social y ambiental, debido a sus posibles impactos negativos en la seguridad alimentaria por el reemplazo a la producción de alimentos básicos y sus efectos en el medio ambiente. La producción de biocombustibles es compatible con la producción de alimentos siempre que se seleccionen productos que no compitan con las tierras de producción con fines alimentarios y sean de alto rendimiento energético. Si bien muchos gobiernos han impulsado iniciativas de bioenergía como una alternativa para reemplazar los combustibles fósiles, se ha hecho sin considerar cabalmente los costos y beneficios de la bioenergía.

En este contexto, el trabajo de la Oficina Regional para América Latina y el Caribe en esta área para el próximo bienio estará enfocado en dos objetivos principales:

Fortalecer las capacidades técnicas de los responsables de los programas de bioenergía a través del incentivo en la implementación de políticas que permitan reducir los riesgos en la seguridad alimentaria y del medio ambiente en el manejo de cultivos energéticos. El potencial del sector bioenergético para la reducción de la pobreza y el hambre en el mundo depende, en

gran medida, del diseño y la correcta aplicación de políticas en áreas tales como el manejo y desarrollo territorial, tecnologías de procesamiento de materias primas y rutas de conversión, marco regulatorio y relaciones contractuales a lo largo de la cadena de valor de la bioenergía.

Mejorar el diálogo y el intercambio de conocimientos en materias bioenergéticas de la Región, a través de la promoción de incentivos al diálogo interinstitucional con organismos regionales/ internacionales que tratan el tema de la bioenergía, para compartir conocimientos de una manera más efectiva y al mismo tiempo proveer/mantener un acercamiento multidisciplinario para coordinar los desafíos multisectoriales en diferentes dimensiones y alcances en materias relativas a la bioenergía y especialmente a los biocombustibles.

La estrategia para el logro de los objetivos mencionados es la promoción de espacios de discusión, formación y sensibilización que permitan desarrollar y/o mejorar el diseño de políticas en materias de bioenergía en América Latina y el Caribe.

La experiencia internacional dice que el desarrollo de una nueva actividad económica en torno a la bioenergía genera efectos positivos adicionales, como el desarrollo de las zonas agrícolas deprimidas, la optimización del uso de la tierra en la agricultura, el desarrollo de nuevos mercados y la creación de nuevos puestos de trabajo.

En este sentido, nos parece que este libro “Bioenergía en Chile” será un aporte para la promoción de un desarrollo inclusivo, contribuyendo a la ampliación y diversificación de la matriz energética, a la protección de la biodiversidad y la conservación y uso sustentable de los recursos naturales renovables de Chile.

Alan Bojanic

Representante de la FAO en Chile

Prólogo

El desarrollo de Chile plantea desafíos importantes a nuestro sector energético, los que se traducen en complejas metas de seguridad, eficiencia, equidad y sustentabilidad. Estos objetivos, muchas veces contrapuestos entre sí, obligan a nuestra sociedad a optar por soluciones que representen compromisos adecuados de acuerdo a nuestras visiones de desarrollo. Para ello es fundamental disponer de información objetiva, profunda y de calidad, que facilite un diálogo fructífero en la búsqueda de soluciones.

Las opciones de bioenergía son parte importante de la solución que estamos buscando como país, al corresponder a un recurso local, que puede ser explotado en forma racional y económica, promoviendo un desarrollo sustentable y entregando oportunidades de mejoramiento de la calidad de vida a las comunidades. En el libro “Bioenergía en Chile” presentado por la Universidad de Chile y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, los autores logran conjugar de manera excepcional los desafíos antes planteados.

Se presenta en forma sintética y didáctica, respaldado en cifras de interés en Chile, la cadena productiva y de suministros de los biocombustibles, permitiendo entender la diversidad de las alternativas para la bioenergía y las vías tecnológicas para su producción. Este capítulo sirve de base para comprender las temáticas tratadas en detalle referidas a la producción de desechos agrícolas/forestales y a los cultivos agrícolas/forestales con potencial energético. En cada uno de estos temas se presentan estadísticas e información agregada por regiones, de la realidad nacional y de sus proyecciones. Se fundamenta de manera clara cómo la utilización de los residuos o desechos agrícolas representan una oportunidad real para el desarrollo de biocombustibles. Asimismo, se describe en forma detallada la realidad de los cultivos agrícolas y forestales y su proyección como fuentes de energía utilizable.

A continuación, el libro realiza un análisis novedoso de los impactos producidos por los biocombustibles, abarcando sus dimensiones económicas, sociales y ambientales. Se valora el esfuerzo de síntesis realizado por los autores, donde a partir del conocimiento técnico presentado en las secciones anteriores, esta sección se convierte en una base de análisis de los temas de seguridad, eficiencia, equidad y sustentabilidad antes aludidos.

El libro dedica su última sección a las perspectivas de innovación, incentivos y barreras en la producción de biocombustibles. A esta sección se llega de manera natural al conocer, a través de las secciones anteriores, todos los antecedentes requeridos para una discusión profunda y visionaria de estos temas.

Finalmente quiero expresar que esta contribución llega en un momento muy oportuno, donde Chile debe realizar definiciones para el fomento de soluciones energéticas, impulsando por un lado la transferencia tecnológica de soluciones industriales competitivas y abriendo espacios a la innovación en áreas con proyecciones a nivel nacional y regional. Sin duda, el libro "Bioenergía en Chile" que tengo el honor de presentar, servirá tanto para formar a nuestras futuras generaciones en estas temáticas como para establecer una discusión de calidad y fructífera a nivel nacional.

Dr. Rodrigo Palma Behnke

Director Centro de Energía, FCFM-Universidad de Chile.

Índice

Presentación

Prólogo

Índice de figuras

Índice de cuadros

Introducción	12
Capítulo 1. Cadena productiva y de suministros de los biocombustibles.....	17
Biomasa (leña).....	19
Cadena de comercialización de la leña	22
Bioetanol.....	23
Proceso productivo para la obtención de etanol	25
Biodiésel.....	26
Proceso de obtención del biodiésel.....	29
Biogás.....	30
Proceso productivo del biogás.....	32
Capítulo 2. Producción de desechos agrícolas y forestales	35
Desechos agrícolas.....	36
Desechos forestales	38
Estimación de residuos forestales	42
Estimaciones de potencial generación de energía a partir de biomasa	44
Realidad Nacional	46
Capítulo 3. Cultivos agrícolas y forestales con potencial energético	49
Cultivos agrícolas con potencial energético	50
Producción de etanol.....	50
Producción de biodiésel.....	53
Cultivos forestales con potencial energético.....	56

Capítulo 4.	Impactos producidos por los biocombustibles.....	65
	Impactos económicos de los biocombustibles	66
	Biomasa (leña).....	66
	Bioetanol.....	67
	Biodiésel.....	72
	Biogás.....	76
	Impactos sociales de los biocombustibles	79
	Caracterización de la agricultura familiar campesina (AFC)	79
	Potenciales impactos sociales de los cultivos bioenergéticos.....	86
	Factores clave para lograr un impacto social positivo de la integración de los biocombustibles a la AFC.....	91
	Impactos ambientales de los biocombustibles.....	94
	Ventajas y desventajas de la utilización de los biocombustibles.....	94
	Desventajas	96
Capítulo 5.	Innovación, incentivos y barreras en la producción de biocombustibles.....	97
	¿Por qué deberíamos interesarnos en el desarrollo de la bioenergía en Chile?.....	98
	Barreras y oportunidades para el desarrollo de bioenergía en Chile	98
	El rol del fomento de la Innovación como eje del desarrollo tecnológico y económico.....	101
	Políticas de incentivo a los biocombustibles	102
	Barreras para el desarrollo de los biocombustibles en Chile	107
	Barreras Técnicas	107
	Barreras Legales.....	110
	Barreras Económicas.....	110
	Bibliografía	111
	Anexo	118
Anexo 1.	Superficie sembrada con las principales especies con potencial energético en Chile (ha).	118
Anexo 2.	Entorno legal para la producción de bioenergía.....	119

Índice de figuras

- Figura 1.** Vías tecnológicas para la producción de bioenergía.
- Figura 2.** Porcentaje de participación de los combustibles en la matriz energética primaria de Chile en el año 2010.
- Figura 3.** Participación de la leña en la matriz energética de a) Sector Comercial, Público y Residencial, y b) Sector Industrial y Minero, durante el año 2010.
- Figura 4.** Cadena de comercialización de la leña.
- Figura 5.** Principales países productores de etanol en el año 2009.
- Figura 6.** Rutas tecnológicas para la producción de bioetanol.
- Figura 7.** Principales países productores de biodiésel en el año 2009.
- Figura 8.** Transesterificación de triglicéridos.
- Figura 9.** Porcentaje de participación de las diferentes oleaginosas en la producción mundial de aceite en la temporada agrícola 2009-2010.
- Figura 10.** Esquema general para la obtención de biodiésel.
- Figura 11.** Potencial productivo de biogás en Chile, empleando biomasas residuales como materia prima.
- Figura 12.** Proceso de conversión anaeróbica de la materia orgánica.
- Figura 13.** Principales reacciones del proceso de acetogénesis.
- Figura 14.** Principales reacciones del proceso de metanogénesis.
- Figura 15.** Producción de biodiésel (miles de litros) entre las regiones de Atacama y Los Lagos empleando los residuos agrícolas de trigo, avena, cebada, maíz y arroz.
- Figura 16.** Potencia Bruta y Neta (MW) de Unidades generadoras Sistema Interconectado Central de Chile, en base a biomasa o biomasa-petróleo acumulada años 2003 a 2011.
- Figura 17.** Evolución de la superficie sembrada (miles ha) desde la temporada agrícola 1979/1980 hasta temporada agrícola 2009/2010, a) con trigo y b) con maíz, arroz y remolacha.
- Figura 18.** Producción mundial de aceite (MM t) desde la temporada agrícola 2005-2006 a 2010-2011.
- Figura 19.** Evolución de la superficie sembrada (miles ha) desde la temporada agrícola 1979-1980 hasta temporada agrícola 2010-2011 para el cultivo de raps y maravilla.
- Figura 20.** Superficie de plantaciones forestales industriales (ha) total, pino radiata, eucalipto y otros, 1990-2008, total para Chile.
- Figura 21.** Superficie total de bosques plantados para Chile, años 1994-2008 (ha).
- Figura 22.** Estructura del Empleo en el año 2007.

Índice de cuadros

- Cuadro 1.** Consumo regional de leña (m^3 sólido $año^{-1}$) en Chile.
- Cuadro 2.** Residuos agrícolas producidos durante la temporada agrícola 2003-2004 (t $año^{-1}$) en Chile.
- Cuadro 3.** Factores de conversión de residuos a biodiésel (L biodiésel [t residuos] $^{-1}$) empleando el método Fischer-Tropsch.
- Cuadro 4.** Tipos de residuos industriales según la especie.
- Cuadro 5.** Producción de madera aserrada de pino radiata y otras especies (miles de m^3) entre los años 1985 a 2009.
- Cuadro 6.** Número de industrias y producción total de madera aserrada en el año 2005.
- Cuadro 7.** Consumo nacional de madera en trozas (miles de m^3 sólidos sin corteza) entre los años 1985-2009 en Chile.
- Cuadro 8.** Consumo de madera en trozas a nivel regional en el año 2009 en Chile.

Bionenergía en Chile

- Cuadro 9.** Residuos forestales generados según tipo de residuos y tipo de aserradero (t año⁻¹) en el año 2005.
- Cuadro 10.** Distribución regional de residuos madereros (t año⁻¹) en el año 2005.
- Cuadro 11.** Destino de los residuos madereros según tipo (t año⁻¹) en el año 2005.
- Cuadro 12.** Precios medios por unidad según tipo de residuos en el año 2005.
- Cuadro 13.** Potencial bruto (MW) por tipo de residuo y región en el año 2006.
- Cuadro 14.** Potencia instalable factible de generación de energía en base a biomasa forestal para el periodo 2006-2017 en Chile.
- Cuadro 15.** Unidades generadoras del Sistema Interconectado Central en base a biomasa o biomasa-petróleo en Chile.
- Cuadro 16.** Proyectos de generación de energía con biomasa aprobados por el Sistema de Evaluación Ambiental en Chile.
- Cuadro 17.** Superficie sembrada de los principales cultivos agrícolas con potencial energéticos durante la temporada agrícola 2006-2007 en Chile.
- Cuadro 18.** Superficie de bosques según su clasificación al año 2011 en Chile.
- Cuadro 19.** Superficie de bosques comerciales según su clasificación.
- Cuadro 20.** Superficie de bosques nativos por tipo forestal al año 2011 en Chile.
- Cuadro 21.** Superficie de plantaciones forestales industriales (ha) entre los años 1990-2008 en Chile.
- Cuadro 22.** Superficie de plantaciones forestales industriales según la región en el año 2008.
- Cuadro 23.** Superficie de bosques plantados (ha) entre los años 1994-2008 en Chile.
- Cuadro 24.** Empresas con plantaciones forestales (ha) durante el año 2007 en Chile.
- Cuadro 25.** Estudios de estimación de biomasa disponible entre los años 2006-2011 en Chile.
- Cuadro 26.** Capacidad instalada (MW) por sistema de generación al año 2007 en Chile.
- Cuadro 27.** Resultados proyectados para una planta de bioetanol de 40 MM L año⁻¹ de capacidad.
- Cuadro 28.** Proyección de la demanda de bioetanol (miles m³) al año 2014 en Chile.
- Cuadro 29.** Rentabilidad de cultivos para un productor individual según sistemas productivos al año 2007 en Chile.
- Cuadro 30.** Proyección de la demanda de biodiésel (miles m³) al año 2014 en Chile.
- Cuadro 31.** Rentabilidad de cultivos para un productor individual según sistemas productivos al año 2007 en Chile.
- Cuadro 32.** Costos de generación según capacidad eléctrica instalada.
- Cuadro 33.** Tamaño y número de generadores de acuerdo a la cantidad de residuos sólidos generados por la industria cervecera en las Regiones Metropolitana y de la Araucanía.
- Cuadro 34.** Costo de inversión para la instalación de una planta de cogeneración de 4 MW para los residuos sólidos generados por la industria cervecera de la Región Metropolitana.
- Cuadro 35.** Costos por kWe de potencia instalada para una planta de cogeneración para los residuos sólidos generados por la industria cervecera en la Región Metropolitana.
- Cuadro 36.** Participación de la agricultura familiar campesina en rubros tradicionales, susceptibles de producir materia prima para biocombustibles en Chile.
- Cuadro 37.** Principales cambios de agricultura chilena entre los años 1997-2007 según hectáreas de riego básico HRB.
- Cuadro 38.** Estimación de la mano de obra a utilizar por la industria del bioetanol.
- Cuadro 39.** Estimación de la mano de obra a utilizar por la industria del biodiésel.
- Cuadro 40.** Superficie de cultivos bioenergéticos necesaria para distintos niveles de demanda y superficie en manos de pequeños productores.
- Cuadro 41.** Oportunidades para las políticas públicas y privadas en materia de Biocombustibles.

Introducción

Chile tiene la ventaja de disponer de un amplio espectro de fuentes de energías renovables, las que son limpias, locales y se distribuyen a lo largo de todo el país. Varias de estas fuentes ya son competitivas y el resto también lo será en el corto y mediano plazo. Los biocombustibles son aquellos combustibles producidos a partir de la biomasa y que son considerados, por tanto, una energía renovable. Se pueden presentar tanto en forma sólida (residuos vegetales, fracción biodegradable de los residuos urbanos o industriales) como líquida (bioalcoholes, biodiésel) y gaseosa (biogás, hidrógeno).

Tanto los combustibles fósiles como los biocombustibles, tienen origen biológico. Toda sustancia susceptible de ser oxidada puede otorgar energía. Si esta sustancia procede de plantas, al ser quemada devuelve a la atmósfera dióxido de carbono que la planta tomó del aire anteriormente. Las plantas, mediante la fotosíntesis, fijan energía solar y dióxido de carbono en moléculas orgánicas. El petróleo es energía proveniente de fotosíntesis realizada hace millones (MM) de años concentrada. Al provenir de plantas de hace MM de años, su cantidad es limitada. En el caso de los biocombustibles, la sustancia a ser quemada proviene de fotosíntesis reciente, por eso se afirma que la utilización de los biocombustibles no tiene impacto neto en la cantidad de dióxido de carbono que hay en la atmósfera.

Entre los años 1991 y 2010, el consumo de combustibles fósiles en Chile (petróleo crudo y gas natural) aumentó un 71,9%. El máximo nivel de consumo ocurrió durante el año 2004, cuando se utilizaron sobre 20 MM m³ (135,8% más que en el año 1991), parte importante de esa alza se debió a la inclusión del gas natural en el sistema energético. A partir de abril de 2004, el suministro de gas natural argentino hacia Chile comenzó a verse enfrentado a sucesivas restricciones que finalmente derivaron en la llamada “crisis del gas”. Durante ese primer año las restricciones se concentraron principalmente en los meses de invierno, en que Argentina necesitó de una mayor cantidad de gas para paliar las bajas temperaturas imperantes (Huneus, 2007). A partir del año 2005 hubo una baja en la utilización de gas natural en la matriz energética primaria, producto de las restricciones impuestas por el gobierno argentino a las exportaciones de gas natural hacia Chile, y gracias a las inversiones en terminales de gasificación construidas en Quintero y Mejillones, se superó la crisis.

Durante el año 1991 se consumieron alrededor de 7,2 MM m³ de petróleo crudo, mientras que en el año 2010 se llegó hasta 10 MM m³ aproximadamente. Este aumento se ve reflejado, principalmente, por el alto consumo de combustibles fósiles que posee el rubro del transporte, el que según proyecciones de la Universidad Técnica Federico Santa María llegará hasta 5,3 MM m³ en el año 2014 (CATA, 2007a).

En el año 2010 Chile importó el 79,2% del petróleo crudo y el 88,5% del carbón que se consumió en el país, siendo estos dos combustibles el primero y tercero en importancia respectivamente dentro de la matriz primaria de energía. Sin embargo, este mismo año la importación del gas natural alcanzó al 67,7% (CNE, 2011a), recuperándose en comparación con el año 2009 cuando la importación de gas natural fue de 27,5% (CNE, 2010), y alcanzando los niveles del año 2004 -máximo nivel registrado-, cuando se importó el 78,6% (CNE, 2006).

Al año 2010, en la matriz energética primaria, el 58,7% de los combustibles se importaron. Este porcentaje se encuentra influenciado por la producción hidroeléctrica y la leña -que se producen íntegramente en el país-, si se considera solamente los combustibles fósiles este porcentaje aumenta hasta el 78,4%. En la matriz energética secundaria el comportamiento es similar, el 55,5% de los combustibles fósiles son importados, siendo el diésel el más importante con 80,2%. Durante el año 2010, se importó el 67,7% del gas natural consumido en el país (CNE, 2011a).

Considerando los datos de crecimiento económico y la demanda energética en Chile, los indicadores sugieren la necesidad de modificar la actual composición de la matriz energética y su dependencia de las importaciones. Las alternativas existentes, y viables actualmente, son el biodiésel y el etanol, en reemplazo o complemento del diésel y gasolina respectivamente (Hill *et al.*, 2006; Agarwal, 2007), biogás para el gas natural (Naja *et al.*, 2011) y los biocombustibles sólidos, leña, pellets y briquetas (Igliński *et al.*, 2011).

El biodiésel se emplea en mezcla de hasta un 20% con el diésel, y es conocida como B20 (Agarwal y Das, 2001; EPA, 2002). El etanol, se utiliza en diferentes porcentajes de mezcla, en Brasil -por ley- se utiliza hasta un 25% de etanol en la gasolina, mientras que en Estados Unidos hasta 85% de etanol (De Oliveira *et al.*, 2005). A pesar del 25% de mezcla en Brasil, en el mercado automotriz brasileño los autos nuevos se comercializan con un motor, denominado motor flex, que se puede adaptar para utilizar desde 1% hasta 100% de etanol (La Rovere *et al.*, 2011). Sin embargo la legislación chilena solo permite el uso del biodiésel hasta un 5% de sustitución

El biogás se puede obtener desde distintos tipos de biomasa, y por medio de fermentación anaeróbica, donde el producto contiene una mezcla de metano y dióxido de carbono (Chamy y Vivanco, 2007; Naja *et al.*, 2011). Este biocombustible puede emplearse tanto en la producción eléctrica como térmica (Chamy y Vivanco, 2007), y constituye una importante fuente de energía renovable en varios países europeos (Naja *et al.*, 2011).

Introducción

La leña, parte de los biocombustibles sólidos, históricamente ha sido reconocida por su importancia, siendo muy utilizada por las sociedades pre-modernas (Gelabert *et al.*, 2011). En Chile también es considerada, y contribuye con el 17,6% de la energía generada en la matriz energética primaria (CNE, 2011). Otros biocombustibles sólidos como pellets y briquetas han comenzado a tomar protagonismo, lo que supone la necesidad de regular la utilización de la biomasa como combustible.

En la producción de biocombustibles líquidos se pueden emplear especies vegetales terrestres, como guindilla (*Guindilia trinervis*), jatropha (*Jatropha curcas*), mijo perenne (*Panicum virgatum*) y carrizo (*Arundo donax*; Achten *et al.*, 2008; Antizar-Ladislao y Turrión-Gómez, 2008; Román *et al.*, 2009), y acuáticas como micro y macroalgas (Chisli y Yan, 2011; Harun *et al.*, 2011). Los biocombustibles sólidos se obtienen, principalmente, de cultivos forestales de corta rotación y de los residuos provenientes desde este sector productivo (Bertrán y Morales, 2008). Para la producción de biogás, son múltiples las fuentes que pueden servir de insumo, residuos forestales y agrícolas, purines animales, residuos sólidos domiciliarios, entre otros (Chamy y Vivanco, 2007).

En Brasil, desde la crisis del 70, se comenzó a incentivar la producción de etanol desde fuentes renovables, siendo la caña de azúcar su más importante materia prima (BNDES y CGEE, 2008). Brasil fue el productor más importante del mundo de etanol, hasta el año 2004, a partir de entonces Estados Unidos ha presentado las mayores producciones, empleando maíz como materia prima (La Rovere *et al.*, 2011). Por su parte el biodiésel puede sintetizarse desde aceites de más de 350 especies oleaginosas, pero los cultivos más comunes son la palma aceitera (*Elaeis guineensis*), soya (*Glycine max*), higuera (*Ricinus communis*), jatropha, entre otras (Demirbas, 2007; Achten *et al.*, 2008).

En Chile se deben buscar alternativas agrícolas, de segunda generación, que se adapten a las condiciones edafoclimáticas de la zona norte. La utilización de cultivos de primera generación -especies con potencial agrícola (Gressel, 2008)-, no es una alternativa real para la producción de biocombustibles. A diferencia de lo que ocurre con otros países, Chile no posee demasiado territorio disponible para la producción agrícola. Existen aproximadamente 5,1 MM de hectáreas de tierras con potencial agrícola, y de esas, 2 MM son de secano y podrían ser perfectamente utilizables para el establecimiento de especies con potencial energético (ODEPA, 2005), además existen más de 18 MM de hectáreas que poseen algún grado de erosión, y de esas, más de 14 MM poseen un nivel de erosión ligera o suave, con lo cual también pueden ser potenciales tierras para estos cultivos (Ellies, 2000).

En la zona norte del país existen abundantes tierras que no tienen potencial agrícola, que se encuentran con distintos niveles de erosión (González *et al.*, 2000) y que pueden, potencialmente, servir para la producción de biocombustibles de segunda generación. En la zona sur de Chile también existen posibilidades para la producción de biocombustibles, mediante el uso de desechos madereros, generados desde las industrias forestales y que representan una fuente constante de material lignocelulósico (González *et al.*, 2007), el que puede ser empleado para la producción de etanol y otros biocombustibles.

El aumento en el consumo de combustibles fósiles, la necesidad del país de diversificar la matriz energética y de disminuir la dependencia de las importaciones de combustibles y, además, buscar reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que se producen al emplear estos combustibles, han hecho necesario buscar alternativas que pueden actuar como sustituto o complemento a los combustibles fósiles (CATA, 2007a; Demirbas y Demirbas, 2007).

En el año 2006, en el marco del seminario “Agroenergía y Biocombustibles”, organizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se reconoció la necesidad de buscar alternativas energéticas que puedan complementar y diversificar la actual matriz. Dentro de este contexto, se concluyó que los biocombustibles son una opción real como fuente de energía, renovable, obviamente, inagotable y que permite el desarrollo económico, además, sin deteriorar el medio ambiente (Bachelet, 2006).

Así, desde el año 2006, se han iniciado una serie de cambios a nivel país que apuntan hacia la búsqueda de aumentar la cuota de participación de las energías renovables, como La Ley N° 20.257, y en particular de los biocombustibles. Ese mismo año se aprobó en el país la “Estrategia Nacional sobre Cambio Climático”, la que entrega los lineamientos básicos para abordar e implementar los compromisos establecidos en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, iniciando un proceso que hasta hoy día busca la producción de biocombustibles de manera sustentable.

En el año 2008 el Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción del Gobierno de Chile, promulga el Decreto N° 11, donde se aprueban definiciones y especificaciones de calidad para la producción, importación, transporte, almacenamiento, distribución y comercialización de bioetanol y biodiésel en el país. Por medio de este decreto comienza a regularse el mercado interno para estos biocombustibles, se establecen las mezclas -no obligatorias- con entre 2 y 5% de biocombustibles. Para avanzar en el uso de los biocombustibles, es necesario ir paulatinamente modificando la normativa, como se ha hecho en otros países, donde el porcentaje de sustitución de biocombustible por combustible fósil aumenta progresivamente (César y Batalha, 2010). El Decreto N° 11 es el primer paso en la promoción del uso de los biocombustibles, pero debe evolucionar a la obligatoriedad de su uso, y al aumento del porcentaje de sustitución.

Los biocombustibles sólidos, como la leña, se han empleado regularmente por nuestra sociedad y han surgido inconvenientes con la sobreexplotación de los recursos forestales y con la desregularización de su comercialización y contaminación por mal uso (ODEPA, 2007). Desde el año 2008 se encuentran en trámite las normas para regular el sistema de explotación, comercialización y uso de este recurso. Además, el Instituto de Normalización trabaja en la elaboración de una norma para la regularización de los biocombustibles sólidos en general, catalogándolos y registrando según el origen y uso que estos posean.

Introducción

No sólo es necesario legislar con respecto a los biocombustibles, sino que también avanzar en temas complementarios, tratando de optimizar procesos productivos, buscar las mejores alternativas productivas, poner en valor terrenos subutilizados y evaluar las opciones para la generación de biocombustibles de segunda generación, que permitan mejorar los niveles productivos, a precios competitivos y hacerlo de manera sustentable.

La discusión sobre la producción de alimento y energía (Gressel, 2008), es uno de los principales argumentos que avalan la búsqueda de formas de optimizar la producción de bioenergía. El desarrollo de los biocombustibles de segunda generación es necesario para nuestro país, la escasez de tierras con potencial agrícola que imposibilitan la producción de biocombustibles de primera generación hacen que la utilización de cultivos alternativos, desechos agrícolas y forestales y residuos de diversas actividades agroindustriales y del tratamiento de aguas, se presenten como la alternativa más viable para la producción de bioenergía en Chile. Debido a esto es que es necesario incentivar la investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), que debe ser una de las principales políticas del Estado en el ámbito energético.

La utilización de especies no agrícolas, probar su adaptabilidad y productividad es el primer paso para conocer las opciones productivas que posee el país. Evaluar su rentabilidad tanto desde la perspectiva económica y ambiental es necesario. Encontrar las especies de segunda generación que presenten los mayores niveles de conversión energética y que sean las de menor huella de carbono -o el análisis de ciclo de vida de éstas-, son una herramienta que permite tomar la decisión sobre cuál especie es la más conveniente para la producción de energía (Iriarte *et al.*, 2010). Todas estas acciones son los desafíos que debiera afrontar el país en este ámbito, en un esfuerzo colectivo para el aseguramiento de un crecimiento sostenible.

Capítulo 1

Cadena productiva y de suministros de los biocombustibles

La energía es vital en nuestros días, siendo una clara influencia en el desarrollo socio-económico de las naciones (Demirbas, 2009a). La bioenergía es un tipo de energía química que se acumula por medio de los procesos fotosintéticos de las plantas (Acevedo, 2006; BNDES y CGEE, 2008). Las principales fuentes de bioenergía son: los materiales lignocelulósicos, cultivos agrícolas y no agrícolas, pastos, residuos agrícolas y forestales, plantas acuáticas y algas, también se consideran como fuentes de energía a los desechos industriales -de origen orgánico-, residuos animales, residuos sólidos municipales, biosólidos, desechos de la industria del papel y del procesamiento de alimentos (Demirbas, 2009a).

De manera genérica, en la Figura 1 se muestran las formas de conversión de la biomasa en energía y los procesos que se llevan a cabo para poder emplear, finalmente, la biomasa para la producción de calor, electricidad o combustible.

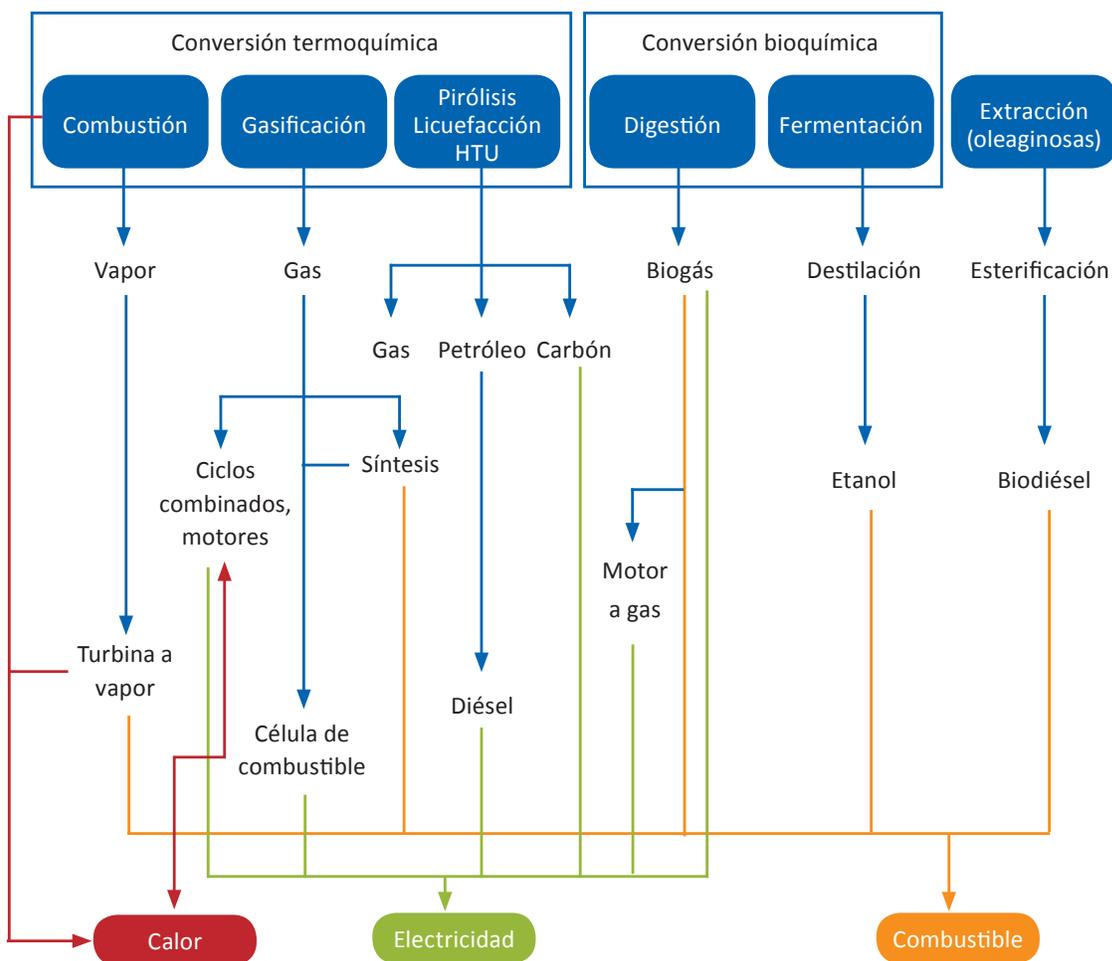


Figura 1. Vías tecnológicas para la producción de bioenergía (Turkenburg et al., 1998; BNDES y CGEE, 2008).

La bioenergía es uno de los combustibles más antiguos empleados por la humanidad, desde hace más de 500 mil años que se utiliza, siendo, en algunos casos, la única forma exógena de combustible empleada por el hombre hasta la aparición del carbón mineral a fines del Siglo XVIII (BNDES y CGEE, 2008). Las formas de bioenergía que se pueden producir por medio de la materia orgánica son: leña, biocombustibles sólidos densificados (pellets y briquetas), biogás, biodiésel, bioalcohol, biohidrógeno, biogasolina y biosingas (Demirbas, 2009a).

En Chile los principales biocombustibles que se producen, o que se encuentran en estudio, son la leña, el biodiésel, el etanol y el biogás (Román *et al.*, 2009).

Biomasa (leña)

En el año 2010, el consumo de leña en Chile alcanzó hasta las 12,7 MM t. siendo el cuarto combustible en importancia a nivel nacional, por sobre la hidroelectricidad, energía eólica y biogás, pero levemente inferior al gas natural y carbón, y muy por debajo del petróleo crudo, dentro de la matriz primaria de energía (Figura 2). Esto representa una disminución en la importancia relativa en el uso de la leña en la matriz energética primaria, ya que durante los años 2009 y 2008, la leña era el segundo combustible en importancia -20,5% en el año 2009 y 20,4% en el año 2008-, siendo sólo superado por el petróleo crudo (CNE, 2008a; CNE, 2010).

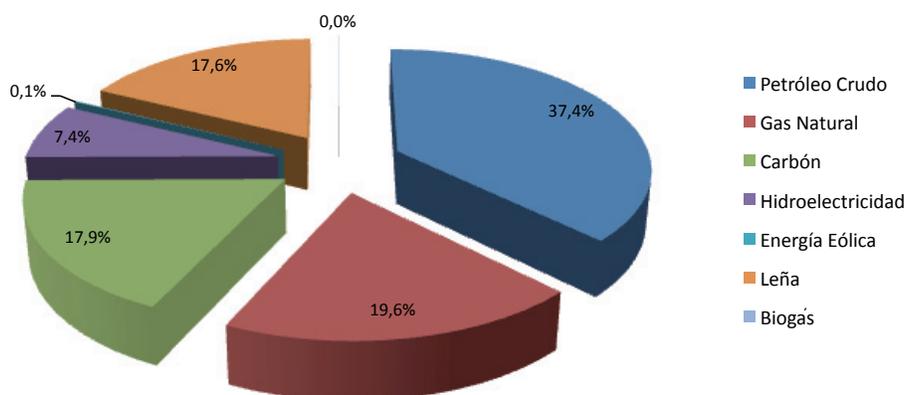


Figura 2. Porcentaje de participación de los combustibles en la matriz energética primaria de Chile en el año 2010 (CNE, 2011a).

Los sectores económicos que consumen leña en Chile son el comercial, público y residencial e industrial y minero, además de los centros de transformación. La diferencia que poseen ambos sectores, es en el papel que cumple la leña en cada uno, mientras en el sector comercial, público y residencial la leña es el principal combustible empleado con alrededor de 45% (Figura 3a), en el sector industrial y minero tiene un rol secundario muy por debajo de la electricidad, de los derivados del petróleo y del gas natural (Figura 3b), empleándose casi de manera exclusiva por la industria de la celulosa y el papel. De todos modos, en el sector comercial, público y residencial, el uso de la leña se da sólo en el sub sector residencial, no utilizándose en ninguna otra.

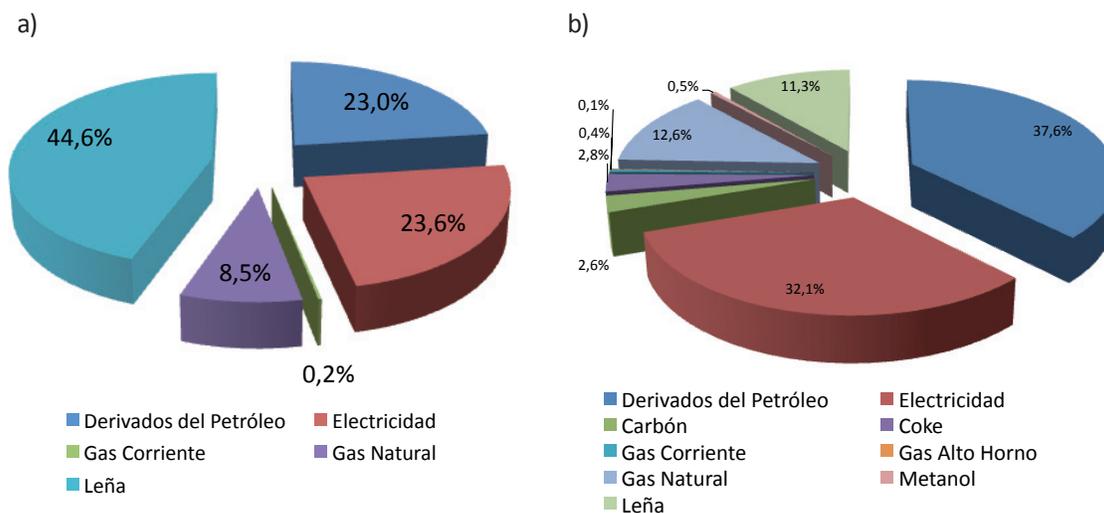


Figura 3. Participación de la leña en la matriz energética de a) Sector Comercial, Público y Residencial, y b) Sector Industrial y Minero, durante el año 2010 (CNE, 2011a).

El consumo de leña se da preferentemente entre las regiones del Maule y de Los Lagos (Cuadro 1), aunque en las regiones del Maule y del Biobío el principal uso que posee es en la industria de la celulosa y el papel. Existe una clara diferencia entre los recursos energéticos empleados por el sector industrial y el residencial -principales consumidores de leña-. El consumo en el sector residencial se produce preferentemente entre las regiones de la Araucanía y Los Lagos, y emplea especies nativas como materia prima -roble o hualle (*Nothofagus obliqua*) es la más utilizada-, en cambio en la región del Biobío el origen de la leña son los residuos industriales provenientes desde plantaciones forestales, siendo el principal uso industrial (Bello, 2003).

Otra diferencia existente entre las fuentes de abastecimiento es en el gradiente altitudinal, mientras más cerca se encuentre de la cordillera es mayor el consumo, gracias a que existe mayor cantidad de materia prima disponible en esos lugares (Bello, 2003). La situación geográfica (latitudinal) influye de la misma manera que la altitudinal, la disponibilidad de recursos y las bajas temperaturas, hacen que en las partes más australes de las regiones se produzca un aumento en el consumo, *e.g.** En Valdivia el consumo promedio anual alcanza los 8,0 m³ de leña, en Puerto Montt el promedio es de 10,5 m³ y en Chiloé llega a los 11,5 m³. También según si el consumo es urbano o rural se producen diferencias en la cantidad de leña empleada, en la región del Maule el consumo rural es 26 veces mayor que en la zona urbana, mientras que en las regiones de la Araucanía y Los Lagos el comportamiento es similar, siendo 61% y 49% mayor respectivamente (Gómez-Lobo *et al.*, 2006).

*En el momento en que se obtuvo esta información, Valdivia aún era parte de la Región de Los Lagos, por este motivo se consideran dentro de la misma región.

