



# Estudio de Potencial de Mitigación

## Biomasa y Biocombustibles de 2° y 3° generación con fines energéticos

**Coraliae S.R.L. y BA Energy Solutions S.A.**

**Año 2014**

Versión	Fecha	Observaciones
0	15/7/2015	Informe Final



El presente informe forma parte del Servicio de Consultoría SCC-CF-43 “Nuevo Inventario y Revisión de Anteriores para el Sector “Energía” y Estudios de Factibilidad Técnica-Económica de: Integración de Energías Renovables al Sistema Interconectado Nacional, Captura y Almacenamiento de Carbono, Biocombustibles 2da y 3ra generación y Biomasa con Fines Energéticos”.



**Autores:**

Alejandro Gallino.

**Colaboradores:**

Ana Belén Castro, Maximilian Bernaus, Fabián Gaioli (CoralíaE S.R.L.)



## Índice de Contenidos

Biomasa y Biocombustibles de segunda y tercera generación .....	1
Biomasa .....	2
Introducción .....	2
Disponibilidad de biomasa en la República Argentina.....	3
Potencialidad energética de los recursos biomásicos en la Argentina .....	6
Proyectos Biomásicos en Gestión .....	8
Perspectivas de incorporación de centrales eléctricas alimentadas a biomasa .....	10
Aprovechamiento de la Biomasa .....	12
Tecnologías aptas para la utilización energética de los recursos .....	12
Relevamiento de proyectos energéticos.....	17
Impactos económicos, sociales, ambientales y financieros.....	18
Marco facilitador para la implementación de políticas de mitigación .....	22
Biocombustibles de segunda y tercera generación .....	24
Introducción .....	24
Biocombustibles líquidos de origen lignocelulósico .....	25
Cultivos para producción de biocombustibles de segunda generación .....	26
Las microalgas .....	29
Los Aceites Vegetales Usados (AVUs) .....	29
Desarrollo y perspectivas en la Argentina.....	31
Proyectos en la Argentina y Potencial Productivo .....	33
a. La Jatropha .....	33
b. El Tártago.....	34
c. Las microalgas.....	34
d. El alcohol celulósico. ....	35
e. Aceites Vegetales Usados (AVU) .....	36
Conclusiones relativas a los biocombustibles de segunda y tercera generación .....	36
Barreras para el desarrollo e implementación de aprovechamientos bioenergéticos .....	37
Anexos .....	39
Planillas de cálculo .....	39
Listado de Acrónimos .....	39
Bibliografía.....	41



## Tablas

Tabla 1: Disponibilidad de biomasa. Toneladas anuales.....	4
Tabla 2: Potencia media instalada potencial. MW.....	7
Tabla 3: Listado de proyectos de generación de energía sobre la base de biomasa.....	9
Tabla 4: Potencia media estimada de biomasa, por región.....	10
Tabla 5: Aporte de la biomasa en la generación de energía en el MEM. GWh. ....	11
Tabla 6: Estimación de la incorporación de potencia por año. MW.....	11

## Figuras

Figura 1: Clasificación de la biomasa.....	12
Figura 2: Tipos de procesos termoquímicos. ....	13
Figura 3: Clasificación de Gasificación.....	14
Figura 4: Clasificación pirólisis.....	14
Figura 5: Tipos de procesos biomoquímicos. ....	16



## Biomasa y Biocombustibles de segunda y tercera generación<sup>1</sup>

***“En el siglo XXI, la bioenergía está llamada a cumplir un rol junto a otros recursos no convencionales, pasando de una economía basada en los combustibles fósiles a otra basada en un amplio abanico de fuentes. La agricultura y la silvicultura serán las principales fuentes de biomasa de diferentes vectores sólidos líquidos y gaseosos, como la leña, el carbón, briquetas, biogás, bioetanol, biodiesel y bioelectricidad, entre otros.”***

*Extracto del Editorial del Ing Agr. Jorge Hilbert dentro del marco del “Programa Nacional de Bioenergía” del INTA.*

El presente informe recopila información sobre el estado actual del desarrollo y aprovechamiento de los recursos bioenergéticos en la República Argentina, acotado a los alcances definidos en cada sección. Se identifica el marco conceptual de uso de estos recursos renovables así como las barreras y desafíos que se deben superar para lograr una mayor inserción de los mismos en la Matriz Energética.

---

<sup>1</sup> La Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (SAyDS) de la Nación, a través de la Dirección de Cambio Climático (DCC), se encuentra en el proceso de elaboración de la Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático (TCN), con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM).

Con fecha 28 de febrero de 2014, se ha firmado el contrato de Servicios de Consultoría entre el Proyecto Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático GEF TF-098640 de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Jefatura de Gabinete de Ministros y Coraliae S.R.L y BA Energy Solutions S.A. para el Servicio de Consultoría - SCC-CF-43 - “Nuevo Inventario y Revisión de Anteriores para el Sector “Energía” y Estudios de Factibilidad Técnica-Económica de: Integración de Energías Renovables al Sistema Interconectado Nacional, Captura y Almacenamiento de Carbono, Biocombustibles 2da y 3ra generación y Biomasa con Fines Energéticos”

El documento “Esquema para la organización de los contenidos de los estudios sectoriales de inventario y mitigación” propone separar los estudios sobre el potencial de mitigación detallados en el objetivo (m) de los términos de referencia en informes individuales, siendo el presente “Informe Especial”, el correspondiente al inciso (m) “Biomasa y Biocombustibles”.



## **Biomasa**

### **Introducción**

En la confección de la sección de Biomasa del presente informe se ha utilizado como fuente principal el documento “Energía Eléctrica a partir de la Biomasa. Potencial, Tecnologías y Proyectos en la Argentina”, elaborado por la Secretaría de Energía de la Nación, Grupo de Planeamiento Energético en Agosto de 2010.

Se ha considerado como referencia global el estudio realizado por la Secretaría de Energía, en conjunto con la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, que aplicó una metodología de evaluación de fuentes de biomasa con la aplicación de la metodología WISDOM desarrollada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. Dichas instituciones conformaron un grupo de trabajo multidisciplinario con sus equipos técnicos y físicos especializados. Por su parte, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) tuvo a su cargo compilar, sistematizar, estandarizar, actualizar e integrar en un Sistema de Información Geográfica (SIG) los datos facilitados por las Secretarías y Organismos que colaboraron en el proyecto.

Se ha adoptado la clasificación utilizada por FAO, las fuentes de oferta de biomasa son divididas en Fuentes de Oferta Directa y en Fuentes de Oferta Indirecta.

Las Fuentes de Oferta Directa comprenden los denominados dendrocombustibles, constituidos por la biomasa leñosa y los agrocombustibles, los de origen herbáceo y frutas y semillas. En el caso de los dendrocombustibles, se consideran la producción de montes nativos e implantados y las plantaciones energéticas que comprenden los raleos y extracción. En el caso de los agrocombustibles, se consideran las pasturas energéticas, los cultivos energéticos de cereales enteros, con los subproductos residuales como pajillas, cáscaras, núcleo de mazorca, raquis, vainas y otros.

Las Fuentes de Oferta Indirecta están constituidas por los residuos industriales, cuya biomasa se encuentra en los subproductos de procesos de las agroindustrias alimenticias y forestales. Las Fuentes Indirectas de biomasa son las que originan mayores ventajas para su aprovechamiento inmediato dada su elevada concentración en las plantas industriales. Esto facilita la logística y posibilita la utilización de energía térmica para procesos, mediante instalaciones de cogeneración.



## Disponibilidad de biomasa en la República Argentina

El informe de la Secretaría de Energía proporciona una estimación de los recursos biomásicos de acuerdo con las siguientes fuentes.

- Fuentes Boscosas Directas
- Poda de Cítricos
- Poda de Vid
- Poda de Olivo
- Poda otros frutales
- Residuos de Caña
- Bagazo de caña de Azúcar
- Residuos de pajilla de Arroz
- Residuos de molinos arroceros
- Residuos de Algodón
- Orujo de olivo
- Residuos de aserraderos

El cuadro siguiente resume la disponibilidad de biomasa en toneladas anuales, por tipo de recurso y por Provincia.



**Tabla 1: Disponibilidad de biomasa. Toneladas anuales.**

Provincia	Fuentes boscosas directas	Residuos poda cítricos	Residuos poda vid	Residuos poda olivo	Residuos poda otros frutales	Residuos cañeros	Bagazo	Residuos arroz pajilla	Residuos molinos arroceros	Residuos algodón	Orujo olivo	Residuos aserraderos
Buenos Aires	680.963	12.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Capital Federal	-	-	-	-	-	-	-	-	5.378	-	-	17.494
Catamarca	1.492.529	5.108	-	59.06	-	63	32.003	-	-	-	25.561	-
Chaco	12.213.032	-	-	-	-	-	-	5.051	-	34.58	-	-
Chubut	2.414.617	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Córdoba	2.884.649	-	-	12.563	-	-	-	-	-	-	-	16.728
Corrientes	4.065.104	56.25	-	-	-	-	-	180.143	29.046	-	-	517.003
Entre Ríos	2.789.270	93.825	-	-	-	-	-	159.261	84.45	-	-	160.482
Formosa	8.921.436	-	-	-	-	-	-	9.776	-	4.563	-	12.769
Jujuy	2.062.506	20.25	-	-	-	161.641	85.285	-	-	-	-	-
La Pampa	9.089.587	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La Rioja	1.477.230	-	-	56.059	-	-	-	-	-	-	16.496	-
Mendoza	4.070.118	-	321.638	41.509	173.938	-	-	-	-	-	13.74	-
Misiones	3.311.920	19.575	-	-	-	-	2.736	38	2.648	-	-	840.963
Neuquén	1.725.284	-	-	-	38.524	-	-	-	-	-	-	-
Río Negro	4.997.083	-	-	-	163.506	-	-	-	-	-	-	-
Salta	15.944.785	31.5	-	-	-	52.609	135.089	-	-	-	-	55.035
San Juan	-	-	99.191	33.669	23.425	-	-	-	-	-	12.453	-
San Luis	3.632.695	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Santa Cruz	1.516.517	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Santa Fe	2.430.522	-	-	-	-	-	19.847	37.902	6.111	1.802	-	-
Sgo del Estero	15.925.406	-	-	-	-	4,5	-	-	-	10.121	-	-
Tierra del Fuego	4.459.019	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tucumán	1.174.944	86.963	-	-	-	697.359	881.012	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>107.279.217</b>	<b>325.62</b>	<b>420.829</b>	<b>202.86</b>	<b>399.393</b>	<b>916.172</b>	<b>1.155.972</b>	<b>392.171</b>	<b>127.633</b>	<b>51.065</b>	<b>68.223</b>	<b>1.620.474</b>

En cuanto a la disponibilidad de los recursos apuntados merecen efectuarse los siguientes comentarios.

Las Fuentes Boscosas Directas representan una fracción del total de biomasa sobre el suelo. No se han computado las hojas y ramaje pequeño que se consideran necesarios para la conservación de los nutrientes y la estructura del suelo. Las cantidades contabilizadas como disponibles no empleadas por la actividad extractora incluyen las ramas, despuntes y raleos. Esta fuente constituye el recurso de mayor preponderancia, es la fuente de biomasa más abundante concentrada principalmente en las provincias de Santiago del Estero, Salta, Chaco, La Pampa y Formosa.

A pesar de ser la fuente potencial de biomasa más importante, más de 107 millones de toneladas anuales, constituye una fuente de utilización compleja; su logística de recolección y acopio es dificultosa por su extensión y dispersión territorial.





En cuanto a la Poda de Cítricos, los cálculos de los volúmenes de biomasa disponible como consecuencia de la poda se realizaron asumiendo 3 toneladas de biomasa seca por hectárea por año, ponderadas por un factor de accesibilidad del 75% para cuantificar la biomasa potencialmente disponible para usos energéticos, que resulta en 325 mil toneladas anuales. Este recurso se concentra en las provincias de Entre Ríos, Tucumán, Corrientes y Salta, pero cabe destacar la dificultad asociada a la logística de recolección y transporte.

Los volúmenes de residuos originados en la Poda de Vid se realizaron considerando 2,7 toneladas de biomasa seca por hectárea por año, ponderadas por un factor de accesibilidad del 75% para cuantificar la biomasa potencialmente disponible para usos energéticos, llegando a un total de 460 mil toneladas al año. La mayor parte de este residuo de encuentra en la provincia de Mendoza, pero se destaca también la dificultad asociada a la logística de recolección y transporte

Los residuos originados en la Poda de Olivo se encuentran en las regiones Cuyana y del Noroeste Argentino. Los cálculos de los volúmenes de biomasa disponible como consecuencia de la poda se realizaron asumiendo 2,5 toneladas de biomasa seca/hectárea/año, ponderadas por un factor de accesibilidad del 75%. Los volúmenes totales ascienden a 203 mil toneladas anuales, con las mismas consideraciones efectuadas para los otros residuos de poda.

Se han considerado asimismo los residuos de Poda de otros frutales, entre los que se han considerado la manzana, pera, durazno, ciruela, damasco, cereza y nogal. A nivel nacional el cultivo de otros frutales se desarrolla principalmente en las provincias de Mendoza y Río Negro.

Los volúmenes de biomasa disponible como consecuencia de la poda se calcularon asumiendo 5,4 toneladas de biomasa seca por hectárea por año, ponderadas por un factor de accesibilidad del 75% para cuantificar la biomasa potencialmente disponible para usos energéticos, que se estima en 376 mil toneladas anuales.

