PROGRAMA IBEROAMERICANO

CYTED

CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA EL DESARROLLO

RECURSOS, TECNOLOGÍAS, TRANSFERENCIA Y POLÍTICAS:

UNA MIRADA DESDE MÚLTIPLES PERSPECTIVAS Y DIMENSIONES A LOS SISTEMAS DE BIOENERGÍA EN IBEROAMERICA

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

RECURSOS, TECNOLOGÍAS, TRANSFERENCIA Y POLÍTICAS:

UNA MIRADA DESDE MÚLTIPLES PERSPECTIVAS Y DIMENSIONES A LOS SISTEMAS DE BIOENERGÍA EN IBEROAMERICA

Una publicación de la Red Iberoamericana de Biomasa y Bioenergía Rural

(ReBiBiR-T) del Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED)

ISBN 978-84-15413-32-5

2020

EQUIPO EDITORIAL

Coordinación General: Dra Silvina M. Manrique

Comité Académico y Científico:

Sección I: Dra Silvina M. Manrique (Argentina)-Dra Yarima Torreiro (España)

Sección II: Dra Ma Luisa Contreras Rodríguez (España)-Dr José María Sánchez Hervás (España).

Sección III: Dr Santiago Garrido (Argentina)

Sección IV: Dr Alfredo Curbelo Alonso (Cuba)

Autores de capítulos (por orden alfabético):

Arias Aguilar, Dagoberto
Arteaga Pérez, Luis E
Bahillo Ruiz, Luis Alberto
Bortz, Gabriela
Brenes Peralta, Laura
Calle, José Luis
Calviño Polo, Javier
Campos Rodríguez, Rooel
Centurión, Diego
Césare Coral, Mary Flor
Chévez, Pedro
Contreras Rodríguez, María Luisa
Curbelo Alonso, Alfredo José
Denuncio, Anabella
Durán Hernández, Diana M
Escobar Palacio, José Carlos
Garrido, Santiago M
Guevara Patiño, Pedro O
Guillén, Roxana
Honorato, Martín
Jiménez Morales, María Fernanda
La Picirelli de Souza, Lidiane
Lima Morra, Roberto
Manrique, Silvina M
Martín, Nicolás
Ojeda Almonacid, María Luisa
Quintero Bertel, Quelbis R
Pérez, Leticia
Ramírez, Benito
Rincón Martínez, José María
Rodríguez Abalde, Ángela
Rodríguez Rosales, Ariel
Ruggeri, Emilia
Salvo, Aien
Sánchez Deicas, Lucía
Sánchez Hervás, José María
Santos, Guillermo
Segura, Cristina
Silva Lora, Electo Eduardo
Suarez Sánchez, Yoel
Torreiro Villarino, Yarima
Trigoso, Javier
Valverde Otárola, Juan Carlos
Vidal Gutiérrez, Humberto
Villafañe, Florencia

Equipo de Revisión Editorial:

Beatriz Balderrama
Camila Binda Galíndez
Aien Weni Salvo
Florencia Villafañe
Florencia Aranda

Tabla de contenido

EQUIPO EDITORIAL **2**

Tabla de contenido **3**

INTRODUCCION GENERAL **6**

Biomasa, bioenergía y sistemas de bioenergía en Iberoamérica 6

Organización y objetivo del libro 7

Recursos considerados en esta publicación 7

Grupos y países participantes de esta publicación 8

Agradecimientos 9

Sección I: Recursos de Biomasa **10**

1. Introducción 11

2. Presente de la biomasa en los mix energéticos nacionales 11

3. Alcance de la biomasa según sectores de consumo 12

4. Disponibilidad de biomasa y criterios de restricción en los territorios 14

5. Uso de recursos de biomasa en Iberoamérica. Capítulos de la Sección I 18

6. Conclusiones y visión de futuro de la biomasa en Iberoamérica 18

7. Referencias de la Sección I 19

I.1. Biomasa en Chile **21**

I.2. Estudio de recursos de biomasa en la República de Paraguay **27**

I.3. Recursos de biomasa en Brasil **39**

I.4. Dendroenergía en Costa Rica: un nuevo vector energético hacia una economía baja en emisiones **58**

I.5. Producción de briquetas en la Cooperativa Atahualpa Jerusalén - Granja Porcón. Perú **74**

I.6. Valorización energética de biomasas residuales a pequeña escala: obtención de calor y electricidad en España **82**

I.7. Crecimiento potencial de la bioenergía y de la cogeneración en la agroindustria azucarera de Colombia **91**

I.8. Biogás como sustituto de la leña. Caso colombiano **97**

Sección II: Tecnologías de Biomasa **106**

1. Introducción 106

2. Tecnologías de biomasa en Iberoamérica 107

2.1. Biocombustibles sólidos 107

2.2. Tecnologías de conversión de la biomasa 108

2.3. Análisis del uso de la biomasa con fines energéticos 111

3. Capítulos de la Sección II 113

4. Conclusiones y visión de futuro de las tecnologías de biomasa en Iberoamérica 113

5. Referencias de la Sección II 114

II. 1. Panorama de tecnologías de bioenergía en Argentina 115

II. 2. Situación de tecnologías de biomasa en Chile 126

II. 3. Tecnologías de biomasa en Colombia y Latinoamérica 142

II. 4. Tecnologías de biomasa en Cuba 163

II. 5. Tecnologías de biomasa en España 166

II. 6. Tecnologías de biomasa en Paraguay 176

II. 7. Tecnologías de biomasa en Perú 182

Sección III: Mecanismos de participación y transferencia 188

1. Introducción 188
2. Presente de la participación y transferencia en Iberoamérica 191

a) Mecanismos de Transferencia tecnológica 191

b) Mecanismos de Participación 193

3. Capítulos de la Sección III 195
4. Conclusiones y visión de futuro de los mecanismos de participación y transferencia en Iberoamérica 195
5. Referencias de la Sección III 196

III.1. Mecanismos de Participación y Transferencia en Chile para la Biomasa 198

III.2. Mecanismos de Participación y Transferencia. Ejemplo del Biogás como sustituto de leña en Colombia 203

III.3. Estudio de caso: percepción social del mercado de biomasa en Costa Rica 207

Sección IV: Políticas y esquemas de financiamiento 225

1. Introducción 225
2. Las políticas públicas para la promoción de las energías renovables 226
3. El marco para la implementación de las políticas 230
4. El caso de los biocombustibles sólidos y su uso en aplicaciones térmicas 231
5. Políticas públicas en Iberoamérica. Capítulos de la Sección IV 233
6. Conclusiones y visión de futuro de las políticas y financiamiento en Iberoamérica 233
7. Referencias de la Sección IV 233

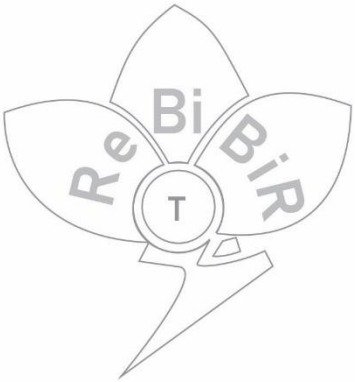
IV.1. Políticas, marcos institucionales y financiamiento sobre Biomasa y Bioenergía Rural en Argentina 235

IV.2. Políticas, Marcos Institucionales y Esquemas de Financiamiento para la Biomasa en Chile 243

IV.3. Breve caracterización de la situación de las políticas para la promoción del uso de la biomasa como fuente de energía en aplicaciones térmica en Cuba 252

IV.4. Políticas y financiamiento sobre biomasa sólida con fines térmicos en España 254

CONSIDERACIONES FINALES 266



Red Iberoamericana de Tecnologías
de Biomasa y Bioenergía Rural

Página intencionalmente dejada en blanco

INTRODUCCION GENERAL

Biomasa, bioenergía y sistemas de bioenergía en Iberoamérica

La biomasa, desde el campo de las Energías Renovables, es toda materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía (RAE, 2019). Incluye así, un conjunto muy heterogéneo de materiales que tienen en común el poseer la materia orgánica como componente principal. La legislación de diferentes países excluye del término "biomasa" cualquier tipo de material que se catalogue como tóxico o peligroso, y asimismo deja fuera a aquellos que han sido incluidos en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización. Por tanto, tampoco se considera como biomasa a los combustibles fósiles. El término bioenergía, por su parte, implica toda la energía que puede obtenerse cuando la biomasa es sometida a algún proceso de conversión energética.

En Iberoamérica existe un gran desarrollo de tecnologías, experiencias, conocimientos, herramientas y modelos de gestión, en torno al uso y manejo de recursos de biomasa y bioenergía para el fortalecimiento del medio rural; pero el ritmo de implementación en las comunidades no se ha adaptado al ritmo de estos avances. ReBiBiR (T), la Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural[1], propone cerrar esta brecha. Esta Red ha nacido bajo el auspicio del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), programa creado por los gobiernos de los países iberoamericanos para promover la cooperación en temas de ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo armónico de la región, siendo las redes temáticas uno de sus instrumentos de financiación.

ReBiBiR (T) está conformada por universidades, centros de investigación, entidades de la administración pública y empresas, pertenecientes a 10 países de la Región, que sincronizan esfuerzos para la innovación científica y el desarrollo tecnológico, como base para la promoción de "sistemas de bioenergía" (SBE) o "cadenas bioenergéticas" (CBEs) integralmente más sustentables a nivel territorial. El objetivo general que se persigue es promover el uso y manejo eficiente de la biomasa sólida y su valorización energética térmica en el ámbito rural y urbano-marginal iberoamericano, poniendo a disposición de la Región las experiencias y avances tecnológicos fundamentales que podrían aportar a la implementación de SBEs exitosos y a la vez, coadyuvar a la construcción sinérgica de comunidades y territorios más sustentables y resilientes frente al cambio climático.

Los SBEs, entendidos como las diferentes cadenas de aprovechamiento de recursos de biomasa que pueden desarrollarse en los territorios, involucran una serie de eslabones que van desde la generación del recurso, a la recolección y procesamiento del mismo, a su gestión, conversión y aplicación para un uso energético determinado; por lo que cualquier aporte en dichos eslabones son focos de interés para ReBiBiR (T). El punto de partida para el abordaje de los SBEs, es el reconocimiento de su complejidad, diversidad y especificidad en cada contexto territorial particular en el cual se despliegan.