Cuadro 1. Consumo regional de leña (m^3 sólido año⁻¹) en Chile (Gómez-Lobo *et al.*, 2006).

Regiones	Residencial		Comercial y público	Industrial	Total leña
	Urbano	Rural			
Coquimbo	24.735	134.025	0	271.884	430.644
Valparaíso	13.356	55.775	10.881	289.139	369.151
O'Higgins	100.690	368.193	1.681	192.838	663.402
Maule	433.309	1.303.929	11.279	1.078.895	2.827.412
Biobío	798.465	1.542.549	66.329	1.479.555	3.886.898
Araucanía	461.674	1.023.390	67.276	654.519	2.206.859
Los Lagos	1.272.355	2.030.572	373.406	135.528	3.811.861
Aysén	356.234	103.045	83.630	3.107	546.016
Magallanes	257.738	23.740	0	0	281.478
Metropolitana	82.470	7.663	12.204	25.306	127.643
Nacional	3.801.026	6.592.881	626.686	4.130.771	15.151.364

Las tendencias demuestran que la deforestación de los bosques nativos sigue incrementándose, situación que se ve favorecida por la construcción de caminos y la mejora en la conectividad. Los caminos generan un aumento en la deforestación de los bosques hasta a 3 km de distancia, registrándose un 50% de pérdida promedio al kilómetro de distancia (Vergara y Gayoso, 2004). Para evitar o al menos disminuir este comportamiento, se ha hecho necesario legislar al respecto para evitar que las tasas de deforestación sobrepasen las tasas de renovación. La Ley N° 20.283/08 sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal, pretende resguardar precisamente el bosque nativo, algo que se recomienda para mantener la renovabilidad y el manejo sustentable de los bosques y los recursos forestales nativos (Ministerio de Agricultura, 2008). Según Chile Ambiente (2008) se debe explotar en promedio el 1% de los bosques nativos al año para poder mantener su renovabilidad, la que se encuentra entre 80 a 100 años.

La utilización de la leña como combustibles tiene un importante componente social y su uso no es exclusivamente por un carácter económico. Parte de la población que tiene la posibilidad de invertir en combustibles limpio no lo hace, porque el consumo de la leña para sus hogares es una costumbre arraigada históricamente (Bello, 2003).

Cadena de comercialización de la leña

La cadena productiva de la leña considera tres actores principales, los que según el caso pueden variar dependiendo de quién sea el consumidor final (Figura 4). Los principales actores son los productores, intermediarios e industria de la madera; a continuación se describen los principales actores (Gómez-Lobo *et al.*, 2006).

Productores. Grupo conformado mayoritariamente por propietarios de predios, los que son el origen de la cadena de comercialización. Hay dos formas de realizar la producción, 1) el propietario se encarga de la extracción de la leña, o bien contrata personal para que realice esta actividad y, 2) es la mediería, en la cual un tercero extrae la leña y posteriormente divide con el propietario la producción en alguna proporción previamente determinada (Gómez-Lobo *et al.*, 2006).

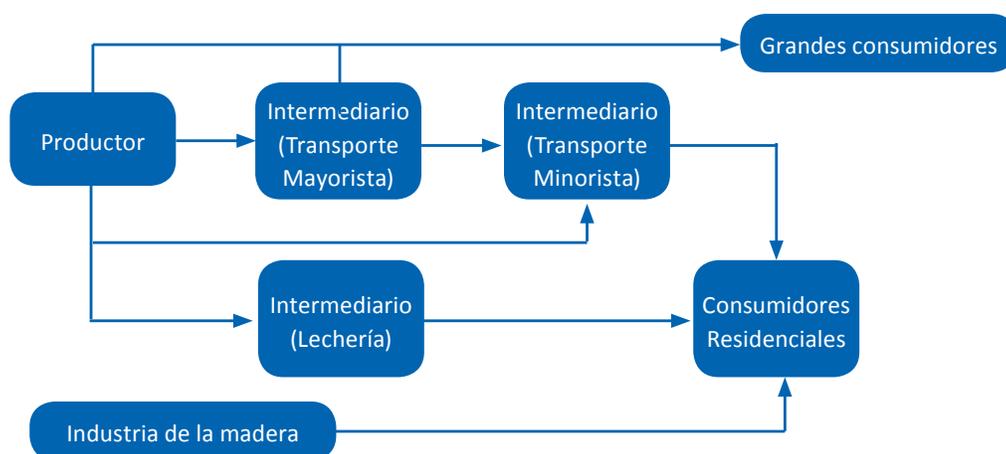


Figura 4. Cadena de comercialización de la leña (Gómez-Lobo *et al.*, 2006).

Intermediarios. Son tres grupos, los transportistas mayoritarios, transportistas minoristas y las leñerías, aunque los transportistas minoritarios y las leñerías son las más importantes y comunes. Los transportistas mayoritarios actúan, muchas veces, como nexo entre los productores y los transportistas minoritarios. Los transportistas minoritarios tienden a colocarse a orilla de los caminos, y entregan leña según los requerimientos de los usuarios, quienes se abastecen según sus requerimientos, sobretodo en la época de mayor frío. Por lo general es una forma de trabajo informal. Las leñerías son locales instalados y especializados en la venta de leña durante todo el año y muestran un nivel mayor de formalidad. Los transportistas se abastecen de leña a través de la compra directa a los productores o la compra a otro transportista (mayoritario), las leñerías lo hacen mediante la compra directa al productor (Gómez-Lobo *et al.*, 2006).

Industria de la madera. Corresponden a desechos industriales resultantes del proceso productivo, éstos suelen ser lampazos, aserrín, viruta y despuntes. Estos desechos son demandados por los estratos más bajos de la población, quienes se calientan con ellos (Gómez-Lobo *et al.*, 2006).

Bioetanol

El etanol o alcohol etílico es el combustible más usado actualmente, dentro de los biocombustibles (Demirbas, 2009a), sin considerar la leña. Estados Unidos y Brasil son los principales productores a nivel mundial con sobre el 80% de la producción (Figura 5), tendencia a la concentración que se ha mantenido, al menos, desde el año 2006 (ODEPA, 2007). El etanol se puede obtener de manera sintética a partir del petróleo, o por medio de la fermentación de la biomasa. El 93% del etanol se obtiene por medio de la fermentación y sólo el 7% se obtiene por medio de métodos sintéticos (Patrouilleau *et al.*, 2006).

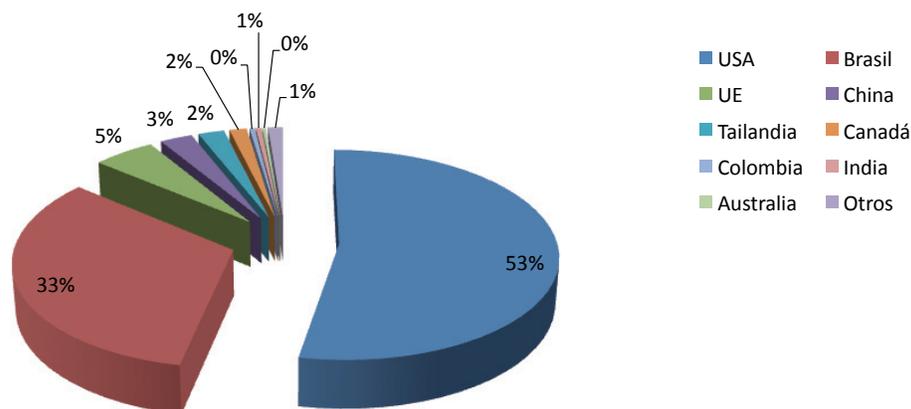


Figura 5. Principales países productores de etanol en el año 2009 (RFA. 2011).

El etanol se puede conseguir desde tres fuentes según la materia del que se obtenga: azúcares -monosacáridos o disacáridos-, almidón y compuestos celulósicos, representados por la remolacha (*Beta vulgaris*) para azúcares simples, maíz (*Zea mays*) para el almidón, y la biomasa forestal para los compuestos lignocelulósicos (Figura 6).

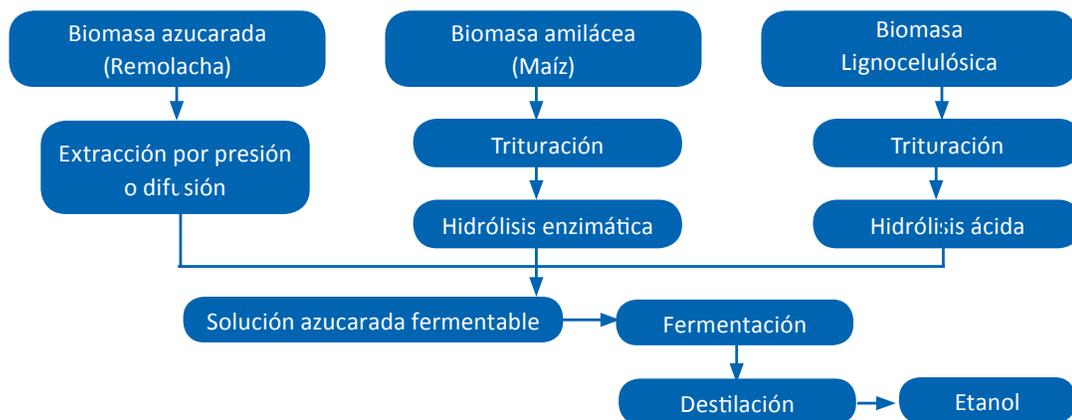


Figura 6. Rutas tecnológicas para la producción de bioetanol (BNDES y CGEE, 2008).

La obtención por medio de azúcares simples -monosacáridos o disacáridos- es el proceso menos complicado para la elaboración de etanol. Se obtiene por medio de la fermentación de los azúcares, empleando microorganismos -levaduras, hongos o bacterias- según la cantidad de carbono que posea el azúcar. El etanol producido desde la caña de azúcar o remolacha es un ejemplo de este caso. En la naturaleza, los azúcares se encuentran en forma de biopolímeros, almidón, el que debe procesarse químicamente para poder fermentarlo posteriormente. El etanol obtenido del maíz, trigo o mandioca, son ejemplos de este tipo de etanol. El etanol producido desde materiales lignocelulósicos, es el proceso más caro y complicado, debido a la separación que debe realizarse entre la celulosa y la lignina, éste último es un compuesto que no se degrada durante la fermentación de los azúcares, por lo que es necesario procesos químicos para su degradación o separación (Patrouilleau *et al.*, 2006; BNDES y CGEE, 2008).

La producción de etanol empleando ácido sulfúrico para la hidrólisis de los compuestos celulósicos, es el método -químico- predominante actualmente (Araque *et al.*, 2008), pero debido a los problemas de recuperación del ácido, los costos del tratamiento del agua residual, la corrosión de los materiales y los altos gastos energéticos (requiere altas temperaturas), hacen que el proceso de producción de etanol se encarezca (Galbe y Zacchi, 2002; Araque *et al.*, 2008). Otros métodos, como la utilización de solventes orgánicos (organosolv) como un pretratamiento para simplificar la separación de la lignina de los compuestos celulósicos, se están estudiando como alternativas para la producción de etanol, pero la utilización de un catalizador -normalmente ácido sulfúrico- (Araque *et al.*, 2008; Park *et al.*, 2010) hacen que aún sea necesario estudiar o evaluar otro tipo de catalizador.

En Chile la producción de etanol como biocombustible, se encuentra en etapa de investigación, evaluándose las alternativas productivas existentes. La Universidad Técnica Federico Santa María determinó que el maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum aestivum*) y arroz (*Oryza sativa*), son alternativas viables para la producción de etanol en el país. Ellos evaluaron la posibilidad de su producción considerando diversas formas de cultivo en diferentes regiones del país (CATA, 2007a). El principal inconveniente que posee la utilización de estas especies es que son parte de los biocombustibles de primera generación (Antizar-Ladislao y Turrion-Gomez, 2008), por lo que es necesario estudiar cultivos que no sean agrícolas o formas de producción de etanol con residuos agrícolas o forestales que no compitan con cultivos alimenticios. Sin embargo, actualmente las especies con potencial para producir etanol, son en su mayoría, de primera generación, no existiendo aún alternativas viables de segunda generación.

Acuña *et al.* (2010), efectuaron el primer estudio en Chile que contempla el uso de etanol de segunda generación. A pesar de ser una investigación teórica, se determinó que empleando los residuos provenientes de las plantaciones de pino radiata, se podría abastecer el 38% de la demanda interna, considerando un 2% de porcentaje de mezcla, y el 15%, considerando un 5% de porcentaje de mezcla. Si también se consideraran los tallos, el porcentaje de abastecimiento aumenta hasta 190% y 76%, para las mezclas de 2% y 5% respectivamente. Otros trabajos que se han realizado, considerando la producción de etanol de segunda generación, contemplan la

utilización de los residuos de maíz (Schneuer, 2010), residuos de eucalipto (Sotomayor, 2010) y chips de pino (*Pinus radiata*; Araque *et al.*, 2008) y acacia blanca (*Acacia dealbata*; Muñoz *et al.*, 2007; Araque *et al.*, 2008).

Proceso productivo para la obtención de etanol

Los pasos necesarios para la producción de etanol empleando cereales como materia prima en Chile, según lo determinado por la Universidad Técnica Federico Santa María (CATA, 2007a) son:

- 1. Molienda (milling):** El grano pasa por un molino generando un fino polvo denominado harina (meal).
- 2. Licuefacción:** La harina es mezclada con agua y la enzima alfa-amilasa, y pasa luego a través de ollas de cocción (cookers) donde el almidón es liquidificado. En esta etapa se suceden períodos de alta temperatura (100 - 120 °C) y un período de reposo a menor temperatura (95 °C). La función del calor es facilitar el licuado. Sin embargo, la temperatura a aplicar dependerá del grano, siendo en general menor con trigo que con maíz.
- 3. Sacarificación:** La masa proveniente de los cookers es enfriada y se adiciona una segunda enzima, la gluco-amilasa, para convertir el almidón líquido en azúcares fermentables.
- 4. Fermentación:** A la masa proveniente del paso 3 se le adiciona levadura para fermentar los azúcares. Se utiliza un proceso continuo a través del cual la masa fluye por diferentes estanques de fermentación, de manera que cuando pasa al estanque final se encuentra totalmente fermentada. En este proceso se libera dióxido de carbono (CO₂) que es un subproducto que puede también ser comercializado.
- 5. Destilación:** La masa fermentada, denominada cerveza (beer) contiene entre un 11% y un 15% de etanol por unidad de volumen. La masa es bombeada a un sistema de destilación multicolumna, donde el etanol es separado de los sólidos y el agua. Al final de las columnas de destilación el etanol tiene un 96% de pureza y la masa residual (denominada stillage) se recupera y se transfiere al área de procesamiento de co-productos.
- 6. Deshidratación:** El etanol resultante pasa a través de un proceso de deshidratación para remover el agua que aún contenga. El etanol resultante es llamado etanol anhidrico.
- 7. Obtención de co-productos:** Distintos procesos de centrifugado, evaporación y secado son utilizados para remover el agua desde el stillage. El producto resultante son los Granos Secos Destilados con Soluble (DDGS, por su sigla en inglés) que se comercializa, fundamentalmente, para alimentación animal (especialmente bovinos) como sustituto de la harina de soya o tortas de ésta.

Biodiésel

El biodiésel es uno de los biocombustibles de mayor importancia, empleándose como sustituto del diésel. Los países de la Unión Europea son los principales productores a nivel mundial (Figura 7) siendo Alemania quien concentra la mayor producción (ODEPA, 2007; Biofuels Platform, 2010). Estados Unidos ha ganado terreno en el mercado internacional de biodiésel, durante el año 2006 no figuraba entre los países con mayor producción (ODEPA, 2007), pero al año 2009 se encontraba tercero a nivel mundial, siendo superado sólo por Alemania y Francia (Biofuels Platform, 2010).

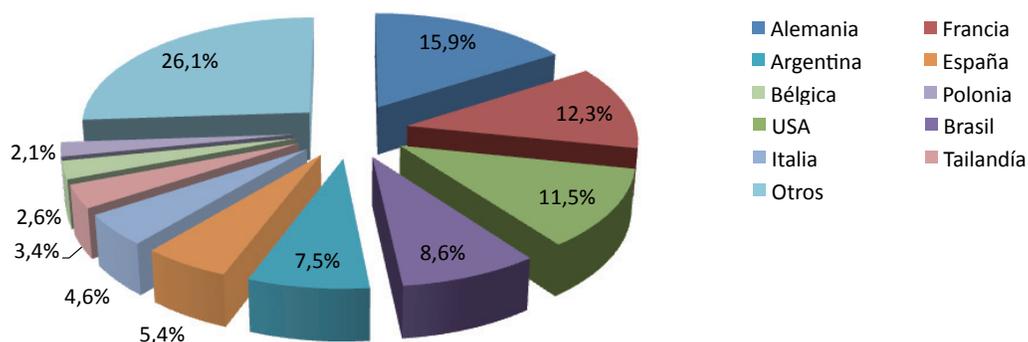


Figura 7. Principales países productores de biodiésel en el año 2009 (Biofuels Platform, 2010).

El biodiésel es un combustible alternativo al diésel convencional, presenta características que lo convierten en una opción real para ser usado en su reemplazo o de manera complementaria (Demirbas, 2009a; Demirbas, 2009b). Es renovable, ya que su origen es desde materia orgánica, es biodegradable y no es tóxico, tiene bajas emisiones de contaminantes -sobre todo derivadas del azufre- y es beneficioso para el medio ambiente (Ma y Hanna, 1999; Agarwal, 2007; Demirbas, 2009b).

Como biodiésel se reconocen a los ésteres alquílicos obtenidos por medio del proceso de transesterificación o alcoholisis (Figura 8), este proceso se lleva a cabo para disminuir la viscosidad de los aceites vegetales o grasas animales -principales insumos para la producción de biodiésel- (Srivastava y Prasad, 2000; Demirbas, 2008; Demirbas, 2009b).

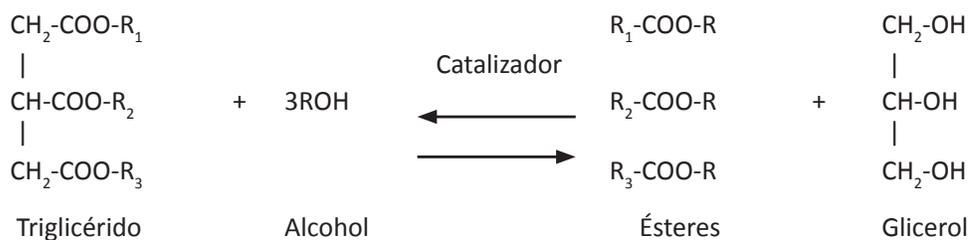


Figura 8. Transesterificación de triglicéridos (Srivastava y Prasad, 2000; Demirbas, 2008; Demirbas, 2009b).

Los aceites de origen vegetal son la fuente de materia prima más importante para la producción de biodiésel a nivel mundial. Los principales aceites que se emplean, con fines energéticos, son el de palma aceitera (*Elaeis guineensis*), soya (*Glycine max*), raps (*Brassica napus*) y maravilla (*Helianthus annus*), los que representan en conjunto alrededor del 85% de la producción mundial de oleaginosas (Figura 9). De éstos sólo el aceite de palma no tiene como uso principal la alimentación humana, o influye de alguna manera en la cadena alimenticia del hombre, siendo considerado como una fuente para biocombustibles de segunda generación (Antizar-Ladislao y Turrion-Gomez, 2008).

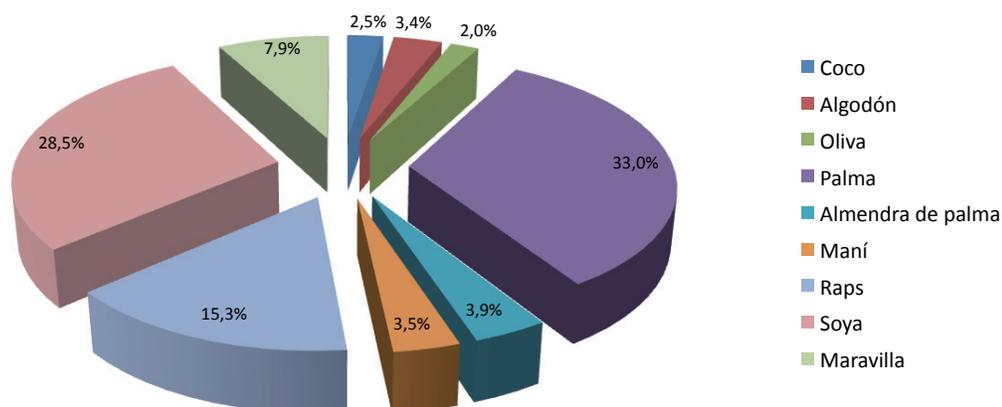


Figura 9. Porcentaje de participación de las diferentes oleaginosas en la producción mundial de aceite en la temporada agrícola 2009-2010 (USDA, 2010).

Entre las especies oleaginosas destinadas a la producción de aceite para bioenergía, los cultivos de raps y maravilla son los que se adaptarían de mejor manera a las condiciones climáticas y edáficas de Chile (Iriarte *et al.*, 2010). Además, según la Universidad Técnica Federico Santa María existen en el país sobre 300.000 hectáreas con potencial para poder producir aceite desde estos cultivos, lo que permitiría suplir la demanda de biodiésel de un 5%, en el rubro del transporte, proyectado al año 2014 (CATA, 2007a). Además, ambas especies se encuentran entre los principales cultivos que se producen en Chile (ODEPA, 2011a).

La producción de biodiésel no es un tema generalizado, son ocho las plantas productoras existentes en Chile. Planta FAME de Pullman Bus y Planta Industrias Grasas y Aceites Ltda. (INGRAS) son las más importantes, la primera emplea aceite de cocina reciclado, mientras que la segunda utiliza aceites y grasas recicladas. Otros proyectos de producción de biodiésel son: Biodiésel Chile S.A., Biodiésel Austral S.A. y Biodiésel Sur S.A. (las tres plantas pertenecen al mismo grupo empresarial), Planta Matadero en Concepción, Bioengine en Puente Alto, Preseco S.A. en Las Condes y la planta artesanal de la Dirección de Gestión Ambiental (DIGA) de la Municipalidad de La Pintana (Román, 2011).

Capítulo 1. Cadena productiva y de suministros de los biocombustibles

La Universidad de La Frontera, Molino Gorbea y Copec, desde el año 2009, tienen en operación experimental, una planta piloto que emplea semillas de raps como materia prima para la producción de biodiésel. Existen otras instituciones educativas que han desarrollado proyectos de investigación usando especies oleaginosas como materia prima para la producción de biodiésel de segunda generación, estos son: Universidad de Chile y Universidad de Tarapacá con jatropha (*Jatropha curcas*), Universidad de Concepción con camelina (*Camelina sativa*) y mostaza (*Sinapis alba*) y Pontificia Universidad Católica de Chile con guindilla (*Guindilia trinervis*). Todos estos proyectos son de investigación, no siendo aún posible la producción intensiva de estas especies.

El consorcio Biocomsa S.A., se encuentra desarrollando proyectos productivos de biocombustibles de segunda generación. Este consorcio emplea cultivos lignocelulósicos, desechos forestales y desechos agrícolas como materia prima para la producción de biodiésel de segunda generación. La inversión para el desarrollo de este consorcio alcanzan US\$3,77 MM, siendo US\$1,97 MM aportados por InnovaChile de CORFO (CORFO, 2008).

InnovaChile de CORFO también está financiando otros dos proyectos que buscan la producción de biodiésel de tercera generación, proveniente desde el aceite de microalgas. Los consorcios favorecidos son Desert Bioenergy S.A. y Algafuels S.A., en conjunto estos dos consorcios invertirán US\$19,57 MM, y el aporte de InnovaChile equivale a US\$10,79 MM (Astudillo, 2010; CORFO, 2010).

Las principales especies con potencial para la producción de biodiésel en Chile son de primera generación, siendo higuera (*Ricinus communis*) y jojoba (*Simmondsia chinensis*) las únicas especies de segunda generación potencial de desarrollo en el país, a pesar de que las consideran como de primera generación.

Proceso de obtención del biodiésel

El método de transesterificación es el más común para la producción de biodiésel, aunque no es el único, también existen los métodos de dilución, microemulsión y pirólisis (Srivastava y Prasad, 2000; Demirbas, 2008; Demirbas, 2009b). Este método contempla una serie de procesos necesarios para poder obtener el biodiésel; en la Figura 10 se observa el esquema con los procesos que se deben llevar a cabo para su producción.

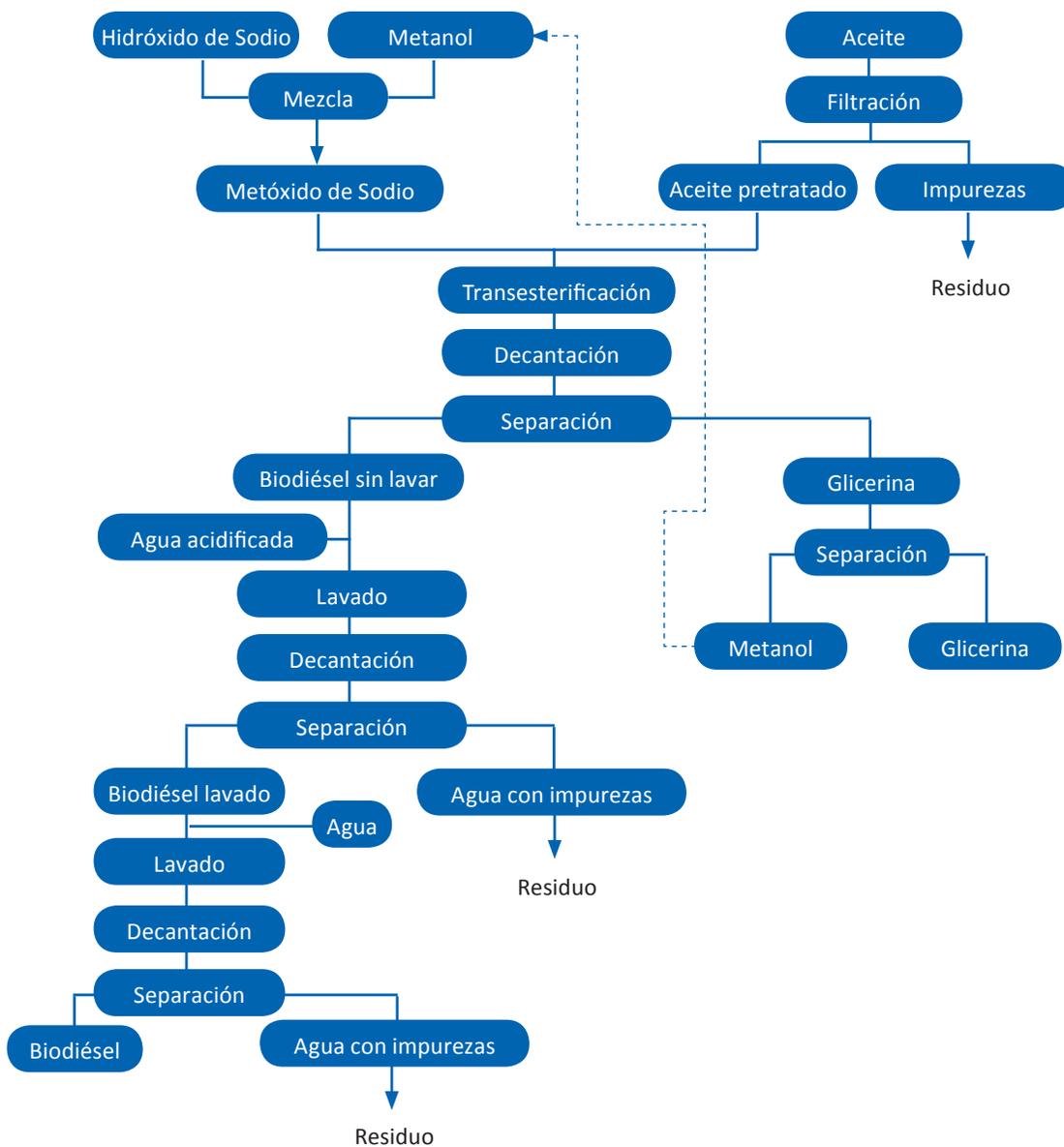


Figura 10. Esquema general para la obtención de biodiésel (Fuenzalida, 2008).

Las principales etapas para la fabricación del biodiésel según lo determinado por la Universidad Técnica Federico Santa María (CATA, 2007a) son:

- 1. Mezcla del metanol y el catalizador:** El catalizador es típicamente hidróxido de sodio o de potasio. La mezcla se obtiene disolviendo por medios mecánicos el catalizador en el alcohol.
- 2. Reacción:** La mezcla anterior es vertida en un contenedor cerrado donde se agrega el aceite. El contenedor es cerrado y, a partir de este momento, el sistema queda aislado de la atmósfera para prevenir la pérdida de alcohol. La mezcla se mantiene justo por sobre el punto de ebullición del metanol para acelerar la reacción, la que toma normalmente entre una y ocho horas. Generalmente se usa metanol en exceso para asegurar la conversión total del aceite en sus ésteres.
- 3. Separación biodiésel:** Una vez que la reacción está completa se generan dos productos principales: glicerina y biodiésel. Cada uno contiene cantidades sustanciales del exceso de metanol usado en la reacción. La mezcla puede ser neutralizada justo antes de esta etapa de separación (a través del uso de un ácido). La glicerina posee una densidad mayor al éster metílico (1 Kg L^{-1} versus $0,88 \text{ Kg L}^{-1}$), por lo que las dos fases pueden ser separadas por gravedad, simplemente extrayendo la glicerina desde el fondo del contenedor. Un proceso de centrifugado puede ayudar a separar los materiales más rápidamente.
- 4. Separación metanol:** Una vez que la glicerina y el biodiésel han sido separados, el exceso de metanol puede ser removido con un proceso rápido de evaporación o por destilación. Es importante remover el agua desde el alcohol recuperado para que éste pueda ser reutilizado.
- 5. Neutralización de la glicerina:** La glicerina contendrá cantidades inusuales del catalizador utilizado y jabones que se producen en el proceso. Estos son neutralizados con un ácido y el producto es enviado a almacenaje como glicerina cruda. Mediante un proceso de purificación, la glicerina cruda puede alcanzar un 98% de pureza y ser vendida en los mercados farmacéuticos y cosméticos.
- 6. Purificación del biodiésel crudo:** El biodiésel obtenido en la etapa 4 debe ser purificado para limpiarlo de restos del catalizador, metanol y jabones generados en la reacción. Para ello se lava con agua y luego es secado y almacenado para su utilización.

Biogás

El biogás es un combustible renovable, limpio, versátil y económico, que se produce por medio de la digestión anaeróbica de residuos orgánicos (Kapdi *et al.*, 2005). Son varias las fuentes disponibles para la producción de este biocombustible: residuos sólidos domiciliarios o urbanos, biomasa forestal, desechos de cultivos agrícolas, purines animales, biosólidos, entre otros (Kapdi *et al.*, 2005; Chamy y Vivanco, 2007).

El potencial que posee Chile para la producción de biogás, considerando sólo los desechos generados desde diferentes fuentes llega hasta aproximadamente hasta los 2.000 MM³ año⁻¹. Los planteles productores de animales, son los que más aportan al potencial productivo del país (Figura 11). La producción de biogás empleando como materia prima los purines de aves, vacunos y porcinos captan sobre el 50% del total productivo de biogás, siendo los purines de aves los que tienen mayor aporte con sobre 621 MM³ año⁻¹. Los residuos provenientes de cultivos agrícolas también tienen un rol preponderante en la producción de biogás, ya que contabilizando sólo los residuos generados en las labores de campo se producen sobre 387 MM³ año⁻¹, lo que representa el 20% del potencial total (Chamy y Vivanco, 2007). En este caso falta información referente a la posibilidad de emplear residuos de la industria forestal para la producción de biogás, ya que también es posible, aunque no es una opción viable debido a los altos costos productivos que tendría (Chamy y Vivanco, 2007).

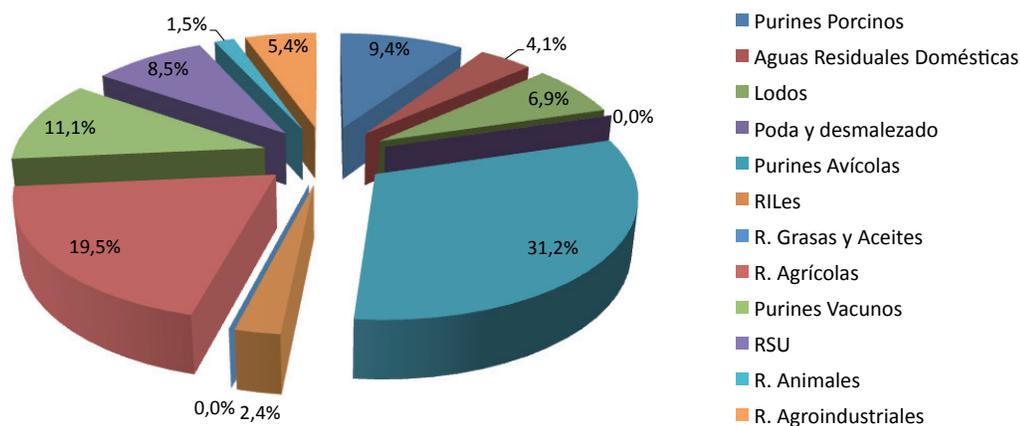


Figura 11. Potencial productivo de biogás en Chile, empleando biomazas residuales como materia prima (Chamy y Vivanco, 2007).

El biogás también se obtiene desde los gases que se producen en los rellenos sanitarios, de esta manera se evita la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera (Arvizu y Huacuz, 2003). En el año 2010, la empresa KDM inauguró la Central Loma Los Colorados I, la cual inyecta al Sistema Interconectado Central (SIC) electricidad generada por el biogás producido desde el relleno sanitario Lomas Los Colorados (Grupo Urbaser-Danner, 2010). En el Relleno Santa Marta también se pretende producir electricidad desde el biogás producido en sus instalaciones, este proyecto se encuentra en proceso de evaluación de impacto ambiental en el Sistema de Evaluación Ambiental (SEA), encontrándose en estos momentos en el proceso de evaluación de la ADENDA recibida.

Proceso productivo del biogás

La producción de biogás contempla cuatro etapas, hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Figura 12), las que se describen según Parawara (2004) y Demirbas (2009a).

- 1. Hidrólisis:** Es el primer paso de la fermentación anaeróbica, consiste en la degradación de macromoléculas -proteínas, lípidos y carbohidratos- (depimerización), en monómeros y dímeros. En este paso se solubilizan partículas insolubles y se descompone materia orgánica, la degradación se efectúa gracias a la acción enzimática (e.g. celulasa, amilasa, proteasa y lipasa). Tratamientos químicos, mecánicos y termales han sido probados para acelerar el proceso de hidrólisis. La efectividad en la hidrólisis varía según la materia prima, los carbohidratos se acidifican entre 31 - 65%, las proteínas entre 20 - 45% y los lípidos entre 14 - 24%.
- 2. Acidogénesis:** Es el segundo paso y el más rápido, donde por medio de la utilización de microorganismos los monómeros y dímeros obtenidos en la hidrólisis se transforman en ácido acético, hidrógeno, dióxido de carbono y otros ácidos orgánicos de bajo peso molecular. Cuando se produce la acidificación, los carbohidratos tienen un paso intermedio donde se transforman en ácido pirúvico, y dependiendo de los microorganismos que actúen, estos se transforman en ácido acético, propiónico, butírico u otro.

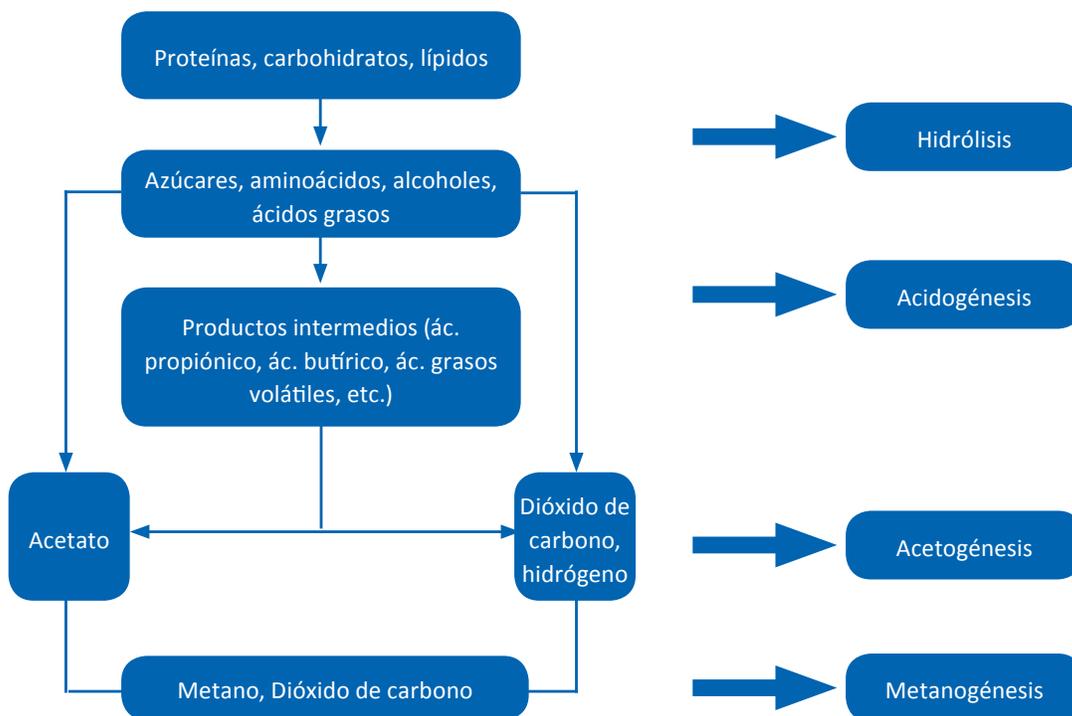
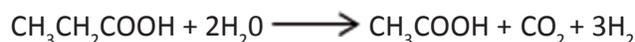


Figura 12. Proceso de conversión anaeróbica de la materia orgánica (Demirbas, 2009a).

3. **Acetogénesis:** Es la tercera etapa, donde los productos obtenidos en la acidogénesis son transformados, principalmente, a dióxido de carbono, hidrógeno y ácido acético, aunque también se generan ácidos propiónico, butírico y valérico. Esta degradación se lleva a cabo gracias a distintos microorganismos, los más importantes son *Syntrophobacter wolinii* y *Syntrophomonas wolfei*, quienes descomponen a propionato y butirato, respectivamente (Figura 13). Estos microorganismos son más efectivos en pH de 4,0 a 6,5.
4. **Metanogénesis:** Es la última etapa del proceso de fermentación, en ella actúan microorganismos que son muy específicos, miembros del dominio Archaea, que son intermedios entre los eucariontes y procariontes. Son pocos los compuestos que son transformados a metano en esta etapa, ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno, son los principales. Las más importantes formas para la transformación metanogénica es la reacción acetoclástica y la reducción de dióxido de carbono. Alrededor del 70% del metano se obtiene desde ácidos grasos volátiles (como los ác. propiónico y butírico) y el otro 30% desde la metanogénesis del dióxido de carbono e hidrógeno (Figura 14).

Ác. Propiónico



Ác. Butírico

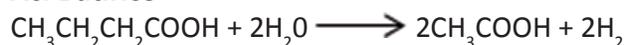


Figura 13. Principales reacciones del proceso de acetogénesis (Parawara, 2004).