La actividad azucarera en la Argentina se concentra en las provincias de Tucumán y Salta. Debe destacarse que constituye una actividad con fuerte estacionalidad, ya que en la Argentina se produce con una única cosecha anual. Los Residuos de la cosecha de la Caña de Azúcar, de un volumen relevante (más de 900.000 toneladas anuales), comparables al del bagazo residual, presentan el inconveniente de su recolección en campo y su acopio y almacenamiento. Puede considerarse que este recurso asociado a la producción azucarera no resulta todavía atractivo en relación a las ventajas que proporciona el bagazo.

El Bagazo de caña de azúcar, que se obtiene en el proceso de producción de melaza, es el recurso biomásico de mayores antecedentes en la utilización energética de residuos agroindustriales en la Argentina. Tradicionalmente se utilizaba para la generación de vapor de reducida entalpía para los requerimientos de la planta. Actualmente se transita un proceso de reconversión industrial que contempla la utilización del bagazo para un proceso de cogeneración que implica la producción de excedentes de energía eléctrica exportables a la red pública. La cifra consignada de 1.156.000 toneladas se refiere al bagazo remanente luego de descontar el que es utilizado en la actualidad.

Los Residuos de pajilla de Arroz y los Residuos de molinos arroceros, vinculados a la actividad se encuentran principalmente en las provincias productoras de Entre Ríos, Corrientes, Santa Fe, Chaco y Formosa. La pajilla, con un volumen disponible de más de 390.000 toneladas anuales, triplica los volúmenes de cascarilla que se originan en los



molinos arroceros, pero presenta inconvenientes de recolección en campo, por dispersión y accesibilidad. Son indudables las ventajas de la utilización energética del residuo de los molinos por su concentración y menor estacionalidad.

Los Residuos de Algodón se producen fundamentalmente en las plantas desmotadoras, de unas 50.000 toneladas anuales, principalmente en la Provincia del Chaco. Este recurso que no tiene otra aplicación en la actualidad constituye una ventaja importante por su concentración y las necesidades energéticas de las plantas de calor para secado, pero presenta el inconveniente de su marcada estacionalidad.

El residuo de la actividad agroindustrial de la oliva, el Orujo de olivo, fue estimado considerando la superficie productiva estimada para el año 2010 para el olivo con fines aceiteros con un rendimiento de 7 toneladas/Ha-año (toneladas por hectárea por año) considerando que los residuos generados por la aceiteras de oliva corresponde al 14% de las toneladas procesadas. De ese modo puede estimarse un volumen de orujo de 68.000 toneladas anuales.

Los Residuos de aserraderos corresponden a la biomasa leñosa de los residuos o subproductos de aserraderos que trabajan con madera proveniente de plantaciones forestales y de madera de monte nativo. Estimaciones preliminares indican que del total de la madera procesada, el 50% corresponde a aserrín y otros subproductos. Fueron asumidas las cantidades informadas por WISDOM Argentina, las que totalizan 1,7 millones de toneladas al año con una distribución provincial, preponderante en las provincias de Misiones y Corrientes. Este residuo constituye el de mayor potencialidad de todos los considerados, con la ventaja de su concentración y no presentar estacionalidad. Resulta evidente su competitividad dada la cantidad de proyectos en gestión en la Argentina sobre la base de este recurso.

## **Potencialidad energética de los recursos biomásicos en la Argentina**

Sobre la base de los residuos disponibles y asumiendo el poder calorífico inferior planteado por el informe de la Secretaría de Energía se ha calculado la potencia media que puede instalarse por provincia y por tipo de residuo. La Tabla siguiente muestra los resultados en MW, considerando una eficiencia del 25 % y 8000 horas anuales.



Tabla 2: Potencia media instalada potencial. MW.

Provincia	Fuentes boscosas directas	Residuos poda cítricos	Residuos poda vid	Residuos poda olivo	Residuos poda otros frutales	Residuos cañeros	Bagazo	Residuos arroz pajilla	Residuos molinos arroceros	Residuos algodón	Orujo olivo	Residuos aserraderos
Buenos Aires	51.22	0.83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Capital Federal	-	-	-	-	-	-	-	-	5.38	-	-	17.49
Catamarca	112.27	0.35	-	4.06	-	3.68	1.59	-	-	-	3.38	-
Chaco	918.64	-	-	-	-	-	-	0.51	-	4.58	-	-
Chubut	181.62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Córdoba	216.98	-	-	0.86	-	-	-	-	-	-	-	1.78
Corrientes	305.77	3.86	-	-	-	-	-	18.23	2.94	-	-	54.90
Entre Ríos	209.80	6.45	-	-	-	-	-	16.12	8.55	-	-	17.04
Formosa	671.05	-	-	-	-	-	-	0.99	-	0.60	-	1.36
Jujuy	155.14	1.39	-	-	-	9.44	4.25	-	-	-	-	-
La Pampa	683.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
La Rioja	111.11	-	-	3.85	-	-	-	-	-	-	2.18	-
Mendoza	306.15	-	22.09	2.85	11.95	-	-	-	-	-	1.82	-
Misiones	249.12	1.34	-	-	-	-	0.14	3.85	0.27	-	-	89.30
Neuquén	129.77	-	-	-	2.65	-	-	-	-	-	-	-
Río Negro	375.87	-	-	-	11.23	-	-	-	-	-	-	-
Salta	1199.34	2.16	-	-	-	3.07	6.72	-	-	-	-	5.84
San Juan	-	-	6.81	2.31	1.61	-	-	-	-	-	1.65	-
San Luis	273.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Santa Cruz	114.07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Santa Fe	182.82	-	-	-	-	-	0.99	3.84	0.62	0.24	-	-
Sgo del Estero	1197.88	-	-	-	-	0.26	-	-	-	1.34	-	-
Tierra del Fuego	335.40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tucumán	88.38	5.97	-	-	-	40.73	43.85	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>8069.33</b>	<b>22.37</b>	<b>28.91</b>	<b>13.93</b>	<b>27.44</b>	<b>57.18</b>	<b>57.54</b>	<b>43.54</b>	<b>17.75</b>	<b>6.76</b>	<b>9.03</b>	<b>187.72</b>

Las estimaciones globales de la Argentina efectuadas, del aprovechamiento comercial de la totalidad de los recursos biomásicos para usos de generación eléctrica convencional, indican que sería factible instalar unas 8.500 MW, de los cuales 8.100 MW corresponden a las que se denominaron Fuentes Boscosas Directas y 400 MW al resto de las fuentes.

La Secretaría de Energía estima en su informe, que a pesar del enorme potencial de las Fuentes Boscosas Directas, se considera que tanto el manejo como la logística de las mismas son muy dificultosas de estimar, en especial en lo que respecta a los bosques nativos. En el caso de las plantaciones forestales, la mayoría de las mismas se encuentran altamente tecnificadas y por lo tanto se presupone que gran parte de los recursos ya son empleados en la actualidad. Por lo tanto, hasta que se profundice el análisis de las cadenas productivas de ambos bosques, se asume que el potencial de los mismos es cercano al 5% del total previsto, esto es de 400 MW.



En la composición del potencial del resto de las fuentes predominan los residuos de los aserraderos, los residuos de la cadena productiva del azúcar no aprovechados y residuos de la poda de vides, olivos y frutales 28%. Constituyendo un total cercano a los 450 MW.

## **Proyectos Biomásicos en Gestión**

Se ha obtenido un listado de proyectos de generación de energía sobre la base de biomasa que obra en la Secretaría de Energía y se han consultado estudios de desarrollo del recurso biomásico a nivel provincial, las convocatorias realizadas por la Empresa Nacional de Energía, ENARSA en el marco del programa de generación mediante energías renovables y emprendimientos particulares.



**Tabla 3: Listado de proyectos de generación de energía sobre la base de biomasa.**

Central Térmica	Provincia	Localidad	Potencia MW	Generación Media GWh	Biomasa Anual mil Toneladas
Ingenio Santa Bárbara	Tucumán	Aguilares	30	240	499
Ingenio Concepción	Tucumán		30	240	456
Inta_Mza_1	Mendoza	San Martín	26	208	143
Inta_Mza_2	Mendoza	Maipú	20	160	113
Inta_Mza_3	Mendoza	Tupungato	6	48	49
Inta_Mza_4	Mendoza	San Rafael	6	48	53
Proinversion_Arroz	Corrientes	San Salvador	7.5	60	93
Proinversion_Forestales_1	Corrientes	Concordia	25	200	236
Proinversion_Forestales_2	Corrientes	Federación	25	200	236
Ingenio La Florida	Tucumán	La Florida	30	240	450*
GENREN_CT_Chaco	Chaco		33	264	495*
GENREN_Pto_Videla	Chaco	Puerto Vilela	12.6	101	100*
GENREN_Virasoro	Corrientes	Gob. Virasoro	8.8	70	80*
Ingenio Tabacal	Salta	Orán	40	320	620*
San Pedro	Misiones	San Pedro	7.3	58	84
Corfone	Neuquen	Alumine	2.5	19	16
Santa Rosa	Corrientes	Santa Rosa	11	88	127
Las Plamas	Chaco	Las Palmas	6.7	59	75
Castelli	Chaco	Castelli	14.8	129	155
Posadas GENREN	Misiones	Posadas	1,5	12*	10*
Leandro N. Alem GENREN	Misiones	L.N. Alem	6	48*	50*
A. del Valle I GENREN	Misiones	A. del Valle	6	48*	50*
Garruchos GENREN	Corrientes	Garruchos	36		

*Nota: valores estimados marcados con asterisco (\*)*

El cuadro presenta el listado de proyectos en distinto estado de gestión, que totalizan una potencia de 390 MW.



## Perspectivas de incorporación de centrales eléctricas alimentadas a biomasa

De acuerdo con las estimaciones del informe de la Secretaría de Energía se puede disponer cerca de 800 MW medios a través de la combustión de biomasa hasta el año 2022, de acuerdo a la siguiente distribución. Esto significa una incorporación de potencia promedio anual de unos 67 MW.

Tabla 4: Potencia media estimada de biomasa, por región.

Región	Potencia Media [MW]
NOA	271.2
NEA	277
PAT	97
LIT	71.8
CUY	65.1
CEN	25
BUE	5.6

Fuente: Secretaría de Energía

Luego, para el período 2023-2030, se puede asumir que se agregarán en promedio 64MW anuales, considerando que; la experiencia adquirida en la instalación y operación de generación a partir de biomasa permitan un manejo más eficiente del recurso, posibilitando el desarrollo de proyectos que incluyan transporte a más de 50km.

De este modo se considera que entre el 2023 y el 2030 ingresarían 512 MW adicionales. Este pronóstico resulta optimista teniendo en consideración la evolución del segmento al presente. El informe anual de la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico consigna el aporte de la biomasa en la generación de energía, como se muestra en el siguiente cuadro.



Tabla 5: Aporte de la biomasa en la generación de energía en el MEM. GWh.

<b>ENERGÍA GENERADA [GWH]</b>			
<b>FUENTE DE ENERGÍA</b>	<b>AÑO 2011</b>	<b>AÑO 2012</b>	<b>AÑO 2013</b>
BIODIESEL	32.5	170.2	2.2
BIOMASA	97.6	127.0	133.9
EOLICO	16.0	348.4	447.0
HIDRO <= 30MW	876.6	1069.2	895.8
SOLAR	1.76	8.1	15.0
BIOGAS	0.0	35.6	108.5
<b>Total GWh</b>	<b>1024.4</b>	<b>1758.5</b>	<b>1602.4</b>

Fuente: CAMESA

Adoptando un factor de carga de 0.7 para la operación de las centrales alimentadas con biomasa, puede estimarse que el ingreso de potencia en los últimos años ha resultado de 15.9 , 20.7 y 21.8 MW, por debajo de las estimaciones realizadas en el informe de la Secretaría de Energía.

Tabla 6: Estimación de la incorporación de potencia por año. MW.

<b>Biomasa. Incorporación de potencia</b>		<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Generación	GWh	97.6	127	133.9
Potencia	MW	15.9	20.7	21.8

Por lo expuesto, resulta razonable plantear que las expectativas de incorporación de potencia sustentada en el recurso biomásico serían sustancialmente menores a las explicitadas en el informe de la Secretaría de Energía, especialmente en el primer período. El resultado del último trienio indica que se ha verificado un 30% de lo previsto.



## Aprovechamiento de la Biomasa

### *Tecnologías aptas para la utilización energética de los recursos*

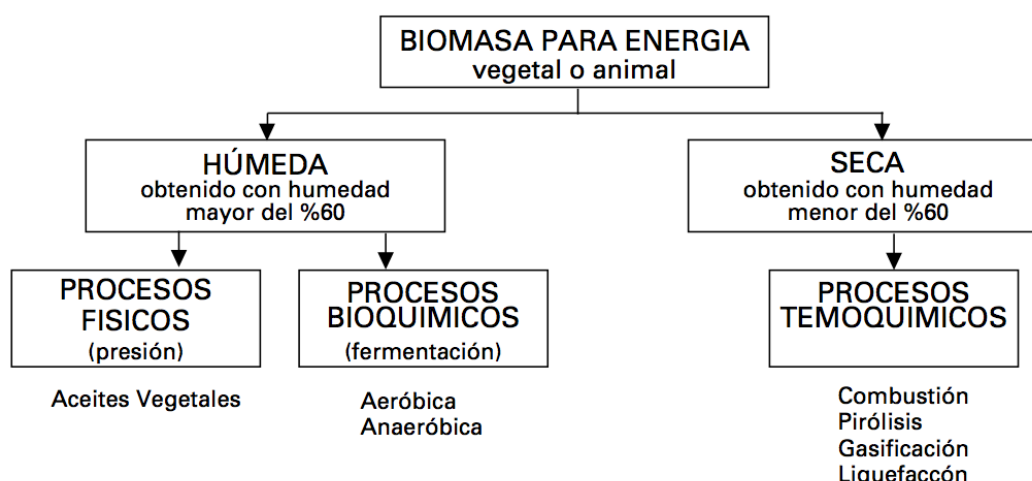
Desde el punto de vista del aprovechamiento energético, la biomasa se caracteriza por tener un bajo contenido de carbono, un elevado contenido de oxígeno y compuestos volátiles. Estos compuestos volátiles (formados por cadenas largas del tipo  $C_nH_m$ , y presencia de  $CO_2$ ,  $CO$  e  $H_2$ ) son los que concentran una gran parte del poder calorífico de la biomasa. El poder calorífico de la biomasa depende mucho del tipo de biomasa considerada y de su humedad. Así normalmente estos valores de poder calorífico de la biomasa se pueden dar en base seca o en base húmeda.