Dada la necesidad mundial de promover fuentes renovables de energía junto a medidas de eficiencia energética, sumada a la alta potencialidad de los recursos de biomasa existentes en la Región, el nacimiento de esta Red encuentra particular

[1] Ver sobre ReBiBiR (T) en: www.cyted.org/es/rebibir, o en www.redrebibir.wordpress.com

importancia. ReBiBiR (T) propone realizar aportes desde un enfoque sistémico, considerando que un SBE exitoso, será aquel que incluya no solo un eficiente uso y manejo de la biomasa residual y una tecnología apropiada al contexto ambiental y cultural, sino también aquel que promueva independencia de insumos externos, auto-gobernanza, gestión del sistema con capacidades locales y que sea desarrollado en un marco armónico de políticas y normativas que regulen la actividad, asegurando un retorno de beneficios a nivel local, que vaya más allá de la satisfacción de una demanda energética específica, incluyendo fortalecimiento de economías rurales, saneamiento y gestión circular de residuos, reducción de emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero, GEI- , entre otros aspectos.

Organización y objetivo del libro

Desde el enfoque multidisciplinario y el know-how de cada uno de los miembros que integran el proyecto, en este libro se condensa una mirada actual a los SBEs implementados en el territorio iberoamericano, desde los principales aspectos que los constituyen. En este sentido, el trabajo de los socios se ha organizado en cuatro líneas temáticas de aporte que son ejes fundamentales que sustentan los SBEs, y que a la vez, definen secciones de esta publicación. Ellos son:

I) Recursos de biomasa;
II) Tecnologías de biomasa;
III) Mecanismos de participación y transferencia y
IV) Políticas, marcos institucionales y esquemas de financiamiento.

Cada una de estas secciones, contiene una primera parte introductoria que recoge la visión general de los socios en el tema, y luego incluye capítulos individuales, tratando la temática desde la perspectiva y experiencia de los grupos.

De esta manera, se ponen de relieve las principales capacidades y desarrollos que existen en la Región, mediante estudios de caso concretos. Dichos estudios reflejan parte de las realidades subregionales de Iberoamérica, como así las fortalezas identificadas como directrices de futuros cambios, y las debilidades que constituyen desafíos a ser superados a futuro y focos de trabajo de la Red en años venideros.

Cabe destacar que el gran valor añadido que presenta el esfuerzo de esta publicación, es el enfoque integral y sistémico de toda la cadena de valor de la biomasa, potenciando sinérgicamente en el trabajo de red, conocimientos y praxis de fundamental valor aportados por tan diversos y prestigiosos grupos. El propósito último de esta publicación, es que dicho esfuerzo, sea accesible y útil para los diferentes sectores y actores involucrados con dichos sistemas bioenergéticos.

Recursos considerados en esta publicación

La biomasa incluye a todas aquellas sustancias orgánicas que se derivan directa o indirectamente de un proceso de fotosíntesis; las cuales pueden haber sido procesadas mediante métodos físicos o químicos o pueden encontrarse en su estado original tal como generadas a campo. Como recursos orgánicos, son susceptibles de ser utilizados por debajo de su tasa de renovación natural (en cantidad producida por unidad de tiempo). Puede advertirse que existe un grupo muy heterogéneo de recursos de biomasa, los cuales pueden ser convertidos en biocombustibles sólidos, líquidos o gaseosos para diferentes usos energéticos.

En esta publicación se consideran las siguientes siete categorías de recursos:

Origen primario (a campo)

a) residuos agrícolas,
b) pecuarios,
c) forestales

Origen secundario (procesado)

d) residuos agroindustriales,
e) industria pecuarios y
f) foresto-industriales

Origen terciario (cierre de ciclo)

g) residuos sólidos urbanos (FORSU o fracción orgánica)

Grupos y países participantes de esta publicación

Los siguientes grupos, organizaciones e instituciones forman parte de la Red, mencionadas en orden alfabético de países, y han contribuido activamente en la elaboración de este Libro:

ARGENTINA. Grupo de Planificación Energética y Gestión Territorial, Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y Universidad Nacional de Salta (UNSa).

ARGENTINA. Instituto de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología, Universidad Nacional de Quilmes (IESCT- UNQ). Buenos Aires.

BRASIL. Núcleo de Excelencia en Generación Termoeléctrica y Distribuida (NEST), Instituto de Ingeniería Mecánica-IEM, Universidad Federal de Itajubá – UNIFEI.

CHILE. Centro de Estudios de Recursos Energéticos (CERE), Universidad de Magallanes (UMAG).

CHILE. Laboratorio de Procesos Térmicos y Catalíticos, Departamento Ingeniería en Maderas. Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile.

COLOMBIA. Grupo Sistemas y Recursos Ambientales Sostenibles – SYRAS, Universidad Manuela Beltrán y Grupo de Investigación Bioindustrias de la Universidad Autónoma de Colombia (FUAC).

COLOMBIA. Centro de Desarrollo Industrial TECSOL Ltda (CDI-TC).

COSTA RICA. Grupo de Bioenergía del Laboratorio ECOPLANT. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

CUBA. Grupo de Bioenergía. Centro de Gestión de la Información y el Desarrollo de la Energía (CUBAENERGIA), Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada (AENTA) y Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA).

ESPAÑA. Unidad de Valorización Termoquímica Sostenible. Departamento de Energía, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnologías (CIEMAT), Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

ESPAÑA. ENERBASQUE S.L.

ESPAÑA. Fundación Centro Tecnológico de Eficiencia y Sostenibilidad Energética (ENERGYLAB).

PARAGUAY. Centro de Tecnología Apropiada (CTA), Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción.

PERU. Laboratorio de Energías Renovables (LER), Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

Agradecimientos

Esta publicación ha sido financiada por el Programa CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo) a quien se agradece especialmente. Asimismo, un reconocimiento de gratitud a los Editores Académicos responsables de la conducción y compaginación de cada una de las cuatro secciones del libro. Gracias a cada uno de los Autores que enriquecieron con sus valiosas experiencias y comentarios esta publicación, y la hicieron posible con el compromiso de sus generosos aportes. Al equipo de revisión editorial, por el tiempo y dedicación invertidos en la búsqueda de un material de la mayor calidad posible. Asimismo, se reconoce a cada uno de los asistentes y participantes de los eventos ofrecidos por ReBiBiR (T) durante el año 2019, cuyos aportes y opiniones, intentaron ser plasmados en esta publicación y /o constituyen insumos inestimables a trabajar en publicaciones subsiguientes.

Contacto: Silvina Manrique. silmagda@unsa.edu.ar

© Las opiniones, conceptos, tablas, gráficas, ilustraciones y fotografías, que hacen parte de cada uno de los capítulos, son responsabilidad exclusiva de los autores.

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar I- Recursos, 2020: 10-20
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editores: S. Manrique y Y. Torreiro Villarino

Sección I: Recursos de Biomasa

Silvina M Manrique[1]*, Yarima Torreiro Villarino[2], Electo Silva Lora[3], Roberto Lima Morra[4], Quelbis Quintero Bertel[5], José María Rincón Martínez[6], Mary Flor Césare Coral[7]

[1]*Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Salta (UNSa). Avenida Bolivia 5150, A4408FVY Salta, Argentina. Tel: +54 387 4255424/ Fax +543874255439.*

[2] *Centro Tecnológico EnergyLab, Edificio CITEXVI, Fonte das Abelleiras S/N 36310 Pontevedra (España), yarima.torreiro@gmail.es*

[3] *Núcleo de Excelencia en Generación Termoeléctrica y Distribuida, Instituto de Ingeniería Mecánica, Universidad Federal de Itajubá, Av BPS 1303, CP50, 37500-903, Itajubá-MG, Brasil, electo@unifei.edu.br*

[4] *Centro de Tecnología Apropiada, Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Asunción, Paraguay, roberto.lima@uc.edu.py*

[5] *Grupo de Investigación Bioindustrias, Universidad Autónoma de Colombia, Bogotá D.C., 111711, Colombia, quelbis.quintero@fuac.edu.co*

[6] *Centro de Desarrollo Industrial - Tecsol. Bogotá - Colombia, joserinconmartinez@gmail.com.*

[7] *Laboratorio de Energías Renovables, Universidad Nacional Agraria La Molina, La Molina, Lima, Perú, mcesare@lamolina.edu.pe*

RESUMEN. El estudio de los recursos de biomasa disponibles en un territorio, su cuantificación, caracterización y valoración en un contexto socio-cultural determinado, es la base para la adecuada implementación de cualquier sistema o cadena bioenergética exitosa. En esta sección se revisan estadísticas que permiten visualizar el rol de la biomasa en las matrices energéticas de los países de Iberoamérica, identificando algunos criterios de restricción que emergen en las realidades locales y que refieren a la necesidad de considerar las particularidades contextuales. Dichas estadísticas deben ser tomadas con precaución, asumiendo que registros de biomasa residual generada a campo y sus usos térmicos, prácticamente no se recogen en observaciones oficiales. En otros casos, la información está dispersa, no accesible o no actualizada. Se brindan ejemplos de cuantificación de potencial nacional de biomasa como orientativos para su aplicación en otros países. Asimismo, estudios de caso de aprovechamiento de recursos concretos de biomasa, señalan capacidades locales y permiten observar recursos de biomasa y avances tecnológicos en diferentes sectores de la Región.

*Correspondencia: Dra. Silvina M. Manrique. Dirección postal: INENCO, Universidad Nacional de Salta. Avda. Bolivia 5150. 4400. Salta, Argentina. E-mail: silmagda@unsa.edu.ar

1. Introducción

En el año 2018, más de 21 millones de personas en Iberoamérica siguen sin tener acceso a la energía. Las proyecciones indican que la Región consumirá un 80% más de energía en 2030. Dado que la matriz energética actual solo tiene un 25% de participación de fuentes renovables, se observa que se requiere un gran esfuerzo para sustituir la principal fuente energética que sigue siendo el petróleo (IBRD, 2018). Frente a los problemas de agotamiento del recurso fósil y los impactos ambientales que conlleva su utilización (entre ellos, las emisiones de gases efecto invernadero –GEIs- a la atmósfera), es clara la necesidad de promoción de las energías renovables. Sin embargo, más allá de diversificar las matrices energéticas, el principal desafío en Iberoamérica lo constituye el reducir la brecha de la cantidad de personas que siguen sin tener acceso directo a servicios modernos de energía, principalmente aquellos que viven en zonas rurales. Es aquí donde la biomasa y la bioenergía cobran mayor relevancia. La reducción de la pobreza y la desigualdad implica necesariamente mejorar las condiciones de vida y calidad del trabajo en el medio rural, sector en el que la actividad dominante es la agricultura y la ganadería, que genera alrededor de 60% de los ingresos (Berdegué et al., 2000). Y es precisamente en este sector, donde la existencia de biomasa sólida en sus distintas formas y grados de transformación (residuos agrícolas, pecuarios, forestales y derivados de industrias de procesamiento de dichas producciones), resulta una fortaleza.