Acetato



Dióxido de carbono/Hidrógeno



Figura 14. Principales reacciones del proceso de metanogénesis (Parawara, 2004).



Capítulo 2

Producción de desechos agrícolas y forestales

Desechos agrícolas

La utilización de los residuos o desechos agrícolas también representan una oportunidad para el desarrollo de los biocombustibles. Según la Organización de las Naciones Unidas, los residuos agrícolas y forestales son las materias primas para la producción de biocombustibles de segunda generación, y adicionalmente se agregarían las especies energéticas que no tengan un uso alimenticio (Antizar-Ladislao y Turrion-Gomez, 2008). En nuestro país durante la temporada agrícola 2003-2004 se produjeron 7,225 MM t de residuos agrícolas (Cuadro 2).

Considerando los residuos generados por las cinco especies agrícolas tradicionales en el país (trigo, maíz, papa, raps y remolacha), se pueden generar 387,79 MM m³ año⁻¹ de biogás. Si esa producción se empleara para la generación de energía eléctrica se podrían producir 910.547 MWh año⁻¹ (Chamy y Vivanco, 2007).

Cuadro 2. Residuos agrícolas producidos durante la temporada agrícola 2003-2004 (t año⁻¹) en Chile (Chamy y Vivanco, 2007).

Cultivo	Atacama	Coquimbo	Valparaíso	O'Higgins	Maule	Biobío	Araucanía	Los Lagos*	Total
Trigo	1.694	14.000	47.000	128.400	266.838	505.463	736.173	187.578	1.887.146
Avena	-	-	1.134	3.300	4.500	152.550	319.510	53.245	534.239
Cebada	-	-	277	238	3.210	14.868	27.775	9.624	55.992
Centeno	-	-	-	-	-	108	-	-	108
Maíz	1.410	5.840	13.288	846.000	228.000	53.460	910	-	1.148.908
Arroz	-	-	-	14.285	87.020	17.860	-	-	119.165
Poroto	-	754	954	7.200	28.665	9.346	1.368	-	48.287
Lenteja	-	-	-	-	165	560	66	-	791
Garbanzo	-	-	397	890	1.225	365	65	-	2.942
Arveja	-	-	-	139	256	255	466	-	1.116
Chicharo	-	-	-	-	191	3	-	-	194
Papa	2.769	109.620	15.000	65.550	57.190	128.320	302.400	390.784	1.071.633
Maravilla	-	-	105	1.053	1.277	323	-	-	2.758
Raps	-	-	-	-	486	5.883	11.563	4.179	22.111
Remolacha	-	-	-	70.644	832.370	1.038.125	80.464	256.700	2.278.303
Lupino	-	-	-	-	-	435	49.140	2.436	52.011
Total	5.873	130.214	78.155	1.137.699	1.511.393	1.927.924	1.529.900	904.546	7.225.704

*En la temporada 2003-2004, la Región de Los Ríos aún pertenecía a la Región de Los Lagos.

Empleando un 25% de los residuos generados por el trigo, cebada, avena, arroz y maíz -la cantidad de los residuos que pueden emplearse para la producción de energía va a depender de las condiciones del lugar y de la accesibilidad que se tenga, además de las externalidad que pueda ocasionar su completa extracción- se demuestra que pueden producirse hasta 367 MM L de biodiésel empleando el método Fischer-Tropsch (Simon *et al.*, 2010), la cantidad de biocombustible generado va a depender de la cantidad de hectáreas sembradas y la cantidad total de residuos producidos.

En Chile los residuos generados para las especies trigo, cebada, avena, arroz y maíz, y considerando un 25% de residuos efectivamente susceptible de transformar a biodiésel y los factores de conversión de residuos a biodiésel determinados por Simon *et al.*, (2010; Cuadro 3), se podrían obtener hasta 53,62 MM L de biodiésel (Figura 15).

Cuadro 3. Factores de conversión de residuos a biodiésel (L biodiésel [t residuos]⁻¹) empleando el método Fischer-Tropsch (Simon *et al.*, 2010).

Trigo	Cebada	Avena	Arroz	Maíz
203	203	203	203	187

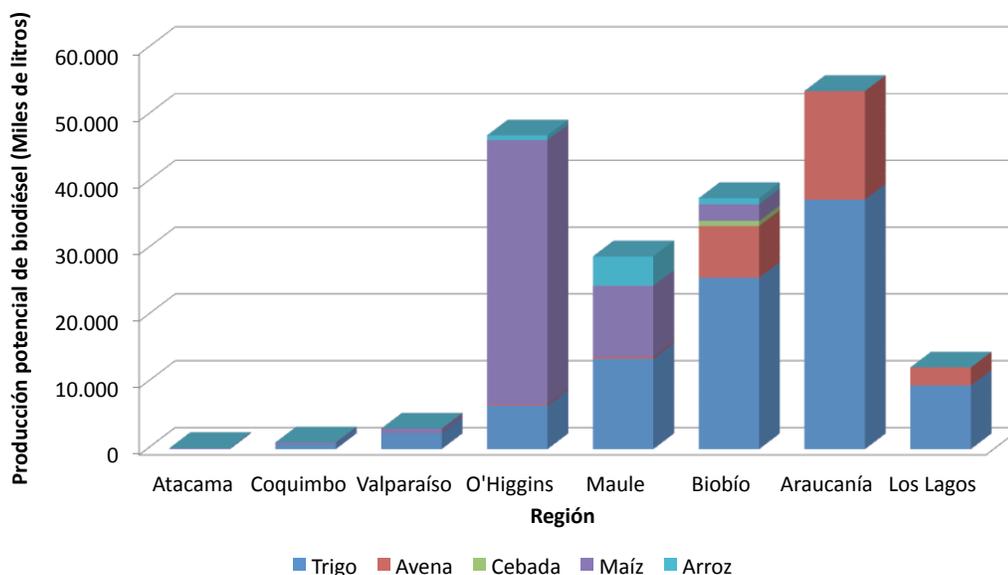


Figura 15. Producción de biodiésel (miles de litros) entre las regiones de Atacama y Los Lagos empleando los residuos agrícolas de trigo, avena, cebada, maíz y arroz.

La Región de la Araucanía es donde se puede producir la mayor cantidad de biodiésel (53,62 MM L), siendo el trigo el principal abastecedor con 37,36 MM L. Caso contrario ocurre con la Región de Atacama donde sólo se producirían 0,151 MM L, ya que en esta región sólo se produce trigo y maíz, y en cantidades menores. En todas las regiones la principal materia prima es el trigo, excepto en la Región de O'Higgins, donde el maíz es la principal materia prima, y el principal cultivo productivo (ODEPA, 2011b).

Se emplearon los mismos factores usados por Simon *et al.* (2010), los que se adaptan a la realidad francesa, por lo que sería necesario emplear factores que fueran obtenidos y que se encontraran de acuerdo a la realidad nacional, pero el cálculo realizado sirve como una primera aproximación para evaluar el potencial energético que poseen los residuos agrícolas en Chile.

Desechos forestales

Parte importante de los recursos leñosos con que dispone el país se pierden en la forma de residuos, en toda la cadena de producción, desde las faenas de cosecha de bosques hasta la industria transformadora. Sin embargo, las tecnologías de cosecha tienden a dejar cada vez menos material leñoso en el bosque y la mayor proporción de estos residuos forestales se generan en los establecimientos de la industria primaria de la madera, dando origen a los denominados residuos madereros (Gómez y Vergara, 2010).

La industria primaria de la madera es aquella que realiza la primera transformación de la troza o rollizo. En esta categoría se encuentran los aserraderos, plantas de celulosa, plantas de tableros, fábricas de embalajes y plantas astilladoras. Los aserraderos se dividen a su vez en Aserraderos Móviles (que se transportan a lugares cercanos al bosque o en él) y Aserraderos Permanentes (fijos en un lugar y con funciones más complejas como secado artificial y otras operaciones de agregación de valor; González *et al.*, 2007).

Los tipos de residuos generados corresponden a: corteza (capa externa de la madera), lampazo (secciones laterales de la troza), aserrín (partículas de tamaño pequeño), viruta (cintas delgadas), y despunte (residuos de diverso tamaño provenientes del dimensionado). Cabe destacar que existen algunos residuos ya no considerados como tales puesto que han pasado a ser subproductos con precios definidos, estos son: astillas sin corteza (provenientes de los lampazos) y tapas (secciones laterales del tronco con caras sin corteza; Cuadro 4; González *et al.*, 2007; Bertrán y Morales, 2008; Gómez y Vergara, 2010).

Cuadro 4. Tipos de residuos industriales según la especie (Bertrán y Morales, 2008).

Tipo de Bosque	Manejo Forestal	Industria para cada tipo de bosque	Desecho
Pino radiata	Desecho de podas	Aserrío	Corteza
	Desecho de raleos		Aserrín Verde
	Desecho corta final		Tapas y cantonera
		Remanufacturas	Aserrín seco
			Virutas
			Despuntos
			Polvo de lija
	Celulosa	Corteza	
Eucalipto	Desecho de podas	Aserrío	Corteza
	Desecho de raleos		Aserrín Verde
	Desecho corta final		Tapas y cantonera
		Celulosa	Corteza
Bosque Nativo	Desecho corta final	Aserrío	Corteza
			Aserrín Verde
			Tapas y cantonera
			Confeción de leña

Respecto a la producción de madera aserrada se puede apreciar que existe un sostenido aumento la oferta de madera, sólo con bajas a partir del año 2007 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Producción de madera aserrada de pino radiata y otras especies (miles de m³) entre los años 1985 a 2009 (INFOR, 2010).

Año	Total	Pino Radiata	Otras Especies
1985	2.190,6	1.871,0	319,6
1986	2.025,9	1.746,7	279,2
1987	2.677,1	2.309,5	367,6
1988	2.710,3	2.380,9	329,4
1989	2.680,8	2.322,80	358,0
1990*	3.326,9	2.889,1	437,8
1991	3.217,5	2.750,7	466,8
1992	3.019,1	2.564,5	454,6
1993	3.112,9	2.663,1	449,8
1994	3.364,4	2.927,3	437,1
1995	3.801,8	3.394,3	407,5
1996	4.140,0	3.743,9	396,1
1997	4.661,3	4.274,0	387,3

Cuadro 5. (continuación).

Año	Total	Pino Radiata	Otras Especies
1998	4.550,7	4.221,9	328,8
1999	5.253,7	4.933,0	320,7
2000	5.698,1	5.351,2	346,9
2001	5.872,0	5.580,7	291,3
2002	6.438,9	6.193,1	245,8
2003	7.004,5	6.758,4	246,1
2004	8.014,8	7.753,7	261,1
2005	8.298,4	7.978,4	320,0
2006*	8.718,2	8.378,2	340,0
2007	8.340,4	8.014,9	325,5
2008	7.306,0	7.005,2	300,8
2009	5.836,3	5.565,7	270,6

* Años en que las cifras fueron obtenidas en base a censos realizados en la industria del aserrío.

Durante el año 2005 se registraron 920 aserraderos funcionando entre las Regiones de Coquimbo a Magallanes, los que generaron aproximadamente 3,2 MM de toneladas de desechos forestales con potencial para generar energía (González *et al.*, 2007). El 70,2% de la producción madera aserrada es aportada por 34 empresas (Cuadro 6), equivalente al 5,7% del total de aserraderos considerados, y del tipo permanente. Un 11,1% de las industrias aportan el 18% de producción y el resto de los aserraderos (83,2%), genera el 11,9% del total de producción informada. El total producido al año 2005 alcanzó 8.183.076 m³ sólidos sin corteza (m³ ssc).

Según el consumo de trozas, la conversión a diferentes productos (Cuadro 7) y la distribución en el país (Cuadro 8) se puede decir que existe un aumento sostenido del consumo de madera en el país entre los años 1986 y 2008, así como un aumento de productos elaborados y una disminución de las trozas destinadas a exportación, lo que denota mayor trabajo e industrialización de las empresas del rubro en Chile. La región del Biobío es la que concentra la mayor cantidad de consumo de madera del país, lo que coincide con ser la región de mayor explotación.

Cuadro 6. Número de industrias y producción total de madera aserrada en el año 2005 (González *et al.*, 2007).

Rango de producción m ³ ssc año ⁻¹	Aserraderos		Producción Acumulada	
	Nº	%	m ³ ssc año ⁻¹	%
45.000 y más	34	5,70%	5.741.794	70,20%
10.000 – 45.000	66	11,10%	1.472.095	18,00%
1.000 – 10.000	230	38,70%	873.118	10,70%
0 – 1.000	265	44,50%	96.068	1,20%
Total	595	100%	8.183.076	100%

Bionenergía en Chile

Cuadro 7. Consumo nacional de madera en trozas (miles de m³ sólidos sin corteza) entre los años 1985-2009 en Chile (ODEPA, 2010).

Año	Total	Pulpa mecánica	Pulpa química	Madera aserrada	Tableros y chapas	Trozas aserrables exportación	Trozas pulpables exportación	Astillas	Otros
1985	9.561	394	2.999	4.578	316	1.260	14	-	-
1986	9.325	416	3.174	4.212	359	1.025	139	-	-
1987	11.569	439	3.221	5.595	364	1.273	677	-	-
1988	12.579	476	3.099	5.665	538	1.406	1.395	-	-
1989	12.562	431	2.707	5.603	600	863	1.131	1.227	-
1990	14.259	414	2.182	6.998	608	1.033	579	2.250	195
1991	17.044	472	3.727	6.875	689	761	597	3.760	163
1992	18.806	500	6.487	6.450	697	1.039	248	3.088	297
1993	19.982	463	6.206	6.651	827	1.430	155	3.919	330
1994	21.401	502	6.717	7.163	897	1.569	273	3.897	382
1995	24.881	757	7.204	8.322	939	1.694	533	5.086	346
1996	22.938	524	6.836	8.742	872	1.410	206	3.971	377
1997	23.606	526	6.694	9.792	862	1.477	252	3.627	376
1998	21.315	577	6.829	9.208	876	229	186	3.147	263
1999	23.178	635	6.641	10.434	894	407	508	3.099	561
2000	24.437	764	7.282	11.405	907	81	600	2.921	478
2001	25.682	1.012	7.647	11.957	1.124	53	465	3.019	405
2002	25.491	852	7.104	12.565	1.343	151	370	2.627	477
2003	27.491	815	7.730	13.709	1.551	31	270	2.943	443
2004	31.998	1.293	9.919	15.510	1.813	75	198	2.698	491
2005	32.657	1.298	9.580	16.133	2.029	6	79	3.033	499
2006	33.218	1.284	9.121	16.769	2.316	5	48	3.283	393
2007	38.416	1.292	14.490	15.990	2.394	10	6	3.853	381
2008	39.869	1.304	15.666	13.968	3.317	1	0	5.246	368
2009	36.401	1.378	15.220	11.441	3.355	2	0	4.725	280

Cuadro 8. Consumo de madera en trozas a nivel regional en el año 2009 en Chile (ODEPA, 2010).

Región	Consumo	
	Miles m ³ Sólidos Sin Corteza	%
04 Coquimbo	0	0,0%
05 Valparaíso	273	0,8%
06 O'Higgins	870	2,4%
07 Maule	4.692	12,9%
08 Biobío	20.052	55,1%
09 Araucanía	5.333	14,7%
10 Los Lagos	1.775	4,9%
11 Aisén	20	0,1%
12 Magallanes	80	0,2%
13 Metropolitana	0	0,0%
14 Los Ríos	3.292	9,0%
Total	36.387	100%

Estimación de residuos forestales

Se estima que el total de residuos forestales generados en el año 2005 en Chile fue de 3.253.724 toneladas (González *et al.* 2007). Los residuos totales generados, pueden clasificarse como aserrín de aserradero (56,1%), de corteza (15,1%) y el lampazo (12,2%), mientras que el menos producido corresponde al aserrín de elaboración (Cuadro 9).

Cuadro 9. Residuos forestales generados según tipo de residuos y tipo de aserradero (t año⁻¹) en el año 2005 (González *et al.*, 2007).

	Tipo de residuo (t año ⁻¹)						Total	%
	Lampazo	Aserrín aserrado	Aserrín elaboración	Despunte	Viruta	Corteza		
Móvil Portátil	27.852	6.359	0	0	0	3.847	38.059	1,2%
Móvil Tradicional	97.721	88.776	0	0	0	16.539	203.036	6,2%
Subtotal móv.	125.574	95.135	0	0	0	20.386	241.095	7,4%
Permanente tradicional	126.414	815.824	0	0	0	214.419	1.156.657	35,5%
Permanente c/remanufact.	7.037	516.355	53.027	176.758	123.730	138.987	1.015.893	31,2%
Permanente c/elaboración	138.675	399.604	61.470	24.302	98.638	117.389	840.078	25,8%
Subtotal perm.	272.125	1.731.783	114.498	201.060	222.369	470.795	3.012.629	92,6%
Total	397.699	1.826.918	114.498	201.060	222.369	491.182	3.253.724	100%
%	12,2%	56,1%	3,5%	6,2%	6,8%	15,1%	100%	

* Se asume una densidad de 650 Kg m³ para los residuos (excepto corteza, cuyo peso es de 380 Kg m³), valores promedios propios para la especie pino radiata, la que representa más del 95% del volumen total de residuos, a un contenido de humedad media de 50%.

Bionenergía en Chile

La mayor producción de residuos madereros se genera en la región del Biobío (56,1%), seguida de las regiones del Maule (16,4%) y de la Araucanía (10,3%; Cuadro 10).

Cuadro 10. Distribución regional de residuos madereros (t año⁻¹) en el año 2005 (González *et al.*, 2007).

Región	Total	%
IV	51	0%
V	20.549	0,6%
VI	109.588	3,4%
VII	534.934	16,4%
VIII	1.826.272	56,1%
IX	371.045	11,4%
X	334.192	10,3%
XI	10.478	0,3%
XII	46.428	1,4%
RM	189	0%
Total	3.253.724	100%

Los residuos son destinados principalmente a la comercialización (55,6%), seguido del autoconsumo (34,5%), y muy pocas empresas regalan (6%) o lo acumula (3,9%; Cuadro 11).

Cuadro 11. Destino de los residuos madereros según tipo (t año⁻¹) en el año 2005 (González *et al.*, 2007).

Tipo de residuo	Destino (t año ⁻¹)				Total	%
	Comercializa	Regala	Autoconsume	Acumula		
Lampazo	298.660	29.690	59.477	9.872	397.699	12,2%
Aserrín aserradero	967.150	125.117	634.570	100.081	1.826.918	56,1%
Aserrín elaboración	61.626	6.614	43.119	3.138	114.498	3,5%
Despunte	77.621	3.262	120.146	31	201.060	6,2%
Viruta	75.066	8.847	136.751	1.704	222.369	6,8%
Corteza	327.415	21.739	129.725	12.302	491.182	15,1%
Total	1.807.538	195.270	1.123.788	127.129	3.253.724	100%
%	55,6%	6%	34,5%	3,9%	100%	

Los precios alcanzados por los residuos (Cuadro 12), son variables, distinguiéndose dos grupos: los despuntes y lampazos que alcanzan mayor valor; mientras que la corteza, la viruta y el aserrín, alcanzan menores valores. El valor de los residuos tiene relación con su potencial uso, ya que mientras mayor volumen posea el residuo, mayores son sus potenciales usos.

Cuadro 12. Precios medios por unidad según tipo de residuos en el año 2005 (González *et al.*, 2007).

Tipo de residuo	Precio de venta (\$ m ³ [metro estéreo]) *	
	Origen	Destino
Lampazo	2.854	4.435
Despunte	3.421	4.900
Corteza	670	1.057
Viruta	746	1.229
Aserrín	704	1.313

*1 metro estéreo = una pila de 1 x 1 x 1 m.

Estimaciones de potencial generación de energía a partir de biomasa

En Chile se estima que la capacidad instalada para generación eléctrica a partir de biomasa forestal llega a los 722 MW (CORMA, s/a), considerando las plantas que entregan sus excedentes al Sistema Interconectado Central (SIC) y las que producen para autoconsumo. En el supuesto que las empresas entregaran toda la electricidad generada al SIC, la participación de la biomasa en la matriz eléctrica nacional subiría de un 1,2% al 5,1%, y la participación de las ERNC aumentaría del 2,7% a un 6,5% (Muñoz, 2011).

El manejo del bosque nativo tiene potencial para generar 4.723 MW brutos de energía (Pontt, 2008), mientras que con el manejo de plantaciones y residuos de la industria forestal y maderera, el potencial bruto es de 1.435 MW. Respecto al análisis por región se observa que la X Región posee el mayor potencial energético de biomasa, sin embargo esto está fuertemente influenciado por el manejo del bosque nativo, si se excluyera esto la VIII Región sería la con mayor potencial (Cuadro 13).

Cuadro 13. Potencial bruto (MW) por tipo de residuo y región en el año 2006 (Pontt, 2008).

Región	Manejo Forestal		Residuos Industria		Manejo Bosque Nativo		Total		%
	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%	

En el Cuadro 14 se muestra la estimación de valores de la potencia instalable factible de generación de energía en base a biomasa forestal en Chile para el período 2006-2017. Estos valores corresponden a los mínimos calculados por año en el período 2006-2017 para los ítemes Mínima y Máxima, que corresponden a un 50% y 75% respectivamente del potencial teórico estimado (Bertrán y Morales, 2008). La Región del Biobío corresponde a la con mayor potencial estimado (entre 133 y 199 MW), y la siguen las regiones anexas tanto al norte (Región del Maule) como al sur (Región de la Araucanía). A pesar de que la VIII Región, posee el mayor potencial, éste probablemente no pueda estar disponible debido a que corresponde en más de un 71% a una región de influencia industrial forestal, por lo que el destino de la madera producida no se destinaría a generación de energía, sino a productos derivados de la madera, como pulpa, papel, madera aserrada o tableros (Bertán y Morales, 2008). Se estiman un total de entre 313 a 469 MW, para la potencia instalada total mínima y máxima respectivamente.

Cuadro 14. Potencia instalable factible de generación de energía en base a biomasa forestal para el periodo 2006-2017 en Chile (Bertrán y Morales, 2008).

Región	Potencia instalada factible (MW)	
	Mínima (50% del potencial teórico)	Máxima (75% del potencial teórico)
VI	13	19
VII	63	95
VIII	133	199
IX	68	103
X*	36	53
Total	313	469

*Representa a las regiones X y XIV.

Realidad Nacional

La generación de energía en base a desechos de biomasa forestal en Chile es la opción más viable según la comunidad científica (González *et al.* 2007; Bertrán y Morales, 2008; Pontt, 2008; Programa Chile Sustentable, 2008; Dalberg, 2008; Delgado, 2010). En el país existen 13 unidades generadoras relacionadas con biomasa y biogás las que corresponden al 2,04% de la potencia neta instalada del Sistema Interconectado Central para el año 2010 (Cuadro 15; CDEC-SIC, 2010; CNE, 2011b). En el Cuadro 16 se resume una lista parcial de proyectos aprobados por el Servicio de Evaluación Ambiental de generación de energía con biomasa en Chile (SEA, 2011). Es importante señalar que la mayoría de estas plantas utilizan recursos dendroenergéticos ya sea directa o indirectamente. Además las plantas se concentran en la VIII Región, lo que tiene relación con el nivel de explotación forestal de la región. También resulta de suma importancia señalar la creciente cantidad de plantas que usan biomasa a través del tiempo en Chile, lo que ha ido generando un aumento sostenido de la energía por este medio (Figura 16).

Cuadro 15. Unidades generadoras del Sistema Interconectado Central en base a biomasa o biomasa-petróleo en Chile (CDEC-SIC, 2010; CNE, 2011b).

Propietario	Nombre Central	Año puesta en servicio	Tipo de combustible primario	N° unid.	Potencia bruta	Potencia neta
					Total MW	Total MW
Celulosa Arauco y Constitución S.A.	Arauco	1996	Biomasa-Petróleo N°6	1	30,1	30,1
	Licanten	2004	Biomasa-Petróleo N°6	1	27	4
	Valdivia	2004	Biomasa-Petróleo N°6	1	70	61
	Nueva Aldea III	2008	Biomasa	1	65	37
	Constitución	1995 - 2007	Biomasa	1	20	8
Energía Verde	Constitución	1995 - 2007	Biomasa	2	10,856	10,1
	Laja	1995 - 2007	Biomasa	2	12,5	11,7
Paneles Arauca S.A.	Cholguán	2003	Biomasa-Petróleo N°6	1	29	13
	Nueva Aldea I	2005	Biomasa	1	29,3	14
Masisa Ecoenergía	MASISA	2010	Biomasa	1	11	10,5
Arauco Energía	TG6 (excedentes al SIC)	En pruebas de conexión	Desechos Forestales	1	23	23
Total Generado					352,8	247,3

Bionenergía en Chile

La electricidad generada en base a biomasa en Chile es utilizada, principalmente, por la industria del papel y la celulosa (Pontt, 2008). Sin embargo, según la población chilena al año 2011 de 17.248.450 habitantes (INE y CEPAL, 2005) y asumiendo una distribución uniforme de la electricidad a los habitantes del país, estaría beneficiándose a 363.942 personas, lo cual puede ser importante si se considera a las personas que habitan en zonas remotas sin acceso a la electricidad.

Cuadro 16. Proyectos de generación de energía con biomasa aprobados por el Sistema de Evaluación Ambiental en Chile (SEA, 2011).

Nombre	Región	Titular	Inversión (MMU\$)	Año
Planta de cogeneración con biomasa en Norske Skog Biobío	Octava	Papeles Norske Skog Biobío Ltda.	60	2010
Reemplazo de Caldera de Petróleo por Generación de Energía Térmica por biomasa	Quinta	Energías Industriales S.A.	5	2009
Embarcadero, Uso de Biomasa y Depósito de Cenizas Central Térmica Andino	Segunda	Central Termoeléctrica Andina S.A.	5,25	2009
Planta de cogeneración de Energía Eléctrica y Vapor con Biomasa en CFI Horcones Caldera de Biomasa CFI Horcones	Octava	Celulosa Arauco y Constitución S.A.	73	2007
Sistema de Cogeneración de Energía con Biomasa Vegetal Cogeneración MASISA Cabrero	Octava	MASISA S.A.	17	2007
Cogeneración de Energía con Biomasa Vegetal	Octava	Allan Lomas Redón	10	2005
Modificación Proyecto Caldera a Biomasa en Planta Pacífico MININCO	Novena	CMPC Celulosa S.A.	35	2005
Caldera a Biomasa en Planta Pacífico, Mininco	Novena	CMPC Celulosa S.A.	25	2004
Caldera a Biomasa	RM	Vapores Industriales S.A.	1,2	2001

Capítulo 2. Producción de desechos agrícolas y forestales

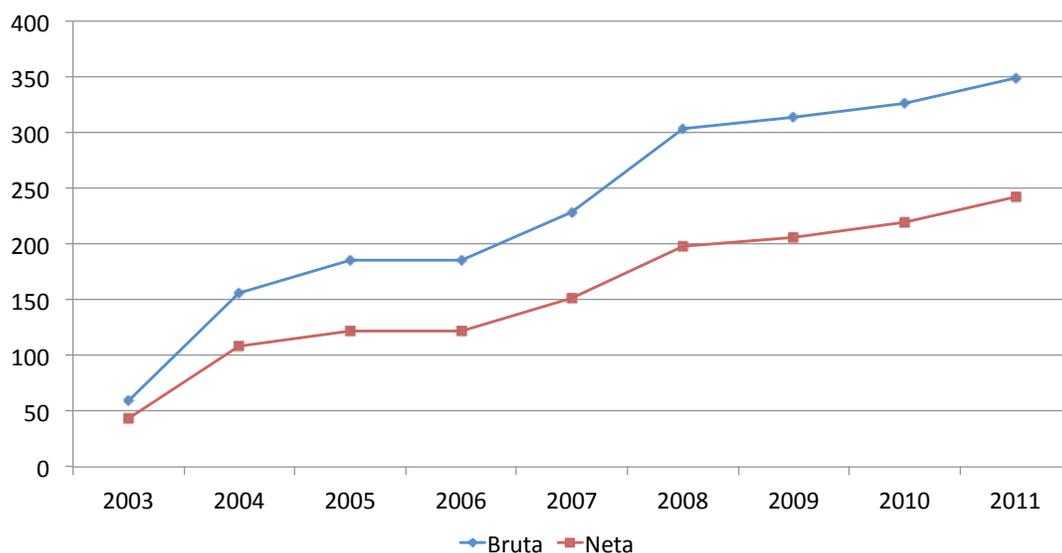


Figura 16. Potencia Bruta y Neta (MW) de Unidades generadoras Sistema Interconectado Central de Chile, en base a Biomasa o biomasa-petróleo acumulada años 2003 a 2011 (CNE, 2011b).

La biomasa forestal también puede ser ocupada como leña, la cual tiene una fuerte presencia dentro de la matriz energética nacional, llegando el año 2006 a representar cerca del 16% de las energías primarias y el 17,5% a nivel de energías secundarias, mientras que el 2010 un 20,5% y un 18% respectivamente (CNE, 2010). 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 destacar que se usa en especial para calefacción y cocina, y en la zona sur del país se concentra su uso, por su mayor disponibilidad. Lo negativo de esta práctica es su importante impacto ambiental por la mala combustión a la cual es sometida (alto % de humedad), por lo que se requiere de mejoras a nivel de certificación y tecnologías de uso (Pontt, 2008).

Capítulo 3

Cultivos agrícolas y forestales con potencial energético

Cultivos agrícolas con potencial energético

En Chile no existen cultivos agrícolas que tengan como fin la producción de energía (San Martín *et al.*, 2010). En nuestro país se producen cultivos que podrían utilizarse con fines energéticos, sin embargo, el principal y más importante uso, es alimenticio. Los principales combustibles que se pueden obtener a partir de los cultivos agrícolas son el biodiésel y el etanol (Agarwal, 2007). El biodiésel corresponde a los ésteres alquílicos que se obtienen luego del proceso de transesterificación de aceites vegetales y grasas animales (Srivastava y Prasad, 2000). El etanol se obtiene por medio de la fermentación de carbohidratos, principalmente de almidón y sucrosa (sacarosa). El método de fermentación más convencional utiliza levaduras para la obtención del alcohol (Reijnders y Huijbregts, 2009), también es posible la obtención de otros alcoholes (*e.g.* metanol; Agarwal, 2007).

Producción de etanol

Las principales especies que se cultivan en el país, y que poseen potencial para ser convertidas en energía son, el trigo y el maíz. Los granos del trigo poseen alrededor de 71% de azúcares en su composición, mientras que los granos de maíz contienen 85% de azúcares (Román *et al.*, 2009), siendo materias primas de excelente calidad para la producción de etanol. El maíz y el trigo -en ese orden-, son las principales materias primas para la producción de etanol en Estados Unidos y Canadá (Mabee *et al.*, 2011). En el año 2009 Estados Unidos fue el principal productor de etanol en el mundo con 40.125 MM L, seguido por Brasil con 24.900 MM L (RFA, 2011). Desde el año 2005 Estados Unidos, pasó a ser el principal productor de etanol a nivel mundial, superando a Brasil, país que por muchos años fue el principal y más importante productor de etanol (Crago *et al.*, 2010). En la actualidad Estados Unidos supera en más de 20% la producción de Brasil (Figura 5), aumentando drásticamente en relación al año 2006, donde la diferencia entre ambos países era sólo de 2% a favor de Estados Unidos (BNDES y CGEE, 2008).

Según el VII Censo Agropecuario y Forestal (INE, 2007), en Chile se siembran 228.324 ha de trigo y 102.955 ha de maíz (Cuadro 17), pero ninguna se emplea con fines energéticos. Según Cavieres (2006), nuestro país debiera comenzar a evaluar la producción de etanol empleando maíz como principal insumo, ya que los rendimientos por hectárea que alcanza sobrepasan los obtenidos por Estados Unidos, además la torta de maíz tiene un alto valor proteico, pudiendo emplearse como un subproducto de la producción de etanol, ya que sirve para la alimentación de ganado y de aves. Algo similar ocurre en Brasil con la producción de biodiésel empleando soya, ya que la torta de molienda genera mayor ingresos que el aceite (Nascimento *et al.*, 2011).

Cuadro 17. Superficie sembrada de los principales cultivos agrícolas con potencial energéticos durante la temporada agrícola 2006-2007 en Chile (INE, 2007).

Especie		Superficie Hectárea
Nombre Científico	Nombre Vulgar	
Alcoholígeno		
<i>Oryza sativa</i> L.	Arroz	21.579
<i>Avena sativa</i> L.	Avena	81.480
<i>Hordeum vulgare</i> L.	Cebada	17.091
<i>Zea mays</i> L.	Maíz	102.955
<i>Manihot esculenta</i> Crantz	Mandioca o yuca	5
<i>Solanum tuberosum</i> L.	Papa	53.732
<i>Triticum aestivum</i> L.	Trigo	228.324
<i>Cichorium intybus</i> L.	Achicoria	1.073
<i>Beta vulgaris</i> L.	Remolacha	19.515
<i>Medicago sativa</i> L.	Alfalfa	59.521
Oleaginosas		
<i>Carthamus tinctorius</i> L.	Cártamo	55
<i>Simmondsia chinensis</i> (Link) C.K. Schneid.	Jojoba	93
<i>Arachis hypogaea</i> L.	Maní	14
<i>Helianthus annuus</i> L.	Maravilla	503
<i>Brassica napus</i> L.	Raps o canola	10.545
<i>Cucurbita pepo</i> L.	Zapallo italiano	1.078
<i>Brassica rapa</i> L.	Rábano o nabo	40
<i>Olea europaea</i> L.	Olivo	15.450
<i>Persea americana</i> Mill.	Palto	39.255
<i>Vitis vinifera</i> L.	Uva	61.278

El maíz es la opción más viable para la producción de etanol en Chile (Cavieres, 2006), por sobre el trigo y el arroz, ya que sería la de menor costo energético y de producción (CATA, 2007a), lo que sugiere que es factible la obtención de etanol desde cultivos agrícolas tradicionales, principalmente desde trigo, maíz, remolacha y arroz, ya que la cantidad de terreno que actualmente se utiliza para estos cultivos es menor a la cantidad máxima de terreno que se ha empleado. Aún así, es difícil una expansión mayor de las hectáreas cultivadas, la cantidad de suelo disponible en Chile para la producción agrícola es mucho más acotada que en otros países.

El cultivo tradicional que representa mayor posibilidad de expansión para la producción de etanol es el trigo, durante la temporada agrícola 2010-2011 se sembró el 40,1% del máximo de tierra -676.560 ha- (Figura 17a), con el arroz y remolacha ocurre lo mismo, sembrándose el 58,4% y 35,7% de los máximos históricos -42.990 y 56.618 ha, respectivamente- (Figura 17b). Similar comportamiento tiene el cultivo de maíz aunque con menor margen de expansión, hoy en día se utiliza el 86,6% del máximo de tierras que se han empleado para su producción -138.370 ha-, aunque en la temporada agrícola 1999-2000 se registró el mínimo de tierras cultivadas con el 50% del máximo (ODEPA, 2011a). Para más información sobre las hectáreas sembradas ver Anexo 1.

Capítulo 3. Cultivos agrícolas y forestales con potencial energético

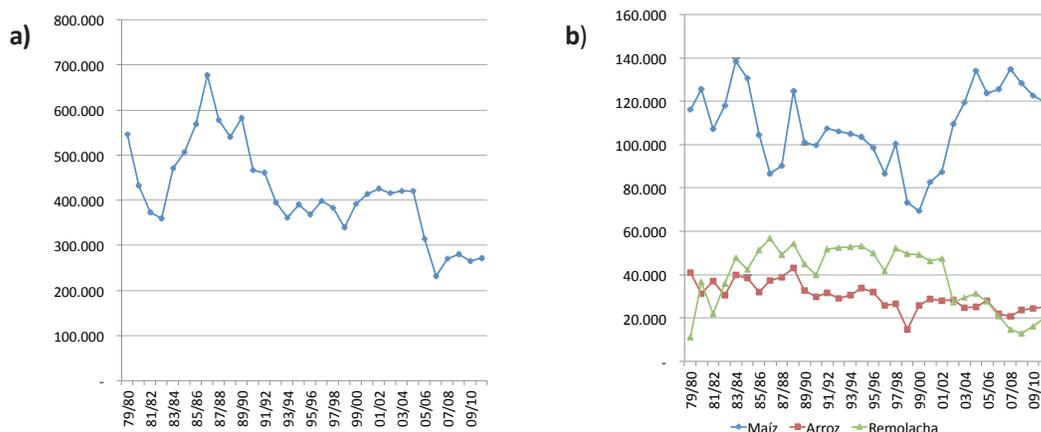


Figura 17. Evolución de la superficie sembrada (miles ha) desde la temporada agrícola 1979/1980 hasta temporada agrícola 2009/2010, a) con trigo y b) con maíz, arroz y remolacha (ODEPA, 2011a).

En los resultados del VII Censo Agropecuario y Forestal (2007) aparece el cultivo de Mandioca, aunque con una cantidad de hectáreas muy reducidas (5 ha; Cuadro 17). Esta especie es mencionada como una potencial fuente de materia prima para la producción de etanol, la raíz tubular posee entre 73,7 y 95,5% (base seca) de almidón (Román *et al.*, 2009), ya que a pesar de ser empleada como alimento, es un cultivo de subsistencia por lo que las productividades que alcanzaría al mejorar los manejos serían muy superiores a los que actualmente se alcanzan (Ziska *et al.*, 2009). Las condiciones climáticas existentes en Chile continental no son las óptimas para producir esta especie, es por esta razón que las cinco hectáreas cultivadas se encuentran en la Isla de Pascua, pudiendo ser una alternativa para abastecer de biocombustible a los habitantes de la isla.

Entre los antecedentes que existen sobre el uso de cultivos agrícolas para la producción de etanol en Chile, encontramos el proyecto de “The South Pacific Inc.” quienes por medio de un consorcio denominado Ethanol pretenden producir etanol, empleando maíz como materia prima, en la comuna de Las Cabras Región de O’Higgins. Este consorcio contará con la participación de 150 agricultores medianos que en conjunto suman alrededor de 8.000 ha. En total se producirían 110.000 m³ de etanol empleando 90 MM Kg de maíz. Si se considera la información de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, la Región de O’Higgins alcanzó un rendimiento promedio de 123,5 qqm ha⁻¹ -o 123.500 Kg ha⁻¹-, en la temporada 2009-2010 (ODEPA, 2011b), por lo que este proyecto podría producir alrededor de 98.800.000 Kg de maíz en las 8.000 ha. Según la Universidad Técnica Federico Santa María el factor de conversión del maíz es de 0,37 m³ t⁻¹ de materia prima (CATA, 2007a), por lo que la producción de etanol se encontraría alrededor de 36.556 m³ de etanol utilizando esa base de cálculo.

La producción de etanol desde fuentes alternativas y que no sean cultivos alimenticios (segunda generación), es poco factible, pero se destaca que puede contribuir al desarrollo rural, empleando algunos pastos perennes u otras especies agrícolas. En la actualidad los cultivos susceptibles de ser transformados en etanol que se producen son parte importante de la cadena alimentaria (salvo la mandioca, en la Isla de Pascua), lo que resta posibilidades para el desarrollo de este biocombustible.