En general se puede considerar que el poder calorífico de la biomasa puede oscilar entre las 3000 – 3500 kcal/kg para los residuos lignocelulósicos, las 2000 – 2500 kcal/kg para los residuos urbanos y finalmente las 10000 kcal/kg para los combustibles líquidos provenientes de cultivos energéticos. Estas características, juntamente con el bajo contenido de azufre de la biomasa, la convierten en un producto especialmente atractivo para ser aprovechado energéticamente.

Cabe destacar que, desde el punto de vista ambiental, el aprovechamiento energético de la biomasa no contribuye al aumento de los gases de efecto invernadero, dado que el balance de emisiones de  $CO_2$  a la atmósfera es neutro. En efecto, el  $CO_2$  generado en la combustión de la biomasa es reabsorbido mediante la fotosíntesis en el crecimiento de las plantas necesarias para su producción y, por lo tanto, no aumenta la cantidad de  $CO_2$  presente en la atmósfera. Al contrario, en el caso de los combustibles fósiles, el carbono que se libera a la atmósfera es el que está fijo a la tierra desde hace millones de años.

Desde el punto de vista energético resulta conveniente dividir la biomasa en dos grandes grupos según su contenido de humedad, que define la forma de aprovechamiento viable.

Figura 1: Clasificación de la biomasa.







La Biomasa Seca es aquella que puede obtenerse en forma natural con un tenor de humedad menor al 60%, como la leña, paja, etc. Este tipo se presta mejor a ser utilizada energéticamente mediante procesos TERMOQUÍMICOS O FISÍCOQUÍMICOS, que producen directamente energía térmica o productos secundarios en la forma de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos.

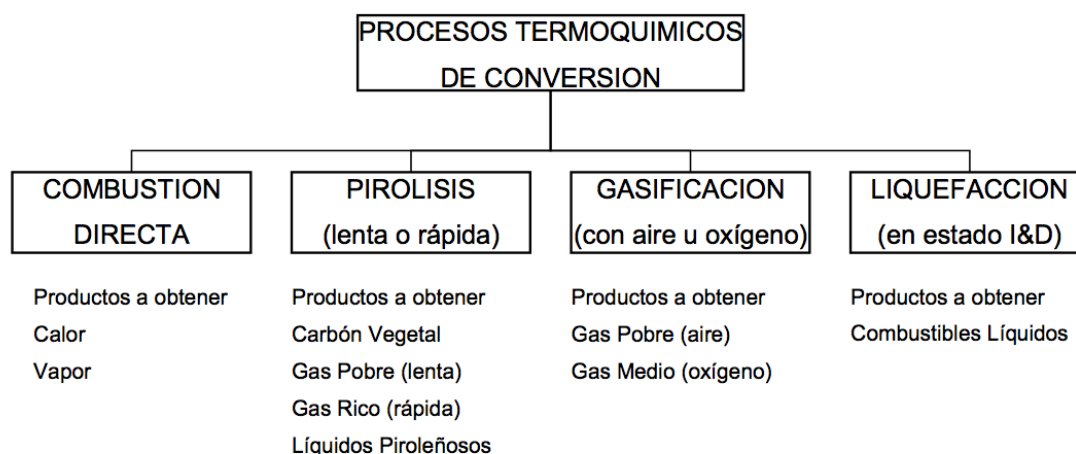
Se denomina Biomasa Húmeda cuando el porcentaje de humedad supera el 60%, como por ejemplo en los restantes vegetales, residuos animales, vegetación acuática, etc. Resulta especialmente adecuada para su tratamiento mediante PROCESOS QUÍMICOS, o en algunos casos particulares, mediante simples PROCESOS FÍSICOS, obteniéndose combustibles líquidos y gaseosos.

Hay que aclarar que esta clasificación es totalmente arbitraria, pero ayuda a visualizar mejor la siguiente caracterización de los procesos de conversión.

### Procesos Termoquímicos

Los Procesos Termoquímicos Comprenden básicamente la COMBUSTIÓN, GASIFICACIÓN y PIRÓLISIS, encontrándose aún en etapa de desarrollo la LIQUEFACCIÓN DIRECTA.

Figura 2: Tipos de procesos termoquímicos.



El Proceso de COMBUSTIÓN es el más sencillo y más ampliamente utilizado, tanto en el pasado como en el presente. Permite obtener energía térmica, ya sea para usos domésticos (cocción, calefacción) o industriales (calor de proceso, vapor mediante una caldera, energía mecánica utilizando el vapor de una máquina).

Las tecnologías utilizadas para la combustión directa de la biomasa abarcan un amplio espectro que va desde el sencillo fogón a fuego abierto (aún utilizado en vastas zonas para la cocción de alimentos) hasta calderas de alto rendimiento utilizadas en la industria.

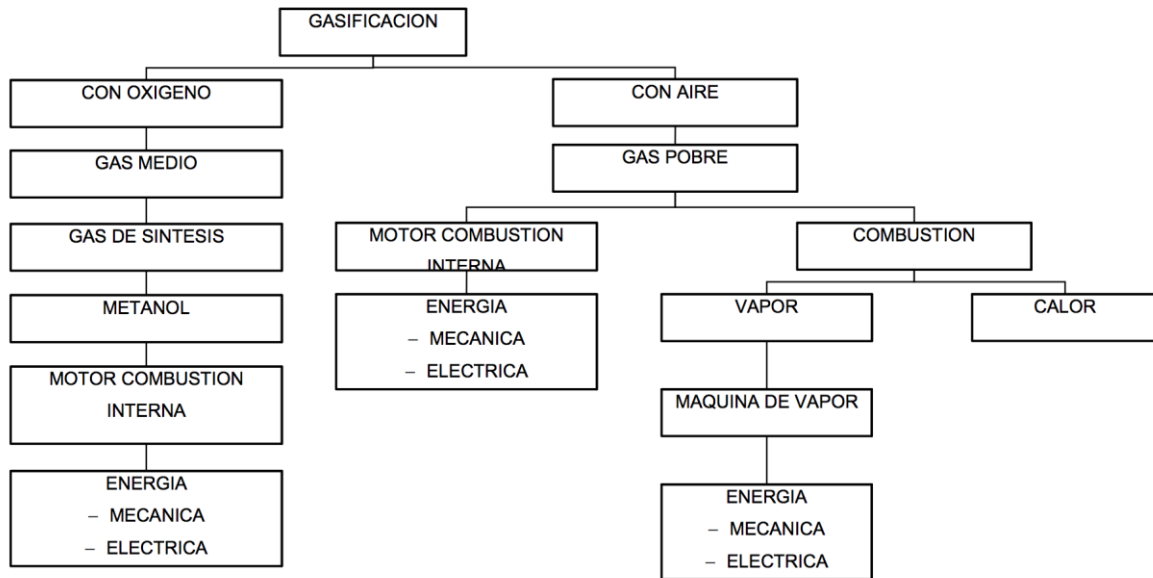
La GASIFICACION consiste en la quema de biomasa (fundamentalmente residuos forestoindustriales) en presencia de oxígeno, en forma controlada, de manera de producir un gas combustible denominado “gas pobre” por su bajo contenido calórico en relación, por ejemplo, al gas natural (del orden de la cuarta parte). La gasificación se realiza en un recipiente cerrado, conocido por gasógeno, en el cual se introduce el combustible y una



cantidad de aire menor a la que se requeriría para su combustión completa.

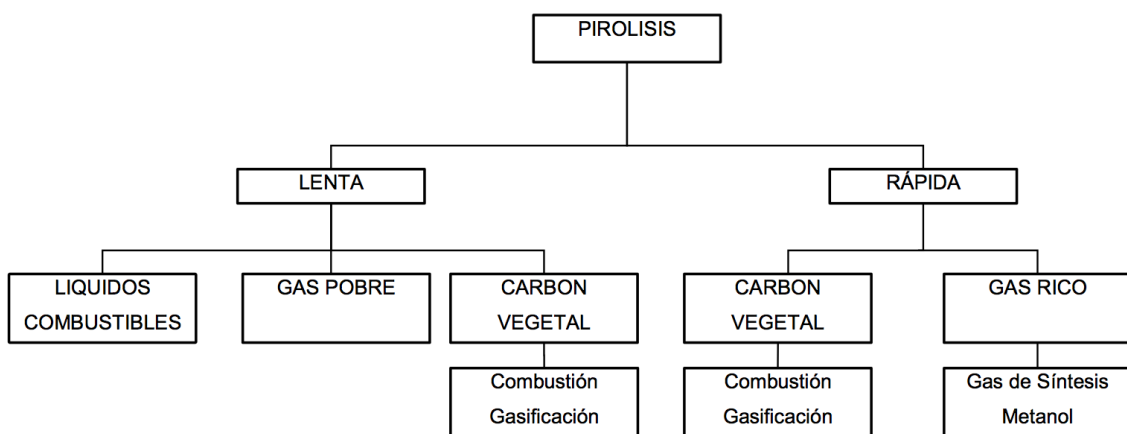
El gas pobre obtenido puede quemarse luego en un quemador para obtener energía térmica, en una caldera para producir vapor, o bien ser enfriado y acondicionado para su uso en un motor de combustión interna que produzca, a su vez, energía mecánica.

Figura 3: Clasificación de Gasificación.



La PIROLISIS es un proceso similar a la gasificación (a la cual en realidad incluye) por el cual se realiza una oxigenación parcial y controlada de la biomasa, para obtener como producto una combinación variable de combustibles sólidos (carbón vegetal), líquidos (efluentes piroleñosos) y gaseosos (gas pobre). Generalmente, el producto principal de la pirólisis es el carbón vegetal, considerándose a los líquidos y gases como subproductos del proceso.

Figura 4: Clasificación pirólisis.



La pirólisis con aprovechamiento pleno de subproductos tuvo su gran auge antes de la



difusión masiva del petróleo, ya que constituía la única fuente de ciertas sustancias (ácido acético, metanol, etc.) que luego se produjeron por la vía petroquímica. Hoy en día, sólo la producción de carbón vegetal reviste importancia cuantitativa.

El carbón vegetal como combustible sólido presenta la ventaja frente a la biomasa que le dio origen, de tener un poder calórico mayor o, lo que es lo mismo, un peso menor para igual cantidad de energía, lo que permite un transporte más fácil. No obstante, debe hacerse notar que la carbonización representa una pérdida muy importante de la energía presente en la materia prima, ya que en el proceso consume gran cantidad de ella.

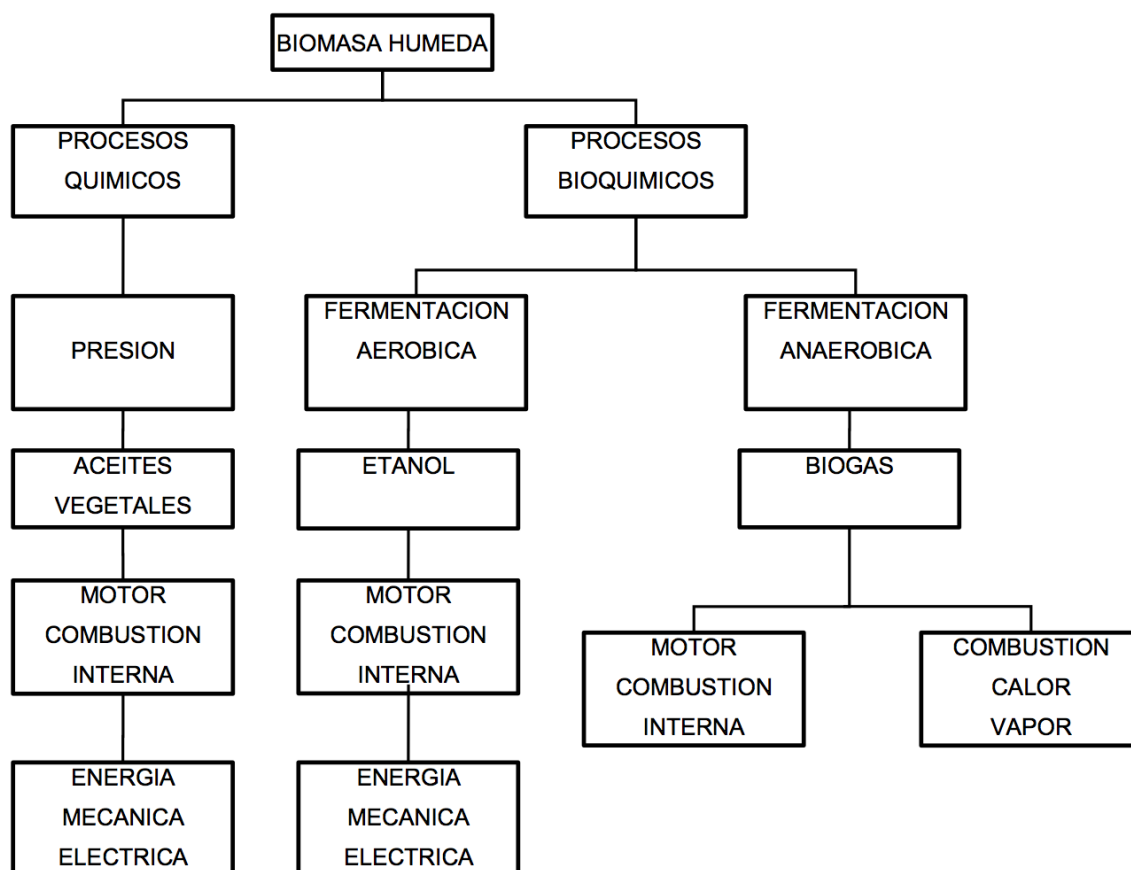
### **Procesos Bioquímicos**

Los procesos bioquímicos se basan en la degradación de la biomasa por la acción de microorganismos, y pueden dividirse en dos grandes grupos: los que se producen en ausencia de aire (anaeróbicos) y los que se producen en presencia de aire (aeróbicos).