La valorización energética de biomasa sólida implica convertir residuos en recursos. Por otro lado, la quema de biomasa residual es una práctica común en Latinoamérica, generando GEIs que contribuyen al sobrecalentamiento global, una fuente de contaminación atmosférica a escala continental y un factor de afección en familias rurales que dependen de leña y otros recursos de biomasa (Sierra Vargas et al., 2011). Por tanto, la promoción de tecnologías apropiadas, accesibles a la población en general, junto a medidas de eficiencia energética, son necesarias a todos los gobiernos de la Región Iberoamericana.

2. Presente de la biomasa en los mix energéticos nacionales

Siguiendo las estadísticas y balances energéticos mundiales proporcionados por la Agencia Internacional de Energía (AIE)[2], la División de Energía del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2019) ha creado una herramienta que permite diferentes visualizaciones de los flujos de energía para regiones del mundo, y países de Iberoamérica, como así, ha compilado información sobre los marcos institucionales. Esta base de datos de energía provee el contexto necesario para que el BID, los países miembros y la comunidad global puedan entender el sector de la energía de cada país y compararlos entre sí. De allí se han extraído datos de la categoría "**biocombustibles y residuos (B&R)**" que se compone de los **biocombustibles sólidos, los biocombustibles líquidos, el biogás, los residuos industriales y los residuos urbanos**. Para los productos de biomasa, únicamente los *importes utilizados específicamente para la producción de energía* (una pequeña parte del total) están incluidos en las estadísticas energéticas. Por lo tanto, otras fracciones de la biomasa no se toman en consideración y las cantidades son nulas por definición, lo cual, implica una importante subestimación. Los datos correspondientes a esta parte se basan a menudo en las encuestas por muestreo u otra información incompleta.

[2] IEA Estadísticas y balances energéticos mundiales es una publicación anual de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).

La Figura 1 muestra la participación relativa de la categoría B&R en el suministro de energía primario total de los nueve países que integran la Red, expresada en valor porcentual, en décadas sucesivas desde el año 1971 y hasta la actualidad. Los valores originales están expresados en miles de barriles equivalentes de petróleo al día (abreviado como kBOE/día o mbep/día), donde un BOE/bep es definido como una unidad de energía contenida en un barril de petróleo crudo, el cual es medido en otras unidades de energía como 5.8 x 10^6 BTU o 6.118 x 10^9 Joules.

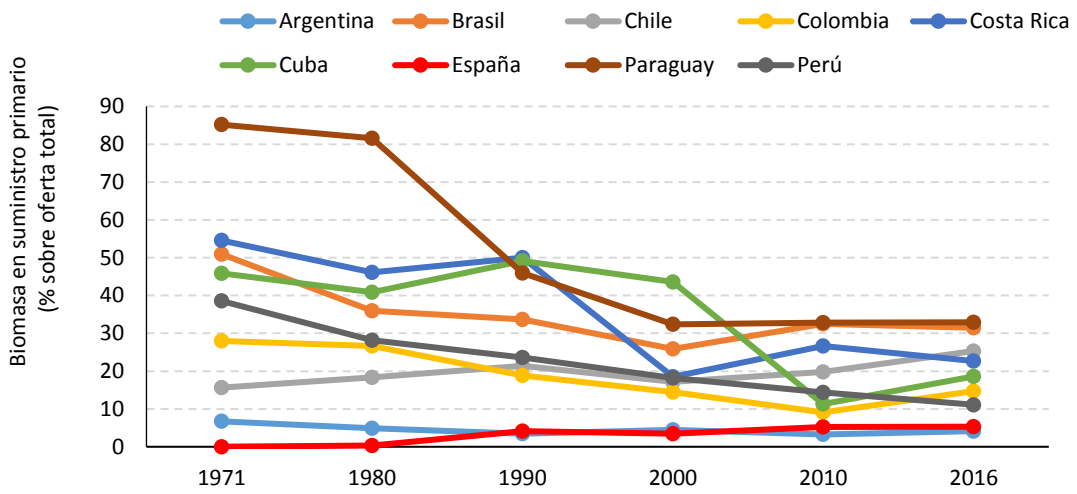


Figura 1. Vista comparativa de la participación relativa de fracción B&R en el suministro primario de energía para los países de la Red (Fuente: elaboración propia con datos de BID, 2019)

En el año 1971, la fracción B&R resultaba más significativa en el suministro primario de energía de Paraguay (85,2% de aporte del total), seguido de Costa Rica (54,5%) y Brasil (51%). En el año 2016, aún Paraguay tiene una mayor participación relativa de la fracción B&R, aunque con un menor porcentaje (32,8%), seguido de Brasil (31,5%) y aparece en tercer posición Chile (25,3%) en lugar de Costa Rica.

3. Alcance de la biomasa según sectores de consumo

La Figura 2 resume los principales sectores de consumo de energía de la fracción B&R, para cada país integrante de la Red, y en una vista comparativa entre el año 1971 y el año 2016, incluyendo sectores de transporte, industria, residencial, comercio, electricidad y "otros".

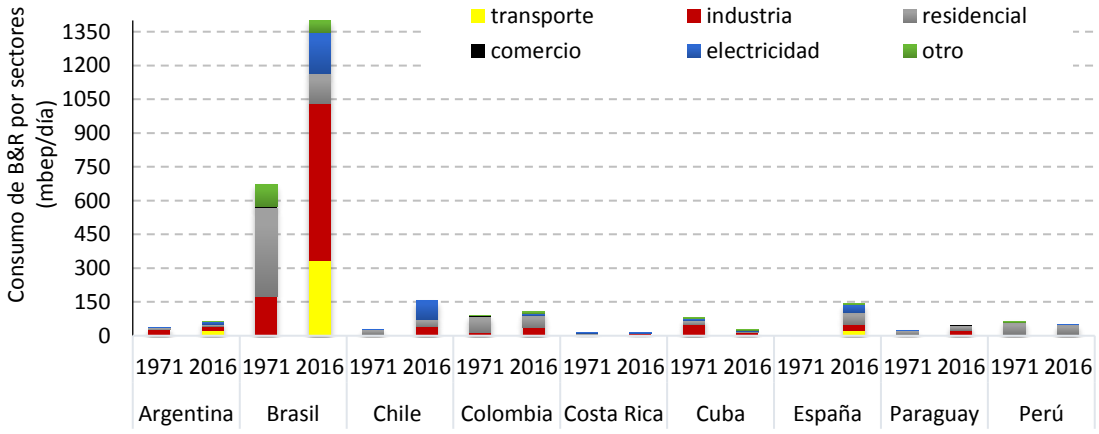


Figura 2. Vista comparativa de los sectores de consumo de fracción B&R (biocombustibles y residuos) en casi medio siglo para los países de la Red (expresado en valores absolutos: mbep/día)
(Fuente: elaboración propia con datos de BID, 2019)

La Figura 3 resume los principales sectores de consumo de la fracción B&R en el año 1971, siendo el sector residencial el que muestra preeminencia, seguido por el sector industrial.

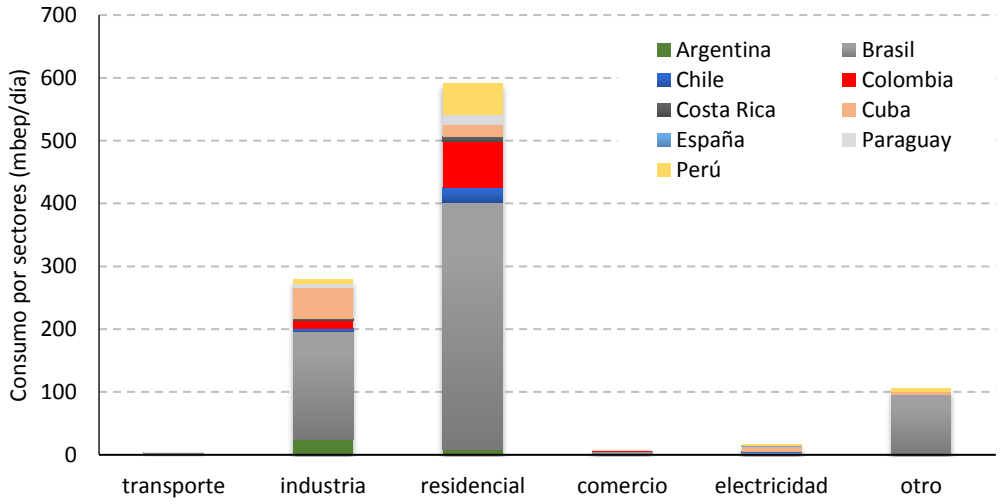


Figura 3. Principales sectores de consumo de la fracción B&R (biocombustibles y residuos) en el año 1971 (expresado en valores absolutos: mbep/día) (Fuente: elaboración propia con datos de BID, 2019).

Para el año 2016 (Figura 4), la industria ha ganado preponderancia como sector de consumo. El crecimiento de los sectores de transporte y de generación de electricidad, permite dar cuenta de las nuevas capacidades instaladas en biomasa en la Región durante la última década. La presencia de la fracción B&R cubriendo necesidades del sector transporte, está asociada básicamente a la introducción de biocombustibles líquidos (biodiesel y bioetanol) como carburantes de transporte en las economías regionales.