Producción de biodiésel

Los principales cultivos oleaginosos que se producen en Chile son, en orden decreciente, la uva, el palto y el olivo (Cuadro 17). En los tres casos el uso principal es alimenticio, aunque no es un alimento básico, son muy valorados en los distintos mercados. El contenido de aceite en las semillas de las uvas es bajo, y oscila entre 6 y 20% (El Bassam, 2010), tiene importancia al emplearse como aceite alimenticio el cuál posee un alto contenido de ácido Linoleico (72 - 76%) y taninos lo que lo convierte en un aceite valioso en el ámbito nutricional y medicinal (Cao e Ito, 2003).

El palto es el segundo cultivo oleaginoso de importancia en Chile, y su fruto posee entre 12,7 y 34,8% de aceite (Román *et al.*, 2009), además es una de las 10 especies oleaginosa con mayor productividad, con 2.500 L aceite ha⁻¹ (El Bassam 2010). El fruto de la palta tiene un alto contenido de tocoferol, carotenoides y esteroides, que poseen propiedades antioxidantes y reducen el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Villa-Rodríguez, 2011), siendo un alimento muy apetecido.

Los frutos del olivo -la aceituna- poseen entre 20 y 30% de aceite, siendo el ácido oleico el que se encuentra en mayor proporción (68,2 a 78,1%; Román *et al.*, 2009). Esta especie es un alimento muy valorado, tanto por el aceite como por sus frutos. El aceite contiene altas cantidades de antioxidantes, además su composición de ácidos grasos le confiere estabilidad oxidativa y que sea nutricionalmente valorado (Yousfi *et al.*, 2006; Román *et al.*, 2009).

El principal insumo para la producción de biodiésel son los aceites vegetales, aunque también pueden emplearse grasas animales. Durante la temporada agrícola 2010-2011, la producción mundial alcanzará hasta 145 MM t (Figura 18), un 4,64% mayor que en la temporada anterior.

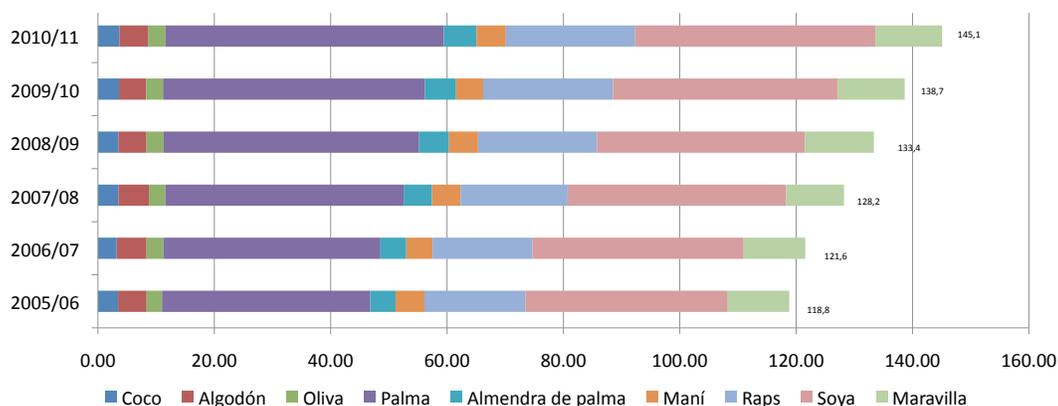


Figura 18. Producción mundial de aceite (MM t) desde la temporada agrícola 2005-2006 a 2010-2011 (USDA, 2010).

* La producción de aceite durante la temporada agrícola 2010-2011 corresponde a estimaciones efectuadas por el USDA en octubre del 2010.

Entre las especies consideradas como las principales oleaginosas (Figura 19), la palma aceitera, soya, raps y maravilla representan alrededor del 85% de la producción mundial (USDA, 2010). El raps y maravilla son las que mayor capacidad tienen de adaptarse a las condiciones edáficas y climáticas del país y constituyen alternativas para la producción de biodiésel de primera generación (CATA, 2007a; Iriarte *et al.*, 2010).

La cantidad de tierra disponible para la producción de raps y maravilla es mucho mayor que la que actualmente se utiliza, durante la temporada agrícola 2010-2011 se sembró un 30,4% (18.568 ha) y 8,2% (2.652 ha) del máximo de tierras que se han utilizado para la producción de raps y maravilla respectivamente (ODEPA, 2011a). La cantidad de superficie sembrada en ambas especies ha sido muy variable desde comienzos de la década de los 80, existiendo oscilaciones entre temporada agrícola en la cantidad de hectáreas sembradas, en el caso del raps durante la temporada agrícola 2001-2002 se sembraron solamente 750 ha, siendo el mínimo de tierra utilizado para la producción de ambas especies (Figura 19).

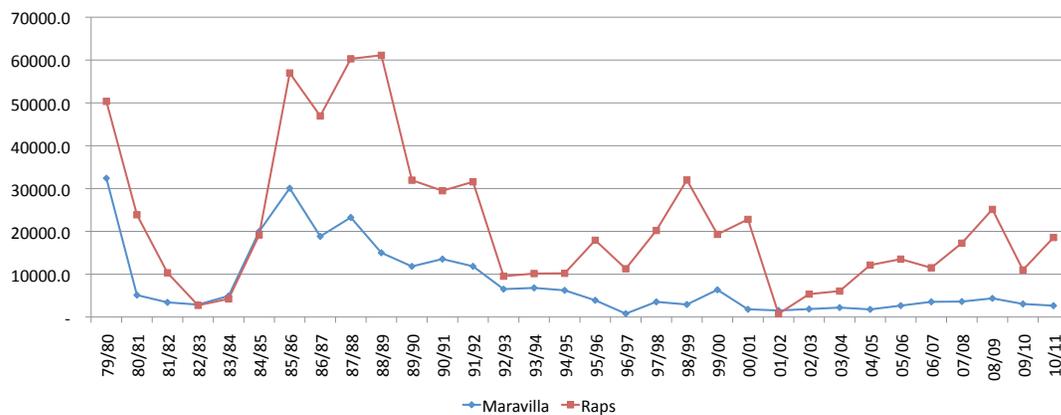


Figura 19. Evolución de la superficie sembrada (miles ha) desde la temporada agrícola 1979-1980 hasta temporada agrícola 2010-2011 para el cultivo de raps y maravilla (ODEPA, 2011a).

El raps y la maravilla, son las principales materias primas para la producción de aceite para biodiésel, en conjunto cubren el 97% de la materia prima para la producción mundial de biodiésel, el resto proviene de la palma aceitera (1%), soya (1%) y de varias especies (1%). En la Unión Europea el principal insumo es el aceite de raps, el que además es subsidiado para la producción de biodiésel, de otra manera -y debido a los altos precios en los mercados- no sería viable su utilización como materia prima (Thoenes, 2007; Tan *et al.*, 2009). La Unión Europea, y Alemania más específicamente, son los principales productores de biodiésel (Figura 7), a diferencia de lo que ocurre con la producción de etanol donde no hay ningún país europeo entre los más importantes, en este caso son seis los países europeos los que se encuentran entre los diez primeros productores a nivel mundial.

Tan *et al.* (2009) sostiene que la palma aceitera debiera ser el principal insumo para la producción de aceite para biodiésel, ya que esta especie es la que alcanza mayores productividades por hectárea. La palma puede llegar a producir hasta 5.700 L ha⁻¹, a diferencia del raps y la maravilla, que alcanzan productividades de 1.140 L ha⁻¹ y 910 L ha⁻¹ respectivamente (El Bassam, 2010). Para Chile no es alternativa emplear la palma aceitera, ya que sus condiciones edáficas y climáticas difieren de las existentes en nuestro territorio. Por lo que por el momento las materias primas más propicias para la producción de aceite para biodiésel siguen siendo el raps y la maravilla.

Estos cultivos son las opciones más viables para la producción de aceite para biodiésel que dispone Chile. La principal limitación que presentan para su utilización como materia prima, es que el raps es un valioso alimento para la industria salmonícola y ganadera, mientras que la maravilla se emplea para la elaboración de aceite vegetal para consumo humano o para la exportación de sus semillas (CATA, 2007a; Iriarte *et al.*, 2010).

Según la Universidad Técnica Federico Santa María, para abastecer la demanda de biodiésel del país -considerando desde un 2% de reemplazo-, la utilización de maravilla como principal insumo es inviable, ya que la cantidad de tierra disponible para la producción del biocombustible no alcanzaría para abastecer la demanda. Con el raps la situación es similar, aunque en este caso se puede abastecer la demanda con un reemplazo del 2%, pero cuando se requiere cubrir el 5% de la cantidad de hectáreas disponibles no son suficientes (CATA, 2007a).

Las especies para la producción de biocombustibles de primera generación, en lo general establecen competencia por la utilización de cultivos destinados a alimentos o parte de la cadena alimentaria, lo que puede afectar negativamente su producción con el fin primario y los precios de comercialización (Gui *et al.*, 2008). Prácticamente la totalidad de la producción de biodiésel a nivel mundial es con cultivos alimenticios (raps, maravilla, palma aceitera y soya), por lo que se ha abierto un gran debate sobre la pertinencia de emplear aceite comestible para ser transformado en combustible (Gui *et al.*, 2008; Tan *et al.*, 2009). La utilización de cultivos que no sean alimenticios -o producción de biodiésel de segunda generación- podría servir de solución ante esta problemática (Sims *et al.*, 2010).

La única especie de segunda generación que se produce comercialmente en el país, y que puede utilizarse para la producción de biodiésel, es la jojoba, donde se emplean 93 ha para su producción (Cuadro 17), concentradas todas en la Región de Atacama (INE, 2007). Los principales usos que posee el aceite de jojoba son en la industria cosmética y en la elaboración de lubricantes, también se emplea en la industria farmacéutica, para alimentación ligera (diet), hormonas vegetales, entre otros, pero en menor medida (Franck, 2006; Shah *et al.*, 2010). La utilización de este aceite para la producción de biodiésel está limitado por su alta valoración por la industria cosmética y de lubricantes.

La producción de biodiésel existente en Chile se basa en la utilización de aceite de cocina reciclada y grasas animales. Existen dos antecedentes sobre utilización de cultivos agrícolas (de primera y de segunda generación) para la producción de biodiésel. El primero es el que lleva a

cabo la Universidad de La Frontera en conjunto con el Molino Gorbea y Copec, donde se pretende producir 241.000 L biodiésel por año, empleando aceite de raps para su producción (Riadi, 2009). El segundo lo ejecuta la empresa Comercial Bio-Diésel Chile Ltda. quienes pretenden producir 50 m³ de biodiésel por mes utilizando aceite de higuera como materia prima.

Otros estudios que se han llevado a cabo demuestran que guindilla y camelina, también serían alternativas de segunda generación para la producción de biodiésel. En el primer caso se trata de una especie nativa, que crece entre las regiones de Valparaíso y del Maule, sus semillas poseen alrededor de 38% de aceite. Se estudió la posibilidad de producción del biodiésel y sus propiedades empleando su aceite como materia prima, demostrando que es una alternativa real (San Martín *et al.*, 2010). En el segundo caso, se evaluó la productividad que alcanza esta especie bajo las condiciones de algunas ciudades del centro-sur de Chile. Los rendimientos oscilaron entre 420 - 2.314 Kg ha⁻¹ semillas, mientras que el contenido de aceite varió entre 39,8 y 45,4%, siendo también una interesante alternativa (Berti *et al.*, 2011).

Jatropha es otra especie que se ha evaluado en el país, estudiando las zonas de Chile donde sería posible su introducción y adaptación. Los resultados demuestran que existen sobre 2,8 MM ha disponible para su producción considerando restricciones hídricas, térmicas y usos de suelo. La Región de Antofagasta es la que posee la mayor cantidad de terreno disponible con 1,2 MM ha, pudiendo ser una alternativa real para su producción (Labra, 2009; Vásquez, 2009).

Cultivos forestales con potencial energético

Chile posee una superficie total de 75,5 MM de hectáreas, sin contar el Territorio Antártico Chileno (IGM, 2010). Del total un 45%, es decir 33,8 MM de hectáreas tienen aptitud forestal. De ellas, 16,6 MM de hectáreas son bosques nativos y plantaciones forestales. Las restantes 17,2 MM de hectáreas son áreas protegidas, de las cuales 14,5 MM de hectáreas son áreas silvestres protegidas, constituidas por Parques Nacionales y otras superficies comprendidas en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE; Bertrán y Morales, 2008; Delgado, 2010; CONAF, 2011).

Los bosques productivos del país están constituidos por tres tipos de recursos principalmente: bosques nativos adultos, bosque nativo renoval y plantaciones forestales. Los bosques nativos adultos, que alcanzan las 5,9 MM de ha para el año 2011 (35,5% del total de bosques), han sufrido degradación por explotación selectiva, convirtiéndolos en poco rentables, salvo una fracción menor explotable (811.678 ha). Los bosques nativos renovales, que alcanzan 3,8 MM de ha para el año 2011 (22,8%), constituidos por árboles jóvenes, que crecen en zonas donde hubo incendios. En tercer lugar están las plantaciones forestales que comenzaron a establecerse en Chile a fines del siglo XIX y que cubren una superficie de 2,9 MM de ha al 2011 (17,2%). El resto de los bosques lo componen bosque adulto renoval, bosque mixto bosque achaparrado y bosque de subuso protegido, con un total de 4,1 MM de ha para el año 2011 (24,5%). Es importante destacar el aumento de alrededor de 1 MM de ha del total de bosques de 2011 respecto al año 1997 (cuadros 18 y 19), debido al incremento de plantaciones y renovales (Bertrán y Morales, 2008; CONAF, 2011).

Cuadro 18. Superficie de bosques según su clasificación al año 2011 en Chile (CONAF, 2011).

Tipo de Bosques	Catastro 1997		Actualización 2011	
	Ha	%	Ha	%
Bosque Nativo	13.430.602	85,8	13.599.610	81,6
Bosque Adulto	5.977.839	38,2	5.912.235	35,5
Renoval	3.585.746	22,9	3.808.769	22,8
Bosque Adulto-Renoval	861.925	5,5	892.822	5,4
Bosque Achaparrado	3.005.092	19,2	2.985.784	17,9
Plantación Forestal	2.119.005	13,6	2.872.007	17,2
Bosque Mixto	87.626	0,6	123.756	0,7
Subuso Protección	0	0	81.502	0,5
Total	15.637.233	100	16.676.875	100

Cuadro 19. Superficie de bosques comerciales según su clasificación (Bertrán y Morales, 2008; CONAF, 2011).

Tipo de bosque	Superficie	
	Ha	%
Bosque Nativo	5.637.025	66,2%
Adulto	811.678	9,5%
Renoval	3.808.769	44,8%
Adulto/Renoval	892.822	10,5%
Bosque mixto	123.756	1,5%
Plantaciones	2.872.007	33,8%
TOTAL	8.509.032	100%

Capítulo 3. Cultivos agrícolas y forestales con potencial energético

La superficie de bosques comercialmente explotables (Cuadro 19), descontando las áreas protegidas, tiene una superficie que se considera bosques nativos productivos y alcanza aproximadamente 5,6 MM de ha (66,2% del total comercial) a los que se suman alrededor de 2,9 MM de ha de plantaciones forestales (33,8%), para un total de 8,5 MM de ha explotables comercialmente en el país. A pesar de la diferencia a favor del bosque nativo, éste sólo contribuye con un 6% del suministro de trozas para uso industrial (Bertrán y Morales, 2008).

La Ley de Bosque Nativo aprobada en 2008 representa un mejoramiento sustantivo en el manejo de los bosques nativos chilenos (respecto al hecho tradicionalmente), dado que subsidia las actividades de manejo otorgándole un mayor valor al bosque en pie. Así se produce una gran cantidad de biomasa lo que representa una oportunidad para su uso energético y un beneficio para los propietarios, dado que el 80% del bosque nativo productivo se encuentra en manos de privados (79% del total de propietarios de bosque nativo poseen predios de menos de 100 ha; Delgado, 2010).

De la superficie nacional de bosque nativo para el año 2011, los tipos forestales mayoritarios corresponden a: siempreverde, con 4.131.995 ha. (30,4% del total), la lenga, con 3.581.635 ha. (26,3%), y el coihue de Magallanes, con 1.691.847 ha. (12,4%). Mientras que los de menor superficie son el Ciprés de la Cordillera y la Palma chilena. Es importante destacar que las tipologías forestales, cuyas especies dominantes pertenecen al género *Nothofagus* (Lenga, Coihue de Magallanes, Roble-Raulí-Coihue, Coihue-Raulí-Tepa y Roble-Hualo), son de alta importancia económica y ecológica para nuestro país, y suman 7.504.121 ha, equivalentes a poco más del 55% de la superficie total de bosques nativos (Cuadro 20; CONAF, 2011).

En el detalle de la superficie nacional de plantaciones forestales, por especie, se puede apreciar en la Figura 20 un constante aumento de la superficie, alcanzando un aumento de 839.560 ha entre los años 1990 a 2008. Al analizar las especies más importantes se observan panoramas disímiles, ya que a pesar de que tanto el pino radiata como el eucalipto poseen tendencias al alza, el primero es mucho más constante y sólo varía 213.931 ha en los años estudiados, mientras que el segundo es más creciente y varía 559.688 ha. A nivel de las otras especies se observan alzas sostenidas (Cuadro 21).

Cuadro 20. Superficie de bosques nativos por tipo forestal al año 2011 en Chile (CONAF, 2011).

Tipo Forestal	Actualización 2011	
	ha	%
Siempreverde	4.131.995	30,4
Lenga	3.581.635	26,3
Coihue de Magallanes	1.691.847	12,4
Roble-Raulí-Coihue	1.468.476	10,8
Ciprés de las Guaitecas	930.074	6,8
Coihue-Raulí-Tepa	556.189	4,1
Esclerófilo	473.437	3,5
Alerce	258.371	1,9
Araucaria	253.739	1,9
Roble-Hualo	205.974	1,5
Ciprés de la Cordillera	47.157	0,3
Palma chilena	716	0
Total	13.599.610	100

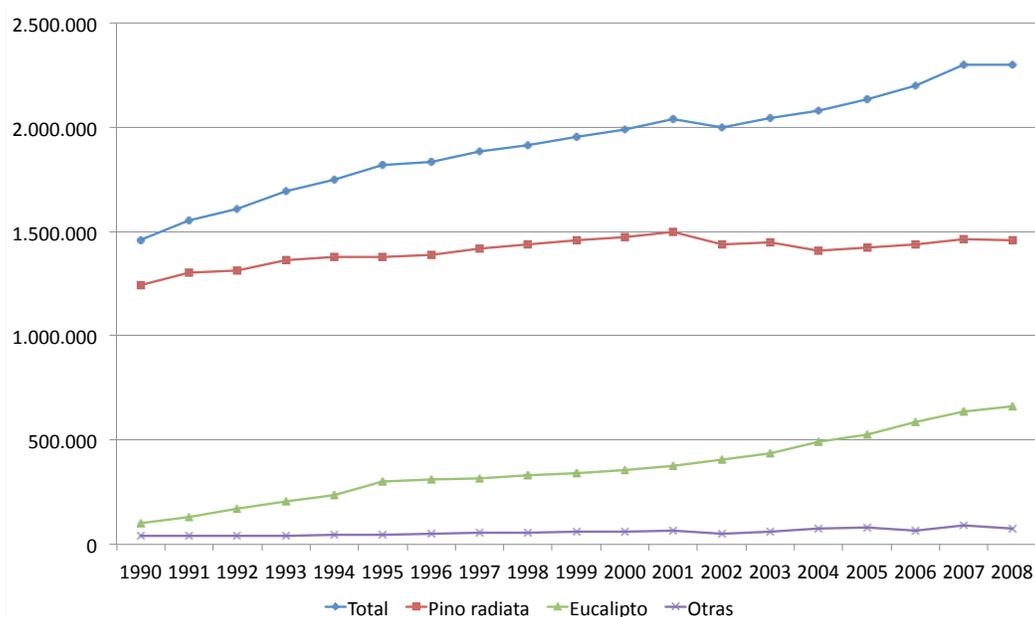


Figura 20. Superficie de plantaciones forestales industriales (ha) total, pino radiata, eucalipto y otros, 1990-2008, total para Chile (ODEPA, 2010).

Cuadro 21. Superficie de plantaciones forestales industriales (ha) entre los años 1990-2008 en Chile (ODEPA, 2010).

Año	Total	Pino Radiata	Eucalipto	Atriplex	Tamarugo/ Algarrobo	Pino Oregón	Alamo	Otras especies
1990	1.460.530	1.243.293	101.700	37.878	23.801	11.343	3.526	38.989
1991	1.555.255	1.305.325	130.915	40.663	23.801	11.731	3.660	39.160
1992	1.609.295	1.312.812	171.520	46.003	23.801	12.135	3.718	39.306
1993	1.694.104	1.360.918	206.711	45.193	23.814	12.090	3.798	41.580
1994	1.747.523	1.375.886	238.312	47.232	23.860	12.379	3.798	46.056
1995	1.818.185	1.379.746	302.248	48.274	23.862	12.477	3.842	47.736
1996	1.835.985	1.387.041	308.762	49.316	23.880	12.477	4.055	50.454
1997	1.881.925	1.420.015	317.212	49.320	23.950	12.620	4.115	54.693
1998	1.914.846	1.437.520	330.952	49.324	24.057	13.225	4.287	55.481
1999	1.952.288	1.458.320	342.415	50.787	24.113	13.942	4.298	58.413
2000	1.989.101	1.474.773	358.616	52.894	24.165	14.286	4.151	60.216
2001	2.037.403	1.497.340	376.786	53.682	24.263	14.184	4.077	67.071
2002	1.997.580	1.436.586	408.630	56.196	24.422	15.212	4.107	52.427
2003	2.046.430	1.446.414	436.706	57.615	24.539	15.627	5.084	60.445
2004	2.078.647	1.408.430	489.603	58.501	25.254	16.459	6.008	74.392
2005	2.135.323	1.424.569	525.057	58.512	25.999	16.769	5.983	78.434
2006	2.201.585	1.438.383	585.078	61.781	26.415	17.054	6.173	66.701
2007	2.299.334	1.461.212	638.911	58.851	25.799	16.075	6.395	92.091
2008	2.300.090	1.457.224	661.388	59.093	25.878	16.676	6.278	73.553

La distribución en el país de los recursos forestales nativos se encuentra mayoritariamente desde la Región de Los Lagos al sur (CONAF, 2011). Con la excepción de las Regiones de Los Lagos y de Los Ríos, el resto de los bosques son muy poco accesibles por lo que no se observan en esta área operaciones forestales de importancia. Las plantaciones forestales están en gran parte del país, aunque las más importantes son las de: pino radiata; eucalipto, pino oregón y álamo (Bertran y Morales, 2008). Estas plantaciones se distribuyen en mayor medida desde la Región del Maule a la Región de la Araucanía (Cuadro 22).

La forestación y reforestación por año, se resume en la Figura 21 con la ciclicidad de las variables (total, forestación y reforestación). Para el total se aprecia que en los años analizados (1994 a 2008) no hubo mayor diferencia de la cantidad inicial respecto a la final, esto estaría sugiriendo una velocidad constante de crecimiento de la cantidad total de bosques, tal como se observa en esa figura. Por otra parte resulta interesante señalar que reforestación y forestación presentan un comportamiento opuesto, ya que mientras uno crece, el otro disminuye. Sin embargo se podría decir que mientras la forestación baja, la reforestación sube, lo cual tiene lógica desde el punto de vista de que al aumentar la superficie de plantaciones en el país, cada vez queda menos espacio disponible (Cuadro 23). Bertrán y Morales (2008) agregan que en la superficie de corta anual, se asume que la reforestación promedio del último quinquenio está destinada a cubrir la corta final por tala rasa; ésta resulta ser 55 mil hectáreas anuales, pero como en las faenas de raleo no se corta todo el arbolado en pie, para los efectos de la determinación de volúmenes disponibles, es preciso agregar el material proveniente de raleos.

Cuadro 22. Superficie de plantaciones forestales industriales según la región en el año 2008 (CONAF, 2011).

Región	Total		Bosque Nativo		Plantación Forestal	
	ha	%	ha	%	ha	%
Arica y Parinacota	-	0,0%	-	0,0%		0,0%
Tarapacá	34.275	0,2%	7.300	0,1%	26.975	0,9%
Antofagasta	3.411	0,0%	-	0,0%	3.411	0,1%
Atacama	-	0,0%	-	0,0%	-	0,0%
Coquimbo	34.309	0,2%	31.266	0,2%	2.937	0,1%
Valparaíso	170.778	1,0%	106.376	0,8%	64.189	2,2%
Metropolitana	112.024	0,7%	105.549	0,8%	6.270	0,2%
O'Higgins	306.067	1,8%	185.313	1,4%	119.756	4,2%
Maule	1.011.827	6,1%	384.714	2,8%	607.594	21,2%
Biobío	2.052.982	12,4%	768.553	5,7%	1.227.788	42,8%
La Araucanía	1.538.452	9,3%	937.312	6,9%	572.188	19,9%
Los Ríos	1.040.156	6,3%	849.771	6,2%	179.545	6,3%
Los Lagos	2.795.921	16,8%	2.736.333	20,1%	54.223	1,9%
Aisén	4.823.555	29,1%	4.815.532	35,4%	7.109	0,2%
Magallanes	2.671.615	16,1%	2.671.592	19,6%	23	0,0%
Total	16.595.372	100%	13.599.610	100%	2.872.007	100%

Capítulo 3. Cultivos agrícolas y forestales con potencial energético

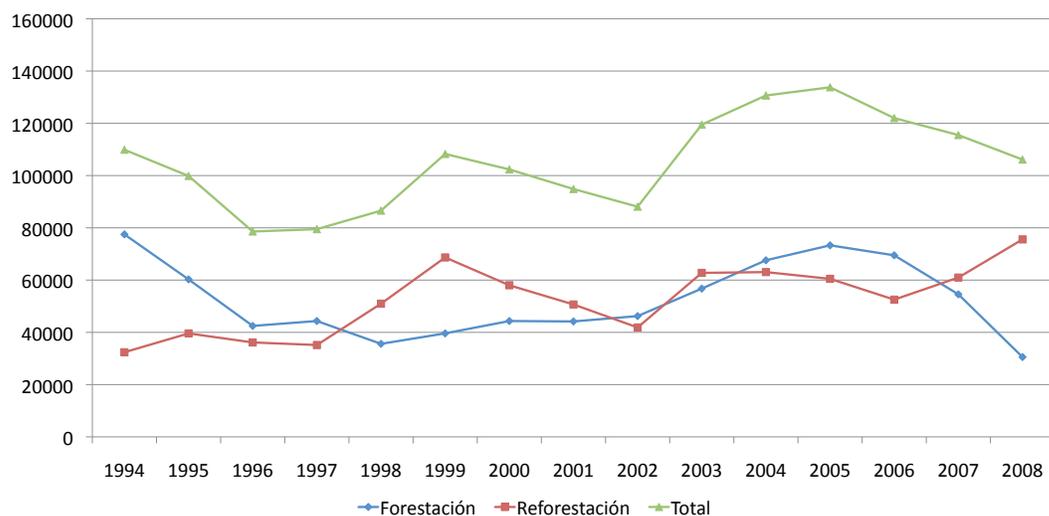


Figura 21. Superficie total de bosques plantados para Chile, años 1994-2008 (ha) (INFOR, 2009).

Cuadro 23. Superficie de bosques plantados (ha) entre los años 1994-2008 en Chile (INFOR, 2009).

Año	Total	Pino radiata		Eucalipto		Otras Especies	
		Forestación	Reforestación	Forestación	Reforestación	Forestación	Reforestación
1994	109.885	39.424	23.638	31.591	6.200	6.487	2.546
1995	99.857	30.594	32.130	24.126	5.428	5.546	2.034
1996	78.593	26.565	26.880	12.033	6.105	3.863	3.148
1997	79.484	28.376	27.493	11.444	5.598	4.516	2.057
1998	86.579	18.147	40.605	14.044	8.754	3.409	1.621
1999	108.269	22.606	47.320	13.243	20.306	3.759	1.037
2000	102.350	16.453	42.958	23.173	13.607	4.708	1.451
2001	94.855	14.884	33.548	22.739	15.806	6.553	1.325
2002	88.089	15.183	23.890	19.689	16.785	11.348	1.194
2003	119.496	17.137	41.077	31.029	18.623	8.578	3.053
2004	130.640	18.067	43.494	32.657	19.374	16.856	193
2005	133.783	22.171	38.148	40.693	15.530	10.442	6.800
2006	122.005	19.179	32.750	40.256	18.754	10.048	1.017
2007	115.509	22.922	41.394	24.905	18.702	6.718	868
2008	106.115	15.057	48.134	11.433	23.073	4.056	4.362

Los agentes que controlan el mercado forestal tienen un importante nivel de concentración de la industria, que ya en el año 1999 el 2% de los propietarios controlaban el 71% de las plantaciones, y los dos mayores propietarios tenían el 50% de las plantaciones. Mientras que para el año 2007, los dos mayores propietarios controlaban el 53,7% de las plantaciones. Los grandes aserraderos, fábricas de paneles y plantas de celulosa son los mismos propietarios de las plantaciones. Hoy en día son tres grupos que concentran la propiedad de plantaciones: Arauco S.A., Mininco S.A. y MASISA S.A (Cuadro 24; U. de Concepción, 2009).

Cuadro 24. Empresas con plantaciones forestales (ha) durante el año 2007 en Chile (U. de Concepción, 2009).

Empresa	Plantaciones ha.	Participación %
Arauco S.A.	730.000	32,4%
Mininco S.A. (CMPC)	480.000	21,3%
MASISA S.A.	235.000	10,4%
Volterra S.A.	13.000	0,6%
Forestal Tierra Chilena Ltda.	12.700	0,6%
Bosques Cautín S.A.	15.000	0,7%
Subtotal	1.485.700	65,9%
Total Nacional	2.255.780	100%

La posibilidad de generación de energía por medio de biomasa forestal en Chile posee ventajas comparativas como los volúmenes de madera existentes actualmente en el país y el desarrollo de la industria maderera, sin embargo, se plantea que la mejor solución por el momento corresponde al uso de desechos provenientes de las plantas de procesamiento, debido a las limitaciones existentes, como por ejemplo, abastecimiento constante de biomasa en un radio máximo de 100 Km. y venta de madera para otros usos con mejores precios (González *et al.*, 2007; Bertrán y Morales, 2008; Pontt, 2008; Programa Chile Sustentable, 2008; Dalberg, 2008; Delgado, 2010).

Existen posibilidades para la producción de biomasa forestal en Chile como el uso de especies exclusivamente para generación de biomasa forestal, produciendo los géneros *Eucalyptus* (*E. globulus*, *E. nitens*, *E. camaldulensis*, *E. denticulada*) y *Acacia* (*A. melanoxylon* y *A. dealbata*), que además de poseer un rápido crecimiento, se pueden manejar en rotaciones cortas con alto grado de mecanización (Muñoz, 2011).

En el Cuadro 25 se muestran los principales estudios realizados, y en realización, relacionados con la generación de energía a partir de biomasa en Chile, donde destacan el gran número de estudios de potencial y disponibilidad de biomasa en el país.

Capítulo 3. Cultivos agrícolas y forestales con potencial energético

Cuadro 25. Estudios de estimación de biomasa disponible entre los años 2006-2011 en Chile.

Título	Año	Autor
Disponibilidad de biomasa en Chile	2006	Campino.
Potencial de biogás	2007	Chamy y Vivanco
Disponibilidad de residuos madereros	2007	González <i>et al.</i>
Guía para evaluación ambiental energías renovables no convencionales	2007	Comisión Nacional de Energía (CNE)
Impacto de la eficiencia en el consumo de biomasa en el sector celulosa chileno.	2007	Loaiza <i>et al.</i>
Análisis del potencial estratégico de la leña en la matriz energética chilena	2008	Corporación ChileAmbiente
Potencial de biomasa forestal	2008	Bertrán y Morales
Potencial de biomasa en Chile	2008	Pontt
Las energías renovables no convencionales en el mercado eléctrico chileno	2009	Palma <i>et al.</i>
Caracterización y pretratamientos de la biomasa para la producción de biocombustibles	En desarrollo	BioCOMSA

Capítulo 4

Impactos producidos por los biocombustibles

Impactos económicos de los biocombustibles

El mercado de los biocombustibles sólidos y gaseosos en Chile, tiene potencial para desarrollar el mercado interno de vapor, gas y electricidad, para la actividad industrial de numerosas agroindustrias y cuyo remanente se incorpora a la red de distribución eléctrica nacional. Las nuevas inversiones y producciones de biogás y biodiésel, amplían la posibilidad de negocio para el país, la diversificación de la matriz energética, se reduzca el consumo de combustibles fósiles, se disminuyan las emisiones contaminantes y se acceda al mercado de los bonos de carbono (Iglesias, 2010).

Biomasa (leña)

En Chile existe potencial para el uso de biomasa como forma de energía debido a su disponibilidad en el sector forestal y a la existencia de áreas para nuevas plantaciones (Rodríguez y Corvalán, 2006). El uso de esta fuente de energía es baja si la comparamos con las fuentes tradicionales: hidráulica mayor a 20 MW y combustibles fósiles, sin embargo en la categoría de energías renovables no tradicionales es la principal, superando a hidráulica menor a 20 MW y a la energía eólica (Cuadro 26); a nivel nacional existe interés e inversiones como la de la empresa “Energía Verde”, que utiliza desechos forestales para proveer de energía a grandes aserraderos de las Regiones del Maule y Biobío, y en la Región de O’Higgins tiene un contrato de largo plazo con la Papelera del Pacífico que usa desechos de aserraderos y residuos agrícolas.

La biomasa es poco usada por su baja competitividad, en comparación con las fuentes de energía tradicionales, su elevado costo de transporte, baja homogeneidad y baja intensidad calórica. La biomasa contribuye con cerca de un 1% de la producción de energía eléctrica nacional, concentrada en grandes empresas. Las plantas de celulosa localizadas entre las Regiones del Maule y Los Lagos (Arauco, Celco, Cholguán, Laja y Constitución) generan 500 MW, de los cuales 225 MW son aportados al sistema interconectado. Se espera revertir esta situación en el futuro, por la necesidad de incrementar la oferta eléctrica, el avance de las energías no convencionales y el mayor cuidado por el medio ambiente.

Cuadro 26. Capacidad instalada (MW) por sistema de generación al año 2007 en Chile (Palma *et al.*, 2009).

Fuente	SIC	SING	Magallanes	Aysén	Total
Hidráulica > 20 MW	4.771	0	0	0	4.771
Combustibles Fósiles	4.035	3.589	80	26	7.729
Total Convencional	8.806	3.589	80	26	12.500
Hidráulica < 20 MW	104	13	0	20	136
Biomasa	191	0	0	0	191
Eólica	18	0	0	2	20
Total ERNC	313	13	0	22	347
Total Nacional	9.118	3.602	80	48	12.847

En el estudio de simulación de uso de biomasa en Chile “Utilización de Desechos del Manejo Forestal de Renovales de Roble, Raulí, Coihue, Región de la Araucanía, en la Generación de Energía” elaborado por Castañeda (2007), se plantea al bosque nativo como una fuente de material para producir energía eléctrica. El caso de estudio presenta la evaluación económica del proyecto sin y con venta de bonos de carbono y este resulta ser de baja rentabilidad, y en el escenario pesimista resulta absolutamente no rentable. El estudio económico se realiza para un período de evaluación de 20 años, con una tasa de descuento del 10% para tres escenarios de precios de la energía, normal, optimista y pesimista. En la evaluación económica para los escenarios normal y optimista, el VAN resulta ser positivo, y negativo para el escenario pesimista, con períodos de recuperación del capital (PRC) para los tres escenarios entre 5 y 8 años. En relación a la TIR, tanto en el caso con y sin venta de bonos de carbono, en el escenario normal y optimista esta supera el 10%, alcanzando en el escenario optimista con venta de bonos de carbono un 17,3%.

El estudio desarrolla un análisis de sensibilidad con la variación de la tasa de descuento, costo del material combustible, precio de los bonos de carbono e inversión, resultando con un VAN positivo para todos los casos en el escenario optimista, en cambio en el escenario pesimista el VAN resulta negativo para la mayoría de los casos. Por otro lado, en el escenario normal el incremento de la tasa de descuento y del costo de material combustible, impactan negativamente en la rentabilidad. Finalmente, el aspecto más importante a considerar para el desarrollo de este proyecto energético es la existencia de un precio de la energía estable en el tiempo, que permita una rentabilidad razonable, pues así la bioenergía puede ser una fuente energética competitiva que signifique un aporte a la diversificación de la matriz energética chilena.

Bioetanol

El bioetanol aún no se produce de manera comercial en Chile; sin embargo diferentes centros de investigación y universidades, realizan estudios en el desarrollo de materias primas y tecnologías para su procesamiento. Entre ellos destaca el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) que trabaja en el desarrollo agrotecnológico del nabo forrajero en Aysén, como proyecto integrado ganadero-energético (Iglesias, 2010) y el consorcio lignocelulósico BIOENERCEL SA, que busca aprovechar biomasa forestal para producir bioetanol.

Chile podría producir bioetanol a partir de maíz debido a los altos rendimientos obtenidos a nivel nacional para este grano y se afirma que sólo la superficie sembrada en la Región de O’Higgins podría sustituir el 10% de consumo nacional de gasolina, en forma de aditivo (Pinto y Acevedo, 2006). La inversión por litro de capacidad de producción anual instalada, requerida para implementar esta industria es del orden de aproximadamente US\$0,37 L, por lo que para lograr la meta de sustituir en un 10% la gasolina usada, equivale a una inversión del orden de los US\$100 MM. En Estados Unidos en el año 2005 se aprobaron leyes donde el uso de bioetanol será obligatorio, provocando un aumento en la demanda de 30.000 MM L y su precio es de US\$0,78 L (Lemos, 2010), mientras que en la Unión Europea tiene un proceso similar,

Capítulo 4. Impactos producidos por los biocombustibles

provocando un aumento en la demanda de 14.000 MM L y su precio de US\$0,96 L (Finch, 2010), escenario que los convierte en potenciales clientes demandantes del combustible, y que a propósito de los Tratados de Libre Comercio suscritos Chile lograría precios competitivos.

La construcción y funcionamiento de una planta de bioetanol, donde con capacidad de planta de 40.000 MM L año⁻¹, se requiere una inversión de US\$0,45 L de producción anual, que está compuesto de US\$0,37 por construcción de la planta y de US\$0,08 por capital de operación; lo que genera un total de US\$18 MM inversión (Armijo 2006). Además se requieren de 97.600 t de maíz, (por tonelada se produce: 409,84 L etanol, 321 Kg. de DDGS y 321 Kg. de CO₂), debe decir “lo que se traduciría en 8.000 ha del grano, según el rendimiento en la VI región el 2004-2005. Respecto a precios usando los del estudio: US\$0,48/L para el etanol, US\$140 t de maíz, US\$180 t de DDGS y US\$100 t de CO₂ (Cuadro 27).

Cuadro 27. Resultados proyectados para una planta de bioetanol de 40 MM L año⁻¹ de capacidad (Armijo, 2006).

Ítem	US\$
Ingresos por ventas:	
Etanol	19.200.000
DDGS	5.646.960
CO ₂	3.137.200
Ingresos Totales	27.984.160
Costo Insumo Base Maíz	13.664.000
Margen Bruto	14.320.160
Gastos Explotación:	
Energía	2.077.360
Químicos	1.172.924
Otros	4.201.742
Total	7.452.026
Costo proceso	
Total	21.116.026
Resultado Neto (después de impuesto 17%)	
Total	5.700.551

Bionenergía en Chile

La producción de bioetanol en Chile se ha estimado económicamente, a partir de arroz, maíz y trigo, por el Centro Avanzado de Gestión para la Agricultura de la Universidad Técnica Federico Santa María (CATA). Su desarrollo se basó en la estimación de demanda de gasolina, y asumiendo que se podría sustituir por etanol en 2,5 y 10%.(Cuadro 28; CATA, 2007a).