La fermentación anaeróbica, para la que se utiliza generalmente residuos animales o vegetales de baja relación carbono / nitrógeno, se realiza en un recipiente cerrado llamado “digestor” y da origen a la producción de un gas combustible denominado biogás. Adicionalmente, la biomasa degradada que queda como residuo del proceso de producción del biogás, constituye un excelente fertilizante para cultivos agrícolas. Las tecnologías disponibles para su producción son muy variadas pero todas ellas tienen como común denominador la simplicidad del diseño y el bajo costo de los materiales necesarios para su construcción. El biogás, constituido básicamente por metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), es un combustible que puede ser empleado de la misma forma que el gas natural. También puede comprimirse para su uso en vehículos de transporte, debiéndose eliminar primero su contenido de CO<sub>2</sub>.



Figura 5: Tipos de procesos biomoquímicos.



La fermentación aeróbica de biomasa de alto contenido de azúcares o almidones, da origen a la formación de alcohol (etanol), que, además de los usos ampliamente conocidos en medicina y licorería, es un combustible líquido de características similares a los que se obtienen por medio de la refinación del petróleo. Las materias primas más comunes utilizadas para la producción de alcohol son la caña de azúcar, mandioca, sorgo dulce y maíz.

El proceso incluye una etapa de trituración y molienda para obtener una pasta homogénea, una etapa de fermentación y una etapa de destilación y rectificación.

Puede destacarse que de las alternativas tecnológicas expuestas, en los proyectos desarrollados en la Argentina se aplican fundamentalmente las de combustión directa, en algunos casos con gasificación previa, para el caso en que los residuos tengan un contenido de humedad menor al 50 %. Estos proyectos sustentados en residuos lignocelulósicos o de procesos agroindustriales, se han concebido con una potencia límite de aproximadamente 25 MW, fundamentalmente por razones de logística. En general no se han planteado proyectos de pirolisis.

En el caso de residuos con alto contenido de humedad, principalmente de excretas de ganado bovino, porcino o cría de aves, se han planteado proyectos de biodigestión anaeróbica. En algunos casos los proyectos son complementados con cultivos energéticos que incrementan la rentabilidad de los emprendimientos. En este caso la potencia de los



proyectos planteados no supera la potencia de los 2 MW.

Las tecnologías adoptadas resultan adecuadas considerando su simplicidad, experiencia local y bajos niveles de inversión.

Los costos de inversión, operación y mantenimiento, más los costos de abastecimiento de la biomasa residual o de cultivos destinados a ese fin, de los proyectos de aprovechamiento energético, resultan en valores del kWh generado, mayores que los de la electricidad en el Mercado Mayorista Eléctrico. Por lo tanto la factibilidad de los proyectos bioenergéticos requiere del reconocimiento de valores económicos mayores a los de mercado, que viabilicen los emprendimientos. Esto ha sido contemplado por las autoridades nacionales y provinciales que reconocen incentivos o contratos que promueven el desarrollo de las energías renovables. Debe destacarse que en el caso de proyectos de cogeneración, la factibilidad de los proyectos bioenergéticos resulta ventajosa.

### ***Relevamiento de proyectos energéticos***

PROBIOMASA ha realizado un relevamiento de los proyectos energéticos sobre la base de la utilización de biomasa residual, que han podido ser identificados en la Argentina y fueron agrupados según su estado de desarrollo.

Seguidamente se presenta un resumen, que evidencia la potencialidad según su nivel de maduración y distribución geográfica.

#### **Proyectos operativos**

Aquellos que han entrado recientemente en servicio o que se encuentran en estado de construcción:

- Provincia de Buenos Aires, biomasa y biogás, 29,2 MW
- Provincia del Chaco, biomasa, 0,25 MW
- Provincia de Córdoba, biomasa, 11 MW
- Provincia de Corrientes, biomasa, 1.500 toneladas/mes de pellets
- Provincia de Entre Ríos, biogás, 273 m<sup>3</sup>/hora
- Provincia de Misiones, biomasa, 81 MW y 20.000 toneladas/año de pellets
- Provincia de Salta, biomasa, 40 MW
- Provincia de San Luis, biomasa, 17 MW
- Provincia de Santa Fe, biogás, 10 MW
- Provincia de Tucumán, biomasa, 8 MW

#### **Proyectos Prioritarios**

Considera proyectos que cuentan con un grado de definición de pre-factibilidad técnica y económico-financiera:

- Provincia de Buenos Aires, biomasa y biogás, 15,6 MW
- Provincia de Córdoba, biomasa y biogás, 17 MW
- Provincia de Jujuy, biomasa, 51 MW
- Provincia de Misiones, biomasa, 71,2 MW



Provincia de San Juan, RSU, 1,2 MW  
Provincia de San Luis, biogás, 1,5 MW  
Provincia de Tucumán, biomasa, 70 MW  
Provincia de Corrientes, biomasa, 70 MW  
Provincia de Entre Ríos, biomasa y biogás, 6,1 MW  
Provincia de Neuquén, biomasa, 2 MW  
Provincia de Santa Fe, biogás, 1 MW  
Provincia de Tierra del Fuego, biogás, 0,25 MW

## **Proyectos Potenciales**

Desarrollados al nivel de esquema o idea avanzada:

Provincia de Buenos Aires, biomasa y biogás, 28 MW  
Provincia del Chaco, biomasa, 55,6 MW  
Provincia de Córdoba, biomasa, 1 MW  
Provincia de Corrientes, biomasa, 2 MW  
Provincia de Entre Ríos, biomasa, 35,5 MW  
Provincia de Misiones, biomasa, 22 MW

## ***Impactos económicos, sociales, ambientales y financieros***

La energía derivada de biomasa tiene el potencial de contribuir significativamente a un nuevo paradigma sobre la energía. Actualmente, el mundo consume cerca de 400 EJ (exajoules) de energía al año, pero genera aproximadamente una cantidad equivalente a 100 EJ de residuos de cultivos, en su mayor parte inutilizados.

Se podrían producir unos 180 EJ adicionales a partir de cultivos de pastos y árboles dedicados a este fin. Pese a este potencial, la bioenergía no debe considerarse como el único sustituto del petróleo, sino como un elemento en una cartera más amplia de fuentes de energía renovables.

Se ha descrito una variada gama de tecnologías que incluye la combustión, gasificación y fermentación de sólidos. Estas tecnologías producen combustibles líquidos y gaseosos a partir de un variado conjunto de recursos biológicos, como cultivos tradicionales (caña de azúcar, maíz, semillas oleaginosas), residuos y desechos de cultivos (chala de maíz, paja de trigo, cáscaras de arroz, desechos de algodón), cultivos destinados a la energía (pastos y árboles), estiércol y el componente orgánico de los desechos urbanos. Los resultados son productos bioenergéticos que posibilitan una aplicación múltiple: combustibles para cocción, calefacción, electricidad y combustible para transporte. Es precisamente por esta diversidad de la bioenergía la que brinda un potencial como para ser una vía de desarrollo en la que se beneficie el medio ambiente, el desarrollo socioeconómico y la seguridad energética.

Existe un claro vínculo entre el acceso a los servicios energéticos, la reducción de pobreza y el desarrollo. El primer conjunto de servicios energéticos críticos satisface los requerimientos humanos básicos: combustible para cocinar, calentar e iluminar, energía para bombear agua y electricidad para servicios de salud y educación. El segundo conjunto de servicios provee energía a las actividades generadoras de ingresos que ayudan a eliminar el ciclo de pobreza.



La población de escasos recursos depende mucho de la biomasa como fuente de energía, pero la bioenergía tradicional, derivada principalmente de la combustión de leña y residuos agrícolas, tiene severos impactos negativos. Primero, cuando son quemadas en espacios cerrados, estas sustancias producen una considerable contaminación de interiores a la que están expuestos en primer lugar las mujeres y los niños. Esto tiene graves consecuencias para la salud, incluyendo enfermedades respiratorias y muerte prematura. Segundo, este uso de la biomasa ejerce una inmensa presión sobre los recursos naturales locales, especialmente a medida que crece la demanda de servicios energéticos que las comunidades deben satisfacer. Y además el rendimiento energético resulta sumamente bajo.

En un país como Argentina donde se dispone de biomasa vegetal a valores muy competitivos, se presentan grandes oportunidades para el desarrollo de la “Bioenergía en Origen”. Esto motiva al “Proyecto Valor Agregado en Origen INTA PRECOP III” (Proyecto de Eficiencia de Cosecha, Poscosecha de Granos y Forrajes, y Valor Agregado en Origen) a buscar soluciones y alternativas de generación de bioenergía mediante empresas integradas por productores agropecuarios, quienes producen actualmente la biomasa, para que sean los beneficiarios de estas oportunidades de negocio.

Estas empresas generarán además mayor trabajo local y una mejor distribución de la renta que puede ser reinvertida en la creación de otras empresas agroindustriales asociativas, Pymes y ONG, de escala y tecnología competitiva en origen.

Argentina, si bien dispone de una capacidad de generación de energía eléctrica de aproximadamente 28.000 MW y un sistema eléctrico que interconecta todo el país, existen requerimientos insatisfechos en diversos lugares del interior del país donde las redes no pueden ofrecer la energía eléctrica necesaria para el crecimiento industrial y agroindustrial en origen.

Esto constituye una oportunidad para la bioenergía y para la cogeneración de electricidad en origen a precios no competitivos comparados al precio de la red, pero a un valor razonable utilizando adecuada tecnología y valorando el costo de oportunidad estratégico del desarrollo agroindustrial y agroalimentario regional del territorio.

Si bien Argentina posee una de las redes de gasoductos más importante de Sudamérica, existen muchos lugares del interior productivo donde no se suministra con gas de red a la población local, más aún si se considera la radicación de plantas agroindustriales. Existe en origen la posibilidad de generar gas metano en cantidades industriales a partir de biomasa vegetal competitiva.

La producción de biogás a partir de desechos de animales de establecimientos pecuarias (porcina, bovina, aviar, etc.), que pueden fermentarse en biodigestores de alta eficiencia de generación de gas metano constituye una conveniente alternativa para el tratamiento de efluentes además del suministro energético. Esta actividad puede complementarse con la producción de biogás mediante la alimentación de los biodigestores con silo de cereales de planta entera picado fino.





La experiencia alemana consiste en producir metano, purificarlo e introducirlo en la red de gas natural, o bien transformarlo en electricidad y calor con motores endotérmicos, siendo este último el sistema más adoptado.

A medida que aumenta la preocupación por el cambio climático y la seguridad energética, con frecuencia se propone la bioenergía como una fuente de energía renovable que podría incrementarse de manera rentable a un nivel que le permitiría contribuir significativamente a satisfacer la demanda mundial de energía. No obstante, dado que la bioenergía puede ser generada de muchas formas, usando diferentes tipos de materia prima y diferentes tecnologías energéticas, no es posible llegar a conclusiones universales acerca de sus efectos en el medio ambiente. Pueden desarrollarse sistemas de producción de biomasa que se adaptan perfectamente al entorno y que incluso ayudan a mejorar el medio ambiente porque renuevan la vegetación en terrenos estériles, protegen las cuencas hidrográficas, brindan un hábitat a las especies locales y capturan carbono, todo ello mientras contribuyen al sustento de las comunidades rurales.

Sin embargo debe tenerse especial cuidado en no implementar proyectos que puedan hacer un uso intensivo de combustibles fósiles, que agoten los nutrientes del suelo, exacerben la erosión, mermen o degraden los recursos hídricos, menoscaben la biodiversidad al hacer desaparecer los hábitat, aumenten las emisiones de gases de efecto invernadero o amenacen los medios de sustento de las comunidades locales.

Como ocurre generalmente con las actividades agrícolas, las repercusiones netas de una bioenergía dependen fundamentalmente de cómo es generada.

Aunque la biomasa invariablemente se considera como una fuente “renovable” de energía, su producción típicamente requiere el consumo de combustibles fósiles en cantidades que varían según el tipo específico de biomasa y el método de su producción. Esto incluye el combustible consumido por la maquinaria agrícola que se utiliza para preparar la tierra, sembrar, cultivar, regar, cosechar, almacenar y transportar la materia prima fósil utilizada para producir insumos químicos como herbicidas, pesticidas y fertilizantes además cuando corresponda la energía necesaria para convertir el cultivo bioenergético en biocombustible utilizable.