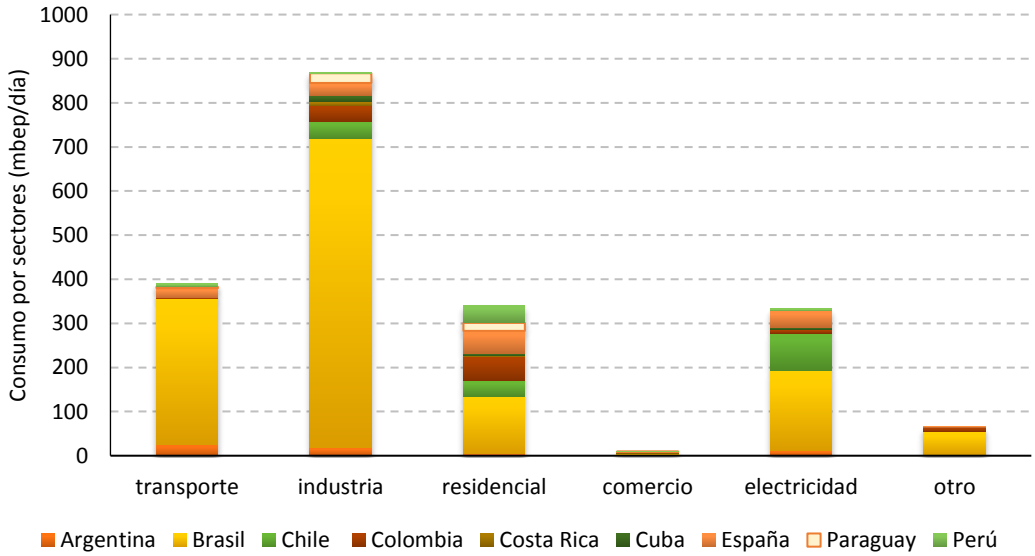


Figura 4. Principales sectores de consumo de la fracción B&R (biocombustibles y residuos) en el año 2016 (expresado en valores absolutos: mbep/día) (Fuente: elaboración propia con datos de BID, 2019)

La Figura 5 permite observar el porcentaje que cubre la fracción B&R del consumo final por país, en un eje temporal.

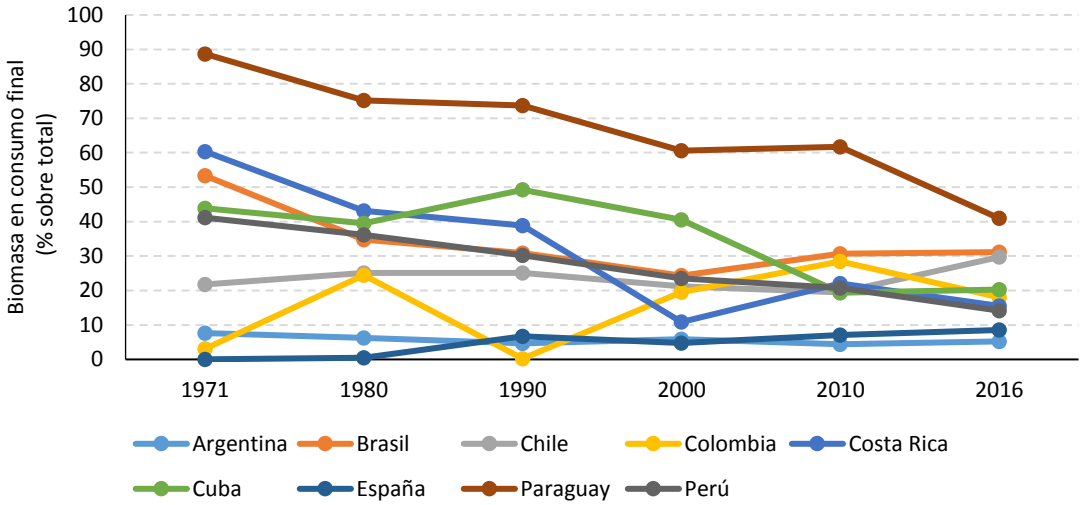


Figura 5. Porcentaje del consumo final del país, cubierto por la fracción B&R (Fuente: elaboración propia con datos de BID, 2019)

4. Disponibilidad de biomasa y criterios de restricción en los territorios

Existe una gran cantidad de biomasa en la Región, si bien el tipo de recursos y la forma en que se encuentran disponibles son diferentes. En este sentido, no toda la oferta potencial de recursos que pudiera relevarse, es la que efectivamente quedará disponible para su aprovechamiento.

En ámbitos rurales y urbano-marginales, los recursos de biomasa deberían constituir una fuente energética a nivel local en primer lugar, y si existiera superávit, esta escala podría ser ampliada para una pequeña industria. Esto se justifica, entre otras razones, en el hecho de que los costos de logística y transporte son una parte importante en los sistemas de aprovechamiento de biomasa, pero por otra parte -y que es el interés perseguido por ReBiBiR (T)- en que deben constituirse en un instrumento válido para la implementación de esquemas socio-ambientales –no sólo energéticos- más sustentables a nivel territorial: mayor acceso a la energía a sectores marginados, mejora de la calidad de vida, preservación del patrimonio natural, menor contaminación local y emisiones atmosféricas, entre otros.

Por otro lado, debe considerarse que no toda la biomasa potencial identificada en un sitio puede ser utilizada, ya que existen ciertas restricciones de diversa índole que limitan el abanico posible. Aún más, si se profundizan los análisis, incluyendo variables económicas y técnicas (como el estudio de las características del recurso o caracterización en laboratorio), las opciones quedan restringidas a un número limitado de recursos y aplicaciones. Para los estudios a nivel de Región, consideramos que el **máximo potencial** que se releve o reporte en estadísticas nacionales, debería oportunamente restringirse a un **potencial de implementación,** fracción menor que el anterior. Este potencial resultaría de extraer del recurso potencial total identificado, la fracción correspondiente a otros usos ya establecidos del recurso, y aquella que por diversas razones, como la propiedad legal de la tierra, normativas legales o criterios medioambientales, no pudiera ser utilizada. Cuando se trata de pequeña escala, en la mayor parte de los casos la satisfacción parcial de una demanda térmica justificaría la realización del proyecto, aunque quizás financieramente no resulte rentable y se deban buscar fuentes de financiamiento externas que hagan posible el emprendimiento.

En el caso de Argentina, por ejemplo, el estudio más reciente de cuantificación del potencial de biomasa fue realizado hace una década (FAO, 2009), el cual se ha clasificado en tres categorías:

a) biomasa total accesible y disponible (tMS/año): del máximo potencial del país, se reducen fracciones que no son accesibles por restricciones físicas (pendiente, distancia a los caminos o centros poblados) o legales (áreas protegidas);
b) biomasa comercial accesible y potencialmente disponible (tMS/año): esta categoría limita a la anterior en cuanto a que toma en cuenta las formaciones vegetales y otras fuentes potenciales de oferta que garantizan una adecuada producción sustentable de biomasa energética tal que se justifiquen los costos de transporte y gestión de la misma. Las fuentes incluidas son aquellas con mayor capacidad de producción sustentable, y que son adecuadas para sostener una producción comercial de biocombustibles (leña, carbón y otros combustibles de origen biomásico) para abastecer al mercado urbano y a los mercados de exportación. Como primera aproximación, para definir a la productividad como comercial o no, se utilizó un umbral que garantice como mínimo una producción de 12 t/ha con una rotación de 25 años. A partir de esto, han sido consideradas como potencialmente comerciales solo las áreas que presentan una productividad anual sustentable (disponible y accesible) superior a 0,48 t/ha (3 t/píxel) y;
c) balance oferta-demanda (tMS/año): se reduce aún más el total considerando las demandas que ya son cubiertas actualmente. Siguiendo estas categorías, la biomasa potencial se reduce desde 148 millones de t MS al año a un total de 124 millones de t MS al año para todo el país.

En otro ejemplo, el grupo TECSOL CDI señala que para el caso de Colombia, el máximo aprovechamiento de la biomasa se ve limitada por diferentes factores como acceso y distribución[3]. Colombia está situada en la esquina noroccidental de Suramérica, tiene 1,1 millones de km^2 de superficie y posee climas que van desde los cálidos tropicales a nivel del mar hasta las nieves perpetuas por encima de los 4.000 metros sobre el nivel del mar (msnm). La mayor parte del país posee climas tropicales y subtropicales; adecuados para el aprovechamiento de cultivos como la caña de azúcar, el café, y el plátano permitiendo tener disponibilidad de biomasa durante todo el año. El grupo CDI TECSOL ha desarrollado un esquema de evaluación y selección de recursos de biomasa, proponiendo criterios de priorización de uso que buscan potenciar la eficacia y eficiencia de los recursos disponibles y dar la posibilidad para la entrada de nuevos recursos. Para la evaluación de priorización se plantean 4 pasos fundamentales: la definición de criterios, la documentación de los mismos por biomasa residual, la valoración y la priorización. En este caso, se seleccionan criterios técnicos y estratégicos. Los criterios técnicos contienen datos como humedad, contenido de ceniza, poder calorífico, análisis elemental, análisis de emisiones generadas, turno de la especie o ciclo de corta, incremento medio anual (IMA), costos de generación de energía. Los criterios estratégicos contemplan la disponibilidad, la concentración geográfica, la distancia y costos de transporte, las necesidades de acondicionamiento, los costos de la biomasa residual, la necesidad del suministro de energía en la región y crecimiento de la demanda en la misma, la competencia con otras fuentes de energía y, el impacto social (empleo) y ambiental.

[3] Grupo CDI Tecsol, Colombia.

Para el caso de Colombia los criterios de restricción de mayor impacto se toman teniendo en cuenta el trabajo realizado por el grupo de investigación en conjunto con la Universidad Distrital para el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y la Unidad de Planeamiento Minero Energético (UPME):

- **La existencia,** en peso o volumen de recurso en unidad de superficie ya que permite, a partir de información de base, tener una primera aproximación a la cuantificación del recurso, que será precisado en estudios posteriores, para cada uno de los recursos identificados como disponibles.
- **El equilibrio**, la periodicidad, frecuencia o tasa de generación del recurso, por día, mes, año, o ciclo de producción porque si la frecuencia de generación de un recurso es puntual, es decir una vez por año, o una vez por mes, en un determinado sitio, es imposible pensar en instalaciones que dependan de este insumo, y obliga a complementar con otros recursos cercanos.
- **El esparcimiento,** la concentración puntual de un recurso en un sitio específico, lo convierte en potencialmente útil sólo para ese sitio, ya que no alcanzará en sus beneficios energéticos a la mayor parte de la población. Ahora bien, un tipo de biomasa demasiado dispersa puede significar altos costos para su utilización, lo que también debe ser evaluado. Por otro lado, en función de la escala en que se analice, un recurso concentrado en una región geográfica, puede ser beneficioso.
- **El efecto,** el impacto local visible, el uso de biomasa residual (BR) impacta positivamente el paisaje de la zona, y desde el punto de vista de la contaminación, de las emisiones, de la disposición de residuos, u otros, el uso de la BR en la generación de energía es un sistema ambientalmente amigable y sostenible. Puede fácilmente percibirse que mientras mayores sean los impactos positivos esperados, mayor será el puntaje otorgado.
- **Las experiencias,** o los usos actuales. Los usos establecidos del recurso como por ejemplo abono, forraje, artesanías, etc. deben tenerse en cuenta ya que esto puede significar una menor oferta para generación de energía del recurso, y eventualmente un aumento en los costos de generación.
- **Las exigencias,** la accesibilidad legal y física. Incluye la propiedad particular, restricciones legales de áreas protegidas u otras. También considera orografía, situaciones de terreno dificultosas entendidas como restricciones del sistema humano o natural, pueden circunscribir aún más los recursos accesibles y disponibles. En muchos casos los propietarios pueden no compartir la idea de uso, o la orografía.
- **La estimación,** la percepción sobre el recurso y su interés de uso o aceptación social (apropiable). Debido a que la mirada local, la percepción o estimación de los pobladores sobre el recurso y su empleo, son de fundamental interés, para conocer la posibilidad de supervivencia e impactos (sociales) del proyecto.
- **La expectativa**, la perspectiva de existencia futura del recurso en calidad y cantidad. Probabilidad de que continúe existiendo la fuente de generación del recurso, ya sea por respaldo político, legal, económico, financiero, cultural, etc. La expectativa de existencia del recurso o de la fuente de generación del mismo, es de fundamental importancia para la proyección de su uso sobre todo a gran escala, por el nivel de inversiones que implica.