Cuadro 28. Proyección de la demanda de bioetanol (miles m³) al año 2014 en Chile (CNE 2007; CATA, 2007a).

Año	Demanda Gasolina	Escenario de sustitución con etanol		
		2%	5%	10%
2007	2.989	60	149	299
2008	3.077	62	154	308
2009	3.131	63	157	313
2010	3.232	65	162	323
2011	3.295	66	165	330
2012	3.405	68	170	341
2013	3.475	70	174	348
2014	3.592	72	180	359

Bajo este panorama de demanda de etanol se simularon varias situaciones:

1. Trigo valle central de riego de la VII Región (TVC-R VII)
2. Trigo seco interior de la VIII Región (TSI-VIII)
3. Trigo seco interior de la VIII Región en cero labranza (TSICL-VIII)
4. Trigo precordillera andina de la VIII Región en cultivo tradicional (TPT-VIII)
5. Trigo precordillera andina de la VIII Región en cero labranza (TPCL-VIII)
6. Maíz VI Región (M1-VI)
7. Maíz VII Región (M2-VII)
8. Maíz VIII Región (M3-VIII)
9. Arroz VI Región (AR1-VI)
10. Arroz VII Región (AR2-VII)
11. Arroz VIII Región (AR3-VIII)

Utilizando las modelaciones se calculó la rentabilidad de los cultivos (Cuadro 29) y se consideró la distribución de los costos en la elaboración del bioetanol de la siguiente forma: grano 64%, operacionales de energía 17%, operacionales químicos 11%, otros operacionales 8%. Claramente el grano se transforma en el costo más influyente. Los ingresos se dividen en: venta de etanol 87%, DDGS 12% y CO₂ 1%, que son cifras elocuentes, y donde el ingreso por DDGS (granos secos de destilería con solubles, subproducto del etanol) no deja de ser importante.

Capítulo 4. Impactos producidos por los biocombustibles

En el Cuadro 29 se presenta que el maíz, en sus tres tipos de modelación, ofrece mayor rentabilidad, lo cual además es positivo debido a que es la mejor materia prima de las tres que se presentan.

El CATA (2007a), para el caso de la planta productiva, considera que el rango de costo de capacidad instalada por litro fluctúa entre US\$0,396 y US\$0,528, siendo las plantas más pequeñas las más caras. Además trabajan con US\$0,489 L debido a que Tiffany y Eidman (2003) reportan que una planta en Minnesota con capacidad entre 57 y 76 MM L tiene un costo de US\$0,489 L, aproximándose a 80.000 m³. El costo por litro se definió en US\$0,6774 después de unos ajustes de inflación, lo que da una inversión por la planta de US\$54,2 MM. Por otro lado para la planta de tamaño mayor (100.000 m³) se consideró la misma inversión por unidad de capacidad, o sea US\$0,6774 L por un total de inversión de US\$67,7 MM.

Otro estudio económico de producción de etanol a partir de maíz, modeló generar una planta que produzca 80.000 m³ año⁻¹ de etanol, y concluyó que el maíz es el cultivo más conveniente a utilizar en nuestro país de acuerdo a las posibilidades acotadas por las características del suelo y clima (García, 2008). En el análisis económico se determinó que la inversión necesaria para desarrollar este proyecto asciende a los US\$128,5 MM, mientras que los ingresos, son del orden de los US\$100 MM anuales, con costos fijos y variables anuales de US\$79 MM. Con un precio de venta del etanol de US\$1,173 L y un precio del maíz de US\$0,249 Kg. el VAN obtenido fue de US\$-15,4 MM y una TIR de 12,9%. No obstante, el análisis de sensibilidad entrega resultados alentadores para un precio de venta del etanol superior a US\$1,3 L. Esta situación es factible, considerando el comportamiento al alza de los combustibles originarios del petróleo.

También se ha estimado la producción de bioetanol a partir de otras materias primas, como residuos forestales. El estudio exploratorio de producción de bioetanol y de coproductos de biorefinería a partir de residuos de eucalipto (Sotomayor 2010), usó como materia prima residuo de eucalipto, la cual se procesaría en una biorefinería ubicada en la comuna de Angol, Región de la Araucanía. La planta podría procesar anualmente 420 mil toneladas de residuos de eucalipto, con la cual se podría producir cerca de 80.000 m³ de bioetanol, que representa un 48% de la demanda estimada para el 2010 en Chile suponiendo un combustible E5 (con mezcla de 5% de bioetanol). El balance de masa muestra que se producen 51.000 t de furfural, 570.000 t de lignina glioxalada, 78.000 t de residuo de levadura y 85.000 t de CO₂. El diseño conceptual de la biorefinería se efectuó usando como pretratamiento la explosión a vapor por poseer mejores rendimientos industrialmente, superiores al 80%. El proceso tiene un rendimiento de 200 L de bioetanol por tonelada de materia prima que se obtiene a 80 horas de fermentación y a una temperatura de 37 °C.

Del estudio técnico-económico resultó una inversión inicial de US\$140 MM. El proyecto fue evaluado en un plazo de 20 años, con una tasa de descuento del 15% y bajo dos modos de financiamiento. El primer modo de financiamiento en donde la inversión es hecha en un 100% por interesados, mostró que el precio del bioetanol al que se debe vender para obtener un

Bionenergía en Chile

VAN igual a cero, es de US\$1.255 m³, precio que es mayor al que se estima que se venderá el bioetanol en Chile (US\$1.150 m³), por ende este modelo no tendría ganancias. El otro modelo evaluado consistió en un financiamiento hecho con un 40% por préstamo bancario. En este modelo se obtuvo un precio del bioetanol igual a US\$1.055 m³ para obtener un VAN igual a cero, una TIR del 15% y un periodo de recuperación de capital de 7 años. Este precio se considera poco rentable ya que es ligeramente menor al precio al cual se vendería el bioetanol en Chile (US\$1.150 m³), con lo que el VAN no sería superior a US\$36 MM con una TIR del 20%. El modelo presentado parece no tener atractivos económicos para los inversionistas, pero -bajo condiciones distintas- un alza importante en el precio del petróleo, y una baja en el precio de las enzimas, pueden ser cruciales para obtener beneficios económicos importantes.

Cuadro 29. Rentabilidad de cultivos para un productor individual según sistemas productivos al año 2007 en Chile (CATA, 2007a).

Ítem	TVC-R VII	TSI- VIII	TSICL- VIII	TPT- VIII	TPCL- VIII	M1- VI	M2- VII	M3- VIII	AR1- VI	AR2- VII	AR3- VIII
Rendimiento (qq ha ⁻¹)	80	40	40	55	55	120	120	120	70	70	70
Precio (\$ qq ⁻¹)	11.841	11.841	11.841	11.841	11.841	8.921	8.921	8.921	10461	10461	10461
Total labores (\$ ha ⁻¹)	204.048	210.048	132.048	210.048	131.048	238.525	237.525	228.525	256.329	253.973	252.198
Total insumos (\$ ha ⁻¹)	225.499	162.903	168.661	232.479	237.358	310.438	315.163	340.797	145.386	162.002	162.002
Flete (\$)	24.000	12.000	12.000	16.500	16.500	97.200	36.000	36.000	21.000	21.000	21.000
Secado (\$)							61.200	61.200	31.500	31.500	31.500
Imprevistos (\$)	22.677	19.248	15.635	22.951	19.245	32.308	32.494	33.326	22.711	23.424	23.335
Renta de la tierra (\$)	250.000	100.000	100.000	150.000	150.000	200.000	200.000	200.000	200.000	150.000	150.000
Costo total (\$)	726.224	504.198	428.344	631.978	554.151	878.471	882.382	899.848	676.926	641.899	640.035
Ingreso bruto (\$)	947.304	473.652	473.652	651.272	651.272	1.070.496	1.070.496	1.070.496	732.249	732.249	732.249
Margen bruto (\$)	221.080	-30.546	45.308	19.294	97.121	192.025	188.114	170.648	55.323	90.350	92.214
Renta anual (%)	30,40%	-6,10%	10,60%	3,10%	17,50%	21,90%	21,30%	18,90%	8,20%	14,10%	14,40%

El uso de residuos agrícolas también es una posibilidad para la producción de bioetanol en Chile, se determinó mediante un estudio de mercado que asumió que a partir de 345.000 t de rastrojo de maíz, se debía disponer de un complejo con capacidad de 75.000 m³ de bioetanol al año (Schneuer, 2010). El costo de los equipos necesarios se evaluó en US\$68 MM y la pre-evaluación económica del proyecto, cuya inversión inicial debía ser de US\$160 MM, con un precio de venta de US\$600 m³ de bioetanol, resultó un costo de producción de US\$540 m³ de este producto, un VAN de US\$21 MM y una TIR de 18%, y una vida útil de 20 años del complejo. Es importante considerar que esta pre-evaluación exploratoria, utiliza cifras aproximadas.

Biodiésel

Para Chile se han planteado diversas alternativas para producir biodiésel, entre las que destacan: raps, girasol, aceites comestibles reciclados. Otras alternativas a futuro lo representan plantas cultivadas en tierras marginales (jatropha, higuera, guindilla, entre otras), algas (tanto microalgas cultivadas en piscinas artificiales como macroalgas de mar abierto), y cultivos forestales (Boza, 2011).

El biodiésel en Chile puede provenir del cultivo del raps, cultivable en la zona centro y centro sur, y de la higuera o jojoba en la zona centro y centro norte, éstas últimas especies podrían estar usando suelos degradados por sus características de tolerancia (Acevedo 2006).

Los costos de capital de una planta productora de biodiésel, son menores respecto a una de bioetanol. El costo más importante es el de la materia prima (65 a 75%), luego de transporte y al final de elaboración. Los subproductos generados (tortas y glicerina) influyen mucho en la estructura económica, así como la estacionalidad propia de los productos agrícolas, la cual afecta a la disponibilidad de materia prima (Rojo y Acevedo 2006).

La producción de biodiésel a partir de maravilla y raps fue estimada por el CATA (2007a), y el estudio se basó en la estimación de demanda de diésel para transporte, asumiendo que podría ser sustituido por biodiésel en 2, 5 y 10% (Cuadro 30).

El estudio consideró las simulaciones que se describen:

1. Raps precordillera tradicional de la IX Región (RPT-IX)
2. Raps precordillera cero labranza de la IX Región (RPCL-IX)
3. Girasol o maravilla de la VII Región

Cuadro 30. Proyección de la demanda de biodiésel (miles m³) al año 2014 en Chile (CNE 2007; CATA, 2007a).

Año	Demanda Diésel	Escenario de sustitución con biodiésel		
		2%	5%	10%
2007	4.346	87	217	435
2008	4.508	90	225	451
2009	4.686	94	234	469
2010	4.832	97	242	483
2011	4.991	100	250	499
2012	5.121	102	256	512
2013	5.263	105	263	526
2014	5.378	108	269	538

Las simulaciones permitieron calcular las rentabilidades de los cultivos (Cuadro 31) y agregar la distribución de los costos en la elaboración del biodiésel, como sigue: grano 72%, otros operacionales 20%, operacionales químicos 6%, operacionales de energía 2%. El grano se transforma en el costo más influyente y los ingresos se dividen en: venta de biodiésel 77%, torta de prensa 22% y Glicerina 1%. La materia prima que ofrece mayor rentabilidad es el raps, para el caso de cero labranza, lo cual además es positivo debido a que, de las dos materias primas que se presentan, es la mejor.

El CATA (2007a), para el caso de la planta productiva de biodiésel utilizó los datos de Van Gerpen *et al.* (2005) quienes reportan los costos de instalación de una planta en función de su capacidad y de la calidad del aceite que utiliza como materia prima. Considerando una conversión de 3,78541 L galón⁻¹ Van Gerpen *et al.* (2005) reportan, que los costos de instalación son US\$9,25 MM para una planta de 40.000 m³ de capacidad y US\$12,5 MM para una planta de 60.000 m³. Sin embargo, se estimó en un 20% más los costos de inversión debido a que la instalación de equipos debe ser hecha por el fabricante en Chile. La inversión para la planta pequeña es de US\$12,8 MM y para la grande de US\$17,3 MM. A esos valores debe agregarse la inversión para extraer el aceite de los granos. Searle (2005) reporta que el costo de instalación de una planta de producción de aceite con capacidad de entre 40.000 y 60.000 m³, fluctúa entre US\$3 - 5 MM, considerando esto, las plantas tendrían un costo de US\$17,9 MM la grande y de US\$24,3 MM la menor.

Cuadro 31. Rentabilidad de cultivos para un productor individual según sistemas productivos al año 2007 en Chile (CATA, 2007a).

Ítem	RPT-IX	RPCL-IX	G2-VII
Rendimiento (qq ha ⁻¹)	35	35	25
Precio (\$ qq ⁻¹)	14549	14549	15027
Total labores (\$ ha ⁻¹)	127.923	93.923	203.596
Total insumos (\$ ha ⁻¹)	213.175	221.812	275.689
Flete (\$)	10.500	10.500	7.500
Imprevistos (\$)	17.580	16.312	24.339
Renta de la tierra (\$)	150.000	150.000	150.000
Costo Total (\$)	519.178	492.547	661.124
Ingreso bruto (\$)	509.229	509.229	375.683
Margen bruto (\$)	-9.949	16.682	-285.441
Renta anual (%)	-1,90%	3,40%	-43,20%

El estudio “Diseño conceptual de una planta de biodiésel” (Lamoureux, 2007), explora la posibilidad de producir biodiésel con raps, y afirma que esta materia prima constituye una buena alternativa de acuerdo a la orientación del Estado a favorecer la agricultura chilena y los volúmenes de producción. El análisis de las ventas de diésel estimadas al 2010 permite simular una planta de biodiésel de 100.000 t año⁻¹, lo que permitiría sustituir más del 5% en la mezcla con el diésel vendido por la distribuidora Copec en la zona central del país. Se tomaron en cuenta los costos iniciales de obras civiles, de equipamiento y otros gastos para evaluar la inversión a realizar en la construcción de la planta. Sumando todos los costos fijos y operacionales, la producción de biodiésel tendría un costo neto de \$476,2 L, superior al costo equivalente del petróleo diésel clásico; lo que explica que no existieran proyectos de biodiésel en el país hasta esa fecha. La inversión es de USD\$14,7 MM, levemente inferior al costo de plantas realizadas en el mundo. Se concluye que la venta de B2 (diésel con 2% de biodiésel) tendría poco impacto sobre el precio al consumidor.

El raps como alternativa para elaborar biodiésel, también se ha estudiado, y además de analizar la factibilidad técnico-económica de la materia prima, se ha considerado el aceite comestible reciclado. Pedrero (2008) consideró que existen las capacidades técnicas para lograr desarrollar el proyecto y desde el punto de vista económico y financiero, la producción de biodiésel es rentable en ambos escenarios. En el primer escenario los valores del VAN y TIR fueron: \$83 MM y 22,7%, respectivamente. Mientras que, en el segundo escenario los valores

fueron \$263,7 MM y 44%, respectivamente. En el periodo de retorno de la inversión en el primer escenario, fue de siete años, mientras que, en el segundo escenario, la inversión se recupera en su totalidad luego del tercer periodo. Ambos escenarios presentaron valores sobre uno en los parámetros usados de la razón costo beneficio. En resumen, en ambos escenarios los valores de los ingresos son mayores a los costos del proyecto. No obstante lo anterior, se debe considerar que la evaluación del proyecto fue realizada bajo las condiciones del mercado en ese momento, por lo que es recomendable un seguimiento para determinar las nuevas condiciones que modifiquen el escenario.

Finalmente la otra alternativa que se propone para la producción de biodiésel en Chile es a partir de semillas de la planta *Jatropha curcas* lo cual corresponde a una innovación debido a que es la única alternativa planteada que corresponde a un cultivo de uso principal para producción de biocombustibles. Kingswood (2010), realizó un estudio que consta de tres etapas: agronómica, industrial y económica. Los estudios agronómicos arrojaron resultados preliminares basados en estimaciones tentativas que deben ser comprobadas experimentalmente. El cultivo de jatropha en la Región de Coquimbo produciría 5.000 t ha⁻¹ de semilla, si se usan las cantidades requeridas de fertilizantes y de agua. El estudio industrial establece la extracción de aceite a partir de las semillas de jatropha. Este proceso es similar al de otros cultivos oleaginosos, obteniendo como subproducto una torta de semillas que puede ser utilizada como fertilizante pero no como alimento para ganado por ser tóxica.

A partir del aceite se obtiene biodiésel mediante transesterificación con metanol en un reactor continuo, y con un catalizador básico. La evaluación económica valoró en US\$14 MM la inversión en la planta industrial. El precio del biodiésel se estimó en US\$593 m³ y el rendimiento de la jatropha en 1.500 Kg ha⁻¹ de aceite. La plantación de jatropha requirió 72.000 ha en la Región de Coquimbo. El VAN del proyecto correspondió a \$-718.000 MM, para una tasa de descuento de 15%. La causa principal de este resultado fue el elevado valor de la tierra y el costo del riego. Para un VAN igual a 0, el precio del biodiésel debe alcanzar US\$2.882 m³ (muy por encima de los niveles históricos) o bien el rendimiento del cultivo debe ser de 25,5 t ha⁻¹ (5 veces mayor que el actual). Para remediar la situación se introdujeron cambios para estimar mejoras en el cultivo en una zona con mayor pluviosidad. Según expertos, el cambio reduciría la inversión por ha en \$4,95 MM. Esta alternativa dio un VAN de \$-244.000 MM, apreciablemente mejor que el caso base. Aun considerando un aumento simultáneo de 70% en el precio del biodiésel y 60% en el rendimiento de la jatropha se obtiene un VPN de \$-34.000 MM y una TIR de 11,5%. El estudio concluyó que actualmente el proyecto es económicamente inviable, mientras no se dispongan de clones adaptados a las condiciones agroecológicas donde se pretende desarrollar la iniciativa.

Biogás

La producción de biogás en Chile, es abordado de forma íntegra en el estudio “Identificación y Clasificación de los Distintos Tipos de Biomasa Disponibles en Chile para la Generación de Biogás”, realizado para la Comisión Nacional de Energía por Chamy y Vivanco (2007), en él se efectúa una evaluación económica preliminar para proyectos de generación eléctrica, a partir de biogás generado por distintas biomásas disponibles.

En el Cuadro 32 se muestran valores para los costos específicos de generación calculados para Alemania, según la capacidad eléctrica instalada. Se tomó el caso del residuo industrial sólido generado en la industria cervecera en el área de las Regiones Metropolitana y de la Araucanía, que son las únicas que tienen cantidades apreciables de estos residuos.

Los costos de operación pueden estimarse independiente del proceso y dependiente del tamaño del generador. En los cálculos realizados para los cuatro ejemplos anteriormente mencionados, se estimó un horizonte de evaluación de 15 años con una tasa de interés del 10%. Además, se realizó una estimación de costos de generación por kWh sin tomar en cuenta los costos de inversión para el tratamiento de los residuos, es decir, sólo se evaluaron los costos adicionales asociados única y exclusivamente a la generación de energía. Debido a la obligación para muchas industrias de implementar sistemas de tratamiento de sus residuos, los costos de los sistemas de tratamiento pueden, eventualmente, asumirse como costos asociados al cumplimiento de la reglamentación ambiental más que a costos de inversión para generación energética y de calor.

Cuadro 32. Costos de generación según capacidad eléctrica instalada (Chamy y Vivanco, 2007).

Capacidad MWe	Costos específicos US\$ kW ^e - ¹	Costos de generación US\$ kW ^h - ¹	Costos de generación \$ kW ^h - ¹
6	1616	0,038	20,15
5	1772	0,041	21,88
4	1984	0,046	24,23
3	2297	0,052	27,68
2	2828	0,064	33,53
1	4047	0,089	47,01
0,5	5813	0,126	66,79

Para realizar los cálculos en el caso “sin el costo del tratamiento de los residuos”, se consideró en la inversión inicial sólo el costo asociado a los generadores y la conexión a la red. De esta forma, al costo total de inversión inicial fueron restados los costos asociados a la transformación de la biomasa hasta biogás, etapa que, como ya se mencionó, es considerada para cumplir con la normativa ambiental. Si bien se podría argumentar que los sistemas de tratamiento de residuos podrían no ser sistemas de digestión anaerobia, se asume que, para eliminar una gran cantidad de materia orgánica, el sistema anaerobio es, generalmente, el más conveniente. El Cuadro 33 muestra el tamaño y número de generadores según la cantidad de residuos sólidos generados por la industria cervecera en las Regiones Metropolitana y de la Araucanía.

Cuadro 33. Tamaño y número de generadores de acuerdo a la cantidad de residuos sólidos generados por la industria cervecera en las Regiones Metropolitana y de la Araucanía (Chamy y Vivanco, 2007).

Región	RIS T año ⁻¹	Biogás útil miles m ³	Tamaño Generador MW	Número generadores
Metropolitana	50.000	30.000	4	2
Araucanía	20.000	11.000	2	1

De acuerdo a lo señalado en el Cuadro 33 una planta que genera 30 MM de m³ año⁻¹ produce una cantidad total de energía de 165 GWh año⁻¹, considerando un poder calorífico del biogás de 5,5 kWh m⁻³. Considerando también una eficiencia eléctrica de 39% y 7.884 horas de operación, esto representa una capacidad a instalar de 8.162 kW.

Tomando los modelos de generadores disponibles en el mercado, se optó por dos generadores de 4.000 kWe lo cual implica un costo de inversión de US\$7,94 MM (Cuadro 34). En base a esta información, el Cuadro 34 muestra los costos específicos por kWe de potencia instalada para una planta de cogeneración para los residuos sólidos generados por la industria cervecera. Finalmente en el Cuadro 35 se muestra la variación de los costos según la capacidad instalada de la planta.

Capítulo 4. Impactos producidos por los biocombustibles

Cuadro 34. Costo de inversión para la instalación de una planta de cogeneración de 4 MW para los residuos sólidos generados por la industria cervecera de la Región Metropolitana (Chamy y Vivanco, 2007).

Costos específicos de inversión		
Motor de cogeneración	US\$ kWe ⁻¹	345
Digestores (incl. control, mezcladores, etc.)	US\$ kWe ⁻¹	2.000
Conexión a la red	US\$	10.000
Costos del motor	US\$	1.379.048
Costos del digester y resto de la planta	US\$	5.464.161
Otros (edificio, etc.)	US\$	342.160
Costos de conexión a red de calor	US\$	20.000
Costos de inversión	US\$	7.215.369
Costos de planificación/permisos 0,1% de costos de inversión	US\$	721.537
Inversión total	US\$	7.936.907

Cuadro 35. Costos por kWe de potencia instalada para una planta de cogeneración para los residuos sólidos generados por la industria cervecera en la Región Metropolitana (Chamy y Vivanco, 2007).

Residuo industrial sólido	Costos específicos de inversión	Costos específicos de inversión	Costos de inversión anualizados	Costos de operación	Costos totales	Costos de generación eléctrica	Costos de generación eléctrica
t/año	US\$ kWe ^{-1*}	US\$ kWe ^{-1**}	US\$ kWe ⁻¹	US\$ kWe ⁻¹	US\$ kWe ⁻¹	US\$ kWh ^{-1*}	US\$ kWh ^{-1**}
50.000	1.984	382	261	381	642	0,08	0,052
20.000	2.828	483	372	527	899	0,11	0,071

* Se consideran todos los costos de inversión

** No se consideran los costos de tratamiento

Impactos sociales de los biocombustibles

Caracterización de la agricultura familiar campesina (AFC)

La agricultura familiar campesina (AFC), según el Instituto de Desarrollo Agropecuario (2009) se define como “Agricultores que explotan una superficie inferior a las 12 hectáreas de riego básico, que tienen activos por un valor menor a las 3.500 unidades de fomento (US\$96.000), que obtienen sus ingresos principalmente de la explotación agrícola y que trabajan directamente la tierra, cualquiera sea su régimen de tenencia”. Además, señalan que en la actualidad, la cobertura de atención es superior a 100 mil campesinos y campesinas, lo que significa tres veces más que en 1990, lo cual es importante de tener como referencia del total de personas pertenecientes de la AFC.

El sector de la AFC comprende 278.000 familias (ODEPA, 2007b), pero sólo 25 mil están formalizadas (Turra, 2006); representa el 85% de las unidades productivas; consta de 1,2 MM de personas; constituye el 25% de la tierra agrícola; sólo el 27% de las explotaciones están formalizadas; genera 600.000 empleos; contribuye con el 25 a 30% del PIB Agrícola; el 53% de los productores individuales tiene la educación básica incompleta, un 14% tiene educación básica completa, un 12% no tiene escolaridad y sólo un 2% cuenta con formación técnica profesional; no tiene acceso efectivo a la capacitación; su producción está atomizada y es tecnológicamente atrasada. Además, la AFC posee una marcada participación en la producción de cultivos tradicionales, representando en promedio cerca del 40% del total sembrado. Según el sector, esta participación alcanza al: 44% de cultivos anuales; 45% de hortalizas; 29% de frutales; 41% de viñas; 42% de bovinos; 33% de ovinos; 63% de caprinos; 48% de cerdos y el 16% de las plantaciones forestales. Si se considera la producción obtenida en 2005 para aquellos rubros susceptibles de producir materia prima para biocombustibles, un 38% en promedio de la producción habría correspondido a la obtenida por la AFC, para el caso del etanol, y un 32% promedio para el caso del biodiésel (Cuadro 36). Otro punto importante es que todas las producciones agrícolas generan desechos orgánicos que pueden ser utilizados en producción de etanol o biogás.

Desde un punto de vista socio-antropológico, la AFC tiene una relación muy estrecha, prácticamente del cien por ciento, entre tierra y trabajo familiar; y una producción orientada a la subsistencia, en rubros de baja rentabilidad para el mercado interno y en condiciones de competitividad muy baja, como consecuencia de la serie de tratados de libre comercio suscritos por Chile en las últimas dos décadas. Además, poseen baja escolaridad, asimetría en competitividad en cadenas de producción y comercialización, con resultados de pobreza y exclusión social (Jerez, 2010). Otro aspecto a destacar es la excesiva concentración de las tierras del país en pocos productores, existiendo una distribución tal, que el 1% de las explotaciones controla las tres cuartas partes del recurso, y las explotaciones inferiores a 20 ha (que son el 75% del total), sólo controlan el 3,7% de la tierra (Pezo, 2007).

Cuadro 36. Participación de la agricultura familiar campesina en rubros tradicionales, susceptibles de producir materia prima para biocombustibles en Chile (Turra, 2006).

	Cifras del 2005	% en la AFC
Rubros para etanol		
Trigo (t)	1.851.940	33,3
Avena (t)	357.352	29,2
Maíz (t)	1.507.766	34
Papas (t)	1.115.736	57,7
Remolacha (t)	2.597.771	39,9
Forestal (Superficie potencial ha)	11.600.000	35,35
Rubros para biodiésel		
Maravilla (t)	2.793	53,3
Raps (t)	41.225	11,3

La agricultura chilena, como la AFC, ha experimentado cambios importantes y que se reflejan en los resultados de los Censos Agropecuarios y Forestales de los años 1997 y 2007. Echenique y Romero (2009) reportan que existe un notable avance caracterizado principalmente por un crecimiento dinámico, la adopción de tecnologías innovadoras, el aumento de la productividad del trabajo, la cantidad y calidad de sus exportaciones agropecuarias, y la progresión de las inversiones forestales. Entre los cambios más relevantes podemos mencionar:

- La agricultura nacional y la industria alimentaria crece a una tasa media anual del 5,2% en este período, ritmo más dinámico que el de la economía nacional y superior al de cualquier otro período histórico decenal.
- Las exportaciones han sido el principal motor movilizador de la producción, estimuladas por los múltiples tratados comerciales celebrados por Chile con los países de Norteamérica, Asia, Europa, Oceanía y América Latina. La gran diversificación de mercados de las exportaciones de origen silvoagropecuario chilenas ha permitido pasar de US\$4.500 MM a US\$11.000 MM los envíos al exterior entre 1995 y el 2007. También hubo un alto índice de plantaciones frutícolas y de viñas viníferas, cuyos productos han sido junto a las carnes de aves y cerdos, así como las maderas elaboradas y la celulosa, los componentes primordiales de las exportaciones emergentes y tradicionales.
- El empleo sectorial ha crecido menos que la producción, lo cual ha significado un alto incremento de la productividad. La estructura del empleo se ha venido modificando, con disminución de empleos de los miembros del hogar de los productores y un incremento relativo de los asalariados; un aumento de los empleos temporales y la estabilización de los permanentes; y una mayor participación laboral de la mujer. El crecimiento del empleo en la agroindustria ha sido mayor que el experimentado en el sector primario, en concordancia con el alto índice de expansión de este sector (6,9% tasa anual 2005 - 2007) y su progresiva participación relativa en las exportaciones.

- El sector público ha realizado importantes y crecientes aportes al sector, los que se expresan en un presupuesto del Ministerio de Agricultura en el 2007 ascendente a 479 MM de dólares EE.UU., un 30% más que el del año 2000 y con el 43,4% asignado a la institución que apoya en forma directa a la agricultura campesina, es decir, INDAP.

La AFC tuvo variaciones inter-censales significativas en relación al uso del suelo, empleo familiar, ingresos extra-prediales y el importante papel de la mujer, sin embargo, éstas fueron de mucho menor magnitud que las observadas para la agricultura no familiar (la mediana y grande) y muchas veces disminuyó. Por lo anterior, deben tomarse medidas para mejorar: la cobertura de atención técnica y crediticia a la agricultura familiar y su eficiencia relativa; los niveles de concentración de las producciones; la cada vez más baja participación de la agricultura familiar en la producción ganadera y láctea; y las buenas posibilidades para acrecentar la adopción de tecnologías, entre otras (Echenique y Romero, 2009).

Los cambios experimentados por la AFC (Cuadro 37) son resumidos en las consideraciones siguientes:

1. **Uso del suelo:** A pesar de censarse una superficie similar de terreno, se observaron diferencias en el uso del suelo: disminuye la superficie agrícola en 100.000 ha y la ganadera en 1.600.000 ha; con signo contrario, aumentan las plantaciones forestales en casi medio millón de ha y los suelos cubiertos de matorrales y bosque nativo en 900.000 ha.
2. **Tamaño de explotaciones:** Durante el decenio se ha producido una reducción de 27 mil explotaciones (9%), con mayor impacto relativo en la Zona Central del país y en los tres estratos menores a 60 HRB*, en mayor cuantía en las explotaciones propiamente campesinas de 2 a 12 HRB. En concordancia con lo anterior las modificaciones en el control de tierras de riego y de secano fueron las siguientes: las explotaciones menores disminuyeron en número y se redujo la extensión de tierras de riego y secano, ya sea por la venta de tierras a las explotaciones mayores, o por el cambio de uso de tierras agrícolas en pro de la expansión urbana (residencial, industrial, infraestructura). Esta modificación alteró levemente los tamaños medios de las unidades, con incremento de las mayores (especialmente en riego) y decremento de las menores y medianas.

El número de explotaciones propiedad de mujeres, se ha incrementado en términos absolutos en 25 mil entre 1997 y el 2007 (31%), a pesar de la reducción global señalada. Esta situación sería atribuible principalmente a los programas de titulación en zonas rurales pobres y a la transformación más amplia de empoderamiento de la mujer en el país (cambios en la legislación, créditos INDAP y otras instancias públicas).

* Es la superficie equivalente a la potencialidad de producción de una hectárea física, regada de clase I de capacidad de uso, del Valle del Río Maipo. Para determinar el total de Hectáreas de Riego Básico de cada productor o productora, se deberá multiplicar el total de hectáreas físicas que tenga o posea por los diferentes coeficientes de conversión que corresponda a la "Tabla de Equivalencia de Hectáreas Física a hectáreas de Riego Básico" (INDAP, 2009).

- 3. Incidencia de los ingresos de la explotación:** Este indicador, registrado por primera vez en el 2007 en los Censos Agropecuarios nacionales, exhibe una baja contribución de los ingresos de la explotación en el ingreso total del hogar, que promedia sólo un 29% de agricultores con más de la mitad del total de sus ingresos provenientes de su actividad agropecuaria; mientras para un 55% de ellos, estos ingresos representaban menos de la cuarta parte de los ingresos totales.

Se confirmó una correlación directa entre incidencia del ingreso de la explotación y tamaño de la misma. Sin embargo, las mini explotaciones y las explotaciones campesinas con más de un trabajador asalariado permanente, tienen en términos de ingreso un aporte de la explotación mucho mayor que el resto de su respectiva tipología, lo que se explicaría por ser más intensivas en capital y de mayor rentabilidad relativa.

- 4. La evolución en el uso del suelo:** Se aprecia para el decenio una pérdida de la superficie destinada a cultivos anuales y permanentes del 7%, con un fuerte perjuicio para las unidades menores a 12 HRB (-31%) y menos profundo para las unidades medianas (-6%). En el otro extremo crece el área de cultivos de las mayores a 60 HRB en un respetable 24%. Nuevamente, las unidades de menos de 12 HRB con más de un asalariado permanente, tuvieron un comportamiento diferente a su estrato y aumentaron su superficie cultivada.

Los cultivos anuales, en especial cereales e industriales, fueron los que experimentaron las mayores caídas, en todas las tipologías. Las hortalizas por los cambios en sus estructuras de demanda, con primacía de supermercados y agroindustrias, han privilegiado el abastecimiento de medianos y grandes, cuyas empresas ampliaron su superficie en 10%; mientras las dos tipologías menores a 12 HRB reducían la superficie hortalicera en 18%, durante la década.

En ovinos, el grueso de las existencias se encuentra en la Patagonia, cuya expansión permitió que el inventario de Chile se elevara de 3,7 a 3,9 MM de cabezas, a pesar de que en el resto del territorio nacional éste descendió en 1%. En la Patagonia la masa creció en las grandes estancias de más de 25 mil cabezas. Por el contrario, entre Atacama y Los Lagos, las empresas mayores perdieron inventarios y los más pequeños los elevaron en un 6%, principalmente en las regiones de Coquimbo (comunidades tradicionales) y la Araucanía (comunidades indígenas), como resultado de los apoyos de programas oficiales (INDAP, Corporación Nacional de Desarrollo Indígena [CONADI]). La misma expansión de la masa caprina (32%) se produjo en las mini explotaciones del Norte Chico.

- 5. Producción y productividad en cultivos anuales:** Los rendimientos en los cultivos anuales, al igual que en el 2007, están positivamente correlacionados con el tamaño de las explotaciones, verificándose la continuidad de una manifiesta brecha de productividad de la tierra. Sin embargo, en general los cultivos anuales de las explotaciones menores a 12 HRB experimentaron significativos cambios de rendimientos en el sexenio, incluso relativamente mayores que los de las explotaciones de mayor tamaño.

Aun con los mayores niveles de productividad, en la mayoría de los cultivos anuales las alzas en los costos de energéticos y agroquímicos junto a los descensos en los precios de los productos agrícolas, hasta el 2007, significaron una reducción de sus márgenes de rentabilidad, más gravitante para los ingresos de los agricultores de menos de 12 HRB. Los cambios de las superficies de siembra y de rendimientos de los cultivos anuales durante el decenio alteraron la participación de las distintas tipologías en la producción nacional, en desmedro de las mini explotaciones y de la agricultura campesina.

6. **Los cambios tecnológicos:** El más evidente que recoge el Censo 2007 se refiere al aumento de 208 mil ha (228%) de los sistemas de riego tecnificado (mecánico y microrriego) y la fuerte reducción del riego tradicional (191 mil ha), con respecto a 1997. Esto es atribuible, en fracción significativa, a los estímulos de la Ley de Fomento al Riego.

Las unidades menores a 2 HRB y a 12 HRB, tuvieron un incremento relativo importante de la superficie con sistemas tecnificados, pero aun así, en el 2007, de la extensión total de riego tecnificado, un 24% correspondía a explotaciones medianas y un 67% a explotaciones mayores a 60 HRB.

En la extensión total del riego nacional los menores de 12 HRB han perdido casi 44 mil ha en la década; en cambio, las explotaciones mayores de 12 HRB incrementaron su área regada en 64 mil ha. Sorprendentemente, en estas últimas, las mayores de 60 HRB habrían aumentado su riego en 79 mil ha y los medianos (12 - 60 HRB), lo habrían reducido en 15 mil ha.

En correspondencia con las nuevas tecnologías de riego, se ha introducido con fuerza la fertirrigación de la cual son tributarios el 29% de los mayores a 60 HRB, más del doble que la proporción de medianos y siete veces la de las unidades campesinas. Prácticas más amigables con el medio ambiente, como el control integrado de plagas, tienen menos adhesión que la anterior, pero están igualmente relacionadas con los tamaños de las unidades.

7. **El empleo de asalariados y de familiares del productor:** El nivel de empleo permanente y temporal de familiares en las explotaciones es bajo en todos los estratos, incluso en la tipología de unidades campesinas (desde menos de 12 HRB) en las cuales apenas superan un trabajador por explotación, sumando ambos tipos de empleo (Figura 22). Como es de esperar, la estructura del empleo es absolutamente diferente entre tipologías: mientras en las explotaciones menores dominan los trabajadores familiares, en las mayores lo hacen los asalariados.

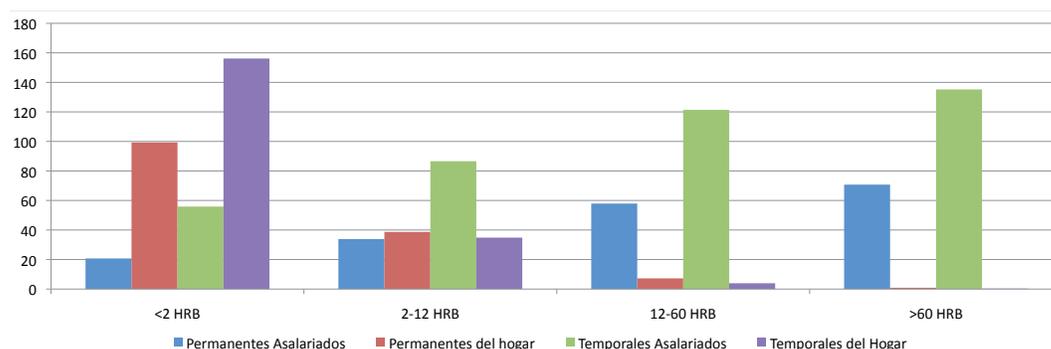


Figura 22. Estructura del Empleo en el año 2007 (Echenique y Romero, 2009).

8. **Destino de la producción:** Los canales de comercialización fueron examinados en el Censo 2007 circunscribiendo las interrogantes a tres opciones: exportaciones, agroindustrias y contratos de producción. Estas tres alternativas eran más frecuentes en las tipologías de medianos y grandes.
9. **Acceso a instrumentos públicos:** Los instrumentos están dirigidos a estratos de productores, con exclusividad hacia pequeños agricultores en el caso de INDAP o con preferencia hacia los mismos y los medianos, en el resto. La cobertura de los programas es en general baja, aun cuando la reiteración de algunos de ellos en el tiempo incrementa notablemente el universo atendido:

En el crédito y asistencia técnica de INDAP, los más masivos anualmente, la cobertura fue de 42,2 y 40,3 mil agricultores en los años 2006 y 2007, respectivamente. Con un claro predominio de los de - 2 HRB en relación a los de los 2 - 12 HRB, a saber, en asistencia técnica 64% vs. 30% y en crédito 61% vs. 34%, respectivamente.