Generalmente, se requiere más energía para producir los cultivos anuales que los perennes porque los primeros implican un mayor uso de maquinaria y de insumos químicos. En el caso de muchos cultivos energéticos perennes, la proporción energética (la cantidad de cultivo bioenergético útil producida por unidad de combustible fósil consumida) requerida para producir la materia prima es suficientemente alta como para que estos cultivos resulten atractivos.

En cuanto a las emisiones de carbono, la bioenergía puede afectar las emisiones netas de carbono principalmente de dos maneras. Primero por la provisión de energía que puede sustituir la energía de los combustibles fósiles y segundo al poder cambiar la cantidad de carbono capturado en la tierra. El beneficio neto de carbono depende de lo que hubiera ocurrido de no existir el aprovechamiento bioenergético. Esto es, la cantidad y el tipo de combustibles fósiles que se hubieran consumido o el uso de la tierra que hubiera predominado si no se generara la bioenergía.

Para evaluar las repercusiones netas de la sustitución de combustibles fósiles, la intensidad relativa de carbono debe ser evaluada con base en las emisiones asociadas con la producción de cultivos bioenergéticos y la eficiencia de la tecnología energética en la que se





usa el biocombustible. El cuadro siguiente brinda algunos valores aproximados de las emisiones de carbono de ciertas tecnologías.

### Aproximaciones de las emisiones de carbono producidas por una muestra de tecnologías bioenergéticas y de energía fósil utilizadas en la generación de electricidad

Combustible y tecnología	Eficiencia de la generación	Gramos de CO <sub>2</sub> por kWh
Generador de diesel	20%	1.320
Ciclo de vapor de carbón	33%	1.000
Ciclo combinado de gas natural	45%	410
Digestor de biogases y generador de diesel (con 15% de combustible diesel piloto)	18%	220
Ciclo de vapor de biomasa <sup>a</sup> (razón de energía de biomasa <sup>a</sup> = 12)	22%	100
Gasificador de biomasa y turbina de gas (razón de energía de biomasa <sup>a</sup> = 12)	35%	60

Fuente: S. Kartha y E. D. Larson, *Bioenergy Primer: Modernised Biomass Energy for Sustainable Development* (New York: United Nations Development Programme, 2000).

<sup>a</sup> Esto es, el contenido de energía de la biomasa producida, dividida entre la energía del combustible fósil que se consumió al producir la biomasa.

Este cuadro presupone que los cultivos bioenergéticos se cosechan de manera que no se afecte el nivel de carbono, es decir, sin que haya un cambio neto en el contenido de carbono en el campo de cultivo ni en el suelo durante un ciclo completo de cultivo. En realidad, el carbono en la tierra puede cambiar significativamente. La magnitud del cambio neto depende fundamentalmente de cómo la biomasa es producida y de lo que hubiera ocurrido si ésta no se hubiera producido.

Si se considera el caso de un bosque natural que es talado para suministrar combustible a una planta bioenergética, dejando un terreno desnudo que no puede regenerarse fácilmente, las emisiones de carbono provenientes del ciclo bioenergético bien podrían ser mayores que las emisiones provenientes de un ciclo de combustibles fósiles que genera una cantidad equivalente de energía. Este ciclo de biocombustible no es justificable desde ninguna perspectiva medioambiental. No obstante, este modelo se usa con frecuencia para generar biomasa no energética y bien podría ser la estrategia financiera más atractiva para un proyecto bioenergético desde el punto de vista de rentabilidad a corto plazo.

Como segundo caso, puede considerarse una situación en la que un bosque natural es talado y vuelto a sembrar al establecer una plantación bioenergética que se cosechará sosteniblemente a fin de aportar biomasa de manera continua a una planta de producción de bioenergía. La cantidad de carbono contenido en el bosque natural que se libera dependerá del tipo de bosque, pero puede estimarse en 300 toneladas métricas de carbono por hectárea (t/ha). Como la materia prima para la producción de biomasa es cultivada y cosechada en ciclos, el carbono será retenido en la tierra y así se restituirá una parte del



carbono que fue liberado cuando el bosque natural fue talado. En un promedio basado en un ciclo de cultivo, la cantidad de carbono capturada en la plantación podría ser de 30 t/ha. Por lo tanto, el bosque natural contiene 270 t/ha más que el cultivo bioenergético. Si este último se usa para sustituir los combustibles fósiles y reducir las emisiones de carbono, esa diferencia de 270 t/ha se compensaría en un período de alrededor de 45 años. Por tanto, aunque se podría argumentar, con base en los beneficios de carbono, que hay que talar los bosques naturales para plantar cultivos energéticos, el argumento no es muy convincente y, si se toman en cuenta consideraciones medioambientales y sociales tales como la preservación del hábitat y la protección de las cuencas hidrográficas, éstas podrían superar cualquier beneficio de carbono.

Como tercer caso, una plantación de cultivos bioenergéticos es establecida en tierras improductivas, como por ejemplo, tierras degradadas que se beneficiarían si se renovara la vegetación. Estas tierras degradadas probablemente contenían mucho menos carbono que la plantación, incluso en el suelo y en la biomasa subterránea. En este caso, el cambio en el uso del suelo no sólo producirá beneficios por la sustitución de combustibles fósiles, sino también beneficios de carbono y otros beneficios ecológicos.

### ***Marco facilitador para la implementación de políticas de mitigación***

Sobre la base del estado de situación de investigación existente se complementarán los mismos de forma tal de poder establecer un marco facilitador para la implementación de políticas de mitigación.

Los cultivos para la producción de biomasa no son diferentes a otros cultivos agrícolas cuando se trata del manejo de suelos, agua, agroquímicos y biodiversidad, y las consecuencias de no aplicar buenas prácticas son generalmente las mismas que con los demás cultivos. Sin embargo, la producción de biomasa sí presenta algunos retos medioambientales específicos que requieren ser manejados cuidadosamente.

En cuanto a la calidad y fertilidad del suelo, los cultivos para la producción de biomasa plantean un reto particular para el buen manejo de suelos porque el material vegetal suele ser cosechado por completo, dejando poca materia orgánica o nutrientes de plantas para ser incorporados en el suelo. En muchas zonas rurales del mundo en desarrollo, donde el manejo del suelo depende del reciclaje de los desechos de cultivos y estiércol, y no de insumos externos, la producción de biomasa puede conducir a considerables disminuciones en la fertilidad y estructura del suelo. Para mantener la materia orgánica del suelo se deben mantener suficiente materia vegetal sobre la superficie, aunque esta práctica reduzca la cantidad cosechable del material de cultivo para la producción de bioenergía.

En muchos casos, los agricultores pueden reducir el riesgo de que se agoten los nutrientes dejando que las partes de las plantas más ricas en nutrientes, ramas y hojas pequeñas, se descompongan en el campo. Realizar la cosecha durante la parte del ciclo de crecimiento en que la biomasa aérea viva tiene un contenido relativamente bajo de nutrientes también ayuda.

En algunos sistemas bioenergéticos, los nutrientes contenidos en la materia prima pueden recuperarse de las plantas de reconversión en forma de ceniza o lodo que luego se convierte de tal manera que puede ser aplicada al campo en lugar de ser utilizada en un relleno



sanitario. No obstante, el valor nutritivo de la ceniza o del lodo puede no ser óptimo. Por ejemplo, la ceniza no contendrá el nitrógeno que fue liberado durante la combustión, y ciertos nutrientes podrían no estar en una modalidad disponible para las plantas.

Con respecto a la biodiversidad, la producción de materia prima para la bioenergía influye significativamente en los ecosistemas circundantes, aumentando o suprimiendo la biodiversidad. En la medida en que la producción de cultivos bioenergéticos ofrezca un medio ambiente con más biodiversidad y más parecido a un hábitat natural que otras opciones agrícolas, puede mejorar la biodiversidad y llenar los vacíos entre los fragmentos restantes del hábitat natural. Los cultivos bioenergéticos pueden servir también de corredor entre áreas de hábitat natural, en beneficio de la vida silvestre migratoria o de largo alcance. Los cultivos exóticos industriales demostraron ser capaces de escapar del área cultivada y de prosperar incontrolablemente a expensas de otras especies autóctonas. De igual modo, se debe evitar el monocultivo, ya que la siembra extensa de un sólo cultivo puede actuar como medio de incubación para plagas o enfermedades que luego pueden propagarse al hábitat natural.

Los cultivos bioenergéticos optimizados para que crezcan rápidamente en general consumen más agua que la flora natural y que muchos cultivos alimentarios. Algunos cultivos para la producción de biomasa, como la caña de azúcar, compiten directamente con los cultivos alimentarios por el agua de riego. Se observó que otros disminuyen la capa freática, reducen el rendimiento de los arroyos y hacen que los pozos sean menos fiables; razón por la cual las comunidades agrícolas se opusieron con frecuencia a la introducción de las plantaciones de árboles. Algunas prácticas, como la cosecha de residuos, el cultivo de árboles sin sotobosque y la siembra de especies que no generan las cantidades o tipos adecuados de cubierta vegetal muerta, pueden reducir la infiltración del suelo por el agua de lluvia y la recarga de las aguas subterráneas, lo cual exacerba los problemas del consumo excesivo de agua.

Como conclusión los sistemas de cultivos bioenergéticos pueden, si se diseñan correctamente, producir beneficios significativos, tanto a nivel ambiental como social. Cuando se eligen bien los cultivos para la producción de biomasa y los métodos de su producción, esto conduce a balances favorables de carbono y energía y a una reducción neta de las emisiones de gases de invernadero. Pero los sistemas de producción de bioenergía también deben ser adaptados a las condiciones locales para evitar la generación de problemas medioambientales.

Como principio primordial, los sistemas de cultivos bioenergéticos pueden generar beneficios si se establecen en tierras actualmente ocupadas por cultivos anuales en hileras o que están experimentando una degradación descontrolada. En ambos casos, para producir beneficios sociales es necesario involucrar a las comunidades locales y entender los usos actuales de la tierra, tales como la producción de alimentos, los pastos para ganado y la recolección de leña. La producción de cultivos bioenergéticos puede ser una buena opción si se diseña de manera participativa con aquellos cuyas vidas afectará.



## **Biocombustibles de segunda y tercera generación**

### **Introducción**

En primer lugar se debe reconocer que no existe un acuerdo general en cuanto a la clasificación y correspondiente definición de los biocombustibles de segunda y tercera generación, pero a los efectos del presente estudio se propone la siguiente categorización, basada en el origen de la materia prima que da lugar a la producción del biocombustible y su forma de producción.

### **Primera generación**

Los biocombustibles de primera generación tienen su origen en los cultivos de alimentos “pre-existentes” como materia prima. Ejemplos comunes son; maíz, soja, palma y caña de azúcar tienen almidón, aceites o azúcares fácilmente accesibles para su extracción industrial. Estos biocombustibles por lo general, son elaborados por fermentación de los azúcares para el bioetanol y mediante refinado de aceites grasos a través de procesos de transesterificación.

### **Segunda generación**

La segunda generación de biocombustibles implica no utilizar recursos alimenticios y, en algunos casos, un cambio en la fase de bioconversión.

Se utilizan todas las formas de biomasa lignocelulósica, como gramíneas, árboles, agrícolas y residuos industriales, como aceites usados, que pueden ser convertidos a través de dos vías principales: una bioquímica y una ruta termoquímica.

### **Tercera generación**

La tercera generación de biocombustibles se basa en los avances realizados en la fuente de materia prima. Esta generación se aprovecha de nuevos cultivos específicamente diseñados para la generación de biocombustibles. Se aplican avances recientes en la biología de las plantas, nuevas técnicas de reproducción, avances en el campo de la genómica, cambios en diseño clásico de los cultivos transgénicos.



### ***Biocombustibles líquidos de origen lignocelulósico***

Los biocombustibles líquidos producidos actualmente a partir de cultivos de azúcar o almidón (en el caso del etanol) y cultivos de semillas oleaginosas (en el caso del biodiesel) generalmente se denominan biocombustibles de primera generación. Una segunda generación de tecnologías podría permitir utilizar, además, biomasa lignocelulósica.

La biomasa celulósica es más resistente a la trituración que el almidón, el azúcar y los aceites. La dificultad de convertir biomasa celulósica en combustibles líquidos es que encarece la tecnología de conversión, si bien el costo de la materia prima celulósica como tal es inferior al de las materias primas de primera generación actuales.

La conversión de la celulosa en etanol supone dos fases: primero los componentes de celulosa y hemicelulosa de la biomasa se descomponen en azúcares y, luego, éstos se fermentan para obtener etanol. La primera fase resulta compleja desde el punto de vista técnico, aunque prosiguen las investigaciones sobre la elaboración de métodos eficientes y rentables de ejecutar el proceso.

Dado que la biomasa celulósica es el material biológico que más abunda en la tierra, el desarrollo exitoso de los biocombustibles de segunda generación comercialmente viables, elaborados a partir de celulosa, podría redundar en un aumento considerable del volumen y la variedad de materias primas factibles de ser usadas en la producción de esos biocombustibles.

Los desechos de celulosa, en particular los productos de desecho de la agricultura (paja, escobajos, hojas) y la silvicultura, los desechos de procesos de elaboración (cáscaras de nuez, bagazo de caña de azúcar y aserrín) y las partes orgánicas de los desperdicios municipales) podrían todos convertirse en fuentes posibles de materia prima.