En la Tabla 1 se muestran los criterios pertinentes para evaluar el potencial energético de la biomasa residual.

Tabla 1. Características encontradas por criterio para Biomasa residual.

Criterio	Biomasa forestal	Biomasa agrícola	Biomasa pecuaria	RSU
Existencia	Ha sembradas, $t_{producto}$/año, $t_{residuo}/t_{producto}$, t/(ha*año*residuo)	Ha sembradas, $t_{producto}$/año, $t_{residuo}/t_{producto}$, t/(ha*año*residuo)	t/año, TJ/(ha*año)	Kg/habitante, población, generación, t/año, área influencia del relleno
Equilibrio	PCI, TJ/(ha*año)	PCI, TJ/(ha*año)	DBO	Caracterización del RSU
Esparcimiento	Departamentos principales productores (sumen 60% producción)	Departamentos principales productores (sumen 60% producción)	Biogás generado m^3/año, empleos generados/TJ	Emisiones evitadas de CO_2, empleos generados total
Efectos	Contribución PIB forestal, empleos generados/TJ, empleos generados/ha, empleos generados total	Contribución PIB agrícola, empleos generados/TJ, empleos generados/ha, empleos generados total	% utilidad	Empleos generados/TJ
Experiencias	% de utilidad o aprovechamiento	% de utilidad o aprovechamiento	% de utilidad o aprovechamiento	% de aprovechamiento de biogás en rellenos sanitarios
Exigencias	Accesibilidad	Accesibilidad	Accesibilidad	Aspectos jurídicos y recolección de la basura
Estimación	Ha sembradas, $t_{producto}$/año, $t_{residuo}/t_{producto}$, t/(ha*año*residuo)	Ha sembradas, $t_{producto}$/año, $t_{residuo}/t_{producto}$, t/(ha*año*residuo)	t/año, TJ/(ha*año)	kg/habitante, población, generación, t/año, área influencia del relleno
Expectativa	Histórico de producción últimos 5 años	Histórico de producción últimos 5 años	Histórico de producción últimos 5 años	Histórico de producción últimos 5 años

Fuente: Adaptado de Manrique et al. (2011).

Colombia posee un potencial teórico energético de 149.436 TJ/año de biomasa residual agrícola, pecuaria, agroindustrial y urbana. Los principales cultivos agrícolas analizados fueron: arroz, banano, café, maíz, palma de aceite, plátano, y caña de azúcar. Por parte del pecuario el sector avícola, porcino y bovino fueron seleccionados. En el agroindustrial se tuvo en cuenta la industria cervecera, láctea, lugares de sacrificio animal y destilerías. Y en el sector urbano, por último, los residuos sólidos urbanos y los lodos de PTAR. El potencial técnico, aprovechable hoy, corresponde al 26% de la demanda nacional de gas natural con respecto a datos del Balance Energético Colombiano. Las biomasas con mayor potencial de aprovechamiento son: vinaza de caña de azúcar, avícola, palma de aceite, residuos sólidos urbanos orgánicos y porcícola; la ganadería tiene el mayor potencial teórico (71.771 TJ/año), sin embargo, debido a que en el país se practica la ganadería extensiva, esto dificulta la recolección (Rincón Martínez et al., 2018).

Los análisis anteriores de Argentina y Colombia, permiten dar cuenta de la multiplicidad de situaciones que deben considerarse en el territorio, a fin de estimar el potencial de biomasa sin sobredimensionar sus posibilidades, y por tanto, generar un impacto adverso en las comunidades y su entorno. Asimismo, ponen en relieve la necesidad de desarrollar metodologías y herramientas que sean puestas a disposición de la Región, que permitan la adecuada estimación, evaluación, planificación, uso y manejo de los recursos de biomasa.

5. Uso de recursos de biomasa en Iberoamérica. Capítulos de la Sección I

A continuación, se incluyen ocho capítulos en esta Sección. En el capítulo I.1 se realiza una cuantificación de la potencialidad de los recursos de biomasa en Chile, señalando asimismo la dificultad para conseguir y tener acceso a la información de base sobre los recursos. En el capítulo I.2 se realiza dicha estimación potencial para la biomasa en Paraguay, donde el uso sin planificación de la leña, ha resultado en un panorama de degradación de los recursos, lo cual es una situación común en los países de América Latina. En el capítulo I.3 se muestra una aproximación al estudio y selección de los recursos con mayor potencialidad mediante un diagrama de Pareto, en Brasil. En el capítulo I.4 se profundiza en una clase de recursos de biomasa, con gran potencialidad en Costa Rica: los recursos dendroenergéticos. En el capítulo I.5 se expone el estudio específico de un recurso de biomasa realizado en Perú, donde se caracterizan y evalúan sus posibilidades de transformación en otro combustible sólido de mayor poder calorífico (briquetas). En el capítulo I.6 se da cuenta de ensayo de una tecnología eficiente para conversión energética de residuos de biomasa (Ciclo Rankine Orgánico), que podría traer beneficios a los sectores rurales, aunque aún es un gran desafío poder superar los costos de inversión inicial de las tecnologías, que deberían estar bajo el amparo de políticas inclusivas. En el capítulo I.7 se realiza una estimación del potencial de la cogeneración de carbón con bagazo de la caña de azúcar y su combinación con el uso de calderas modernas de alta presión que mejoraría la eficiencia energética en los ingenios azucareros. Y por último, en el capítulo I.8 se realiza un análisis de la posibilidad de sustitución de leña por biogás producido a partir de desechos agrícolas y residuos de ganado.

6. Conclusiones y visión de futuro de la biomasa en Iberoamérica

Las estadísticas observadas permiten apreciar que los recursos de biomasa de la Región son considerables. Su oferta se extiende –en sus diferentes categorías- en todo el territorio iberoamericano, constituyendo una fuente energética accesible, renovable, mayormente de bajo costo (o de costo nulo) y que se asume neutra en emisiones de carbono. El impacto de su utilización, por tanto, va más allá del ámbito energético, incluyendo potenciales beneficios ambientales, sociales y económicos.

Otro aspecto que puede observarse claramente es que la participación de la biomasa es diferente en los países de la Región, y aunque las estadísticas no lo revelen, las diferentes formas de la biomasa tradicional y moderna se conjugan en las realidades locales (REN 21, 2019).

La biomasa tradicional incluye, en cuanto a tipos de recursos, residuos agrícolas, pecuarios, forestales, leña y carbón vegetal, e implica la forma tradicional de uso del recurso por el hombre a lo largo de la historia, como fuente de calefacción, cocción e iluminación (Larsen et al., 2003). La habitual manera de uso de dicha biomasa es la combustión para fines térmicos, aunque asociado a hornos y estufas para cocción y calefacción poco eficientes (15-20%), que son las mayormente disponibles para la población de bajos recursos (Karekezi et al., 2004). La biomasa moderna, incluye alguna transformación del recurso biomásico en un biocombustible de mayor valor agregado, como el biogás, bioetanol, biodiesel, briquetas de carbón vegetal, etc. (Demirbas et al., 2009). Estos usos de biomasa se asocian con una más eficiente utilización de los recursos, y el empleo de tecnologías más sofisticadas. Aprovechar en conjunto las ventajas de los conocimientos ancestrales ligados al territorio, el respeto por los ciclos naturales de los recursos y la gestión circular, como así de los

avances técnicos y tecnológicos del último siglo, pueden constituir una sinergia valiosa para dar soluciones energéticas a la Región, y en particular, al sector rural.

Por otro lado, posiblemente el rol de la biomasa sosteniendo pequeñas economías rurales, sea aún mayor, ya que las estimaciones de stocks o de utilización de biomasa en la Región, podrían estar dejando afuera un porcentaje importante de los residuos de biomasa generados a campo en el ámbito rural. Básicamente, dichos recursos no pasan por ningún sistema de registro comercial sino que se transaccionan de manera informal. Por tanto, los registros estadísticos carecen de exactitud, y hay situaciones en que los datos ni siquiera están disponibles públicamente. Generalmente los únicos registros existentes se refieren a la madera o leña comercial, y mayormente son estimados desde zonas que se consideran con aptitud forestal. Sin embargo, otras zonas boscosas, no consideradas con potencialidad de madera, son la principal fuente de leña para comunidades rurales o marginales. La situación es igualmente deficiente para la oferta de biomasa no leñosa (restos de cultivos agrícolas, ganaderos, etc.). Si existen estadísticas para combustibles de biomasa, generalmente son a nivel nacional, y como fuente de generación de energía eléctrica, pero prácticamente no existen estudios de aprovechamiento de leña u otros recursos de biomasa a escala local cuando se trata de fines térmicos a pequeña escala.

Esta situación es diferente para los residuos industriales, para los cuales las empresas generalmente sí cuentan con registros de generación. Por tanto, se requiere no solo un mayor esfuerzo en el registro y la sistematización de la información de base, sino en el relevamiento, evaluación y validación de métodos y técnicas que permitan estimar el potencial de los recursos. Y la libre publicación para que dicha información resulte de utilidad para los diferentes actores y sectores de las comunidades iberoamericanas y les permita la correcta planificación de las cadenas bioenergéticas a implementar.

ReBiBiR (T) proyecta a futuro trabajar en esta dirección, a fin de poner a disposición de la Región, herramientas útiles que permitan generar información de base y faciliten la identificación de fuentes energéticas locales, contribuyendo en el establecimiento de cadenas bioenergéticas concretas. Su propósito último, es lograr una mayor promoción de la utilización eficiente de recursos de biomasa, principalmente de carácter residual asociados a economías primarias, que podrían constituir verdaderas cadenas de agregado de valor de recursos subvalorados, repercutiendo en el fortalecimiento del medio rural.