La Ley de Fomento al Riego habría beneficiado a 4,1 mil usuarios en el mismo lapso, un 56% de los cuales tenían menos de 12 HRB. A la Ley de Fomento Forestal habrían accedido 9,5 mil agricultores, el 85% de los cuales menores a 12 HRB e incluso, un 45% con superficie inferior a 2 HRB.

Más masivo ha sido el alcance del Programa de Recuperación de Suelos, con 27 mil beneficiarios, en su mayor parte (58%) de mini explotaciones y de unidades campesinas (32%).

Finalmente, se produjo un significativo incremento de las superficies frutícolas, así como de las viñas viníferas de cepas finas, extendiéndose la frontera de estos cultivos intensivos desde las Regiones de Atacama hasta la Araucanía. Igualmente, se confirma la continuidad de las plantaciones forestales, desplazándose más hacia el Sur, pero a una tasa anual por debajo de la observada en las dos décadas previas. Se han continuado incrementando los niveles de productividad de los cultivos anuales, aunque su extensión se ha venido reduciendo siendo reemplazada por cultivos más intensivos y rentables. Lo mismo ha sucedido con las áreas destinadas a la ganadería bovina de carne y leche que, al igual que los inventarios animales, han presentado una reducción (Echenique y Romero, 2009).

Las innovaciones tecnológicas también son manifiestas y su mayor demostración está en los sistemas de microrriego que se han ampliado considerablemente. Los cambios positivos en cuanto a inversiones en cultivos intensivos y rentables, e innovaciones tecnológicas, muestran una muy clara tendencia a concentrarse en las empresas grandes de más de 60 HRB, incluso con la exclusión o pequeña integración de las empresas medianas de 12 a 60 HRB a estas transformaciones.

A pesar de los esfuerzos de los programas públicos y particularmente de INDAP, los agricultores campesinos de 2 - 12 HRB han perdido participación en el control de tierras, en el riego, en la producción silvoagropecuaria nacional; y muestran pequeños progresos en cuanto a inversiones en plantaciones, riego o innovaciones tecnológicas de otra índole. Igualmente, su presencia en los mercados de exportación, así como en las ventas a agroindustrias y en la agricultura de contrato, es minoritaria.

Las mini explotaciones han tenido algunos cambios positivos (inventarios ovino - caprinos en La Araucanía y Norte Chico, forestación en la Zona Sur) pero la incidencia de sus explotaciones agropecuarias en los ingresos totales del hogar es muy baja, situación no muy diferente a la que exhibe la agricultura campesina, lo que conduce a un bajo empleo de la fuerza de trabajo familiar en la producción propia y tiende a confirmar la tendencia a la multiactividad de la agricultura campesina.

Cuadro 37. Principales cambios de agricultura chilena entre los años 1997-2007 según hectáreas de riego básico HRB (Echenique y Romero, 2009).

Tipologías	Riego		Productividad en Principales Cultivos Anuales				Tecnología de Riego				Destino de producción		
	Riego	Secano	Trigo	Maíz	Papa	Remolacha	Tradicional (ha)		Tecnificado (ha)		Exportan	Venden a Agroindustrias	Agricultura de contrato
	%	%	qq ha ⁻¹	qq ha ⁻¹	qq ha ⁻¹	qq ha ⁻¹	1997	2007	1997	2007	(%)	(%)	(%)
<2 HRB	-4	-7	27	75	111	691					2,5	4,3	1
2-12 HRB	-18	-15	40	98	156	716	278.187	216.200	7.928	25.994	8,7	18,2	7,4
12-60 HRB	-4	-9	54	108	203	785					27,4	39,4	21,9
>60 HRB	20	3	60	117	207	825	681.037	552.351	83.440	276.574	44,8	45,6	29,5
Todos	2	-2	47	108	155	778	959.224	768.551	91.098	302.568	6,4	10,7	4,4

Potenciales impactos sociales de los cultivos bioenergéticos

La bioenergía tiene potencial para producir impactos sociales positivos. Un incremento de la superficie sembrada con especies bioenergéticas puede traer importantes beneficios a las economías locales (Pinto y Acevedo, 2006). En Chile el desarrollo de la industria del etanol, utilizando maíz, no tendría grandes complicaciones, los riesgos son similares a los de cualquier otra agroindustria, además al ya existir la tecnología en otros países la dificultad disminuye (Armijo, 2006). El negocio se plantea como una forma de desarrollo regional y entre sus ventajas esta el aprovechar el valor agregado e integrar operaciones agropecuarias básicas con resultados positivos para los participantes.

La ex Unión Soviética ha firmado el acuerdo de Kyoto, dándole un renovado impulso a la biomasa, además muestran prometedores resultados para electrificación rural con energías renovables, debido a que a pequeña escala es competitiva y posee tecnología apropiada (Rodríguez y Corvalán, 2006). También se menciona que la elaboración de biocombustibles contribuye al desarrollo rural debido a la creación de empleos, como consecuencia del desarrollo de las fuentes primarias para producirlos, y por el transporte y distribución del recurso primario con el cual se produce el biocombustibles (Rodríguez y Corvalán, 2006).

La AFC está interesada en el negocio de los biocombustibles, pues tendría un impacto social importante, mejorando el nivel de vida. Sin embargo, se debe considerar que uno de los posibles impactos, si no se delimita una correcta política bioenergética, es el hecho de que pueda ocurrir una concentración de la propiedad de estas nuevas energías, como ha ocurrido con otros bienes, como el agua de riego (Turra, 2006).

La Política Agroalimentaria y Forestal del Ministerio de Agricultura definida en mayo del 2006, estableció cinco ejes orientadores para el período 2006-2010: a) hacer de Chile una potencia agroalimentaria; b) promover un desarrollo inclusivo, apoyando y fortaleciendo a la AFC; c) adecuar y modernizar la institucionalidad pública silvoagropecuaria; d) contribuir a la ampliación y diversificación de la matriz energética del país, y e) fomentar la conservación y uso sustentable de los recursos naturales. Con la generación de los biocombustibles en Chile, varios de los puntos serían abordados. Respecto a los beneficios sociales de la bioenergía, el más importante es, finalmente, el desarrollo territorial y productivo inclusivo de los pequeños y medianos agricultores, esto se logra por la expansión de la agroenergía y por la agregación de valor en las cadenas productivas ligadas a ellas. Se crean oportunidades de expansión del empleo y de generación de renta en el ámbito del negocio agrícola, propiciando la inclusión social (ODEPA, 2007a).

Los instrumentos de fomento productivo utilizados por las instituciones del Estado, deben evaluarse para mejorar su aplicación y pertinencia, en función de esta nueva industria y los agentes productivos que en ella operarán (ODEPA, 2007a). Se sugiere la revisión de los siguientes instrumentos:

1. Programa de Desarrollo de las Inversiones (PDI) de INDAP,
2. Programa ProRubro de INDAP,
3. Programa de Desarrollo de Proveedores (PDP) de CORFO,
4. Proyectos Asociativos de Fomento (PROFO) de CORFO,
5. Concursos para el Fomento al Riego (Ley 18.450),
6. Sistema de Incentivos para la Recuperación de Suelos Degradados, y
7. DL 701 de Fomento a la Forestación.

Los biocombustibles podrían “promover un desarrollo de carácter inclusivo que contribuya a disminuir la brecha sociocultural y económica de los sectores más postergados del sector rural”, como lo es la AFC, abarcando el primer eslabón de la cadena: producción de materias primas para biocombustibles. Además, con este nuevo negocio se generarían, tres veces más empleo que en la industria del petróleo por cada unidad producida de biocombustibles. Por lo mismo, este nuevo negocio crearía nuevos polos de desarrollo regionales, con todo lo que ello significa (ODEPA, 2007b).

El desarrollo de bioenergía presenta diversos beneficios de índole económica, técnica, social y ambiental siendo tarea de las instituciones estatales como el Ministerio de Bienes Nacionales que tiene como misión reconocer y gestionar el patrimonio fiscal, regularizar la pequeña propiedad raíz y liderar el Sistema Nacional de Coordinación de Información Territorial (SNIT), acercar el territorio fiscal a la población, de manera de contribuir al desarrollo económico, social y territorial en favor de todos los habitantes del país, especialmente de las personas de mayor vulnerabilidad, como lo es la AFC.

El Ministerio de Agricultura está abocado al desarrollo sectorial y a convertir a éste en uno de los ejes principales del desarrollo económico y social del país. Concretar este objetivo significa cambiar el concepto de desarrollo exportador desde el aprovechamiento de ventajas comparativas, basado en productos de poco valor agregado (commodities agropecuarios) a un desarrollo con ventajas competitivas de productos silvoagropecuarios de alto valor, diferenciados por atributos de calidad, eso es precisamente lo que se genera con la bioenergía.

El impacto social de la bioenergía se traduciría en: a) la creación de polos de desarrollo locales y regionales, creando actividad económica y social y evitando las migraciones del campo a la ciudad; b) la reducción de los GEI, que generarán bienestar de las personas; c) la producción de alimentos, subproductos y biofertilizantes de manera sostenible, que también mejorarían el nivel de vida de los miembros de la AFC, y d) la contribución a la seguridad y diversificación de la matriz energética de los países, que también aseguraría un desarrollo y mantención en el tiempo del

sector rural. En un país con más de 4.000 km de longitud, innumerables climas y condiciones de suelos y realidades sociales diversas, una cantidad importante de ellas ubicadas en localidades aisladas, sin lugar a dudas contar con energía, producida con sus propios recursos, constituye una contribución importante al desarrollo nacional a largo plazo (Iglesias, 2010).

Diversos países en desarrollo con ingreso mediano, han alcanzado niveles de acceso a electricidad en zonas rurales bastante amplias, cubriendo la casi totalidad de los hogares (Anónimo, 2008). Ese podría ser un beneficio social fundamental de la bioenergía, la independencia respecto a las redes de electricidad. No obstante, el acceso real para las familias de bajos ingresos se ha visto peligrar debido a aumentos importantes en el costo de la electricidad y los combustibles.

El análisis cuantitativo de los impactos sociales de la producción de biocombustibles líquidos en Chile destaca el trabajo del CATA (2007b). Para ello utilizaron dos indicadores: a) Una estimación del uso de mano de obra directa y b) las hectáreas de cultivos energéticos producidas por la AFC.

a) Estimación de la mano de obra a utilizar en la industria de los biocombustibles.

Se realizó una estimación de la mano de obra a utilizar en la producción de etanol y de biodiésel en los distintos escenarios de demanda. Para la estimación de la mano de obra total a utilizar para cada biocombustibles, se consideró separadamente la utilizada a nivel de campo, para la producción de granos, y la utilizada en la planta misma de producción de biocombustibles y co-productos. Tanto para el etanol como para el biodiésel se consideraron las plantas de mayor capacidad de producción, esto es la de 100.000 m³ año⁻¹ y la de 60.000 m³ año⁻¹, respectivamente. La cantidad de mano de obra utilizada en planta es en promedio de 56 personas para el caso del etanol y 40 para el caso del biodiésel. Estos datos fueron obtenidos desde plantas en operación existentes en otros países a esas escalas de producción. Para el caso de la mano de obra utilizada en el cultivo de la materia prima, se consideraron las hectáreas necesarias de cada grano para producir la cantidad de biocombustible estimado para cada escenario de demanda, sin considerar los posibles efectos de economías de escala; por esta razón, la mano de obra utilizada a nivel de campo representa una cota superior. En el caso del etanol, la materia prima utilizada es trigo y maíz; mientras que para el biodiésel es maravilla y raps. La cantidad de mano de obra utilizada en cada cultivo correspondió a un promedio de los distintos sistemas productivos que potencialmente producirían las materias primas (CATA, 2007b).

Los cuadros 38 y 39 detallan los resultados obtenidos para la estimación de la mano de obra. Así por ejemplo, bajo un escenario del 5% de sustitución de la demanda al 2010, la industria de biocombustibles utilizaría en total alrededor de 1.000 personas año⁻¹: 400 y 600 personas año⁻¹ en la producción de etanol y biodiésel, respectivamente, si ambas industrias se desarrollaran en conjunto (CATA, 2007b).

El beneficio social de la industria de biocombustibles derivado del impacto sobre el empleo directo es bajo, aún cuando la producción de granos fuera íntegramente abastecida por producción nacional. Dado que sólo se ha incluido el empleo directo, la evaluación social de toda la cadena de valor de los biocombustibles, que cuantifique las externalidades sobre el empleo indirecto en el uso de los biocombustibles, necesariamente tendría un mayor impacto en el trabajo generado por esta actividad. (CATA, 2007b).

Cuadro 38. Estimación de la mano de obra a utilizar por la industria del bioetanol (CATA, 2007b).

Escenario de demanda	M.O. en planta			Cultivo	M.O. en cultivos		Total de M.O. en cultivos	Total M.O. a utilizar (empleos año ⁻¹)
	Cantidad de plantas	M.O. por planta	Total M.O. en plantas		Cantidad de hectáreas necesarias	M.O. por hectárea		
2%	1	56	56	Trigo	38.771	0,003	106	162
				Maíz	0	0,014		
5%	2	56	112	Trigo	99.543	0,003	273	385
				Maíz	0	0,014		
10%	4	56	224	Trigo	125.991	0,003	709	933
				Maíz	26.523	0,014		

Cuadro 39. Estimación de la mano de obra a utilizar por la industria del biodiésel (CATA, 2007b).

Escenario de demanda	M.O. en planta			Cultivo	M.O. en cultivos		Total de M.O. en cultivos	Total M.O. a utilizar (empleos año ⁻¹)
	Cantidad de plantas	M.O. por planta	Total M.O. en plantas		Cantidad de hectáreas necesarias	M.O. por hectárea		
2%	2	40	80	Maravilla	0	0,014	216	296
				Raps	78.694	0,003		
5%	4	40	160	Maravilla	0	0,014	439	599
				Raps	160.243	0,003		
8%	7	40	280	Maravilla	39.760	0,014	1.166	1.446
				Raps	226.633	0,003		
9%	8	40	320	Maravilla	76.002	0,014	1.664	1.984
				Raps	227.449	0,003		

b) Hectáreas de cultivos bioenergéticos producidas por la pequeña agricultura.

Por cada cultivo energético considerado en el estudio, se determinó en cada región la proporción de la superficie cultivada en manos de agricultura de subsistencia y pequeños empresarios, en base a datos proporcionados por ODEPA. Estos porcentajes fueron aplicados a las superficies de cultivos necesarias para satisfacer los distintos niveles de demanda. Los resultados se presentan en el cuadro 40 (CATA, 2007b).

Capítulo 4. Impactos producidos por los biocombustibles

Para un escenario del 5% de sustitución al año 2010, para la producción de etanol, alrededor de un 44% (42% pequeño empresario y 2% subsistencia) de la superficie de trigo estaría en manos de pequeños productores. Por el contrario, en el caso de biodiésel, solo un 12% de la superficie de raps requerida se encontraría en manos de pequeños productores. En consecuencia, si se privilegia una visión redistributiva (en lugar del beneficio social) la producción de etanol genera un escenario más favorable a la de biodiésel (CATA, 2007b).

Cuadro 40. Superficie de cultivos bioenergéticos necesaria para distintos niveles de demanda y superficie en manos de pequeños productores (CATA, 2007b en base a datos de ODEPA).

Región	Trigo	Subs. ¹ %	PE ²	Sustitución 2%			Sustitución 5%			Sustitución 10%			
				Total	Subs.	PE	Total	Subs.	PE	Total	Subs.	PE	
Superficie (ha)													
VIII		3,9	46,9						25.500	991	11.969		
IX		2,3	42,2	38.771	910	16.371	99.543	2.337	42.031	75.490	1.773	31.875	
X		4	32,6							25.000	1.007	8.155	
				Total	38.771	910	16.371	99.543	2.337	42.031	125.990	3.771	51.999

Región	Maíz	Subs.	PE	Sustitución 2%			Sustitución 5%			Sustitución 10%		
				Total	Subs.	PE	Total	Subs.	PE	Total	Subs.	PE
Superficie (ha)												
VII		3,9	39,1							22.523	889	8.806
VIII		3,8	27,5							4.000	152	1.100
				Total						26.523	1.041	9.906

Región	Maravilla	Subs.	PE	Sustitución 2%			Sustitución 5%			Sustitución 10%		
				Total	Subs.	PE	Total	Subs.	PE	Total	Subs.	PE
Superficie (ha)												
VII		0,4	63,4							33.393	143	21.178
VIII		0,2	48							6.367	16	3.053
				Total						39.760	159	24.231

Región	Raps	Subs.	PE	Sustitución 2%			Sustitución 5%			Sustitución 10%			
				Total	Subs.	PE	Total	Subs.	PE	Total	Subs.	PE	
Superficie (ha)													
VIII		1,5	18,9	29.500	434	5.590	40.816	601	7.734	81.633	1.202	15.469	
IX		0,2	10,4	49.194	95	5.114	94.427	182	9.816	120.000	231	12.475	
X		0	6,3				25.000	4	1.566	25.000	4	1.566	
				Total	78.694	529	10.704	160.243	787	19.116	226.633	1.437	29.510

¹ Subs.: Agricultura de subsistencia.

² PE: pequeño empresario.

El aporte fiscal identificado, probablemente constituye un costo social puesto que las mezclas difícilmente llegarán al consumidor final a un precio menor al observado para el combustible de origen fósil, en ausencia de biocombustibles (CATA, 2007b). En la evaluación social, tres elementos aparecen como relevantes: **Primero**, la generación de empleo en esta industria es marginal y por lo tanto no puede ser éste el foco de una evaluación social. **Segundo**, un argumento redistributivo favorecería al etanol por sobre el biodiésel, debido a la proporción de la superficie cultivada en manos de agricultura de subsistencia y pequeños empresarios para cada grano relevante. De desarrollarse una industria de biocombustibles basada en la producción de biodiésel en base a raps, escenario que parecería más factible, las primeras plantas debieran localizarse en la provincia de Biobío y Cautín. **Tercero**, si bien las conclusiones de este trabajo no resultan auspiciosas para el desarrollo de una industria de biocombustibles en Chile, no se puede dejar de mencionar que ésta es una industria de gran dinamismo y por lo tanto, existe un valor de opción asociado a ingresar hoy a un mercado para capitalizar el know how futuro. Este valor puede ser muy alto y justificar, por sí mismo, la decisión estratégica de producir biocombustibles, a pesar de que con la tecnología actual aparezca como poco rentable. Al respecto cabe señalar que la producción de biocombustibles de segunda generación a partir de materiales lignocelulósicos constituye una opción de futuro en la cual el país podría tener muchas ventajas competitivas.

Factores clave para lograr un impacto social positivo de la integración de los biocombustibles a la AFC

1. La inclusividad de la AFC debe ocurrir desde el inicio de este desarrollo, pues corresponde a un desafío país y no de unos pocos, y que se debe lograr aprovechar de manera sustentable desde la semilla al consumidor (productores, trabajadores, transportistas, procesadores, comercializadores y consumidores). La acción para lograr que el desarrollo de los biocombustibles sea inclusivo, depende de varias instituciones, entre ellas INDAP, organismo que cuenta con una amplia gama de instrumentos utilizables para lograr la plena inserción de la pequeña agricultura en el desarrollo de esta actividad. INDAP podría ser un actor primordial en la ejecución de la Política Agraria para el Desarrollo de los Biocombustibles, en estrecha relación con los otros actores públicos y privados, adquiriendo así un nuevo rol de la más alta importancia en este ámbito (Turra, 2006; ODEPA, 2007a; ODEPA, 2007b; Iglesias, 2010).
2. Para lograr el impacto positivo de desarrollo en pequeñas localidades se debe transparentar la información respecto a la tecnología disponible asociada al tamaño de planta, pues existen pequeñas plantas con tecnologías rentables y gestionadas por los propios productores que asegurarían mayor beneficio para las comunidades (Turra, 2006; ODEPA, 2007b).
3. Desarrollar planes para el correcto manejo del agua (Turra, 2006).

Capítulo 4. Impactos producidos por los biocombustibles

4. Asegurar planes de desarrollo para evitar problemas relacionados al suministro de las materias primas producidas y a la ubicación de las plantas (Turra, 2006; ODEPA, 2007b).
5. Además debe haber un constante apoyo de instituciones de investigación, universidades, empresas privadas y productores de mayor escala para llevar a cabo evaluaciones y formular planes de desarrollo regional que se consoliden en una política nacional para ser más eficientes en el manejo de la cadena. Por ejemplo establecimiento de políticas diferenciadas para las regiones, de acuerdo a su potencial y su realidad socioeconómica (Turra, 2006; ODEPA, 2007a; ODEPA, 2007b; Iglesias, 2010).
6. Asegurar que los cambios de uso del suelo no sigan afectando la disponibilidad de las tierras agrícolas (Turra, 2006): se requiere que el país defina a corto plazo una política clara de ordenamiento territorial que incorpore, respecto de su uso, las necesidades urbanas, industriales y del sector silvoagropecuario. Una política agroalimentaria moderna y sustentable no puede dejar de lado el desarrollo integral del espacio rural. Por el contrario, es necesario seguir avanzando en la realización del enfoque emergente de desarrollo territorial, consolidando así las redes institucionales públicas y privadas, que faciliten la focalización y articulación de recursos, impulsando los encadenamientos productivos, mejorando la competitividad de los territorios y sus empresas, creando con ello espacios de igualdad (ODEPA, 2007a).
7. Apoyar la formalización tributaria de los productores campesinos (Turra, 2006; ODEPA, 2007a).
8. Fomento a la protección del Medio Ambiente (Turra, 2006).
9. Legislar sobre la producción de cultivos transgénicos que podrían destinarse a la producción de biocombustibles (Turra, 2006).
10. Adecuar instrumentos del Estado para apoyar la AFC, que se oriente a la producción bioenergética (Corfo, Sercotec, etc.), por ejemplo generando apoyo financiero reembolsable y no reembolsable, para que puedan participar en los niveles de mayor agregación de la cadena de valor (Turra, 2006; ODEPA, 2007a; ODEPA, 2007b).
11. Generar un acuerdo con la Organización Mundial de Comercio (OMC) para que la cadena de valor de los biocombustibles esté amparada en el acuerdo con esta institución, que libera a los países en vías de desarrollo, cuando se trata de fomentar actividades en sectores pobres y grupos étnicos (el uso de subsidios debe ser usado como un instrumento que corrige las deficiencias del mercado; Turra, 2006; ODEPA, 2007a).
12. Fortalecimiento de la cooperación público-privado, fomentando la participación. Promocionando la articulación de todos los agentes públicos y privados del sector agrícola en una nueva cadena agroproductiva o “Cluster de los biocombustibles”, de tal manera que se constituya en un referente válido ante las autoridades de Gobierno (Turra, 2006; ODEPA, 2007a; ODEPA, 2007b).

13. Regularizar la agricultura de contrato: Este mecanismo contractual debería ser normado y regulado, considerando que varios cultivos se realizan actualmente bajo esta modalidad. Los pequeños agricultores son capaces de producir eficientemente cuando se agrega la tecnología adecuada a sus procesos productivos, y no existe un mayor costo al operar con ellos. La agricultura de contrato permite incorporar los seguros agrícolas y mejorar el acceso a financiamiento con los bancos (ODEPA, 2007a; ODEPA, 2007b).
14. Sello social: Se podría adoptar la inclusión social regional a través de un “sello social” con beneficios económicos, como ocurre en Brasil, donde el desarrollo del biodiésel se realiza con un bono o incentivo tributario para las plantas elaboradoras cuando éstas compran materias primas a pequeños productores; o como en Argentina, donde la elaboración de los biocombustibles la pretenden realizar en conjunto los agricultores y los industriales (ODEPA, 2007a; ODEPA, 2007b; Iglesias, 2010).
15. Se requiere fortalecer la aplicación de la Ley del Bosque Nativo, como una herramienta importante para los pequeños productores (ODEPA, 2007a; ODEPA, 2007b).
16. Las alternativas de siembras para los biocombustibles podrían crear un polo de desarrollo en la zona sur del país (ODEPA, 2007b).
17. Potenciar la asociatividad de los productores de la AFC, de lo contrario no se podrán optar a beneficios relacionados con las economías de escala (ODEPA, 2007a; CATA, 2007b).
18. La mayor amenaza para el desarrollo de los biocombustibles en el país se encuentra en la posibilidad de importación de estos productos, ya que ello significaría generar un mercado con sacrificio fiscal, en términos del impuesto específico no recaudado, pero que sería aprovechado desde el extranjero. Este aspecto se debe considerar en el marco regulatorio, acorde con los compromisos contraídos con la OMC y los Acuerdos Comerciales suscritos por Chile, a fin de normar la entrada de los biocombustibles y sus precursores, para que no se produzca el efecto señalado (ODEPA, 2007a).
19. Priorización de los cultivos que permitan nuevas rotaciones, desincentivando los monocultivos y entregando sistemas de asistencia tecnológica.
20. Difusión de la operación de la Bolsa de Productos de Chile que posibilite subastas públicas, principalmente para aquellas materias primas de biocombustibles producidas por pequeños agricultores.

Impactos ambientales de los biocombustibles

Ventajas y desventajas de la utilización de los biocombustibles

Ventajas

Los combustibles que provienen de la biomasa tienen importantes ventajas ambientales, las que en lo general son transversales y se resumen en:

- Los cultivos bioenergéticos pueden ser usados en la recuperación de suelos degradados, salinos y en suelos susceptibles a la erosión. El cultivo bioenergético, con un adecuado manejo, puede mejorar el hábitat y la biodiversidad en un proceso de regulación de suelos degradados. Los cultivos energéticos perennes, contrarios a los anuales, mejoran la cubierta del suelo y forman un extenso sistema de raíces incorporando materia orgánica. De todas maneras para el caso de los cultivos anuales se puede minimizar la remoción del suelo dejando raíces en el mismo, además de hojas y ramas que quedan en el suelo para su descomposición y mejora de la fertilidad del suelo.
- Secuestro de carbono, aumento de biodiversidad, embellecimiento del paisaje, estabilización del suelo; todos estos efectos son mayores si antes el terreno había sido ocupado por cultivos intensivos durante largos períodos.
- Los cultivos energéticos pueden ser cosechados como rebrotes cada tres o cuatro años y las raíces pueden sobrevivir por décadas.
- Al usar especies nativas se tiene la ventaja de la belleza del paisaje y la biodiversidad. Por ejemplo, los sauces y los álamos aceptan gran cantidad de insectos fitófagos, que a su vez sirven de alimento a los pájaros.
- Las cenizas de la combustión de la biomasa pueden reciclarse devolviendo al suelo elementos minerales valiosos para el crecimiento de las plantas, esto se hace en Suecia y Austria.
- Al formar cubierta vegetal, ayudan a la retención del agua del suelo.
- La producción de biocombustibles reduce la dependencia de los países en la importación de combustibles fósiles, favoreciendo la producción local de la materia prima.
- Son combustibles renovables, ya que se producen principalmente desde la biomasa vegetal o animal, pudiendo tener un abastecimiento constante de materia prima.
- Son biodegradables. El biodiésel se degrada cuatro veces más rápido que el combustible diésel convencional, y esto se debe al contenido superior de oxígeno que posee el biodiésel (Dermibas, 2009b).
- Tiene menor riesgo en la manipulación, transporte y gracias a la biodegradabilidad que posee el biodiésel, junto con su alto punto de inflamabilidad, permiten un manejo más seguro (Dermibas, 2009b). El etanol, también presenta una baja inflamabilidad (Armijo, 2006).

- Disminuyen las emisiones de Material Particulado (MP), Monóxido de Carbono (CO) e Hidratos de Carbono (HC). En una mezcla de diésel con un 20% de biodiésel en base de soya, se reducen las emisiones de los tres contaminantes, el MP, CO y HC en un 10,1%, 21,1% y 11,0%, respectivamente. En relación a lo mismo, Knothe *et al.* (2006) utilizando biodiésel de soya en un 100%, demostró que el MP se reducía hasta en un 77,6%, mientras que el CO lo hacía en un 25%, y los HC disminuían hasta en un 44,4%. Además, este autor realizó la misma prueba con un metil éster en donde el componente principal era el ácido Oleico (76,77%), sus resultados demuestran que la emisión de MP disminuyó en un 72,9%, la de CO en 49%, y la de los HC lo hacían en un 54,6%. (EPA, 2002). Al agregar un 10% de etanol a la gasolina, las emisiones de CO se reducen hasta en un 30% y también disminuyen las emisiones de CO₂ y de ozono (Armijo, 2006). Nelson (s/a) señala la misma ventaja para el caso del biogás.
- El biodiésel y bioetanol pueden ser empleados en motores convencionales sin necesidad de realizar algún tipo de modificación. Normalmente, se emplean en mezclas con hasta 20%, mientras que en algunos tipos de motores, de uso industrial, se pueden utilizar en porcentajes mayores de mezclas o puro, sin modificar el motor o con pequeñas modificaciones (Demirbas, 2009b).
- El biodiésel posee un menor contenido de Azufre. El contenido promedio de Azufre en el biodiésel equivale al 16% del que posee el diésel convencional (EPA, 2002).
- El biodiésel mejora la lubricidad del combustible. La lubricidad del biodiésel es mayor que la del diésel, incluido aquel con bajas cantidades de azufre. Cuando se mezcla el biodiésel en un 1 - 2% con el diésel con bajo contenido de azufre, se mejora la lubricidad del diésel hasta niveles aceptables (encontrándose en valores cercanos al diésel con alto contenido de azufre; Schumacher, 2005). Sarin *et al.* (2007), utilizando los mismos porcentajes de mezcla de biodiésel con diésel N° 1 y 2, demostró lo mismo que Schumacher (2005). Es necesario destacar, que la lubricidad del biodiésel es menor cuando es producido desde aceites refinados, debido a que los ácidos grasos libres influirían en su lubricidad (Sarin *et al.*, 2007).
- El biodiésel posee un alto índice de cetano (IC), el que es superior al del diésel. El índice de cetano del diésel convencional se encuentra entre 40 - 46 (Demirbas, 2009b), mientras que dependiendo de las normativas, referentes a biodiésel, como mínimo se pide que sea entre 47 y 51. El mayor IC de los biodiésel permite que posean un menor retraso de ignición y por ende, una mejor y más larga combustión. Por ejemplo, el índice de cetano del biodiésel de guindilla, especie nativa con potencial para producir biodiésel, es 59, muy por sobre la normativa para el biodiésel (San Martín *et al.*, 2010).
- El biodiésel tiene un mayor contenido de oxígeno, mejorando el proceso de combustión y disminuyendo el potencial de oxidación. Por lo tanto, la eficiencia de combustión del biodiésel es mejor que la del diésel (Demirbas, 2009b).
- El bioetanol tiene baja toxicidad (Armijo, 2006).

Desventajas

Los combustibles que provienen de la biomasa no siempre generan efectos positivos y estos en lo general son transversales y se resumen en:

- Los cultivos energéticos anuales, mal manejados, pueden erosionar el suelo, tal como cualquier cultivo anual mal manejado (Corvalán y Rodríguez, 2006).
- El uso de materia prima agrícola -fertilizantes y plaguicidas- de manera ineficiente puede provocar efectos nocivos en la población, la calidad del agua y en la vida de la flora y fauna.
- La principal desventaja que poseen los biocombustibles es el aumento de las emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x). Según la EPA (2002), la utilización de un 20% de biodiésel de soya, representa un aumento de 2% en las emisiones de NO_x . Knothe *et al.* (2006) utilizando un 100% de biodiésel de soya, concluyó que las emisiones de NO_x aumentan en un 12,5%, y utilizando un metil éster basado en ácido Oleico, el aumento sería de un 6,2%. El aumento en las emisiones de NO_x , es directamente proporcional con el IC, por lo que mientras mayor sea el índice mayor son las emisiones de NO_x (EPA, 2002). En el caso del bioetanol, también aumentan las emisiones de N_2O , lo que tiene un potencial efecto sobre el calentamiento global equivalente a 530 CO_2 (Patrouilleau *et al.*, 2006).
- Plantas y animales. Los efectos sobre los seres vivos van a depender del tipo y cantidad del producto utilizado. Esto, sin embargo, es un problema común en los cultivos agrícolas, en especial en los cultivos anuales como cereales, que usan 5 a 20 veces más productos químicos que los perennes, como cultivos frutales, y generan de 5 a 20 veces más daño (Corvalán y Rodríguez, 2006).
- El biodiésel posee un alto punto de escurrimiento y punto de niebla, esto es producto de la alta cantidad de ácidos grasos saturados que posee el biodiésel. El diésel comercial debe tener como punto de niebla valores que van entre los $-20\text{ }^\circ\text{C}$ y $-3\text{ }^\circ\text{C}$, mientras que el punto de escurrimiento está entre $-26\text{ }^\circ\text{C}$ y $-12\text{ }^\circ\text{C}$ (Bhale *et al.*, 2009; Imahara *et al.*, 2006).
- El bioetanol requiere de una transformación previa (fermentación y destilación), produciéndose la liberación, durante el proceso, de dióxido de carbono, emisión que no es fijada por la planta (Armijo, 2006).

Capítulo 5

Innovación, incentivos y barreras en la producción de biocombustibles

¿Por qué deberíamos interesarnos en el desarrollo de la bioenergía en Chile?

Hoy no se cuestiona lo relevante que es contar con sistemas energéticos confiables, seguros y que operen a costos razonables para asegurar el desarrollo de los países y la calidad de vida de su población. **En este sentido, la relación entre crecimiento económico y desarrollo energético es clara.**

Sin embargo, esta relación no siempre es positiva, tanto la oferta como la demanda de energía ejercen presiones sobre la alimentación y el medio ambiente. La forma cómo la producimos y consumimos pasó de ser el problema de unas pocas empresas, a ser un problema que tiene implicancias transversales a todos los sectores económicos, compitiendo además por recursos financieros y de territorio con los mismos sectores productivos a los cuales pretende servir. En la primera parte de este libro se muestran los datos que revelan la forma cómo ha ido aumentando el consumo de combustibles fósiles en Chile. Dicho aumento, no sólo tendrá efectos medioambientales negativos, sino que también impactará directamente la competitividad de nuestras empresas en el marco de una economía cada vez más globalizada.

A pesar de la urgencia que requiere el hecho de buscar una solución al escenario descrito en los párrafos anteriores, **es fundamental tomar conciencia que no existe una solución única que permita eliminar por completo nuestra dependencia de los combustibles fósiles.** Esto no significa que no se deba trabajar para reducir esta dependencia, sino que es prioritario focalizarnos en soluciones que nos permitan aprovechar las ventajas que nuestro país ofrece. Si bien en Chile todas las energías renovables tienen un gran potencial de aportar en el logro de este objetivo, la bioenergía se transforma en una de las opciones claves, principalmente debido a que emplean la misma infraestructura logística de los derivados del petróleo, en un comienzo la renovación del parque vehicular no significaría costos adicionales excesivos y sobre todo porque existe una masa crítica de investigadores y empresas interesados en desarrollar iniciativas tecnológica y económicamente viables.

Barreras y oportunidades para el desarrollo de bioenergía en Chile

Si quisiéramos clasificar los usos energéticos de la biomasa en Chile, nos daríamos cuenta que a nivel residencial el energético más usado es leña y a nivel industrial son los “residuos” o subproductos de la industria forestal. En este sentido, se estima que mientras la leña aporta más del 90% de la calefacción de la zona sur (representando entre un 14% y 17% del consumo primario de energía en nuestro país), la energía eléctrica producida con biomasa corresponde, aproximadamente, al 1,3% de la matriz energética nacional (CNE, 2008b; Palma *et al.*, 2009).

Si bien en términos de cifras globales se puede afirmar que la bioenergía tiene un rol relevante en nuestra matriz, al profundizar en la forma en que usamos la biomasa, nos damos cuenta que el mercado de la leña es altamente informal, con poco valor agregado y responsable en gran medida de la contaminación por material particulado en la zona sur de Chile.

De la misma forma, pareciera ser que la generación eléctrica con biomasa aún no es sustentable económicamente por sí sola, sino que se viabiliza en la medida que sea apalancada por otra actividad productiva (como por ejemplo: la industria forestal).

Pero la bioenergía es más que leña y residuos forestales, y por consiguiente es válido preguntarse ¿qué pasa en Chile con otras formas de utilizar la biomasa? como por ejemplo, los pellets, el biodiésel, o el bioetanol, que son productos con mayor valor agregado y por lo tanto de mayor impacto sobre la economía nacional.

Un estudio desarrollado por la consultora ECOFYSVALGESTA (2009) señala lo siguiente: “para el caso del biodiésel, el desarrollo tecnológico en Chile se limita a la adaptación de sistemas y producción en pequeña escala, distinguiéndose un gran interés en los últimos años por el desarrollo de nuevas líneas de investigación y desarrollo en la generación de biodiésel de segunda generación, a partir de micro algas, material lignocelulósico, y cultivos como la *Jatropha*”. Si bien desde el año 2009 a la fecha se han producido avances en el desarrollo de las capacidades tecnológicas locales, aún no es posible afirmar que en Chile se ha desarrollado un entramado industrial asociado a la bioenergía.

Pensando en la materialización de proyectos que permitan aprovechar el potencial energético de la biomasa, el mismo estudio identifica un conjunto de temas en los cuales es posible generar avances, de tal forma de transformarlos en nichos de oportunidades, tanto para las políticas públicas como privadas en la materia (Cuadro 41).

Cuadro 41. Oportunidades para las políticas públicas y privadas en materia de Biocombustibles (Ecofysvalgesta, 2009).

Oportunidades	Descripción
Caracterización de recursos y gestión de información.	Caracterizar físico-químicamente los distintos tipos de biomasa disponibles y utilizables con fines energéticos, así como su potencial de generación de energía. Además se plantea generar modelos que permitan gestionar de manera eficiente dicha información para su utilización en el desarrollo de proyectos
Capital Humano para evaluación y diseño de proyectos.	Si bien en el país se estima existen capacidades con conocimiento de los procesos químicos y bioquímicos asociados a la producción de biocombustibles, éstos no integran conocimientos del área de evaluación económica de proyectos, ni capacidades para la evaluación técnica y económica de los modelos de negocios para la comercialización del biocombustible o energía generada. Por lo tanto, se ve una oportunidad en actividades de especialización fundamentalmente a nivel de postgrado, o bien bajo programas de transferencia tecnológica, en profesionales del área de ingeniería en recursos naturales renovables, ingeniería agronómica, ingeniería forestal, química, bioquímica, ambiental, entre otros.