No obstante, es importante tener en cuenta la función decisiva que desempeña la descomposición de la biomasa en el mantenimiento de la fertilidad y la textura del suelo. El exceso de extracciones para su uso como fuente de bioenergía podría tener efectos negativos.

Los cultivos celulósicos destinados a la producción de energía ofrecen perspectivas prometedoras como fuente de materia prima para las tecnologías de segunda generación. Entre los cultivos posibles de este tipo figuran las plantas leñosas de rotación breve, como el sauce, los álamos y los eucaliptos híbridos y especies gramíneas como el miscanto, el pasto varilla y el alpiste arundinácea.

Estos cultivos poseen ventajas importantes respecto de los cultivos de primera generación en cuanto a su sostenibilidad ambiental. Comparados con el almidón convencional y las plantas oleaginosas, pueden producir más biomasa por hectárea de tierra, ya que se pueden usar íntegramente como materia prima para su conversión en biocombustible.

Además, algunas perennes de crecimiento rápido, como las plantas leñosas de rotación breve y los pastos altos, pueden crecer en suelos pobres y degradados en los que la producción de cultivos alimentarios no es óptima a causa de la erosión y otras limitaciones. Ambos factores podrían reducir la competencia por la tierra para la producción de alimentos y forrajes.

En cuanto a las desventajas de estas especies se consideran invasivas o con posibilidades de serlo y podrían tener efectos negativos para los recursos hídricos, la biodiversidad y la agricultura.



Aunque la biomasa celulósica es más difícil de triturar para convertirla en combustibles líquidos, también es más fácil de manipular, lo que contribuye a reducir sus costos de manipulación y mantener su calidad, en comparación con los cultivos alimentarios. Por otra parte es más fácil de almacenar, especialmente en comparación con los cultivos de azúcar, ya que es más resistente a la degradación.

Existen actualmente en todo el mundo varias plantas procesadoras experimentales o de demostración, que o bien ya funcionan o bien están en fase de desarrollo. La rapidez con que se expandan los métodos bioquímicos y termoquímicos de conversión dependerá del desarrollo y el éxito de los proyectos experimentales actualmente en curso y la financiación sostenida de las investigaciones, así como de los precios mundiales del petróleo y las inversiones en el sector privado.

En resumen, los biocombustibles de segunda generación elaborados a partir de materias primas lignocelulósicas presentan un cuadro completamente diferente en cuanto a sus repercusiones para la agricultura y la seguridad alimentaria. Podría usarse una mayor variedad de materias primas, además de los cultivos agrícolas que se utilizan actualmente con las tecnologías de primera generación, y con mayores rendimientos de energía por hectárea.

También variarán sus efectos para los mercados de productos básicos, los cambios en el uso de la tierra y el medio ambiente, así como su influencia en las futuras tecnologías de producción y conversión.

### ***Cultivos para producción de biocombustibles de segunda generación***

Puede considerarse que la jatropha, el ricino, el cártamo y la camelina son los cultivos que complementarán a la soja, la colza, la palma y los aceites vegetales en la producción de biodiesel. Según estimaciones preliminares el potencial de la jatropha en Argentina es de 136 millones de toneladas, en el norte del país y se podrían producir 195 millones de toneladas de aceite de camelina en la Patagonia.

La jatropha es un cultivo oleaginoso que ha despertado un elevado interés en la Argentina y en el mundo, dadas las múltiples potencialidades que se le adjudican. En primer lugar, se trata de un cultivo que no requiere un tipo de suelo especial y es resistente a la escasez hídrica, lo cual lo hace adaptable a regiones semiáridas y cálidas, no compitiendo con la producción de alimentos y podría ser desarrollado en economías regionales postergadas del norte del país. Es considerada una especie recuperadora de suelos, lo cual la convierte en una alternativa para la reforestación. En segunda instancia, cuenta con un alto potencial de rendimiento de biodiesel por hectárea, pues su contenido de aceite en semilla es elevado.

El balance energético de la jatropha, es superior que el de otros cultivos, aunque debe considerarse que esto se atribuye a que es un cultivo intensivo en mano de obra. Pese a las múltiples potencialidades que presenta la jatropha, presenta obstáculos significativos para su desarrollo a escala comercial en el corto plazo. Se destaca el limitado conocimiento técnico a nivel primario e investigación científica existente, además la falta de experiencia sobre su cultivo a escala comercial y la maduración no uniforme de sus frutos y el hecho de que su colecta sea manual eleva sus costos de producción. Sus semillas son muy venenosas, la torta obtenida como subproducto de la extracción del aceite es tóxica, lo cual limita la posibilidad de ser utilizada en la alimentación animal que afecta la rentabilidad de los



proyectos.

La especie *Jatropha Curcas* posee harinas ricas en proteínas y almidón que resultan tóxicas para humanos y animales. Aumentar las opciones para su aprovechamiento como materia prima energética a través de diferentes procesos (fermentación, producción de biogás o pirólisis) es el objetivo de investigadores de la Cátedra de Cultivos Industriales de la FAUBA. El equipo trabaja, además, en el desarrollo de tecnología para eliminar su toxicidad y que pueda ser utilizada en la alimentación animal.

De esta manera, se abre una alternativa para la producción de biocombustibles, ya que la *Jatropha* es un cultivo energético de segunda generación, es decir que puede producirse en ambientes marginales, lo que permitiría fabricar biodiesel sin competir con los alimentos.

La viabilidad del rendimiento de la *Jatropha* tiene grandes posibilidades de lograrse a partir del mejoramiento genético, por lo que se requiere avanzar en la identificación y evaluación de diferentes variedades de alto potencial de rendimiento, objetivo que el grupo de trabajo mencionado ya comenzó a llevar a cabo.

El interés se generó a partir de las expectativas de altos rendimientos de semilla, de 5 a 8 toneladas por hectárea, con una concentración de aceite de entre 30-40%, cuya calidad es adecuada para fabricar biodiesel dentro de las normas internacionales de calidad. Si bien la falta de información confiable sobre su comportamiento llevó al fracaso de muchas inversiones, también comenzó a experimentarse desde los sectores público y privado, para encontrar soluciones.

Una posibilidad que ofrece este cultivo es el aprovechamiento forrajero de los espacios que existen entre las hileras de plantas, de manera que pueda integrarse a la producción de biocombustibles la producción bovina. Esta alternativa resulta promisoriosa si se considera que las plantas de *Jatropha* ocupan cerca del 20% de la superficie del lote. En Argentina, las zonas aptas para realizar el cultivo están limitadas por su alta sensibilidad a heladas, por lo que para disminuir las posibilidades de daño e incrementar el área apta, sería necesario entender los mecanismos de resistencia involucrados y establecer criterios de mejoramiento.

Al tratarse de un cultivo perenne, el proceso de generación de conocimiento es lento ya que para determinar el potencial de una planta hay que esperar cinco años, porque recién a esa edad comienza a estabilizarse la producción de semillas.

Para pasar a escala de cultivo, aún resta resolver variados problemas. En términos generales, falta desarrollar un paquete tecnológico que permita mecanizar la cosecha y realizar grandes superficies de cultivo a un costo de producción competitivo, sin excluir a los pequeños productores, que podrían recurrir a la cosecha manual.

El ricino o tártago constituye otra alternativa muy valorada para la producción de biodiesel, esencialmente, debido a que puede cultivarse en zonas marginales, sin competir con otras oleaginosas tradicionales. La existencia de un alto porcentaje de aceite en las semillas





permite un rendimiento potencial de biodiesel por hectárea superior al del resto de las oleaginosas producidas en la Argentina.

No obstante, el ricino presenta algunas desventajas, tales como el costo de oportunidad asociado a los altos precios de su aceite, el escaso grado de desarrollo tecnológico a nivel primario, la limitada experiencia en el manejo del cultivo y la toxicidad de la torta que se obtiene como subproducto de la producción de su aceite que condiciona la rentabilidad de los proyectos.

El aceite obtenido del prensado del ricino se conoce comúnmente como Aceite de Ricino o de Castor. Este aceite vegetal, es el único que posee como componente principal ácido ricinoleico mayor al 85% sobre su contenido oleico total. De multiplicidad de aplicaciones en otras industrias.

Es un cultivo benigno desde el punto de vista ecológico y social; no es comestible, su cultivo puede ser intensivo, aprovechando tierras típicamente marginales. Desde el punto de vista técnico, es posible desarrollar estrategias de negocio que no colisionen con la preservación del recurso natural. Ni con la opción tierra para alimentos versus tierra para combustibles ecológico.

Si bien pueden utilizarse las mismas tecnologías para la extracción de aceite y elaboración del biodiesel que para la soja, su valor en uso alternativo no viabiliza su utilización con fines energéticos.

El cártamo podría ser otra oleaginosa para la elaboración de biodiesel, pero debe considerarse que presenta ciertas desventajas asociadas con los costos de oportunidad y el escaso desarrollo del cultivo.

La Camelina es un cultivo oleaginoso natural, sembrado en Europa desde la era de Bronce. En la actualidad hay interés en desarrollar este cultivo principalmente debido a su bajo requerimiento de insumos y su potencial uso no alimenticio.

La semilla de camelina posee entre un 33 % y un 42 % de aceite, el cual tiene un patrón de ácidos grasos único, caracterizado por un contenido de ácido linolenico del 30-40 %, ácido eicosenoico de alrededor del 15 %, y menos del 4 % de ácido erúxico, lo cual sugiere su aplicación en pinturas y recubrimientos como aceite secativo en forma similar al aceite de lino.

La Slicornia es un cultivo rico en aceite que puede producirse en campos irrigados con agua salada y se puede cosechar con maquinaria estándar, como cualquier otro cultivo (trigo o arroz). Sus semillas se pueden prensar mediante procesos similares a los utilizados para otras cosechas de semillas aceitosas, como las de girasol.

Su tolerancia a la salinidad hace factible su cultivo utilizando agua de mar para el riego en regiones costeras o desérticas, por lo que la salicornia permite desarrollar zonas que hasta el día de hoy son consideradas no aptas para el desarrollo de ningún cultivo.





Actualmente este cultivo se desarrolla en Estados Unidos, México y en algunos países asiáticos. En la Argentina, técnicos del INTA realizaron estudios y desarrollos sobre la salicornia en Ushuaia.

Además de los recién mencionados, existen otros cultivos, en donde la experiencia existente es nula a escala comercial e incipiente en materia de investigación.

### ***Las microalgas***

Considerando la generación de energía por medio de organismos autótrofos, que mediante el proceso de fotosíntesis convierten la energía solar en química, se destacan varios tipos de algas unicelulares, o “microalgas”, como eficientes organismos fotosintéticos para este proceso.

Las mismas absorben el dióxido de carbono del aire y nutrientes del agua, acumulando en su interior importantes volúmenes de aceite, y liberando al mismo tiempo, oxígeno a la atmósfera.

Los sistemas de producción de algas pueden establecerse en tierras desérticas, por lo que no compiten por el uso del suelo en el cultivo de materias primas alimentarias. Otra ventaja radica en los elevados niveles de aceite que presentan algunas especies, lo que sitúa a estas materias primas como la alternativa con mayor productividad potencial en la producción de biodiesel.

Si bien las algas presenten numerosos atractivos como insumo para la producción de biodiesel, presentan también significativas restricciones. En primer lugar, las tecnologías de producción no están aún disponibles a escala industrial, lo que constituye un obstáculo para el manejo del cultivo en condiciones óptimas y, por lo tanto, dificulta la rentabilidad de los proyectos.

A pesar de ello, una vez que se logren superar los obstáculos técnicos, la alternativa de las algas o microalgas, es probable que resulte más conveniente para producir biodiesel que aquellas que utilizan las materias primas agrícolas.

En la Argentina existen proyectos piloto, pero estos son aún muy incipientes y no resultan rentables para que sean implementados a escala comercial. Según las opiniones de informantes clave del sector, no parece que pueda considerarse que las algas se constituyan en materia prima para producir biodiesel en el corto plazo.

### ***Los Aceites Vegetales Usados (AVUs)***

El aceite vegetal usado (AVU) es un residuo contaminante que puede ser utilizado como materia prima para la producción del Biodiesel. Esto significa que el aceite que se destina para cocinar puede convertirse en un combustible. Aproximadamente por cada 1.2 litros de aceite vegetal usado se puede producir un litro de Biodiesel quedando glicerol y ácidos grasos como subproductos.

Según datos de la Cámara de la Industria Aceitera de la República Argentina (CIARA) y del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos el consumo aparente en Argentina de aceite de



Girasol y Soja es de aproximadamente unos 15,2 litros per cápita, lo cual permite confirmar que el volumen disponible para recolectar y reciclar es muy importante.

Para el uso de este recurso resulta fundamental analizar cada partida recibida para determinar su contenido en ácidos grasos libres. Un simple análisis determinará el tratamiento posterior del AVU. Debe verificarse el nivel de acidez que determinará el tratamiento previo. La neutralización previa, es decir, fabricar jabón con los ácidos grasos, consume la misma cantidad de catalizador que si se hace dentro del reactor, pero permite su eliminación por lavado y/o centrifugado. De este modo no entorpecerá luego a la reacción de transesterificación.

La eliminación del agua, necesaria para evitar bajas conversiones en el reactor y formación de productos en solución o emulsionados difíciles de separar, se hace combinando una acción mecánica (decantación) y una térmica (evaporación). La forma más simple de secar el AVU es por decantación en tanques apropiados, pero como la decantación no elimina el agua totalmente, el secado debe completarse con su eliminación térmica.