7. Referencias de la Sección I

Berdegué, J.A, Reardon, T., Escobar, G. (2000). Empleo e ingresos rurales no agrícolas en América Latina y el Caribe. Documento presentado en "Development of the rural economy and poverty reduction in Latin America and the Caribbean, New Orleans, Louisiana, March 24, 2000, in conjunction with the Annual Meeting of the Board of Governors of the Inter-American Development Bank (IDB) and the Inert American Investment Corporation.

Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2019). Estadísticas de energía. Recuperado el 04 de noviembre de 2019 de https://www.iadb.org/es/energia/conjunto-de-datos-base-de-datos-de-energia.

Demirbas, M.F., Balat, M. y Balat, H. (2009). Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. Energy Conversion and Management 50, 1746–1760.

International Bank for Reconstruction and Development - IBRD. 2019. Tracking SDG7: The Energy Progress Report. International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. Recuperado el 30 de octubre de 2019 de https://www.irena.org/publications/2018/May/Tracking-SDG7-The-Energy-Progress-Report.

Karekezi, S., Lata, K. y Coelho, S.T. (2004). Traditional Biomass Energy. Improving its Use and Moving to Modern Energy Use. Thematic Background Paper. Bonn Editing: Secretariat of the International Conference for Renewable Energies.

Larsen, H., Kossmann, J. y Petersen, L.S.(2003). New and emerging bioenergy Technologies. Risø Energy Report 2. Risø National Laboratory. 48 p.

Manrique, S.; Franco, J.; Núñez, V. y Seghezzo, L. (2011). Propuesta metodológica para la toma de decisiones sobre bioenergía en un contexto complejo y diverso. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente AVERMA 15 (6): 39-47.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2009). Análisis del Balance de Energía derivada de Biomasa en Argentina –. WISDOM Argentina. Informe final Buenos Aires. Recuperado el 12/11/2019 de http://www.fao.org/3/i0900s/i0900s01.pdf

Real Academia Española. Diccionario de la lengua española. Biomasa. Recuperado el 12/11/2019 de https://dle.rae.es/biomasa?m=form

Renewable Energy Network for the 21st Century - REN21.(2019). Renewables Global Status Report: 2019 Update (Paris: REN21 Secretariat). Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.

Rincón Martínez, J. M., Durán Hernández, D. M., Quintero Montoya, O., Duarte González, C. S., Guevara Patiño, P. O., y Velásquez Lozano, M. E. (2018). Disponibilidad de biomasa residual y su potencial para la producción de biogás en Colombia. 16–25. Recuperado de: //revista.cidet.org.co

Sierra Vargas, F., Mejía, B.F, Guerrero, C. (2011). Leña como combustible doméstico en zonas rurales de Usme, Bogotá. Informador Técnico (Colombia) Edición 75: 30 – 39.

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar I- Recursos, 2020: 21-26
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editores: S. Manrique y Y. Torreiro Villarino

I.1. Biomasa en Chile

María Luisa Ojeda[1*], Humberto Vidal[1],

[1]*Centro de Estudio de los Recursos Energéticos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile.*

RESUMEN. Se analizó la situación de la biomasa con fines energéticos en Chile. Para ello se recopiló información técnica existente, elaborada preferentemente por instituciones públicas y gubernamentales relacionadas con el tema; y se complementó con la visión del sector privado. Una visión general del tema, permite apreciar que la información es dispersa y no se encuentra actualizada al año 2019, siendo la mejor recopilación de antecedentes sobre biomasa y bioenergía, la presentada en el informe final del estudio "Recomendaciones para la elaboración de una Estrategia Nacional de Bioenergía", desarrollado por la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción, mediante una asesoría contratada por Ministerio de Energía de Chile el año 2013.

*Correspondencia: Mg. Ing. María Luisa Ojeda; CERE-Universidad de Magallanes, Avenida Bulnes N°01855, Punta Arenas, Chile; E-mail: maría.ojeda@umag.cl

1. Disponibilidad de la biomasa

Se han realizado numerosos estudios con el objetivo de cuantificar la biomasa disponible para fines energéticos en Chile. Sin embargo, todos ellos difieren en aspectos metodológicos. No existe una uniformidad de criterios para la caracterización de la biomasa y no ha sido posible establecer con precisión los actuales usos alternativos de ésta (UDT, 2013). Para la estimación de potenciales de energías renovables, el Ministerio de Energía (2015-a) ha definido diversos niveles de potencial para las energías renovables, tal como se muestra en la Figura 1, lo cual aplica a la biomasa.

Figura 1. Términos de potencial de energías renovables (Fuente: Ministerio de Energía de Chile, 2015-a*).*

1.1 Biomasa Lignificada

El mayor potencial teórico de la biomasa lignificada proviene del manejo sustentable del bosque nativo, con 70 mil GWh; el potencial técnico, sin embargo, es muy incierto, debido a limitaciones de acceso a este y una dispersión geográfica muy amplia. Por otro lado, los potenciales disponibles de biomasa lignificada son aquéllos que provienen de residuos del manejo y cosecha de pino y eucalipto, y residuos de cosecha de trigo y avena. Se estima que la biomasa de estas fuentes crecerá los próximos años. Al año 2010, Chile contaba con un volumen manejable de plantaciones forestales de 38 millones de m3, y se proyecta que al año 2025 este volumen aumentará a 50 millones de m3. Cabe destacar que las reservas tenderán a agotarse al término de la década, dada la expansión de proyectos energéticos en las grandes plantas de la industria de la celulosa y papel. Los residuos de aserraderos, por su parte, si bien son cuantiosos, se consumen en una alta proporción, por lo que el potencial de crecimiento respecto al uso actual es muy bajo.

Es importante acotar que existen otras fuentes de biomasa lignificada (Tabla 1), para los cuales no existen evaluaciones sobre su potencial como fuente de energía; entre ellas cabe destacar: podas de frutales y viñedos, residuos de cosecha de cereales distintos a trigo y avena; residuos de la industria secundaria y terciaria de la madera, y madera de escombros, remodelaciones de infraestructura y muebles; en todos estos casos se trata de biomasa muy dispersa (UDT, 2013).

Biomasa Lignificada	Potencial Teórico		Potencial Técnico
	Masa (M t base seca)	Energía (GWh)	
Residuos aserraderos(lampazos, aserrín y Corteza de pino	2.**178**	11.052	La mayor parte de la industria del aserrío se vende o se consume internamente. De acuerdo a un estudio del año 2007, solo una proporción muy baja, correspondiente a 216.000 t (base seca) se regala o acumula, y, por lo tanto, estaría disponible como fuente de energía. El potencial técnico es bajo.
Residuos del manejo forestal de plantaciones (ramas de pinos y eucalipto)	1.792	10.278	De acuerdo a ejecutivos del sector, el año 2012 se intervino un 33% del total de la superficie cosechada. Los lugares de cosecha de eucalipto aún no se intervienen. Por lo tanto, la biomasa disponible aún es equivalente a 2 millones de ton (base seca). (26 Mha intervenidas en el año 2012). El potencial técnico es alto
Manejo sustentable del bosque nativo (madera y corteza)	12.946	70.833	Actualmente se usan 7.7 millones de m3 sólidos de madera nativa como leña y volúmenes pequeños se destinan a aserrío y producción de tableros reconstruidos de madera. Una modificación técnica importante es la difícil accesibilidad al recurso. El potencial técnico es incierto.
Residuos de cosecha de trigo y avena (rastrojos)	2.525	10.278	La paja de trigo se usa para estabulación de animales; la de avena, adicionalmente, como alimento de rumiantes. Se estima que ambos usos son menores a un 10% del total producido. En cuanto a usos energéticos, el año 2012 se inició su uso como combustible industrial. El potencial técnico es alto

Tabla 1. Potencial teórico de biomasa lignificada (base anual) **(**Fuente: UDT, 2013).

Otra fuente de biomasa lignificada de alto interés estratégico en el futuro son cultivos dendroenergéticos. Diversos estudios señalan que los rendimientos en base seca pueden variar entre 20 y 40 (t/ha/año) y que la superficie disponible entre las regiones de Coquimbo y Aysén puede variar entre 384 miles de hectáreas (para cuyo cálculo se aplicaron múltiples restricciones ambientales, geográficas e hídricas) y 2,047 miles de hectáreas (Ministerio de Energía, CONAF y UACH, 2013).

Estudios más recientes como el realizado por Altamirano et al. (2015), que analiza sectores de las regiones administrativas de La Araucanía, Los Ríos y la provincia de Osorno en la región de Los Lagos (74°-71°O y 37°-41°S), con un 78% de presencia de bosque nativo de roble-raulí-coigüe, coigüe, raulítepa y siempreverde, de un total de 5.663.248 hectáreas, indica que el estado actual de los bosques nativos en el área de estudio, incorporando restricciones silviculturales, sociales y ambientales, permite un potencial uso adicional con fines dendroenergéticos, equivalente a 26 millones de MWh y 54 millones de MWh de energía eléctrica y térmica, respectivamente, y que la disponibilidad potencial de biomasa y su equivalente en poder energético, muestran fuerte relación con el tipo y estructura del bosque, con aspectos de accesibilidad al uso potencial de la biomasa derivada de distintos tipos de cortas, con especial referencia a la calidad de biomasa.

Finalmente, recomienda incluir en análisis de este tipo, variables que representen las condiciones socioeconómicas de los propietarios de los terrenos y bosques, quienes finalmente incidirán sobre la intensidad y disponibilidad de la biomasa forestal con fines dendroenergéticos. Este estudio, como muchos otros, deja fuera a las regiones de Aysén y Magallanes, ubicadas en la zona austral de Chile, debido a que los sistemas eléctricos existentes en estas zonas son denominados "Sistemas Medianos" (SSMM), con demandas menores a 220 MW, y no son parte sistema interconectado eléctrico del resto del país, por lo cual no contribuyen con recursos de biomasa. De esta forma, se debe recurrir a información emanada de documentos especialmente elaborados para estas regiones, que también aborden los usos térmicos de la biomasa y por ende la demanda proyectada.

Como resultado del estudio de Ministerio de Energía, CONAF y UACH (2013), se determinó la superficie de bosque nativo aprovechable con fines energéticos, correspondiente a la superficie de bosque nativo desde las regiones estudiadas, que puede ser incorporada a un manejo forestal multipropósito, bajo criterios de sostenibilidad, siendo la dendroenergía uno de estos fines.