Cuadro 41. (Continuación)

Oportunidades	Descripción
Mercado de servicios para diseño y evaluación de proyectos de biocombustibles.	Este nicho corresponde a la generación de un mercado de servicios, que integre conocimientos técnicos de proceso (de producción del biocombustible) con capacidades de evaluación económica de proyectos que incluya la evaluación de modelos de negocios para la comercialización de la energía (a distintos niveles de detalle) o biocombustibles generado. Además de lo anterior, se estima necesario el desarrollo de empresas capaces de ofrecer diseño de ingeniería de sistemas
Adaptación y desarrollo local de componentes.	Se identifican oportunidades, en la generación de equipos auxiliares en sistemas de biogás (biofiltros), y biodiésel, como por ejemplo, tolvas de alimentación, sistemas de purificación de biogás, biodigestores, entre otros. Estos equipos normalmente son importados y constiruyen parte importante de los costos de inversión. Lo anterior se visualiza mediante la generación de asociaciones tipo Joint Venture.
Mercado de servicios para puesta en marcha, construcción, operación y mantención.	Se relaciona con los servicios de asesoría necesarios para dar un buen comienzo a la operación de sistemas que integran no sólo aspectos mecánicos, sino químicos y físicos. Se entiende por puesta en marcha a los procesos de partida de operación, los cuales en el caso de sistemas de biocombustibles corresponde a la puesta a punto de los procesos de producción de biocombustibles y del funcionamiento global de la planta. En este contexto, se ha identificado un nicho en la realización de asesorías integrales de seguimiento de la operación. De igual manera, se estima que existe un nicho en el ofrecimiento de servicios de mantención asociada a los equipos y sistemas requeridos.
Modelos de negocio para recolección y utilización de biomasa para fines energéticos.	Este corresponde a un nicho ampliamente explotado en países Europeos, y corresponde a la generación de modelos de recolección a agrupación de biomasa de diversos orígenes para su aprovechamiento energético. Esta recolección se produce bajo diversas modalidades de modelos (contratos por la biomasa, participación en la venta de productos, etc.).
I+D para generación y optimización de nuevas tecnologías en biodiésel y etanol.	Corresponde a actividades de I+D orientadas a la generación, optimización y/o adaptación de nuevas tecnologías, en tendencias emergentes de segunda generación.
Desarrollo estándares de calidad de biocombustible generado (biodiésel), y organismos certificadores.	Corresponde a la generación de estándares que permitan certificar la calidad del biocombustible generado y comercializado. Para ello se requiere del desarrollo de laboratorios acreditados como certificadores.
Caracterización y optimización de rendimientos teóricos y operaciones de fuentes de biomasa de cultivos dedicados, y/o nuevas fuentes como microalgas.	Corresponde a la identificación y optimización de las condiciones de producción en el país de biocombustibles a partir de fuentes emergentes como jatropha, nabo forrajero, tunas, micro y macro algas, etc., de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas del país.

La lista no pretende ser exhaustiva, sin embargo da cuenta de la existencia de espacios de oportunidades tanto a nivel de investigación y desarrollo (I+D) como a nivel de creación de nuevos productos, servicios y modelos de negocios. Este amplio rango de acción es el resultado de una gran variedad de aplicaciones y usos de la biomasa en la generación de energía. En este contexto, es posible afirmar que existen al menos 3 brechas de competitividad que están dificultando la adopción de la bioenergía como componente relevante en nuestra forma de consumir energía, estos son: a) Desarrollo de Capital Humano a nivel profesional y técnico que facilite el diseño, construcción y operación de proyectos de bioenergía, b) insuficiente caracterización del recurso energético, entendida como la determinación de la aptitud dendroenergética de cultivos bajo las condiciones edafoclimáticas en Chile y c) acelerar la transferencia tecnológica del conocimiento generado en la universidades chilenas hacia sectores que podrían ver oportunidades de negocio en el área de la bioenergía.

El rol del fomento de la Innovación como eje del desarrollo tecnológico y económico

Antes de analizar las razones por las cuales la Innovación se vislumbra como eje de una política pública y privada para la bioenergía, es fundamental que establezcamos el marco conceptual de qué entendemos por Innovación. Lo primero es constatar que no existe una única definición del concepto de Innovación. Cada país, sistema nacional de innovación, industria o empresa, elabora una definición que le permita establecer un marco de acción determinado en función de sus propios objetivos. Así por ejemplo, mientras el Manual de Oslo incluye dentro del concepto a la mejora significativa de los procesos productivos y los métodos organizacionales, otros organismos o instituciones se enfocan en los aspectos relacionados con los productos o servicios disruptivos provenientes de actividades de I+D.

A pesar de las diferencias, de todas las definiciones existentes es posible rescatar elementos comunes al concepto de Innovación Tecnológica. El primero de ellos se refiere a la distinción entre Invención e Innovación. Mientras lo primero se refiere a la ocurrencia de una nueva idea, producto o proceso, la Innovación consiste en el primer intento de hacer que “lo inventado” tenga valor significativo para alguien más. Está claro que innovación e invención son conceptos relacionados, pero no son necesariamente lo mismo, es más, puede que transcurra bastante tiempo entre el acto de inventar y la acción de transformar ese invento en una innovación.

Así como existen diferencias sobre el concepto mismo de innovación, también existen diferencias en la forma de describir el proceso de innovar. Por un lado está el modelo lineal de innovación tecnológica que plantea que el proceso se inicia con las actividades de Investigación Básica, luego las de Investigación Aplicada, luego las de Desarrollo para finalmente, terminar con las actividades de Salida al Mercado. Cada una de estas etapas va reduciendo el riesgo asociado a la incertidumbre de la factibilidad técnica de la creación de un nuevo producto o servicio. Mientras en la etapa de Investigación Básica se supone la creación de conocimiento sin necesariamente tener a la vista un nuevo producto o servicio, la etapa de Desarrollo

consiste en aprovechar todos los conocimientos generados por las etapas previas en la creación de un prototipo que permita evaluar el desempeño técnico y comercial del producto o servicio. Por otro lado, existen modelos que, si bien se basan en el modelo anterior, plantean que el proceso de innovación tecnológica nunca es tan lineal sino que por el contrario existe un alto componente de recursividad. Dicho de otra forma, puede darse el caso que, en la etapa de validación técnica y comercial se evidencien ciertos atributos del producto que sean apreciados por los potenciales clientes, pero que para incorporarlos sea necesario volver a la etapa de Investigación Aplicada.

Sin pretender hacer una definición teórica de qué es y qué no es innovación es posible afirmar, al menos de manera intuitiva, que tanto la empresa privada como los centros proveedores de tecnología y conocimiento tienen un rol relevante en este proceso. Desde ese punto de vista, la política pública debe servir de catalizador con el propósito de eliminar o mitigar las barreras que impiden el desarrollo de nuevas tecnologías, y en definitiva de nuevos negocios asociados a la bioenergía.

Tal como se mencionara previamente, Chile no cuenta en la actualidad con un entramado productivo profundo dentro del área de la bioenergía que le permita materializar proyectos de inversión relevantes, sin embargo, cuenta con una serie de elementos que constituyen una buena plataforma tecnológica que sin duda le permitirá hacerlo en el futuro. Algunos estos elementos son: existencia de importantes grupos de investigación en las áreas biológica, agrícola y acuícola, así como también con un grupo de industrias que podrían beneficiarse enormemente del desarrollo de este tipo de tecnologías como son las industrias forestal, salmonera, minera y de energía.

Políticas de incentivo a los biocombustibles

En las conclusiones del seminario “Agroenergía y Biocombustibles”, organizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el año 2006, se deja de manifiesto el interés del país por la utilización y producción de energías renovables no convencionales (ERNC), y en especial por los biocombustibles. El interés hacia la diversificación de la matriz energética también queda patente con las normativas que se han promulgado, y que se encuentran en tramitación luego del año 2006.

La Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) el año 2007 presentó el libro “Contribución de la Política Agraria al Desarrollo de los Biocombustibles en Chile”, donde se dan a conocer cuáles deben ser las directrices, en el ámbito agrícola e industrial, para promover la utilización de biomasa como fuente de energía (ODEPA, 2007). Ese mismo año Ajila y Chiliquina, (2007) establecieron, por medio de la comparación de las distintas normativas existentes en Latinoamérica, que para promocionar y hacer atractiva la producción de biocombustibles, es necesario que la legislación al respecto contemple los siguientes parámetros:

1. Definición de Biocombustibles
2. Marco Institucional y Autoridad de Aplicación de la Norma
3. Requisitos para los Productores de Biocombustibles
4. Requisitos para los Distribuidores de los Biocombustibles
5. Sujetos Beneficiarios del Régimen Promocional
6. Régimen Impositivo y Tributario
7. Plazo o Períodos para la Aplicación de la Normativa
8. Porcentaje de Mezcla de Biocombustibles
9. Infracciones y Sanciones
10. Aspecto Ambiental
11. Reglamentación

Dentro de los parámetros, el régimen impositivo y tributario es el que representa uno de los mayores incentivos para la producción de biocombustibles. En general en todas las normativas latinoamericanas existe exoneración en el pago de los impuestos, en aranceles de importación de bienes, gracia tributaria, estabilidad fiscal y garantía de un mercado para la producción (Ajila y Chilibingua, 2007). Chile con la Circular N° 30 del año 2007, del Ministerio de Hacienda - Servicio de Impuestos Internos, da una muestra de su interés por la promoción de los biocombustibles, adoptando una práctica que ha sido común en el resto de los países de América, la exención de impuestos concernientes a los biocombustibles (CNE, 2007b).

Otra característica de las políticas de incentivo a la producción de biocombustibles es que no es una actividad sectorial, por lo que no puede catalogarse únicamente dentro de una actividad productiva en particular, a pesar de que el origen sea desde la biomasa. La producción de los biocombustibles se debe ver desde diferentes perspectivas, considerando factores sociales, ambientales, económicos y políticos, así como incorporando a instituciones gubernamentales como no gubernamentales (ODEPA, 2007). Existen varios fondos concursables que entregan recursos para proyectos de investigación en biocombustibles, los más importantes son Innova Chile de CORFO, Fondef y Fondecyt de CONICYT (Boza, 2011). Diversos proyectos se encuentran en ejecución o ya han terminado (Cuadro 42 para ver un resumen), pero la cantidad de proyectos relacionados con el tema bioenergético sobrepasa los 100 proyectos postulados, demostrando el interés existente de las instituciones de investigación del país, principalmente, en el desarrollo de los biocombustibles.

Innova Chile de CORFO es una de las principales fuentes de financiamiento en proyectos de producción y/o investigación en biocombustibles. Desde el año 2005, la inversión público-privada en esta área ha sido de más de \$23.000 MM concentrándose principalmente en el apoyo a la creación de cinco Consorcios Tecnológicos Empresariales, de los cuales dos se enfocan en el desarrollo de los biocombustibles líquidos a partir de material lignocelulósico y tres a partir de algas.

Por definición un Consorcio Tecnológico Empresarial es una empresa formada como una Sociedad Anónima cuyo objetivo es la producción y comercialización de tecnologías en determinados ámbitos del conocimiento. Los socios pueden ser tanto empresas privadas como universidades o centros tecnológicos. Un Consorcio debe generar líneas de investigación y desarrollo que le permita, en un plazo de 5 años, tener productos o servicios que sean valorados tanto por clientes nacionales como internacionales. La formación, y la operación de Consorcios Tecnológicos ofrecen innumerables desafíos tanto desde el punto de vista del conocimiento como de la gestión. El equipo ejecutivo debe cautelar el cumplimiento de las actividades de I+D con la capacidad de establecer líneas de negocios derivadas de dichas actividades. Estas y otras iniciativas de Consorcios han mostrado que la calidad y experiencia en la gestión tecnológica del equipo ejecutivo es fundamental para el éxito de un Consorcio Tecnológico.

Los consorcios lignocelulósicos buscan aprovechar la biomasa forestal disponible tanto a nivel de cultivos productivos (pino y eucaliptus) como a nivel de cultivos no productivos (*Nothofagus* u otros) para producir biodiésel y bioetanol. Si bien a nivel mundial la tecnología para transformar la lignina en biocombustibles ya es conocida, aún falta mucho desarrollo para lograr que el proceso sea eficiente, tanto desde el punto de vista del balance energético como de los costos de producción. Algo similar ocurre con el cultivo de algas para la producción de biocombustibles. El proceso tecnológico para la transformación de los lípidos contenidos en algunas especies de algas ya está completamente desarrollado y por lo tanto los desafíos se encuentran principalmente en la determinación de los parámetros de cultivo que optimizan la producción de lípidos (niveles de CO₂, radiación solar, etc.) y la producción de otros subproductos derivados de las harinas que se obtienen al procesar las microalgas. Además, los sistemas de cultivos, requieren ser optimizados en su diseño con el propósito de disminuir lo más posible los costos de operación y mantenimiento.

Existe discusión a nivel mundial si alguna de estas tecnologías será capaz de romper o no las barreras económicas que hoy enfrenta la producción de biocombustibles, sin embargo, desde el punto de vista de la política pública también se busca crear capacidades de investigación y de gestión tecnológica que nos permitan como país, no sólo generar productos o servicios de mayor valor agregado sino también, prepararnos para transferir y adaptar nuevas tecnologías a nuestras necesidades productivas.

Siguiendo con la misma tendencia, la Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica (CONICYT), por medio del programa investigación y desarrollo (I & D) FONDEF, ha invertido sobre \$3.000 MM en proyectos de bioenergía (Boza, 2011). A dichos recursos hay que sumarles los proyectos desarrollados por distintas líneas de financiamiento, tales como FIA, FIC, entre otras.

Cuadro 42. Proyectos de investigación para producción de bioenergía en Chile (CORFO, CONICYT y FIA).

	Nombre del Proyecto	Beneficiaria	Fuente de Financiamiento
1	Prospección de tecnologías para implementación, desarrollo y manejo de plantas de energía de biomasa a partir de purines bovinos y residuos vegetales	ABS Chile Ltda.	CORFO
2	Consorcio tecnológico empresarial de biocombustibles a partir de microalgas en las regiones del norte de Chile	EDELNOR S.A.	CORFO
3	Capacidad de generación de energía renovable a partir de cultivos de alto rendimiento: oportunidades de diversificación productiva para la provincia de Chañaral	Fundación Chile	CORFO
4	Diversificación de la matriz energética con un modelo local de desarrollo sustentable basado en bioetanol, a partir de nabo forrajero en la Patagonia	Instituto de Investigaciones Agropecuarias	CORFO
5	Evaluación agronómica de <i>Jatropha curcas</i> L. como materia prima para producir biodiésel bajo Condiciones Edafológicas de Chile Semiárido.	Instituto de Investigaciones Agropecuarias	CORFO
6	Lubricante biodegradable de jojoba	Particular	CORFO
7	Nuevo sistema de extracción de lodos de salmonicultivos para su uso como bioenergía	Particular	CORFO
8	Omegadesert	Particular	CORFO
9	Optimización biotecnológica de la producción de sustancias bioactivas provenientes de microalgas en la II Región	Universidad de Antofagasta	CORFO
10	Puesta en valor de terrenos fiscales y suelos marginales mediante el desarrollo de cultivos bioenergéticos	Universidad de Chile	CORFO
11	Evaluación económica, ambiental y social del uso racional y sustentable de la biomasa forestal de la región de Aysén.	Universidad de Concepción	CORFO
12	Ekiji: fermentación anaeróbica de residuos agropecuarios para la elaboración de biofertilizantes	Instituto de Investigaciones Agropecuarias	FIA
13	Generación de elementos para la aplicación de análisis de ciclo de vida (ACV) para evaluar impactos ambientales de biocombustibles en Chile	PricewaterhouseCoopers Consultores, Auditores y Compañía Ltda.	FIA
14	Asesoría en manejo agrícola y potencial del cultivo de <i>Jatropha curcas</i> para la producción de biodiésel en zonas áridas.	Universidad de Chile	FIA
15	Desarrollo del Sistema <i>Jatropha curcas</i> para la Producción de biodiésel en la Zona Norte de Chile	Universidad de Chile	FIA
16	Introducción de clones de alto rendimiento de álamo (<i>Populus spp.</i>) para diferentes zonas del país	Universidad de Chile	FIA

Cuadro 42 (continuación).

	Nombre del Proyecto	Beneficiaria	Fuente de Financiamiento
17	Evaluación, adaptación y validación de los cultivos de camelina y mostaza como fuente de materia prima de bajo costo para la producción de biodiésel en la VIII, IX y X regiones	Universidad de Concepción	FIA
18	Desarrollo de sistemas silviculturales basados en plantaciones mixtas para una producción forestal y dendroenergética simultánea, con el fin de generar una oferta sostenible de biomasa para producción de bioenergía	Universidad Austral de Chile	FONDEF
19	Investigación y desarrollo de un paquete tecnológico para producir etanol a partir de álamos híbridos	U. Católica de Temuco	FONDEF
20	Microbiodiésel	U. Católica de Temuco	FONDEF
21	Optimización y mejoramiento biotecnológico de las condiciones de cultivo de la microalga verde <i>Botryococcus braunii</i> para la obtención de los bio-hidrocarburos	Universidad de Antofagasta	FONDEF
22	Combustible diésel y productos químicos finos a partir de tall oil	Universidad de Concepción	FONDEF
23	Desarrollo de herramientas logísticas y tecnológicas para el mejoramiento de las propiedades de pellets de madera utilizando un pretratamiento de torrefacción	Universidad de Concepción	FONDEF
24	Implementación de procesos de co-combustión de carbón y biomasa en Chile: estudio de factibilidad técnica y económica.	Universidad de Concepción	FONDEF
25	Introducción y evaluación del cultivo de miscanthus y paulownia como fuente de biomasa lignocelulósica para la generación de energía renovable en la zona centro sur de Chile	Universidad de Concepción	FONDEF
26	Manejo biotecnológico de microalgas oleaginosas nativas para la obtención de biodiésel	Universidad de Concepción	FONDEF
27	Fortalecimiento del sector energético a partir de fuentes renovables mediante el desarrollo de modelos de disponibilidad, gestión y transformación de biomasa forestal para plantas de cogeneración en el sur de Chile.	Universidad de la Frontera	FONDEF
28	Utilización de <i>Brassica napus</i> para la producción de biodiésel: desarrollo y optimización del proceso	Universidad de la Frontera	FONDEF
29	Modelo silvícola para la obtención de dendroenergía en la zona central de Chile usando híbridos de álamo	Universidad de Talca	FONDEF
30	Desarrollo de un paquete tecnológico para producir bioenergía a partir de algas	Universidad de Tarapacá	FONDEF
31	Biomasa de nopal (<i>Opuntia</i>) para bioenergía: aseguramiento de suministro en forma continua y sustentable	Universidad Mayor	FONDEF
32	Análisis y generación de base de datos de potencial energético y emisiones contaminantes de biocombustibles de interés nacional.	Universidad Técnica Federico Santa María	FONDEF

Barreras para el desarrollo de los biocombustibles en Chile

Sin duda, el desarrollo de los biocombustibles se ve enfrentado a dificultades que afectan su impulso, y Chile no es la excepción. Como cualquier otro mercado se encuentra con barreras técnicas, normativas y económicas las que afectan el avance de esta industria. El siguiente capítulo hace una recopilación de algunas de dichas barreras, analizando aquellos aspectos claves que influyen en ellas.

Barreras Técnicas

a) Baja disponibilidad de materias primas para la producción de biocombustibles de primera generación.

En Chile es limitada la superficie agrícola que puede ser destinada a los cultivos para la producción de biocombustibles de primera generación.

Una de las primeras tareas que llevó adelante el Gobierno de Chile el año 2007 fue realizar un levantamiento de información que permitiese determinar el potencial del país para su producción a partir de materias primas tradicionales, provenientes principalmente del mundo agrícola. Es así como la Comisión Nacional de Energía (CNE) en conjunto con la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) y la Fundación para la Innovación Agraria (FIA), contrataron al Centro Avanzado de Gestión y Tecnología para la Agricultura (CATA) de la Universidad Técnica Federico Santa María para llevar adelante una evaluación del potencial de Chile para producir bioetanol y biodiésel a partir de cultivos agrícolas tradicionales* (CATA, 2007a).

Los resultados del estudio “Evaluación del potencial Productivo de Biocombustibles en Chile con Cultivos Agrícolas Tradicionales” realizados por el CATA no fueron muy favorables, debido a que en el caso del bioetanol, la producción máxima que se puede alcanzar sin desplazar el grano de sus usos alternativos es de $104.894 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$, lo que equivale a reemplazar el 3,18% de gasolina al año 2011. En el caso del biodiésel, la producción máxima que se puede alcanzar es de $396.514 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$, lo que equivale a reemplazar 7,94% al año 2011.

*Es importante señalar que éste es el único estudio oficial que ha sido realizado para determinar el potencial de biocombustibles de primera generación, donde la principal fuente de información fue el documento de ODEPA denominado “Agricultura chilena: rubros según tipo de productor y localización geográfica” basado en el Censo Nacional Agropecuario del año 1997 (ODEPA e INDAP, 2002). Las superficies máximas por provincia y cultivo fueron ajustadas de acuerdo al criterio de expertos de ODEPA. La selección de especies a nivel regional se hizo considerando estadísticas históricas de producción así como también los requerimientos agroecológicos de cada especie. No se consideraron aquellas regiones donde el cultivo no ha tenido una participación relevante.

b) Falta infraestructura apropiada a nivel nacional para la recepción, almacenamiento y distribución de biocombustibles.

Si bien la infraestructura que se utiliza en la industria de los combustibles tradicionales es compatible con el uso de los biocombustibles, de todas formas se requiere realizar ciertas adaptaciones a la infraestructura de recepción, almacenamiento, transporte y distribución. A partir del estudio “Requerimientos de Infraestructura para el Suministro de Biocombustibles en la Actual Red de Distribución de Combustibles Fósiles”, realizado por la Comisión Nacional de Energía (CNE, 2008), fue posible identificar características particulares del bioetanol y del biodiésel y con ello determinar las principales características, técnicas y económicas, requeridas para el adecuado almacenamiento, transporte, distribución y mezcla de los biocombustibles.

Las características de almacenamiento, manejo, mezclado y uso de B100 son muy distintas a las de una mezcla de B20 o menor de biodiésel. El B100 posee propiedades de solvente. El biodiésel tiene una mayor temperatura de congelación en comparación con el diésel convencional, por lo que es necesario calentar las líneas y estanques en climas fríos. Cuando el B100 comienza a transformarse en gel, la viscosidad aumenta a niveles mayores que la del diésel, lo que aumenta el esfuerzo de las bombas de combustible y sistemas de inyección. Ésta es la principal razón por la cual se utilizan mezclas de biodiésel con diésel en climas fríos.

Otra característica del B100 es que no es compatible con el material de algunas mangueras y uniones en los equipos de las estaciones de servicio, pudiendo ablandar y degradar ciertos tipos de gomas utilizados en estos elementos, causando fugas al punto de romperse por completo. El B100, tampoco es compatible con algunos metales y plásticos. El biodiésel puede formar sedimentos si se pone en contacto por largo periodos con cobre, estaño o zinc. Estos sedimentos pueden causar taponamiento de los filtros. Los sistemas de diésel no suelen contener estos materiales, pero en algunos casos este fenómeno puede ocurrir de todas formas. Sumado a lo anterior el B100 puede permear ciertos materiales, como polietilenos y polipropileno luego de largos periodos de tiempo, por lo que no debe utilizarse para almacenar B100. Se recomienda utilizar acero carbono, acero inoxidable o aluminio.

En el caso del bioetanol, el interior de los estanques antiguos de almacenamiento pueden haber sido revestidos para evitar derrames y de esta manera alargar la vida útil de estos. La mayoría de los materiales utilizados como revestimiento es compatible con las mezclas de gasolina/bioetanol, sin embargo particularmente los epóxicos o resinas de poliéster utilizados en los años 70 y 80 no lo son.

Por otra parte, los filtros utilizados en los terminales de almacenamiento y de venta son compatibles con las mezclas de gasolina y bioetanol. Un filtro de 10 micrones es recomendado para las estaciones de servicio. Cuando las estaciones son convertidas a mezcla de gasolina bioetanol puede producir desprendimiento de los sedimentos que se encuentran en las paredes y en el fondo de los estanques. Esto puede traer como consecuencia la necesidad de cambiar el filtro después de la conversión. Otro tema importante de mencionar es el transporte de bioetanol. Generalmente, los ductos son vistos como el modo más rápido y económico de transportar los combustibles líquidos. Sin embargo el movimiento del bioetanol puro vía cañerías es visto como una opción limitada debido a que, el bioetanol absorbe agua e impurezas de las líneas, existen limitaciones logísticas de las líneas existentes (materiales) y por los volúmenes a transportar son reducidos.

Por lo tanto, para ambos biocombustibles se deben utilizar materiales adecuados en los estanques de almacenamiento, uniones, sellos y mangueras para evitar el desgaste prematuro y fatiga de material. Si Chile quisiese incorporar biocombustibles en su matriz energética del transporte, se deben realizar las inversiones en infraestructura necesarias para que este mercado opere sin problemas.

c) Resistencia de la Industria petrolera chilena al cambio que significa introducir biocombustibles en su negocio.

Existe cierta resistencia en la industria petrolera nacional respecto a incluir a los biocombustibles dentro de su modelo de negocio. Esta barrera es más crítica en el caso del Bioetanol que en el del Biodiésel, principalmente porque Chile es un país excedentario en producción de Gasolina y al reemplazar una fracción de Gasolina por Bioetanol se genera una mayor sobreoferta de este producto que debe salir a venderse en el mercado exterior.

Por otra parte como hemos visto en el punto anterior, se requiere de una serie de cambios en la infraestructura de almacenamiento, transporte, distribución y también en la logística de operación en refinería para operar con combustibles tradicionales y biocombustibles.

d) Falta de los recursos humanos capacitados con conocimiento técnico específico en la producción y manejo de los biocombustibles, tanto a nivel de la industria como a nivel de la investigación.

Barreras Legales

a) Rigidez del actual marco normativo para los biocombustibles.

Las especificaciones de combustibles actualmente vigentes en Chile son difíciles de cumplir cuando se realizan mezclas con biocombustibles (por ejemplo presión de vapor en el caso de la mezcla bioetanol - gasolina).

b) Cumplimiento voluntario de las mezclas de combustibles tradicionales con biocombustibles.

Esta condición no fomenta el desarrollo de los biocombustibles ya que no genera una “demanda forzada” aunque sea mínima para ir sentando las bases de un desarrollo gradual de esta industria.

c) Falta de especificaciones para los biocombustibles de segunda generación.

Actualmente en Chile sólo se encuentran normados los biocombustibles de primera generación provenientes, principalmente, de cultivos agrícolas. Si bien, en lo inmediato no constituye una barrera, de desarrollarse este tipo de biocombustibles en el mediano plazo, se deberá avanzar en normar sus especificaciones.

Barreras Económicas

a) Alto precio de las materias primas para la producción de biocombustibles de primera generación.

Ya sea a partir de su producción a nivel nacional como considerando importar el grano de los principales mercados internacionales los valores no hacen rentable este negocio en Chile. Una biorefinería en base a maíz, requiere de un precio de grano de US\$250 por tonelada, cuando el precio de mercado a marzo de 2011 en Chile era en promedio de US\$276,46 por tonelada y de importación a esa data era de US\$303,35 por tonelada desde Argentina (dólar 519,2; ODEPA, 2011c)

b) Infraestructura requerida para la descarga, el almacenamiento, y el transporte de biocombustibles con altos costos de inversión.

Como indica el estudio de Pares y Álvarez (2007) si se considerara realizar mezclas en las estaciones de servicio, habrá que invertir más de 77 mil MM de dólares.

c) Exención tributaria para el uso de los biocombustibles

Positivo para el caso del bioetanol, que logra ser competitivo con la gasolina, esto, no se cumple en el caso del biodiésel, que sigue teniendo un costo mayor que el diésel.

Bibliografía

- Acevedo, E. 2006. Bioenergía y medioambiente. Un círculo virtuoso. Pp. 7-16. In: Acevedo, E. (ed.). Agroenergía: un desafío para Chile. Serie Ciencias Agronómicas N° 11, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 176 p.
- Achten, W.M.J., L. Verchot, Y.J. Franken, E. Mathijs, V.P. Singh, R. Aerts and B. Muys. 2008. Jatropha biodiesel production and use. Biomass and Bioenergy 32(12): 1063-1084.
- Acuña, E., M. Espinosa, J. Cancino, R. Rubilar and F. Muñoz. Estimating the bioenergy potential of *Pinus radiata* plantations in Chile. Ciencia e Investigación Agraria 37(1): 93-102.
- Agarwal, A.K. 2007. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. Progress in Energy and Combustion Science 33(3): 233-271.
- Agarwal, A.K. and Das, L.M. 2001. Biodiesel development and characterization for use as a fuel in compression ignition engines. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power 123(2): 440-447.
- Ajilla, V.H. and B. Chiliquinga. 2007. Análisis de legislación sobre biocombustibles en América Latina. Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). 26 p.
- Anónimo. 2008. Contexto y enseñanzas internacionales para el diseño de una estrategia energética a largo plazo para Chile. Dalberg Global Development Advisors y Comisión Nacional de Energía (CNE). Santiago, Chile. 31 p.
- Anónimo. 2009. Changes in Gasoline IV. Renewable Fuels Foundation (RFF). 42 pp. Disponible en: <http://ethanolrfa.3cdn.net/dd9e74ce1c454a97cc_rbm6bdgh3.pdf>
- Antizar-Ladislao, B. and J. Turrion-Gomez. 2008. Second-generation biofuels and local bioenergy systems. Biofuels, Bioproducts and Biorefining 2(5): 455-469.
- Araque, E., C. Parra, J. Ferrer, D. Contreras, J. Rodríguez, R. Mendonça and J. Baeza. 2008. Evaluation of organosolv pretreatment for the conversion of *Pinus radiata* D. Don to ethanol. Enzyme and Microbial Technology 43(2): 214-219.
- Armijo, F. 2006. Etanol. Pp. 61-72. In: Acevedo, E. (ed.). Agroenergía: un desafío para Chile. Serie Ciencias Agronómicas N° 11, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 176 p.
- Arvizu, J.L. y J.M. Huacuz. 2003. Biogás de rellenos sanitarios para producción de electricidad. Boletín IIE 27(4): 118-123.
- Astudillo, A. 2010. Corfo adjudica fondos por US\$31,6 millones para desarrollo de biocombustibles en base a algas. Diario La Tercera. Santiago, Chile. Martes 19 de Enero.
- Bachelet, M. 2006. Discurso Inaugural. Intervención de S.E. la presidenta de la república, Michelle Bachelet, en la inauguración de seminario "Agroenergía y Biocombustibles". Santiago, Chile. Julio, 27-28.
- Baker, J.M. and T.J. Griffis. 2009. Evaluating the potential use of winter cover crops in corn-soybean systems for sustainable co-production of food and fuel. Agricultural and Forest Meteorology 149(1-2): 2120-2132.
- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) y Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). 2008. Bioetanol de caña de azúcar, energía para el desarrollo sostenible. Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL) y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO). Río de Janeiro, Brasil. 319 p.
- Bello, A. 2003. Aspectos sociales y culturales involucrados en la producción, consumo y uso de la leña. Pp. 27-40. In: A. Hernández y M. Lobos (eds.). Leña: una fuente energética renovable para Chile. Editorial Universitaria, Santiago, Chile. 175 p.
- Berti, M., R. Wilckens, S. Fischer, A. Solis and B. Johnson. 2011. Seeding date influence on camelina seed yield, yield components, and oil content in Chile. Industrial Crops and Products 34(2): 1358-1365.
- Bertrán, J. y E. Morales. 2008. Potencial de biomasa forestal. Proyecto Energías Renovables No Convencionales. Comisión Nacional de Energía (CNE) y Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Santiago, Chile. 54 p.
- Bhale, P.V., N.V. Deshpande and S.B. Thombre. 2009. Improving the low temperature properties of biodiesel fuel. Renewable Energy 34(3): 794-800.
- Boza, S. 2011. Políticas y capacidades de I&D e innovación para el desarrollo de los biocombustibles en Colombia y Chile. Diálogo de políticas sobre desarrollo institucional e innovación en biocombustibles en América Latina y El Caribe. Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL), Oficina Regional para América Latina y El Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo, Gobierno de Alemania y GTZ. Santiago Chile, Marzo 28-29. 45 p.
- Cao, X. and Y. Ito. 2003. Supercritical fluid extraction of grapes seed oil and subsequent separation of free fatty acids by high-speed counter-current chromatography. Journal of Chromatography A 1021(1-2): 117-124.
- Castañeda, C. 2007. Evaluación Técnico - Económica de la Utilización de Desechos del Manejo Forestal de Renovales de Roble, Raulí, Coihue, IX Región, en la Generación de Energía. Memoria para optar al Título Profesional de Ingeniero Forestal, Facultad de Cs. Forestales, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 140 p.

- Cavieres, P. 2006. Balance energético de La producción de etanol de maíz. pp. 73-82. En: E. Acevedo (ed.). Agroenergía, un desafío para Chile. Serie Ciencias Agronómicas N° 11. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 176 p.
- Centro Avanzado de Gestión, Innovación y Tecnología para la Agricultura (CATA.) 2007a. Evaluación del potencial productivo de biocombustibles en Chile con cultivos agrícolas tradicionales. Departamento de Industrias, Universidad Técnica Federico Santa María. 115 p.
- Centro Avanzado de Gestión, Innovación y Tecnología para la Agricultura (CATA.) 2007b. Evaluación y Sensibilización de Estudios Técnico-Económicos Respecto al Potencial de Biocombustibles en Chile. Departamento de Industrias, Universidad Técnica Federico Santa María. 42 p.
- Centro de Despacho Económico de Carga-Sistema Interconectado Central (CDEC-SIC). 2010. Catastro de medios de generación. Santiago, Chile. Disponible en: <www.cdec-sic.cl/est_operacion_publica.php#C24>.
- César, A.S. and M.O. Batalha. 2010. Biodiésel production from castor oil in Brazil: a difficult reality. Energy Policy 38(8): 4031-4039.
- Chamy, R. y E. Vivanco. 2007. Identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponibles en Chile para la generación de biogás. Comisión Nacional de Energía (CNE), Proyecto Energías Renovables No Convencionales. Santiago, Chile. 82p.
- Chile Ambiente. 2008. Análisis del potencial estratégico de la leña en la matriz energética chilena. Comisión Nacional de Energía (CNE), Gobierno de Chile. Santiago, Chile. 290 p.
- Chisli, Y. and J. Yan. 2011. Energy from algae: current status and future trends: algal biofuels - a status report. Applied Energy 88(10): 3277-3279.
- Comisión Nacional de Energía (CNE). 1998. Balances nacionales de energía años 1991-1997. Santiago, Chile. Disponible en: <www.cne.cl>.
- Comisión Nacional de Energía (CNE). 1999. Balance nacional de energía 1998. Santiago, Chile. Disponible en: <www.cne.cl>.
- Comisión Nacional de Energía (CNE). 2000. Balance nacional de energía 1999. Santiago, Chile. Disponible en: <www.cne.cl>.
- Comisión Nacional de Energía (CNE). 2001. Balance nacional de energía 2000. Santiago, Chile. Disponible en: <www.cne.cl>.
- Comisión Nacional de Energía (CNE). 2002. Balance nacional de energía 2001. Santiago, Chile. Disponible en: <www.cne.cl>.
- Comisión Nacional de Energía (CNE). 2003. Balance nacional de energía 2002. Santiago, Chile. Disponible en: <www.cne.cl>.
- Comisión Nacional de Energía (CNE). 2004. Balance nacional de energía 2003. Santiago, Chile. Disponible en: <www.cne.cl>.
- Comisión Nacional de Energía (CNE). 2006. Balances nacionales de energía 2004-2006. Santiago, Chile. Disponible en: <www.cne.cl>.
- Comisión Nacional de Energía (CNE). 2007a. Balance nacional de energía 2007. Santiago, Chile. Disponible en: <www.cne.cl>.
- Comisión Nacional de Energía (CNE). 2007b. Circular N° 30. Instruye sobre el tratamiento tributario de los biocombustibles denominados biodiésel y etanol. Disponible en: <www.cne.cl>.
- Comisión Nacional de Energía (CNE). 2008a. Balance nacional de energía 2008. Santiago, Chile. Disponible en: <www.cne.cl>.
- Comisión Nacional de Energía (CNE). 2008b. Política energética: nuevos lineamientos. Transformando la crisis energética en una oportunidad. Gobierno de Chile. 108 p.
- Comisión Nacional de Energía (CNE). 2009. Modelo de proyección. Demanda energética nacional de largo plazo. Gobierno de Chile. 30 p.
- Comisión Nacional de Energía (CNE). 2010. Balance nacional de energía año 2009. Santiago, Chile. Disponible en <www.minenergia.gob.cl>.
- Comisión Nacional de Energía (CNE). 2011a. Balance nacional de energía año 2010. Santiago, Chile. Disponible en <www.minenergia.gob.cl>. Visitado el 10 de Octubre de 2011
- Comisión Nacional de Energía (CNE). 2011b. Capacidad Instalada por Sistema Eléctrico Nacional. Disponible en: <www.cne.cl>.
- Comisión Nacional de Energía (CNE). s/a. Proyecciones en la demanda de combustibles al año 2019. Gobierno de Chile. No publicado.
- Corporación Chilena de la Madera (CORMA). s/a. Uso de la biomasa forestal con fines energéticos. Disponible en: <www.corma.cl>.
- Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). 2008. \$7.000 millones se invertirán en proyectos de

Bionenergía en Chile

- investigación para el desarrollo de biocombustibles en Chile. Disponible en: <www.corfo.cl>.
- Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). 2010. US\$31,6 millones para investigación de biocombustibles de segunda generación en base a algas. Disponible en: <www.corfo.cl>.
 - Corporación Nacional Forestal (CONAF). 2011. Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Disponible en: <sit.conaf.cl>.
 - Crago, C.L., M. Khanna, J. Barton, E. Giuliani and W. Amaral. 2010. Competitiveness of Brazilian sugarcane ethanol compared to US corn ethanol. *Energy Policy* 38(11): 7404-7415.
 - Da Silva Jr., A.G., M.B.N. Campos, M.M. Teixeira e R. Perez. 2010. Mamona. pp. 49 - 66. Em: A.G. Da Silva Jr. e R. Perez (eds). *Desenvolvimento da cadeia de insumos do APL biodiésel e óleos vegetais no norte de minas. Projeto Biodiésel*, Universidade Federal de Viçosa (UFV) e Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior de Minas Gerais (SECTES). Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 319 p.
 - Dalberg, Global Development Advisors. 2008. Contexto y Enseñanzas Internacionales para el Diseño de una Estrategia Energética a Largo Plazo para Chile. Comisión Nacional de Energía (CNE). Santiago, Chile. 31 p.
 - De Oliveira, M.E.D., B.E. Vaughan and E.J. Rykiel Jr. 2005. Ethanol as fuel: energy, carbon dioxide balances and ecological footprint. *BioScience* 55(7): 593-602.
 - Delgado, P. 2010. Biomasa forestal en Chile. *The Bioenergy International* 8: 38.
 - Demirbas, A. 2008. Biodiésel production via rapid transesterification. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 30(19): 1830-1834.
 - Demirbas, A. 2009a. *Biofuels: Securing the planet's future energy needs*. Springer-Verlag, London, United Kingdom. 343 p.
 - Demirbas, A. 2009b. Progress and recent trends in biodiésel fuels. *Energy Conversion and Management*. 50(1): 14-34.
 - Demirbas, A.H. y Demirbas, I. 2007. Importance of rural bioenergy for developing countries. *Energy Conversion and Management* 48(8): 2386-2398.
 - Echenique, J. y L. Romero. 2009. Evolución de la agricultura familiar en Chile en el período 1997-2007. Corporación Agraria para el Desarrollo, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, Representación de la FAO en Chile. Santiago, Chile. 124 p.
 - ECOFYSVALGESTA. 2009. Estudio de energías renovables no convencionales. InnovaChile-Corfo. Santiago, Chile. 230 p.
 - El Bassam, H. 2010. *Handbook of bioenergy crops: a complete reference to species, development and applications*. Earthscan. London, United Kingdom. 516 p.
 - Ekşioğlu, S.D., A. Acharya, L.E. Leightley and S. Arora. 2009. Analyzing the design and management of biomass-to-biorefinery supply chain. *Computers and Industrial Engineering* 57(4): 1342-1352.
 - Ellies, A. 2000. Soil erosion and its control in Chile - An overview. *Acta Geológica Hispánica* 35(3-4): 279-284.
 - Environmental Protection Agency (EPA). 2002. A comprehensive analysis of biodiésel impacts on exhaust emissions. Draft Technical Report, Environmental Protection Agency, United States. 126 p.
 - Espinoza, G. 2001. *Fundamentos de evaluación de impacto ambiental*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y Centro de Estudios para el Desarrollo (CED). Santiago, Chile. 189 p.
 - Finch, H. 2010. Ethanol Europe. ICIS Pricing. Disponible en: <www.icispricing.com/il_shared/Samples/SubPage108.asp>
 - Franck, N. 2006. Alternativas para la producción de bioenergía en las zonas áridas y semiáridas de Chile. pp. 137-148. En: E. Acevedo (ed.). *Agroenergía: un desafío para Chile*. Serie Ciencias Agronómicas N° 11. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 176 p.
 - Fuenzalida, M. 2008. Lista de verificación para estudios de impacto ambiental de la producción de biodiésel en Chile. Memoria Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 117 p.
 - Fundación Chile. 2008. Potencial de biomasa para generación de combustibles alternativos. Gobierno de Chile, Comisión Nacional de Energía (CNE) y Fundación Chile. Santiago, Chile. 107 p.
 - Galbe, M. and G. Zacchi. 2002. A review of the production of ethanol from softwood. *Applied Microbiology and Biotechnology* 59(6): 618-628.
 - García, T. 2008. Evaluación técnico económica de una planta de bioetanol a partir de maíz. Memoria Ingeniero Civil Industrial e Ingeniero Civil Químico, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 123 p.
 - Gelabert, L.P., A. Asouti and E.A. Martí. 2011. The ethnoarchaeology of firewood management in the Fang villages of Equatorial Guinea, central Africa: implications for the interpretation of wood fuel remains from archaeological sites. *Journal of Anthropological Archaeology* 30(3): 375-384.
 - Gómez, T. y M. Vergara. 2010. Biomasa Forestal. Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM). ELO-383