Los remanentes de jabones y agua, luego de las separaciones primarias, pueden eliminarse por lavado con agua y también por el procedimiento denominado “dry-washing”. Estos tratamientos del AVU y luego del biodiesel, garantizan un producto dentro de las especificaciones, salvo el contenido en esteres (mínimo de 96,5%). Este valor, fijado por la norma europea y contemplado por Secretaría de Energía de Argentina, mide el grado de conversión del aceite en esteres metílicos, es decir, el acabado completo de la reacción.



## **Desarrollo y perspectivas en la Argentina**

Con el objeto de realizar un diagnóstico de la situación y perspectivas de desarrollo de los biocombustibles de segunda y tercera generación, fueron consultadas diversas fuentes, como instituciones estatales y privadas, cámaras, asociaciones de productores y material publicado.

### **Actividades Institucionales y del Estado**

Fueron consultados, integrantes de la Asociación Argentina de Biocombustibles e Hidrogeno (AABH), la Cámara Argentina de Energías Renovables (CADER) y la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) e instituciones académicas.

La Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) es un ente autárquico del área del Ministerio de Desarrollo Productivo del Gobierno de Tucumán, cuya misión ha sido apuntalar tecnológicamente el liderazgo agroproductivo de la provincia de Tucumán.

La tarea de investigación en la EEAOC, se organiza en torno a Programas de trabajo que abordan grandes áreas temáticas definidas en el Plan Estratégico Institucional. Básicamente, al mejoramiento de la calidad y el rendimiento de los productos, a la disminución de los costos de producción y al aseguramiento de la sustentabilidad de los sistemas agroindustriales, a través de la creación y el desarrollo de tecnologías y métodos - tradicionales o biotecnológicos- para un manejo eficiente de los cultivos y de sus industrias derivadas.

La EEAOC desarrolla diversos Programas y Proyectos, entre ellos el de Bioenergía. El objetivo de este programa es estudiar las posibilidades de producción de diversas formas de energía renovable que puedan obtenerse a partir de materias primas vegetales y/o animales, para ofrecer al sector productivo opciones para la generación de energía a partir de fuentes no convencionales.

El programa analiza las diversas etapas que constituyen la cadena de valor en todos los casos estudiados para definir opciones tecnológicas que maximicen la producción neta de energía, su rentabilidad y sus efectos sociales positivos, con mínimo impacto ambiental. En cuanto a los Aspectos Agrícolas, lleva adelante la Evaluación de cultivos no tradicionales para la producción de biocombustibles el Balance energético y ambiental de la etapa agrícola de cultivos aptos para la producción de biocombustibles y Estudios económicos y de mercado de la producción de biocombustibles y de nuevas tecnologías. No se ha avanzado en proyectos concretos relativos a la producción de biocombustibles de segunda y tercera generación.

El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria es un organismo estatal descentralizado con autarquía operativa y financiera, dependiente del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Fue creado en 1956 y desde entonces desarrolla acciones de investigación e innovación tecnológica en las cadenas de valor, regiones y territorios para mejorar la competitividad y el desarrollo rural sustentable del país.

Sus esfuerzos se orientan a la innovación como motor del desarrollo e integra capacidades para fomentar la cooperación interinstitucional, generar conocimientos y tecnologías y



ponerlos al servicio del sector a través de sus sistemas de extensión, información y comunicación.

El INTA ha decidido colocar a la bioenergía entre sus programas nacionales, dándole una importancia y visibilidad significativa. En dicho marco, la Institución ha confeccionado el Programa Nacional de Bioenergía, cuyo objetivo es el de asegurar el suministro de fuentes y servicios sostenibles, equitativos y asequibles de bioenergía, en apoyo al desarrollo sostenible, la seguridad energética nacional, la reducción de la pobreza, la atenuación del cambio climático y el equilibrio medioambiental en todo el territorio argentino.

Se han implementado diversos Programas de Estudio. El Programa de Estudio Residuos y Cultivos agrícolas para la producción de bioenergía, contempla los siguientes módulos:

- Ciclos de vida, balances energéticos, estudios de eficiencia, biodiversidad, homologación y laboratorio de referencia.
- Sistema integrado de información geográfico (“SIG”), tanto a nivel nacional como regional.
- Módulo cultivos con propósito energético y alimenticio, las actividades se realizarán como soporte a los proyectos en marcha sobre mejoramiento y estudios agronómicos específicos en desarrollo en las diferentes unidades del país en un trabajo en red nacional.

Las actividades para cada cultivo se desarrollan en las siguientes estaciones: Colza Estación Barrow y Junín Mendoza, Cártamo Estación Ascasubi, Maíz Estación Pergamino, Topinambur Estación Manfredi, Remolacha Azucarera Estación Valle Inferior del Río Negro, Panicum Virgatum Estación Anguil, Sorgo Estación Manfredi, Caña de azúcar Estación Famaillá.

El Programa de Estudio Recursos vegetales de desarrollo estratégico con finalidad energética, para el Género *Jatropha* en la Estación Salta: El proyecto apunta al desarrollo nacional de tecnología en este cultivo considerado estratégico a nivel internacional constando de los siguientes módulos:

- Desarrollo de Tecnología para Manejo cultural de *Jatropha*.
- Mejoramiento Genético Molecular de *J. Curcas L.*
- Ecofisiología de *J. curcas L.*
- Desarrollo de Tecnología para Micropropagación de *J. curcas L.*
- Calidad de aceite y biodiesel de los materiales genéticos del proyecto.

El Programa de Estudio Desarrollo y generación de biocombustibles de segunda y tercera generación: Este proyecto general apunta sin limitarse a mejorar el proceso de obtención de etanol a partir de celulosa y consta de los siguientes módulos:

- Prospección de la biodiversidad bacteriana usando herramientas de metagenómica para identificar y caracterizar genes codificantes para enzimas que degraden celulosa. Se buscarán en distintos ecosistemas, siendo el rumen uno de ellos.
- Evaluación de los genes identificados en distintos sistemas de expresión de proteínas recombinantes (bacterias, levaduras como *Piccia pastoris*, plantas transgénicas). Se persigue como producto proveer insumos biológicos (enzimáticos) para la degradación de celulosa azúcares que puedan ser asimilados por las levaduras o bacterias fermentadoras, productoras de alcohol.



- Mejoramiento genético de *Eschechia coli* para optimizar la producción de etanol (y otros compuestos útiles) a partir de azúcares que pueden (o no) provenir de la celulosa. Sus productos servirán para mejorar la producción de alcohol proveniente de sacarosa (caña de azúcar) o almidón.
- Aislamiento de nuevas cepas o especies de microorganismos fermentadores como, por ejemplo, alguna bacteria del rumen.

Un equipo interdisciplinario de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA) produce etanol, biodiesel y biogás con materias primas de origen agropecuario, agroindustrial y de residuos. Buscan integrar los procesos y solucionar problemas ambientales y energéticos, con alternativas que no compitan con los alimentos. Estas experiencias se enmarcan en la cátedra de Química Analítica de la FAUBA.

El equipo intenta fabricar biodiesel que no implique el uso de materias primas potencialmente consumibles en alimentación, como granos o aceites de maíz o de soja. En cambio, se busca emplear subproductos (como cáscaras, expeller –harina-, aceites usados y desechos) u otras materias primas, con microalgas, que tampoco demanden la utilización de áreas con potencial agrícola, en detrimento de la superficie implantada con cultivos alimenticios.

Se han abocado al estudio de la producción de biogás a partir del uso de residuos orgánicos urbanos y agroindustriales. Se investigan sustancias inhibidoras presentes en residuos sólidos urbanos, provenientes de pilas, baterías y detergentes, para su uso como sustrato en un biodigestor. Asimismo se intenta reemplazar el uso del silo de maíz que compite con los alimentos para la fabricación de biogás, por glicerina, subproducto de la fabricación de biodiesel.

## Proyectos en la Argentina y Potencial Productivo

En el caso de los Biocombustibles de segunda y tercera generación, los proyectos y desarrollos están aún en etapas experimentales, previas a la producción masiva.

### *a. La Jatropha*

En la Argentina, la introducción y cultivo de la *Jatropha* no tiene un largo historial y hay escasos datos documentados sobre rendimiento, resistencia a heladas así como los requerimientos de suelo y fertilización. Por parte de la Universidad Nacional de Mendoza y el INTA se vienen llevando registros y estudios en parcelas experimentales pero aún los datos no son concluyentes.

Paralelamente hay una fuerte presión de grupos inversores nacionales y extranjeros para impulsar grandes emprendimientos sumando millares de hectáreas. Acompañando este fenómeno se han iniciado viveros de reproducción en más de una provincia que ofrecen sus servicios. Países como Australia ha prohibido su introducción hasta tanto no exista un mayor conocimiento sobre el impacto ambiental que puede tener y el EMBRA-PA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, vinculada ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento del Brasil) también ha dado su voz de alerta en el mismo sentido. Este fenómeno contradictorio donde las fuerzas del mercado y la ansiedad por su desarrollo superan los tiempos necesarios para el adecuado conocimiento agronómico y su mejoramiento no es solo privativo de la Argentina de allí la importancia de efectuar estudios



de factibilidad de expansión de este cultivo en función de los datos de requerimientos y disponibilidades.

La Argentina reúne condiciones agroclimáticas para desarrollar exitosamente el cultivo de la *Jatropha*. Si bien el país posee una gran extensión de tierras con potencialidad agroecológica para *Jatropha Curcas L.*, de las cuales estarían potencialmente disponibles para la implantación de esta especie 3.000.000 de hectáreas, en el estudio se presentan consideraciones respecto a la resistencia de la especie a las bajas temperaturas, lo que limitaría la superficie final disponible con aptitud a aproximadamente 300.000 has.

### ***b. El Tártago***

La empresa de capitales nacionales South American Green Oil manifestó que está realizando investigaciones y desarrollando plantines de “higuerilla maravilha” (tártago), con una proyección para producir 112.500 toneladas en los próximos cinco años, para los cual habría efectuado una inversión de tres millones de dólares.

Esta firma alega que ha realizado pruebas e investigaciones con los plantines en casi toda la Argentina para testear los diferentes climas y los distintos tipos de suelo. Así se llegó a buenos resultados que desprenden como posibles zonas de cultivo parte de las provincias de Salta, Jujuy, Catamarca, La Rioja, San Juan, San Luis, Mendoza, La Pampa, Santiago del Estero, Río Negro y Chubut, además de las provincias tradicionales, que vienen realizando agricultura de secano desde la colonización.

La firma ALS Bioenergía tiene proyectada la construcción y operación de una planta de biodiesel de 60.000 toneladas, apta para procesar aceite de tártago entre otros. Esta planta utilizaría un proceso probado a escala industrial en Argentina y los principales países desarrollados, con la validación de organismos internacionales. La planta estaría emplazada en el Parque Industrial de Zarate y actualmente la empresa se encuentra en proceso de búsqueda de inversores para la concreción de la construcción de la misma. El proyecto cuenta con el apoyo tecnológico de Dow Química Argentina y la asistencia financiera de KPMG.

Según la empresa, la planta será de características multi-feedstock, en la primera etapa la materia prima será la semilla de soja. Luego, será abastecida, a medida que se desarrolle volumen, por semillas de segunda generación, camelina o salicornia. Luego una segunda etapa del proyecto contempla el desarrollo de los cultivos alternativos necesarios para el abastecimiento de la planta.

### ***c. Las microalgas***

#### **UTN Mar del Plata**

Un proyecto de microalgas para producción de biodiesel a nivel experimental, se desarrolla enteramente en la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) sede Mar del Plata propone realizar el cultivo, a escala piloto, de especies seleccionadas de microalgas marinas, como materia prima para la producción de aceite para biodiesel.

El proyecto se focaliza en desarrollar procesos económicamente viables y ambientalmente sustentables. Para ello se diseñó un módulo de producción de microalgas de bajo costo,



donde se trata de limitar la energía consumida para que esta no supere el 20% de la energía a producir.

Un factor fundamental de este proyecto radica en el reemplazo de insumos de alto costo, como dióxido de carbono y medios de cultivo, por el aprovechamiento de pasivos ambientales como emisiones industriales y barros cloacales. Además, se utilizarán principalmente microalgas marinas con el especial propósito de conservar agua potable.

Se prevé utilizar las emisiones gaseosas de la central eléctrica próxima como fuente de dióxido de carbono y se experimenta con barros cloacales de la ciudad de Mar del Plata como fuente de nutrientes.

El equipo que integra el proyecto está compuesto por investigadores científicos de la UTN y de CONICET y técnicos de apoyo de la carrera de Tecnicatura en Acuicultura y Procesamiento Pesquero, dictada en la UTN Mar del Plata.

## **UN Cuyo**

Por otra parte en la Universidad Nacional de Cuyo investigan la utilización de algas para producir biocombustibles. La Universidad Nacional de Cuyo se ha abocado a un proyecto para producir comercialmente biocombustibles a partir del cultivo de algas. El proyecto contempla utilizar el proceso las para purificar las aguas cloacales, en este caso de la capital mendocina. Otra perspectiva es usarlas para reciclar el dióxido de carbono de fábricas y centrales eléctricas y así integrarlas en la respuesta al calentamiento global.

Se ha logrado producir aceite apto para fabricar biodiesel, a partir de algas unicelulares, con rendimientos muy interesantes, aprovechando las excelentes condiciones del sol durante el verano mendocino. El desafío, es hacerlo a escala industrial, en condiciones económicamente sustentables. Los investigadores contarían con financiación, proveniente de una empresa norteamericana.