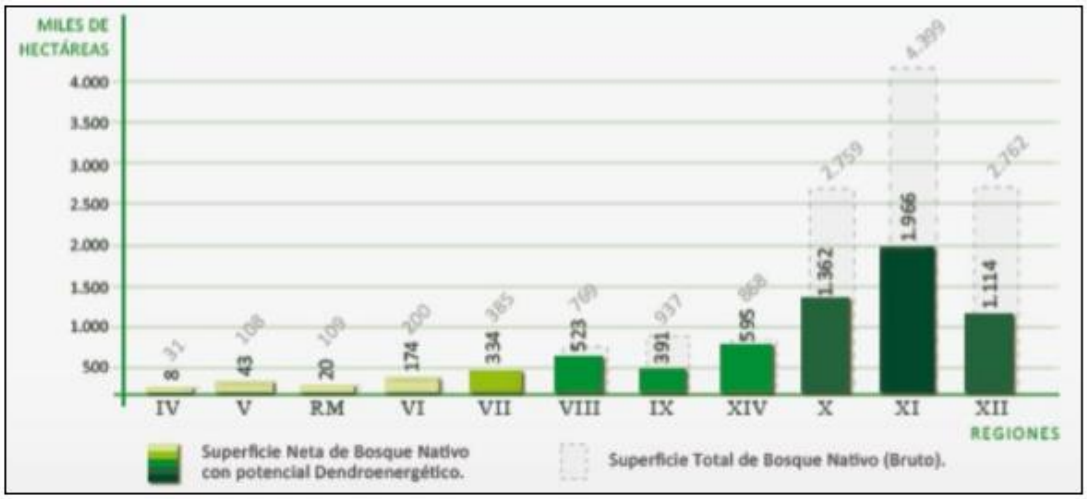


Figura 2. Biomasa disponible anual de Bosque Nativo con potencial dendroenergético **(**Fuente:UACH, 2012)

La UACH determinó esto en base a la información cartográfica disponible de la CONAF, aplicando restricciones legales a la superficie bruta de bosque nativo del Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Además, se consideraron 9 criterios de exclusión (según la normativa chilena vigente) de superficies de bosque nativo. Luego se excluyeron del cálculo de esta superficie neta todos los bosques nativos achaparrados localizados en el límite altitudinal, ya que, debido a

sus pequeñas dimensiones, no son posibles de incorporar comercialmente y los bosques con tipo de cobertura abierto presentan un reducido número de individuos por hectárea que permitan la aplicación de raleos comerciales.

Como resultado se tienen las superficies brutas y netas por regiones y por tipo de especie y finalmente los potenciales dendroenergéticos, expresados en toneladas secas anuales, tal como se muestra en la Figura 3 (CERE-UMAG, 2015-a), obtenida del denominado "Explorador de Bioenergía Forestal" desarrollado por la Universidad Austral de Chile, a solicitud de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), que representa la superficie que podría ser considerada para la evaluación técnica-económica de proyectos de bioenergía. Lamentablemente el explorador no está disponible a cualquier usuario.

1.2. Biomasa No Lignificada

La Tabla 2 presenta una estimación del potencial energético de las fuentes de biomasa no lignificada, utilizada para la obtención de biogás a través del proceso de digestión anaeróbica, según Chamy et al. (2007). De acuerdo a los resultados presentados, el mayor Potencial Técnico de biogás corresponde al sector pecuario (purines), con un 42% del total (4.056 GWh); los residuos agrícolas provenientes del proceso de cosecha de plantaciones anuales representan el 25% (2.389 GWh), mientras que la digestión de los lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales, representan un 17% (1.611 GWh). Por otra parte, la captura del biogás emitido desde rellenos sanitarios actualmente en operación ofrece un potencial de 972 GWh, un 10% del Potencial Técnico nacional.

Biomasa No lignificada (9.750 Gwh)				
Residuos Sólidos Urbanos	Purines	Plantas de Tratamientos	Residuos Agrícolas	Otros
972 GWh	4.056 GWh	1.611 GWh	2.389 GWh	722 GWh

Tabla 2. Potencial teórico de biomasa lignificada (base anual). (Fuente: UDT, 2013, en base a Chamy et al., 2007*)*

Es importante mencionar, que las realidades en cada región de Chile, son muy diferentes, no sólo por condiciones climáticas, territoriales (condiciones geográficas) o productivas, sino que también demográficas y sociales, lo que condiciona por ejemplo la disponibilidad del biogás que proveniente de rellenos sanitarios, por lo general presentes sólo en las grandes urbes del país. En la Tabla 3, se muestran las regiones con mayor potencial técnico de biogás.

	Regiones con mayor potencial Técnico (%)	Escala mínima (KWe)	Escala máxima (MWe)
Plantas de tratamiento de agua	XIII 49%; VIII 15%	260	5
Rellenos sanitarios	XIII 67%	170	54
Purines	XIII 62%; IX 11%	315	22
Residuos agrícolas	VI 32%; VII 19%; IX 18%	500	6

Tabla 3. Potencial técnico de regiones con mayor concentración de biogás y escalas esperadas de electricidad equivalente. (Fuente: UDT, 2013)

2. Importancia de la biomasa en la matriz energética

La matriz de energía primaria representa el aprovisionamiento energético del país, considerando la producción de recursos energéticos de Chile y los flujos de importación y exportación. Durante el año 2017 alcanzó un total de 336.480 teracalorías (TCal).

El principal aporte proviene de los combustibles fósiles (petróleo crudo, gas natural y carbón) que suman un 68%. El resto lo conforman la producción de biomasa (24%), y en menor proporción hidroelectricidad, solar y eólica con un 8%, tal como se aprecia en la Figura 3. Al año 2017, el total del consumo final por energético fue de 288.901 Tcal, donde el consumo de biomasa fue del 13%, lo que equivale a 35.557 Tcal (Comisión Nacional de Energía - CNE, 2018).

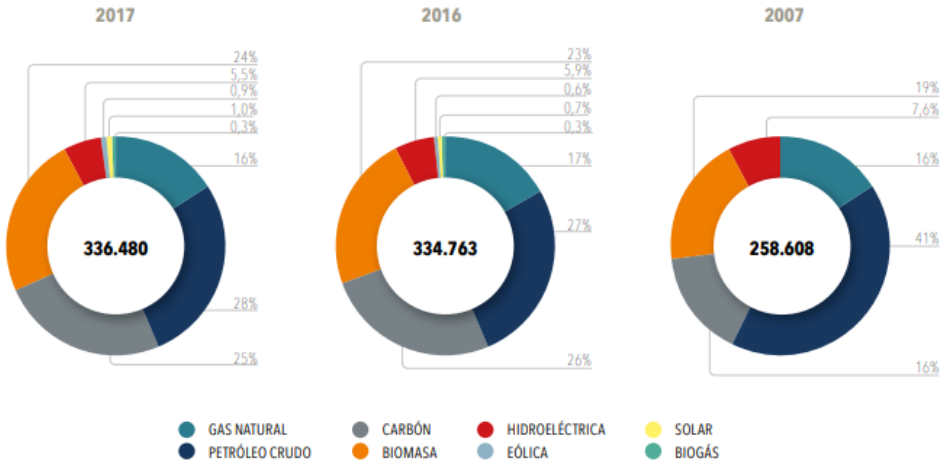


Figura 3. Oferta de Energía Primaria en Chile – Balance Nacional de Energía del Ministerio de Energía (Fuente: CNE, 2018)

3. Conclusiones

Gutiérrez (2014), concluye en su trabajo de investigación que, para eventuales incentivos a la generación con biomasa, debiese existir mayor regulación al mercado, con el propósito de diagnosticar a qué actor de la cadena entregar beneficios. Chile deberá establecer protocolos de transacción de biomasa, la integración de todos los actores de la cadena y crear estrategias para enfrentar un escenario de sobre-demanda de biomasa. A la vez, la evaluación ambiental de proyectos debiera regirse por la capacidad máxima del sistema.

Según la Asociación Chilena de Biomasa (AchBIOM, 2019), las normas internacionales, serán la base para el reconocimiento de los biocombustibles sólidos, lo que debe entregar confianza a usuarios y la respectiva responsabilidad a productores. El avance en normativas, regulación, calidad del combustible, eficiencia de los equipos, etc., hará que el volumen demandado de leña disminuya, pero abrirá oportunidades a los productores responsables y sacará del mercado a quienes no poseen buenas prácticas.

4. Referencias

Asociación Chilena de Biomasa (AChBIOM)(2019). Reporte Sostenible. Recuperado en octubre de 2019 desde http://www.reportesostenible.cl/Presidente-de-AChBIOM-resalta-beneficios-de-la-biomasa-e-insta-a-no-dispararse-en-los-pies-por-el-mal-uso-del-recurso .

Altamirano., A., et al. (2015), Disponibilidad y potencial energético de la biomasa del bosque nativo para el desarrollo de la dendroenergía en el centro-sur de Chile. *Bosque 36(2), 223-237, 2015.*

CERE-UMAG (2015-a). "Informe Final Propuesta de Matriz Energética para Magallanes al 2015", Centro de Estudios de los Recursos energéticos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Magallanes, informe mandatado por el Ministerio de Energía de Chile, Punta Arenas. Recuperado en octubre 2019. http://dataset.cne.cl/Energia_Abierta/Estudios/Minerg/Informe%20Final%20-%20Propuesta%20Matriz%20Energ%C3%A9tica%20Magallanes%202050_w.pdf

Chamy R., y Vivanco E. (2007), "Identificación y clasificación de los distintos tipos de biomasa disponible en Chile para la generación de biogás". Recuperado el 12/ 2019 de https://energypedia.info/images/d/dc/Potencial_Biogas_Chile.pdf

Comisión Nacional de Energía, CNE (2018), "Anuario Estadístico de Energía 2018", Ministerio de Energía-Comisión Nacional de Energía-Gobierno de Chile. Santiago. Recuperado en octubre 2019 de https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2019/04/Anuario-CNE-2018.pdf

CONAF (2017). Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales 2017-2025. Recuperado en octubre 2019. https://www.conaf.cl/cms/editorweb/ENCCRV/ENCCRV-3a_Edicion-17mayo2017.pdf

Gutiérrez., D (2014), "Análisis de la situación actual y futura del consumo de biomasa forestal para generación en Chile", Tesis de Grado presentada como parte de los requisitos para optar al Título de Ingeniero Forestal, Universidad Austral de Chile – UACH, Valdivia, 2014.