Bibliografía

- Seminario de Electrónica Industrial. Disponible en: <www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/InformeBiomasa.pdf>. Visitado el 27 de Agosto de 2011.
- Gómez-Lobo, A., J.L. Lima, C. Hill y M. Meneses. 2006. Diagnóstico del mercado de la leña en Chile. Centro de Microdatos, Departamento de Economía, Universidad de Chile. 157 p.
 - González, J.A., R. Velasc and C. Pérez. 2000. Dimensión socioeconómica de la degradación del suelo en Chile. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo 94: 94-104.
 - González, P., V. Alvarez, M. Stange, C. Herrera, M. Cohen y E. Prado. 2007. Disponibilidad de residuos madereros. Proyecto Energías Renovables No Convencionales. Comisión Nacional de Energía (CNE), Instituto Forestal (INFOR), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Santiago, Chile. 120 p.
 - Grupo Urbaser-Danner. 2010. KDM inauguró su planta de generación eléctrica con biogás. Disponible en: <www.kdm.cl/index.php/escondidos/46/272-kdminaguraplatageneracioneolica.html>.
 - Gui, M.M., K.T. Lee and S. Bhatia. 2008. Feasibility of edible oil vs. non edible oil vs. waste edible oil as biodiésel feedstock. Energy 33(11): 1646-1653.
 - Hill, J., E. Nelson, D. Tilman, S. Polasky and D. Tiffany. 2006. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiésel and ethanol biofuels. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS) 103(30): 11206-11210.
 - Harun, R., W.S.Y. Jason, T. Cherrington and M.K. Danquah. 2011. Exploring alkaline pre-treatment of microalgal biomass for bioethanol production. Applied Energy 88(10): 3464-3467.
 - Huneeus, C. 2007. Argentina y Chile, el conflicto del gas. Estudios Internacionales, Revista del Instituto de Estudios Internacionales de la Universidad de Chile 158: 179-212.
 - Iglesias, R. 2008. Biomasa, agroenergía, bioenergía, eficiencia energética, ahorro energético: ¿Tienen sentido? Gobierno de Chile, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Santiago, Chile. 28 p.
 - Iglesias, R. 2010. Agricultura y bioenergía. Gobierno de Chile, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Santiago, Chile. 28 p.
 - Iglesias, R. y E. Taha. 2009. Barreras y oportunidades arancelarias para Chile en el comercio internacional de biocombustibles. Gobierno de Chile, Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). Santiago, Chile. 16 p.
 - Iglirski, B., A. Iglirski, W. Kujawski, R. Buczkowski and M. Cichosz. 2011. Bioenergy in Poland. Renewable and Sustainable Energy Reviews 15(6): 2999-3007.
 - Imahara, H., E. Minami y S. Saka. 2006. Thermodynamic study on cloud point of biodiésel with its fatty acid composition. Fuel 86(12-13): 1666-1670.
 - Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP). 2009. ¿Qué es INDAP? Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Santiago, Chile. Disponible en: <www.indap.gob.cl>
 - Instituto Forestal (INFOR). 2009. Superficie de Bosques plantados por especie. Estadísticas y mercado: Recurso Forestal. Disponible en: <www.infor.cl>.
 - Instituto Forestal (INFOR). 2010. Producción de Madera Aserrada Pino Radiata y Otras Especies. Industria Forestal: Producción y Consumo Aparente. Disponible en: <www.infor.cl>.
 - Instituto Geográfico Militar (IGM). 2010. Atlas Geográfico para la Educación. Editorial IGM. Santiago, Chile. 216 p.
 - Instituto Nacional de Estadística (INE). 2007. VII Censo Agropecuario y Forestal de Chile. Gobierno de Chile. Disponible en: <www.censoagropecuario.cl>.
 - Instituto Nacional de Estadísticas (INE) y Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2005. Chile: Proyecciones y estimaciones de población. Total país. 1950-2050. División de Población, Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía. Santiago, Chile. 94 p.
 - Iriarte, A., J. Rieradevall and X. Gabarrell. 2010. Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chile conditions. Journal of Cleaner Production 18(4): 336-345.
 - Jerez, M. 2010. La agricultura chilena y el terremoto de 2010. Instituto Para el Desarrollo Rural de Sudamérica (IPDRS). Desarrollo Rural, Exploraciones 4. Santiago, Chile. 23 p.
 - Kapdi, S.S., V.K. Vijay, S.K. Rajesh and R. Prasad. 2005. Biogás scrubbing, compression and storage: perspective and prospectus in Indian context. Renewable Energy 30(8): 1195-1202.
 - Kingswood, A. 2010. Estudio exploratorio de la producción de biodiésel a partir de aceite de *Jatropha curcas* en Chile. Memoria Ingeniero Civil Industrial, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 88 p.
 - Knothe, G., Sharp, C.A. and Ryan III, T. 2006. Exhaust emissions of biodiésel, petrodiesel, neat methyl esters, and alkanes in a new technology engine. Energy and Fuels 20(1): 403-408.
 - La Rovere, E.L., A.S. Pereira and A.F. Simões. 2011. Biofuels and sustainable energy development in Brazil. World Development 39(6): 1026-1036.
 - Labra, F. 2009. Zonificación agroecológica preliminar para el establecimiento de áreas potenciales de cultivo de *Jatropha curcas* L. con fines bioenergéticos entre las regiones de Antofagasta y Valparaíso. Memoria

Bionenergía en Chile

- Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 138 p.
- Lamoureux, J. 2007. Diseño conceptual de una planta de biodiésel. Memoria Ingeniero Civil Mecánico, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 123 p.
 - Lemos, W. 2010. October 20th Ethanol (USA). ICIS Pricing. Disponible en: <http://www.icispricing.com/il_shared/Samples/SubPage173.asp>.
 - Lou, L., E. van der Voet and G. Huppes. 2010. Biorefining of lignocellulosic feedstock - technical, economic and environmental considerations. *Bioresource Technology* 101(13): 5023-5032.
 - Ma, F. and M.A. Hanna. Biodiésel production: a review. *Bioresource Technology* 70(1): 1-15.
 - Mabee, W.E., P.N. McFarlane and J.N. Saddler. 2011. Biomass availability for lignocellulose ethanol production. *Biomass and Bioenergy*. Accepted for publication June 14, 2011.
 - Ministerio de Agricultura. 2008. Ley N° 20.283. Ley sobre recuperación del bosque nativo y fomento forestal. Gobierno de Chile. Publicada en el Diario Oficial el 30 de Julio. 36 p.
 - Muñoz, C., R. Mendonça, J. Baeza, A. Berlin, J. Saddler and J. Freer. 2007. Bioethanol production from bio-organosolv pulps of *Pinus radiata* and *Acacia dealbata*. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 82(8): 767-774.
 - Muñoz, F. 2011. Producir biomasa para energía. La visión de los empresarios chilenos. *The Bioenergy International*. 10: 42.
 - Naja, G.N., R. Alary, P. Bajeat, G. Bellenfant, J.J. Godon, J.P. Jaeg, G. Keck, A. Lattes, C. Ieroux, H. Modelon, M. Moletta-Denat, O. Ramalho, C. Rousselle, S. Wenish and I. Zdanevitch. 2011. Assessment of biogás potential hazards. *Renewable Energy* 36(12): 3445-3451.
 - Nascimento, M.B., J.C. Carvalho e A.G. da Silva. 2011. Soja. Pp. 135-142. Em: A.G. da Silva e R. Perez (eds.). *Desenvolvimento da cadeia de insumos do APL biodiésel e óleos vegetais no norte de minas. Projeto Biodiésel*, Universidade Federal de Viçosa (UFV) e Secretaria de Estado de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior de Minas Gerais (SECTES). Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 319 p.
 - Nelson, I. s/a. Aprovechando el biogás. Foro Innovaciones en Bioenergía, METROGAS S.A. Disponible en: <www.fondef.cl/documentos/iberoeka/bioenergia/METROGAS.pdf>.
 - Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) e Instituto de desarrollo agropecuario (INDAP). 2002. *Agricultura chilena: rubros según tipo de productor y localización geográfica. Análisis a partir de VI censo nacional agropecuario*. Documento de Trabajo N° 8, Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile.
 - Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2005. *Panorama de la agricultura chilena*. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Santiago, Chile. 85 p.
 - Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2007a. *Contribución de la política agraria al desarrollo de los biocombustibles en Chile*. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Santiago, Chile. 140 p.
 - Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2007b. *Comité público-privado de bioenergía*. Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Santiago, Chile. 38 p.
 - Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2010. *Estadísticas Forestales*. Disponible en: <www.odepa.cl>.
 - Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2011a. *Cultivos anuales: superficie y producción*. Disponible en: <www.odepa.cl>.
 - Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2011b. *Cultivos anuales: superficie y producción, por región*. Disponible en: <www.odepa.cl>.
 - Palma, R., G. Jiménez y I. Alarcón. 2009. *Las energías renovables no convencionales en el mercado eléctrico chileno*. Comisión Nacional de Energía. (CNE), Proyecto Energías Renovables No Convencionales. Santiago, Chile. 122 p.
 - Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2011c. Disponible en: www.odepa.gob.cl/servlet/articulos.ServletMostrarDetalle;jsessionid=31881261013A38EA5001C9E4292AE161?idcla=2&idcat=2&idclase=99&idn=2656&volver=1
 - Parawara, W. 2004. *Anaerobis treatment of agricultural residues and wastewater*. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in Engineering, Department of Biotechnology, Lund University. Lund, Sweden. 53 p.
 - Park, N., H.Y. Kim, B.W. Koo, H. Yeo and I.G. Choi. 2010. Organosolv pretreatment with various catalysts for enhancing enzymatic hydrolysis of pitch pine (*Pinus rigida*). *Bioresource Technology* 101(18): 7046-7053.
 - Pares y Álvarez Ingenieros Asociados. 2007. *Requerimientos de Infraestructura para el Suministro de Biocombustibles en la actual Red de Distribución de Combustibles Líquidos en el País*.
 - Patrouilleau, R., C. Lacoste, P. Yapura y M. Casanova. 2006. *Perspectivas de los biocombustibles de Argentina, con énfasis en el etanol de base celulósica*. Fundación ArgenINTA, Gobierno de Argentina. 61 p.
 - Pedrero, S. 2008. *Viabilidad técnica y económica de la implementación de una planta de producción de biodiésel*. Memoria Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas,

Bibliografía

- Universidad de Chile. Santiago, Chile. 77 p.
- Pezo, L. 2007. Construcción del desarrollo rural en Chile: apuntes para abordar el tema desde una perspectiva de la sociedad civil. Revista Mad 17: 90-112.
 - Pinto, M. y E. Acevedo. 2006. Cultivos bioenergéticos. Pp. 27-32. In: Acevedo, E. (ed.). Agroenergía: un desafío para Chile. Serie Ciencias Agronómicas N° 11, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 176 p.
 - Pontt, C. 2008. Potencial de biomasa en Chile. Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM). Valparaíso, Chile. 74 p.
 - Programa Energía Sustentable. 2008. Potencial de biomasa para la generación de combustibles alternativos. Segundo Informe de Avance. Comisión Nacional de Energía y Fundación Chile. Santiago, Chile. 107 p.
 - Reijnders, L. and M.A.J. Huijbregts. 2009. Biofuels for road transport: a seed to wheel perspective. Springer-Verlag, London, Great Britain. 170 p.
 - Renewable Fuels Energy (RFA). 2011. World fuel ethanol production. Industry statistics. Disponible en: <www.ethanolrfa.org>.
 - Riadi, K. 2009. Primera planta experimental de producción biodiésel. Dirección de innovación y asistencia tecnológica, Universidad de La Frontera. Disponible en: <www.ufro.cl>.
 - Rodríguez, M. y P. Corvalán. 2006. Consideraciones económicas en el uso de la biomasa como fuente de energía. Pp. 165-176. In: Acevedo, E. (ed.). Agroenergía: un desafío para Chile. Serie Ciencias Agronómicas N° 11, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 176 p.
 - Rojo, F. y E. Acevedo. 2006. Biodiésel. Pp. 83-98. In: Acevedo, E. (ed.). 2006. Agroenergía: un desafío para Chile. Serie Ciencias Agronómicas N° 11, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile. 176 p.
 - Román, C. 2011. Validación del software BiodiéselFAO como herramienta de apoyo a la toma de decisión en proyectos de producción de biodiésel. Memoria Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 74 p.
 - Román, C., K. Vásquez, R. Valenzuela, G. Martínez, G. Lillo, L. Morales, R. Fuster, A. de la Fuente, J.M. Uribe, L.O. Faúndez y M. Paneque. 2009. Cultivos energéticos: una apuesta de futuro. M. Paneque (ed.). Santiago, Chile. 224 p.
 - San Martín, R., T. de la Cerda, A. Uribe, P. Basilio, M. Jordán, D. Prehn and M. Gebauer. 2010. Evaluation of guindilla oil (*Guindilla trinervis* Gillies ex Hook. et Arn.) for biodiésel production. Fuel 89(12): 3785-3790.
 - Sarin, R., A.K. Arora, R. Renjan, A.A. Gupta and R.K. Malhotra. 2007. Bio-diésel lubricity: correlation study with residual acidity. Lubrication Science 19(2): 151-157.
 - Schneuer, D. 2010. Estudio exploratorio para la producción de bioetanol y coproductos de biorefinería, a partir de rastrojos de maíz. Memoria Ingeniero Civil Industrial e Ingeniero Civil en Biotecnología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 112 p.
 - Schumacher, L. 2005. Biodiésel lubricity. Pp. 126-133. In: G. Knothe, J. Van Gerpen y J. Krahl. The biodiésel handbook. AOCS Publishing, Champaign, Illinois, United States. 328 p.
 - Searle, B. 2005. Bio-diésel in Oregon. Oregon Department of Agriculture. Disponible en: <www.oregon.gov/ODA/do_reports_index.shtml>.
 - Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). 2011. Búsqueda de Proyectos. Disponible en: <www.sea.gob.cl>.
 - Shah, S.N., B.K. Sharma, B.R. Moser and S.Z. Erhan. 2010. Preparation and evaluation of jojoba oil methyl esters as biodiésel and as a blend component in ultra-low sulfur diésel fuel. Bioenergy Research 3(2): 214-223.
 - Simon, D., W.E. Tyner and F. Jacquet. 2010. Economic analysis of the potential of cellulosic biomass available in France from agricultural residue and energy crops. Bioenergy Research 2010 3(): 183-193.
 - Sims, R.E.H., W. Mabee, J.N. Saddler and M. Taylor. 2010. An overview of second generation biofuel technologies. Bioresource Technology 101(6): 1570-1580.
 - Sotomayor, R. 2010. Estudio exploratorio de producción de bioetanol y de coproductos de biorefinería a partir de residuos de eucalipto. Memoria Ingeniero Civil Industrial e Ingeniero Civil en Biotecnología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 142 p.
 - Srivastava, A. and R. Prasad. 2000. Triglycerides-based diésel fuel. Renewable and Sustainable Energy Reviews 4(2): 111-133.
 - Tan, K.T., K.T. Lee, A.R. Mohamed and S. Bhatia. 2009. Palm oil: addressing issues and towards sustainable development. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13(2): 420-427.
 - Thoenes, P. 2007. Biofuels and commodity markets - palm oil focus. FAO, Commodities and Trade Division. Disponible en: <www.fao.org/es/ESC/common/ecg/122/en/full_paper_English.pdf>.
 - Tiffany, D. and V. Eidman. 2003. Factors Associated with Success of Fuel Ethanol Producers. Department of Applied Economics, College of Agricultural, Food, and Environmental Sciences, University of Minnesota. 54 p. Turkenburg, W.C., J. Beurskens, A. Faaij, P. Fraenkel, I. Fridleifsson, E. Lysen, D. Mills, J.R. Moreira, L.J. Nilsson,

Bionenergía en Chile

- A. Schap and W.C. Sinke. 2000. Renewable energy technologies. Pp. 219-272. *In*: World energy assessment, energy and the challenge of sustainability. United Nations Development Programme (UNDP), United Nations Department of Economic and Social Affairs y World Energy Council. New York, United States. 508 p.
- Turra, R. 2006. Antecedentes para una política nacional de Bioenergía. Movimiento Unitario Campesino y Etnias de Chile (MUCECH). Santiago, Chile. 16 p.
 - United States Department of Agriculture (USDA). 2010. Oilseeds: world markets and trade. December 2010. Foreign Agricultural Service, United States of American Government. 33 p.
 - Universidad de Concepción. 2009. Análisis de la Cadena de Producción y Comercialización del Sector Forestal Chileno: Estructura, Agentes y Prácticas. Informe Final. Universidad de Concepción, Departamento de Economía. Concepción, Chile. 249 p.
 - Van Gerpen, J., R. Pruszko, D. Clements, B. Shanks and G. Knothe. 2005. Building a successful biodiésel business. *In*: H.K. Randall y A.T. Qualio (eds.). HRK Communications & Marketing, Idaho, United States. 245 p.
 - Vásquez, K. 2009. Zonificación agroecológica preliminar para el establecimiento de áreas potenciales de cultivo de *Jatropha curcas* L. con fines bioenergéticos entre la región Metropolitana y del Bio-bío. Memoria Ingeniero en Recursos Naturales Renovables, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santiago, Chile. 99 p.
 - Vergara, G. y J. Gayoso. 2004. Efecto de factores físico-sociales sobre la degradación del bosque nativo. *Bosque* 25(1): 43-52.
 - Villa-Rodríguez, J.A., F.J. Molina-Corral, J.F. Ayala-Zavala, G.I. Olivas and G.A. González-Aguilar. 2011. Effect of maturity stage on the content of fatty acids and antioxidant activity of "Hass" avocado. *Food Research International* 44(5): 1231-1237.
 - Yousfi, K., R.M. Cert and J.M. García. 2006. Changes in quality and phenolic compounds of virgin olive oils during objectively described fruit maturation. *European Food Research and Technology* 223(1): 117-124.
 - Ziska, L.H., G.B. Runion, M. Tomecek, S.A. Prior, H.A. Torbet and R. Sicher. 2009. An evaluation of cassava, sweet potato and field corn as potential carbohydrate sources for bioethanol production in Alabama and Maryland. *Biomass and Bioenergy* 33(11): 1503-1508.

Anexo 2. Entorno Legal para la Producción de Bioenergía

Legislación Ambiental Aplicable a la Bioenergía

La normativa descrita más adelante puede afectar tanto de manera directa como indirecta la producción, comercialización o utilización de los biocombustibles, y a la energía generada por la biomasa.

Marco Legal General

Existen normativas que son aplicables a cualquier proyecto productivo o social que posean una connotación ambiental y/o energético, considerándose los proyectos de producción de bioenergía dentro de este ítem, la siguiente normativa de carácter general puede influir, potencialmente, en la evaluación de su utilización.

- Ley 1.150/80, Constitución política de la República de Chile de 1980. En el Capítulo II, Artículo 19, Inciso 8° asegura a todas las personas “El derecho de vivir en un medio ambiente libre de contaminación” y establece que “es deber del estado velar para que este derecho no sea afectado y tutelar la preservación de la naturaleza”.
- Ley 19.300/94, Ley de Bases Generales del Medio Ambiente (LBGM), de la Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), desde el año 2007, Ministerio del Medio Ambiente. Establece las bases generales de la normativa ambiental existente y futura, y evita de esta manera que las actividades que se realicen dentro del territorio nacional se efectúen en desmedro de las condiciones ambientales existentes.
- Ley 20.257/08, Introduce Modificaciones a la Ley General de Servicios Eléctricos Respecto de la Generación de Energía Eléctrica con Fuentes de Energías Renovables No Convencionales (ERNC), del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Esta modificación a la ley de Servicios Eléctricos establece la obligatoriedad para las empresas generadoras de electricidad, con capacidad superior a 200 MW, de poseer, al año 2024, al menos un 10% de generación (propia o a partir de otra empresa) proveniente de ERNC. Esto puede afectar competitivamente la generación de bioenergía, sobre todo en el uso de la biomasa, ya que ésta se encuentra incorporada actualmente en la matriz energética, empleándose al año 2008 14,6 MM ton (CNE, 2008a). En cambio, el principal uso que se le dará al biodiésel y etanol es en el rubro del transporte, pudiendo utilizarse más adelante para generación de electricidad por medio de centrales termoeléctricas.
- Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) N° 95/01, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Establece las disposiciones por las que se regirá el SEIA según se establece en la ley N° 19.300. La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), es una herramienta que evalúa los impactos negativos y positivos que pueden generarse al ejecutar un proyecto, en ella se proponen medidas de mitigación, reparación y compensación en caso que sea necesario (Espinoza, 2001). Puede afectar la producción de bioenergía desde la perspectiva energética, agroindustrial, proyectos de desarrollo o explotación forestal y proyectos de producción de recursos hidrobiológicos. De todos modos, va a depender del nivel de producción y como se ejecute.

Marco Legal Específico

La normativa que afecta de forma directa la producción de biocombustibles en Chile, es la que se presenta a continuación:

- Estrategia Nacional Contra el Cambio Climático. Aprobada el año 2006 por el Consejo Directivo de Comisión Nacional de Medio Ambiente (CONAMA). En ella se presentan los lineamientos a seguir por el estado de Chile en lo que respecta a la problemática ambiental asociada al cambio climático, así como también la manera en que se debe implementar la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto. En síntesis, se indican los ejes estratégicos para abordar el cambio y sus respectivos objetivos.
- Una Política ambiental para el Desarrollo Sustentable. Aprobada por el Consejo de Ministros el año 1998. Se presenta la política ambiental del Gobierno de Chile, que pretende que todas las actividades gubernamentales se desarrollen en el marco del desarrollo sustentable. Se justifica principalmente en

- el Artículo 1 de la LBGM, que cita: “el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación, la protección del medio ambiente, la preservación de la naturaleza y la conservación del patrimonio ambiental”.
- Ley 5.238/08, Proyecto de Ley que Crea el Fondo Nacional de Investigación y Desarrollo de Biocombustibles. Moción planteada por el Senador Antonio Horvath el año 2007, quién propone la creación de un fondo que se use de manera exclusiva en investigación y desarrollo de biocombustibles. Busca otorgar los recursos necesarios para que universidades, institutos y centros de investigación puedan desarrollar investigaciones y explorar las opciones de producir biocombustibles en Chile. Aún se encuentra en proceso de tramitación, habiéndose archivado en Marzo de 2010, desarchivándose en Marzo de 2011, a petición del Senador Carlos Bianchi.
 - Ley 4.873/08, Proyecto de Ley Sobre Fomento de las Energías Renovables y Combustibles Líquidos. Moción planteada por el Senador A. Chadwick, J.A. Coloma, J.A. Gómez, J. Orpis y V. Pérez Varela el año 2007, quienes proponen que el combustible diésel y gasolina empleada en el rubro del transporte y que se expendan a público, obligatoriamente debe contener 5% de biodiésel o etanol, respectivamente. Busca la diversificación de la matriz energética del país y la sustitución del uso de combustibles fósiles por biocombustibles. Aún se encuentra en proceso de tramitación, habiéndose archivado en Marzo de 2010, desarchivándose en Marzo de 2011, a petición del Senador José Antonio Gómez.
 - Decreto Fuerza de Ley 323/31, Ley de Servicio de Gas, del Ministerio del interior. Este decreto define a los gases como “todo fluido gaseoso combustible que se transporte o distribuya a través de redes de tubería, ya sea gas natural, gas obtenido del carbón, nafta o coke, propano y butano en fase gaseosa y cualquier otro tipo o mezcla de los anteriores”. Por lo cual afecta el transporte, distribución y consumo del biogás.
 - Decreto Supremo N° 11/08, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Aprueba Definiciones y Especificaciones de Calidad para la Producción, Importación, Transporte, Almacenamiento, Distribución y Comercialización, de Bioetanol y Biodiésel. Da a conocer las especificaciones de calidad que deben poseer los biocombustibles líquidos – biodiésel y bioetanol – que se comercialicen en el país. Además, autoriza las mezclas de bioetanol y biodiésel con gasolina y diésel, respectivamente, para uso vehicular en 2 a 5% del volumen de la mezcla.
 - Decreto Supremo N° 244/05, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Aprueba Reglamento para Medio de Generación No Convencionales y Pequeños Medios de Generación Establecidos en la Ley General de Servicios Eléctricos. Establece las condiciones necesarias para considerar a un medio de generación eléctrica por biomasa como no convencional.
 - Decreto Supremo N° 280/09, del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. Aprueba Reglamento de Seguridad para el Transporte y Distribución de Gas de Red. Establece los mecanismos y reglamentación para el mantenimiento y distribución del gas por medio de red.
 - Decreto Supremo N° 349/04, del Ministerio de Relaciones Exteriores. Ratifica el Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de Las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático y sus Anexos A y B. Promulga y ratifica la posición de Chile con respecto al Protocolo de Kyoto, y a la reducción de emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI), causantes del calentamiento global.
 - Resolución Exenta 1.278/09, de la Comisión Nacional de Energía. Establece Normas para la Adecuada Implementación de la Ley N° 20.257, que Introdujo Modificaciones a la Ley General de Servicios Eléctricos de la Generación de Energía Eléctrica con Fuentes de Energías Renovables No Convencionales. Esta Resolución da los lineamientos para establecer la manera, cantidad y quienes se ven afectados.

Otra Normativa Aplicable (Normativas Específicas)

A continuación se detallan una serie de normas que podría afectar la producción de bioenergía.

Impuestos Combustibles

- Ley 18.502, del Ministerio de Hacienda. Establece los Impuestos a los Combustibles que Señala.

Bionenergía en Chile

- Ley 20.063, del Ministerio de Hacienda. Crea Fondo de Estabilización de Precios de Combustibles Derivados del Petróleo.
- Ley 20.115, del Ministerio de Hacienda. Prorroga la Vigencia del Mecanismo de Estabilización de los Precios del Petróleo Establecido en la Ley 20.063.

La Comisión Nacional de Energía (CNE), mediante la Circular N° 30 del año 2007 establece que los biocombustibles no se ven afectados por los impuestos específicos a los combustibles ni por el fondo de estabilización del petróleo. En caso de que se utilicen en mezclas, sólo se verían afectados al impuesto o fondo la parte fósil de la mezcla, sin gravar a los biocombustibles (CNE, 2007b).

Emisión Atmosférica

- Decreto Fuerza de Ley N° 725/67, del Ministerio de Salud. Código Sanitario, Título IV, Párrafo I, Artículo 89, Letra a).
- Decreto Supremo N° 1.583/93, del Ministerio de Salud. Establece Norma de Emisión de Material Particulado a Fuentes Estacionarias Puntuales.
- Decreto Supremo N° 144/61, del Ministerio de Salud. Establece Normas para Evitar Emanaciones o Contaminantes Atmosféricos de Cualquier Naturaleza.
- Decreto Supremo N° 322/91, modifica el Decreto Supremo N° 32/90, del Ministerio de Salud. Establece Excesos de Aire Máximos Permitidos para Diferentes Combustibles.
- Decreto Supremo N° 1.905/93, del Ministerio de Salud. Establece Norma de Emisión de Material Particulado a Calderas de Calefacción que Indica, Ubicadas en la Región Metropolitana.
- Decreto Supremo N° 811/93, del Ministerio de Salud. Prohíbe Funcionamiento de Chimeneas para Calefacción en Viviendas y Establecimientos de la Región Metropolitana.
- Decreto Supremo N° 4/92, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Establece Norma de Emisión de Material Particulado a Fuentes Estacionarias Puntuales y Grupales.
- Decreto Supremo N° 113/02, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Establece Norma Primaria de Calidad de Aire para Dióxido de Azufre (SO₂).
- Decreto Supremo N° 82/93, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Establece Normas de Emisión a Vehículos y Motores.
- Decreto Supremo N° 4/94, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Establece Normas de Emisión de Contaminantes Aplicables a los Vehículos Motorizados y Fija los Procedimientos para su Control.
- Decreto Supremo N° 211/91, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Establece Normas de Emisión Aplicables a Vehículos Motorizados Livianos.
- Decreto Supremo N° 54/94, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Establece Normas de Emisión Aplicables a Vehículos Motorizados Medianos.
- Decreto Supremo N° 55/94, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Establece Normas de Emisión Aplicables a Vehículos Motorizados Pesados.
- Decreto Supremo N° 104/00, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Establece Norma de Emisión para Motocicletas.
- Decreto Supremo N° 130/01, del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. Establece Normas de Emisión de Monóxido de Carbono (CO), Hidrocarburos Totales (HCT), Hidrocarburos no Metánicos (HCNM), Metano (CH₄), Óxidos de Nitrógeno (NO_x) y Material Particulado (MP) para Motores de Buses de Locomoción Colectiva de la Ciudad de Santiago.
- Resolución N° 2.063/05, del Ministerio de Salud. Establece Fuentes Estacionarias a las que les son Aplicables Normas de Emisión de Monóxido de Carbono (CO) y Dióxido de Azufre (SO₂).
- Resolución N° 1.215/78, del Ministerio de Salud. Normas Sanitarias Mínimas Destinadas a Prevenir y Controlar la Contaminación Atmosférica, Artículos 3,4 y 5.

Anexos

- Resolución N° 15.027/94. Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente. Establece Procedimiento de Declaración de Emisiones para Fuentes Estacionarias.

Zonas Latentes y/o Saturadas, y sus Respectivos Planes de Prevención y/o Descontaminación

- Decreto Supremo N° 131/96, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Declaración zona Latente y Saturada de la Región Metropolitana.
- Decreto Supremo N° 55/05, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Declaración zona Latente por Anhídrido Sulfuroso como concentración máxima de 24 horas para la zona circundante a la Fundición Chuquicamata de la División Chuquicamata de CODELCO Chile.
- Decreto Supremo N° 18/97, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Declaración zona Saturada de Anhídrido Sulfuroso y Material Particulado Respirable la zona circundante a la Fundición de Potrerillos de la División El Salvador de CODELCO Chile
- Decreto Supremo N° 1.162/93, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Declaración zona Saturada de Material Particulado Respirable, las localidades de María Elena y Pedro de Valdivia ubicadas en la Región de Antofagasta.
- Decreto Supremo N° 179/94, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Declaración zona Saturada de Anhídrido Sulfuroso y Material Particulado Fundición Caletones.
- Decreto Supremo N° 255/93, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Declaración zona Saturada de Anhídrido Sulfuroso Fundición Hernán Videla Lira.
- Decreto Supremo N° 346/93, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Declaración zona Saturada de Anhídrido Sulfuroso y Material Particulado al área circundante al Complejo Industrial Ventana.

Descargas Líquidas

- Ley N° 3.133/16, del Ministerio de Obras Públicas. Neutralización de Residuos Provenientes de Establecimientos Industriales.
- Decreto Fuerza de Ley N° 725/67, del Ministerio de Salud. Código Sanitario, Título II, Párrafo I, Artículos 69-76.
- Decreto Fuerza de Ley N° 1/90, del Ministerio de Salud. Determina Materias que Requieren Autorización Sanitaria Expresa.
- Decreto Supremo N° 351/93, del Ministerio de Obras Públicas. Reglamento para la Neutralización de Residuos Líquidos Industriales a que se Refiere la Ley N° 3.133.
- Decreto Supremo N° 609/98, del Ministerio de Obras Públicas. Establece Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Industriales Líquidos a Sistemas de Alcantarillado.
- Decreto Supremo N° 1/92, del Ministerio de Defensa Nacional. Reglamento para el Control de la Contaminación Acuática.
- Decreto Supremo N° 90/01, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Regula Contaminantes por Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Continentales y Superficiales.
- Decreto Supremo N° 46/02, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Establece Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas.

Emisión de Ruidos

- Decreto Fuerza de Ley N° 725/67, del Ministerio de Salud. Código Sanitario, Título IV, Párrafo I, Artículo 89, Letra b).
- Decreto Supremo N° 745/92, del Ministerio de Salud. Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo.
- Decreto Supremo N° 146/98, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Establece Norma de Emisión de Ruidos Molestos Generados por Fuentes Fijas.

Residuos Sólidos

- Decreto Fuerza de Ley N° 725/67, del Ministerio de Salud. Código Sanitario, Título II, Párrafo III, Artículos 78-81.
- Decreto Fuerza de Ley N° 1.122/81, del Ministerio de Justicia. Código de Aguas, Título VII, Párrafo I, c) De la Servidumbre de Acueducto, Artículo 92.
- Decreto de Ley N° 3.557/80, del Ministerio de Agricultura. Establece Disposiciones sobre Protección Agrícola.
- Decreto Supremo N° 745/92, del Ministerio de Salud. Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo, Título II, Párrafo III, Artículos 17-20.
- Resolución N° 7.077/76, del Ministerio de Salud. Prohíbe la Incineración como Método de Eliminación de Residuos Sólidos de Origen Doméstico e Industrial en Determinadas Comunas de la Región Metropolitana.

Agrícola y Forestal

- Ley N° 19.342/94, del Ministerio de Agricultura. Regula Derechos de Obtentores de Nuevas Variedades Vegetales.
- Ley N° 20.283/08, del Ministerio de Agricultura. Ley Sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal.
- Decreto Ley N° 1.764/77, del Ministerio de Agricultura. Fija Normas para la Investigación, Producción y Comercio de Semillas.
- Decreto Ley N° 3.557/80, del Ministerio de Agricultura. Establece Disposiciones Sobre Protección Agrícola.
- Decreto Ley N° 2.565/79, del Ministerio de Agricultura. Fija el Texto Refundido del Decreto Ley N° 701, Sobre Fomento Forestal.
- Decreto Supremo N° 373/96, del Ministerio de Agricultura. Aprueba Reglamento de Ley N° 19.342 que Regula Derecho de los Obtentores de Nuevas Variedades Vegetales.
- Decreto Supremo N° 104/83, del Ministerio de Agricultura. Establece Normas Relativas a Genuinidad de Variedades en Transacciones de Especies.
- Decreto Supremo N° 188/78, del Ministerio de Agricultura. Aprueba Reglamento General del Decreto Ley N° 1.764, para las Semillas de Cultivo.
- Decreto Supremo N° 5/72, del Ministerio de Agricultura. Aprueba Reglamento para la Explotación del Pino Insigne en la Provincia del Maule.
- Decreto Supremo N° 115/03, modifica Decreto Supremo N° 977/96, del Ministerio de Salud. Exige que los productos modificados por “eventos biotecnológicos” expresen su calidad de tales en sus etiquetas.
- Decreto Supremo N° 93/08, del Ministerio de Agricultura. Reglamento General de la Ley Sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal.
- Decreto Supremo N° 95/08, del Ministerio de Agricultura. Reglamento del Fondo de Conservación, Recuperación y Manejo Sustentable del Bosque Nativo.
- Decreto Supremo N° 96/08, del Ministerio de Agricultura. Reglamenta los Recursos Destinados a la Investigación del Bosque Nativo.
- Decreto Supremo N° 4.363/31, del Ministerio de Tierras y Colonización. Aprueba Texto Definitivo de la Ley de Bosques.
- Decreto Supremo N° 193/98, del Ministerio de Agricultura. Aprueba Reglamento General del Decreto Ley N° 701, de 1974, Sobre Fomento Forestal.
- Resolución N° 3.670/99, del Ministerio de Agricultura. Establece Normas para la Evaluación y Autorización de Plaguicidas.
- Resolución Exenta N° 733/98, del Ministerio de Agricultura. Establece Requisito de Designación de Variedad en Importación y Exportación de Material de Propagación.

Anexos

- Resolución Exenta N° 1.523/01, del Ministerio de Agricultura. Establece Normas para la Internación e Introducción al Medio Ambiente de Organismos Vegetales Vivos Modificados de Propagación.

Localización Industrial

- Decreto Supremo N° 458/76, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Aprueba Nueva Ley General de Urbanismo y Construcciones.
- Decreto Supremo N° 718/77, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Crea la Comisión Mixta de Agricultura, Urbanismo, Turismo y Bienes Nacionales.
- Decreto Supremo N° 47/92, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.
- Normativa particular sobre Ordenamiento Territorial y usos de suelo, también pueden afectar la instalación y disposición de predios agrícolas o empresas que produzcan o utilicen bioenergía.

Seguridad y Salud de Trabajadores

- Ley N° 16.744/68, del Ministerio de Salud. Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales.
- Decreto Fuerza de Ley N° 725/67, del Ministerio de Salud. Código Sanitario, Título IV, Párrafo II, Artículos 90-93.
- Decreto Fuerza de Ley N° 1/89, del Ministerio de Salud. Determina Materias que Requieren Autorización Sanitaria Expresa, Artículo 1 N° 44.
- Decreto Fuerza de Ley N° 1/02, del Ministerio del Trabajo y Previsión Social. Código del Trabajo, Título III, Artículos 153-157.
- Decreto Supremo N° 48/84, del Ministerio de Salud. Aprueba Reglamento de Calderas y Generadores de Vapor.
- Decreto Supremo N° 745/92, del Ministerio de Salud. Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo.
- Decreto Supremo N° 95/95, modifica Decreto Supremo N° 40, del 1969, del Ministerio de Trabajo y Previsión Social. Aprueba el Reglamento Sobre Prevención de Riesgos Profesionales.
- Decreto Supremo N° 369/96, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Extintores Portátiles.
- Decreto Supremo N° 90/96, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Reglamento de Seguridad para Almacenamiento, Refinación, Transporte y Expendio al Público de Combustibles Líquidos Derivados del Petróleo.
- Decreto Supremo N° 379/85, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Aprueba Reglamento Sobre Requisitos Mínimos de Seguridad para el Almacenamiento y Manipulación de Combustibles Líquidos Derivados del Petróleo Destinados a Consumos Propios.
- Decreto Supremo N° 298/94, del Ministerio de Transporte. Reglamento Sobre el Transporte de Cargas Peligrosas por Calles y Caminos.
- Decreto Supremo N° 67/04, del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Aprueba Reglamento de Servicio de Gas de Red.