El proyecto contempla el uso de las aguas de Campo Espejo, que es el lugar donde se tratan todas las aguas cloacales de la ciudad de Mendoza. Estas aguas ya reciben un tratamiento, mediante bacterias que degradan el material orgánico y las dejan en condiciones de ser utilizadas para el riego de cultivos no destinados a alimento. Se están efectuando tratativas con el gobierno provincial para utilizar esas aguas servidas en el cultivo comercial de algas.

A pesar que el desarrollo de las algas haya sido logrado a nivel científico, no es sencillo poner a punto las tecnologías necesarias para hacerlo económicamente rentable, que incluyen determinar la temperatura, la salinidad y la acidez del agua.

### ***d. El alcohol celulósico.***

La investigación y desarrollo, además de los avances en plantas piloto para desarrollar la producción de biocombustibles de segunda generación a escala comercial competitiva a partir de residuos lignocelulósicos, exigen elevadas inversiones y largos plazos de maduración, los que sólo son afrontables a partir de alianzas público - privadas y de fuertes subsidios estatales. Grandes empresas globales y nuevas empresas especializadas se articulan en alianzas tecnológicas, bajo la governance de las primeras, en un contexto de procesos continuos de centralización de capitales.

En la Argentina no se ha detectado ningún emprendimiento para el desarrollo de esta alternativa tecnológica.





### ***e. Aceites Vegetales Usados (AVU)***

El Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible de la Provincia de Buenos Aires (OPDS) a partir del año 2008, implementó el programa provincial para la recolección y reciclado del aceite vegetal usado, “Plan BIO”.

Más de 130 municipios de la Provincia de Buenos Aires se han adherido al programa, donde se están llevando a cabo diferentes estrategias que han sido elaboradas en forma coordinada con las autoridades locales con el fin de responder a las necesidades particulares de cada una de ellas.

Se ha recolectado más de 1 millón de litros de aceite vegetal usado, ayudando a centenares de organizaciones sociales, tales como comedores escolares, hogares de ancianos, cuarteles de bomberos voluntarios, talleres protegidos, entre otros.

Varios municipios han encarado acciones propias a fin de coleccionar los AVU, en general con aplicación energética, tal el caso de Junín (BA), Rafaela (Santa Fe) y Venado Tuerto (Santa Fe).

Según el INTI, una reciente investigación europea sostiene que la degradación de aceites y grasas durante el freído profundo es un problema complejo y, hasta la fecha, las características de los AVUs que claramente deciden que los combustibles producidos cumplan con la norma, son desconocidas. Si bien la tecnología de producción de combustible de AVU no difiere sustancialmente de la de aceites puros, la historia térmica y oxidativa del AVU puede afectar significativamente la calidad de los mismos. A menudo no ofrecen suficiente contenido en esteres y presentan elevada viscosidad, baja estabilidad oxidativa, peores características de combustión y débiles propiedades a bajas temperaturas.

La situación empeora drásticamente cuando se considera el proceso de recolección, excepto que se consiga una fuente conocida que cumpla con las recomendaciones para el uso de los aceites en la cocción, como los que promueve el INTI para muy pequeñas producciones.

En la mayoría de los casos, los aceites vegetales usados recolectados a nivel municipal son de procedencia incontrolable. Se trata de mezclas de varios orígenes y depósitos, que presentan inicialmente tres problemas conocidos: alta acidez, contenido de agua y material sólido en suspensión.

## **Conclusiones relativas a los biocombustibles de segunda y tercera generación**

De acuerdo con lo expuesto la incidencia de los biocombustibles de segunda y tercera generación en la matriz energética de la Argentina en el corto y mediano plazo es irrelevante.

La totalidad de las actividades vinculadas revisten un carácter de investigación o ensayos de escala experimental.

De allí que, para avanzar en la sustitución o complementación en el futuro de los





biocombustibles de primera generación, creando capacidades locales en investigación y desarrollo, como en la definición de biotecnologías apropiadas, sea necesario promover programas con fuerte apoyo estatal.

## **Barreras para el desarrollo e implementación de aprovechamientos bioenergéticos**

Se han podido identificar las siguientes barreras para el desarrollo e implementación de aprovechamientos bioenergéticos en la Argentina, sobre la base del trabajo de relevamiento realizado por PROBIOMASA.

- a. Barreras Técnicas. A pesar que la experiencia en la utilización de las tecnologías para el uso de la biomasa es ampliamente conocido, en la Argentina no existe suficiente experiencia en algunos campos, particularmente en el de la biodigestión anaeróbica. Asimismo los sistemas de recolección, acopio y transporte, en particular de residuos agrícolas de cosecha, presenta incertidumbres en cuanto a su eficiencia y continuidad poniendo en riesgo la seguridad de abastecimiento.
- b. Barreras de mercado. No siempre los proyectos llegan a adquirir una escala competitiva, debido a la disponibilidad de la biomasa. Por otra parte cuando la biomasa debe ser adquirida a terceros existe el riesgo de la garantía de suministro y la volatilidad en el precio.
- c. Barreras institucionales. Se requiere un mayor compromiso por parte del Estado con la formulación de una política energética que incluya a la bioenergía renovable y al mantenimiento de las normas que regulan el sector, en particular de los biocombustibles.
- d. La principal barrera la constituye el acceso a fuentes de financiamiento y alcanzar a materializar compromisos de precios para la venta de la energía.
- e. No se reconocen barreras relacionadas con la falta de conocimiento, sensibilización e información.
- f. No se reconocen barreras de tipo social, cultural y de comportamiento como, por ejemplo, preferencias de los consumidores, prejuicios sociales, tradiciones.
- g. No se reconocen barreras en cuanto a capacidades humanas: formación inadecuada, falta de personal calificado.
- h. No se reconocen barreras en cuanto a los aspectos técnicos, ni competencia técnica desigual, falta de normas y códigos, operación y mantenimiento.
- i. Si el proyecto se plantea adecuadamente no se presentan inconvenientes asociados a impactos ambientales, como, por ejemplo, cambio en el uso de suelo o la falta de infraestructura física.

En el ámbito de la Secretaría de Energía de la Nación se ha desarrollado el “Estudio prospectivo de energías renovables destinado a remover barreras técnicas, económicas, regulatorias y financieras a la generación de electricidad”, realizado y financiado en el marco de la red REEEP.



El análisis de los resultados no cuantitativos de la encuesta realizada, revela que una parte importante de los consultados percibe que el desarrollo de las Energías Renovables en Argentina presenta numerosas barreras que contrastan fuertemente con la capacidad existente a nivel local y con los recursos renovables disponibles. Entre las barreras, las de índole político/institucional y económico/financiero serían las más relevantes a superar, seguidas en tercer lugar por las regulatorias. Finalmente, los encuestados asignan un bajo nivel de prioridad a las barreras técnicas y sociales.

También se deriva del análisis de los comentarios y de la realización de la encuesta en sí misma, que existe una percepción de los consultados sobre las dificultades políticas y limitaciones estructurales de los organismos gubernamentales responsables de establecer una política y coordinar este área para la resolución de estos problemas, así como para la concreción de acciones efectivas. Es por ello que se otorga un alto nivel de prioridad a la superación de las barreras de índole institucional, ya que se percibe que de ello depende en forma crítica la resolución de muchas otras barreras.

En el ámbito institucional se reclama un mayor compromiso por parte del Estado con la formulación e implementación de una política energética que incluya a las energías renovables y los medios necesarios para llevarla adelante en forma efectiva. Como parte de esta estrategia se percibe que una solución podría provenir de la existencia de algún organismo fuerte y solvente desde el punto de vista técnico, que formule objetivos y coordine actores y actividades en todo el país en el área de las energías renovables, brindando continuidad en el apoyo a los grupos de trabajo existentes.

También se resalta que el marco normativo sigue siendo insuficiente y no incluye el tratamiento de los usos no eléctricos de las energías renovables. Específicamente, se menciona la necesidad de actualizar los incentivos planteados por la ley 26.190, de promoción de energías renovables.

En el área económico/financiera se percibe falta de apoyo e inestabilidad. Los encuestados coinciden en resaltar la necesidad de una fuerte intervención estatal para generar mecanismos que permitan reducir los costos de las tecnologías y afrontar la inversión inicial. Se destaca la necesidad de que el sistema bancario y financiero, en especial la banca pública y los fondos específicos que puedan ser creados a este efecto, acompañen el desarrollo de proyectos de energías renovables.

En el área técnica se destaca la capacidad local aunque simultáneamente se reconoce que existen necesidades específicas de capacitación en diversas áreas (diseño, instalación, producción). La calidad del equipamiento se considera buena en términos generales pero se sugiere implementar un programa de certificación de equipos e instalaciones, y de modernización de líneas de producción.

Es muy importante destacar que se ha observado que el potencial de utilización de las energías renovables fuera de la generación eléctrica es muy grande (por ejemplo usos calóricos). Sin embargo, la normativa y las principales políticas implementadas, no lo ha tenido en cuenta.



## Anexos

### Planillas de cálculo

“BAES SA Biomasa AG 4-9-14.xlsx”. Planilla de elaboración propia en base al documento “Energía Eléctrica a partir de la Biomasa. Potencial, Tecnologías y Proyectos en la Argentina”, elaborado por la Secretaría de Energía de la Nación, Grupo de Planeamiento Energético en Agosto de 2010.

### Listado de Acrónimos

AABH	Asociación Argentina de Biocombustibles e Hidrogeno
AVU	Aceite Vegetal Usado
BAES	BA Energy Solutions
BM	Banco Mundial
CADER	Cámara Argentina de Energías Renovables
CAMMESA	Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (Organismo Encargado del Despacho “OED”)
CIARA	Cámara de la Industria Aceitera de la República Argentina
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático
CONICET	Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
CORALIA	Coralia Environmental
EJ	exajoule, es equivalente a un trillón de joules ( $10^{18}$ Joules)
ER	Energías Renovables
ENARSA	Energía Argentina SA
FAO	Food and Agriculture Organization
FAUBA	Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires
fmam	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GENREN	Generación Eléctrica a partir de Fuentes Renovables
GLP	Gas Licuado de Petróleo
GN	Gas Natural
GWh	Giga Watt-hora, unidad de energía equivalente a 1000MWh
I&D	Investigación y Desarrollo
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
INVAP	Investigaciones Aplicadas
IRAM	Instituto Argentino de Normalización y Certificación
kTep	Kilo TEP
MDL	Mecanismos de Desarrollo Limpio
MEM	Mercado Eléctrico Mayorista
MW	Mega Watt, unidad de potencia equivalente a 1000kW
MWh	Mega Watt-hora, unidad de energía equivalente a 1000kWh
ONGs	Organismos No Gubernamentales
OyM	Operación y Mantenimiento
PCH	Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos
PERMER	Programa de Energías Renovables en Mercados Rurales



PROBIOMASA	Proyecto para la Promoción de la energía derivada de Biomasa.
PROINSA	Proyectos de Ingeniería S.A.
REEEP	Renewable Energy & Energy Efficiency Partnership
RSI	Residuos Sólidos Industriales
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
SAGPyA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación
SAyDS	Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable
SIG	Sistema de Información Geográfico
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
TCN	Tercera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático
TG	Generación por turbina a Gas
TV	Generación por turbina a Vapor
UBA	Universidad de Buenos Aires
UNC	Universidad Nacional de Cuyo
UTN	Universidad Tecnológica Nacional
WISDOM	Metodología de “Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles”



## Bibliografía

- Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. CAMMESA. (2013). *Informe Anual 2013*.
- INTA PRECOP III – Proyecto Específico Agregado de Valor en Origen. (2013). *Bioenergía y Agroalimentos, oportunidad para el productor agropecuario argentino*. Ing. Agr. M.Sc. Mario Bragachini, Ing. Agr. Fernando Ustarroz, Ing. Agr. Marcos Bragachini, Ing. Agr. Gastón Urrets Zavalía.
- Universidad Tecnológica Nacional. Departamento de Ingeniería Mecánica. (2013). *Cultivo de microalgas para generar biodiesel*. Buenos Aires.
- Secretaría de Energía. Grupo de Prospectiva Energética. (2010). *Energía Eléctrica a partir de la Biomasa. Potencial, Tecnologías y Proyectos en la Argentina*.
- FAO. (2009). *Análisis del Balance de Energía derivada de Biomasa en Argentina WISDOM Argentina*.
- Secretaría de Energía. (2009). *Energías Renovables. Diagnóstico, barreras y propuestas*.
- Cámara Argentina de Energías Renovables. (2009). *La Argentina y los biocombustibles de segunda y tercera generación*. Carlos St. James.
- Secretaría de Energía. Subsecretaría de Energía Eléctrica. (2008). *Energías Renovables 2008 - Energía Biomasa*.
- FAO. (2008). *Biocombustibles: Perspectivas, riesgos y oportunidades. Biocombustibles y agricultura: panorama técnico*.
- INTA. (2007). *Programa Nacional de Bioenergía (PNB). Documento para Análisis y Discusión Final*. Revista IDIA XXI, Año IX, N°12, 2009.
- Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias. (2006). *Bioenergía y Agricultura: Promesas y Retos*.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. (2004). Gustavo Braier. *Tendencias y perspectivas del sector forestal al año 2020. Argentina. Informe Nacional 1. Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020*. FAO.
- INTA. *Programa Nacional de Bioenergía del INTA PNB*.
- UNCUYO. Proyecto Microalgas para Biocombustibles. Mic. Carolina Belén García, Dra. Stela Maris da Silva, Dr. Jorge Barón. *Aplicaciones biotecnológicas de microalgas: caso de estudio*.