Ministerio de Energía, CONAF y UACH (2013), "Informe Final de Evaluación de mercado de biomasa forestal y su potencial", Santiago de Chile, abril de 2013. Recuperado el noviembre 2019 en file:///C:/Users/MLO/Downloads/EVALUACIO_N_DEL_MERCADO_DE_BIOMASA_Y_SU.pdf

Ministerio de Energía de Chile (2015-a), "Guía Metodológica para el desarrollo de estrategias energéticas locales", Ernst Basler + Partner y Fundación Chile, Santiago de Chile. Recuperado en septiembre 2019 de http://antecedentes.goredelosrios.cl/wp-content/uploads/2017/03/Gu%C3%ADa-Metodol%C3%B3gica-para-el-Desarrollo-de-Estrategias-Energ%C3%A9ticas-Locales-Ministerio-de-Energ%C3%ADa.pdf

Unidad de Desarrollo Tecnológico, UDT (2013). "Informe Final Estudio "Recomendaciones para la elaboración de una Estrategia Nacional de Bioenergía", UDT – Universidad de Concepción a solicitud del Ministerio de Energía de Chile, Concepción. Recuperado en octubre 2019 de http://achbiom.cl/wp-content/uploads/2017/08/9_informe-final_recomendaciones-para-la-elaboracic3b3n-de-una-estrategia-nacional-de-bioenergc3ada-udt.pdf

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar I- Recursos, 2020: 27-38
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editores: S. Manrique y Y. Torreiro Villarino

I.2. Estudio de recursos de biomasa en la República de Paraguay

Roberto Lima Morra[1*]; Diego Centurión[1]

1 Centro de Tecnología Apropiada, Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Asunción, Paraguay

RESUMEN. Paraguay se caracteriza por ser el mayor productor de energía hidroeléctrica del mundo, sin embargo, como se ve en la matriz energética el consumo de biomasa predomina con más del 40%. El mayor consumo de biomasa se registra a nivel residencial, especialmente en los hogares rurales que la utilizan como principal combustible para cocinar; así como también, en la industria para generación de calor, principalmente en la agroindustria y en las fábricas de cerámica y olerías. Los principales usos son para secado de granos de soja, maíz, trigo y girasol, y combustibles en calderas. El uso de leña desplazó al fuel oil, gas licuado de petróleo o electricidad como combustible para calderas en las industrias. Por otro lado, grandes cantidades de recursos biomásicos se generan cada año como consecuencia de las actividades del sector primario (agricultura, ganadería y explotación forestal) y de la agroindustria (producción de azúcar y alcohol, industria cárnica, entre otros).

*Correspondencia: Ing. Roberto A. Lima Morra, Master, E-mail: roberto.lima@uc.edu.py / Diego Ismael Centurión Troche, E-mail: diego.centurion@uc.edu.py

1. Introducción

La matriz energética del Paraguay se caracteriza por una elevada oferta de energía primaria de origen renovable y local. De acuerdo al Balance Energético Nacional del 2017, el 47% de la oferta energética corresponde a la hidroelectricidad y el 33% a biomasa. El 20% restante corresponde a derivados del petróleo, los cuales son importados en su totalidad, porque en el país no hay producción de petróleo (VMME, 2017).

Paraguay tiene amplios recursos en energía hidráulica generada por la hidroeléctrica nacional Acaray y las represas binacionales Itaipú (con Brasil) y Yacyretá (con Argentina), siendo, de esta manera, el mayor productor de energía hidroeléctrica del mundo. A pesar de lo anterior, una gran parte de la demanda energética está cubierta por biomasa, básicamente leña y carbón, que, a pesar de la deforestación, se encuentra disponible. Así, el 44% de la energía final consumida corresponde a biomasa, siendo en su mayoría la leña y residuos vegetales los principales productos, mientras que la electricidad representa solamente el 16% de la energía final consumida (VMME, 2017).

El país depende altamente de los recursos biomásicos, no obstante, la producción de leña y de carbón vegetal está asociada principalmente a la explotación no

sustentable de bosques, lo que contribuye en gran medida a la deforestación del país. Como muchos países en desarrollo, Paraguay basa su economía en la producción primaria, convirtiéndose el sector agropecuario en una actividad primordial desde diferentes aspectos. El sector agropecuario aporta el 30,4% del producto interno bruto (PIB) del país, divididos en 22,2% agricultura, 6,6% ganadería, 1,5% forestal y 0,1% pesca; así como también, representa el 40% de las exportaciones nacionales y más del 40% de la fuerza laboral del país. La mayor parte de la producción agrícola está centrada en el cultivo de la soja, el maíz y el trigo, representado el valor bruto de la producción de estos tres rubros, el 76% del total de la agricultura en el país (FAO, 2018). La soja y la carne de vaca representan casi el 53% del valor de la producción de los commodities en Paraguay, y si se considera solo la producción de soja se alcanza el 40% de la producción de commodities en el país. A causa de la extensión de las actividades agropecuarias y agroindustriales, desarrolladas en el país, se generan grandes cantidades de biomasa como residuo, los cuales pueden ser aprovechados para la generación de energía.

1.1.Biomasa forestal

Dentro del balance energético nacional el 44% de la energía final consumida corresponde a biomasa (Viceministerios de Minas y Energías, 2017). Siendo la leña y los residuos vegetales las fuentes más utilizadas.

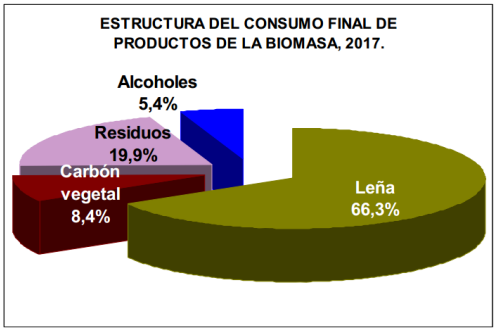


Figura 1. Estructura del consumo final de productos de biomasa.
(Fuente: Balance Energético Nacional 2017; Viceministerio de Minas y Energías, 2018).

Podemos clasificar el aprovechamiento de la biomasa en uso sólido, líquido y gaseoso de los productos. El aprovechamiento más utilizado es la biomasa sólida, como leña, restos vegetales, carbón vegetal, etc., implicando más del 80% de la producción y consumo de biomasa. Según la Dirección General de Estadísticas, Encuestas y Censos (DGEEC, 2019), el 93% de los hogares rurales tiene acceso a energía eléctrica, sin embargo, el 69% de los mismos utilizan leña como principal combustible para cocinar. Por lo tanto, la utilización de leña en el sector rural tiene una penetración que va más allá del acceso o no a la electricidad y está relacionada principalmente con la cocción de alimentos (GIZ, 2011).

La leña y el carbón representan el principal combustible a nivel de hogares, más del 80% del total del consumo de energía a nivel de hogares es con leña (MOPC, VMME y GIZ, 2013). Por otro lado, una gran cantidad de leña es consumida a nivel industrial, debido a la necesidad de secar los granos (soja, trigo, maíz) antes de almacenarlos en los silos. Se estima que, cada año, más de 500.000 toneladas de leña son requeridos para secar soja y cantidades similares son requeridas para trigo, maíz y otros granos (Global Forest Coalition, 2014).

La industria del carbón vegetal es otro de los principales motores de la deforestación del Paraguay. La producción de una tonelada de carbón requiere de entre 6 a 15 toneladas de madera. El Atlas Mundial (2016) establece que "Paraguay pierde 40.000 hectáreas de bosque cada año debido a la exportación ilegal de carbón, y otras 12.000 ha, sumados con restos de podas y los de cambio de uso del suelo, para la producción de carbón y briquetas para asados (barbacoa) para exportar a Europa", convirtiéndose en el quinto mayor exportador a nivel mundial de carbón y briquetas.

Tabla 1. Población que utiliza combustibles sólidos para cocinar. Periodo 2008 – 2017.

Año	Total		Área Urbana		Área Rural	
	Número	%	Número	%	Número	%
2008	3.011.101	50,1	979.946	28,3	2.031.155	79,8
2009	3.027.313	49,6	1.019.901	28,8	2.007.412	78,5
2010	3.015.477	48,7	957.122	26,4	2.058.355	80,1
2011	2.696.005	42,8	791.875	21,3	1.904.130	73,8
2012	2.747.001	43,0	783.806	20,6	1.963.195	75,8
2013	2.345.625	36,2	727.334	18,7	1.618.291	62,2
2014	2.410.878	36,6	653.074	16,5	1.757.804	67,3
2015	2.240.395	33,5	620.804	15,3	1.619.591	61,7
2016	2.387.570	35,2	661.899	16	1.725.671	65,6
2017	2.432.670	35,4	733.285	17,3	1.699.385	64,4

Nota: Combustibles sólidos: (madera, residuos de cosecha y estiércol) y carbón vegetal
(Fuente: DGEEC, Compendio Estadístico Ambiental 2017)

Las agroindustrias, las industrias madereras, alcoholeras y azucareras, industrias de acero y las aceiteras son los mayores consumidores de biomasa para energía en forma de leña y carbón vegetal. El consumo a nivel industrial oscila entre 4.415.000 – 6.047.000 t/año (MOPC/VMME y GIZ, 2013). La necesidad de madera con fines energéticos en las industrias alcanza los 6 – 8 millones de metros cúbicos por año. Así, las estimaciones oscilan cerca de 200.000 a 320.000 ha de plantaciones con un crecimiento de 25 a 30 m/ha por año para abastecer la necesidad de biomasa (FAO, 2018).

1.2 Oferta de Biomasa de producción sostenible de bosques nativos

Situación en la región oriental del país

La superficie de bosque productivo en la región oriental del Paraguay es de 700.000 ha. De acuerdo al informe de la Dirección General de Bosques del INFONA (Instituto Forestal Nacional) hasta el año 2016 se catastraron un total de 171.715 ha de Bosques y/o Tierras Forestales Bajo Plan Aprobado. Se estima que el Incremento Medio Anual (IMA) de un bosque secundario varía de 2 a 3 m^3/ha/año. Para la conversión de m^3 a t se tomó un valor de 0,8 y 0,75 para especies nativas y especies exóticas (plantaciones forestales), respectivamente.

Para estimar la biomasa que podría utilizarse con fines energéticos en bosque nativo se consideró el estudio realizado por Guillen y Escurra (2016), donde la proporción de 34% (del total del árbol), corresponde a ramas que podrían utilizarse como leña y/o carbón, 62% corresponde a madera en rollos y el 4% corresponde a tocón. Para estimar biomasa con fines energético de acuerdo a los cálculos, se estima que el 36% de la biomasa de producción sostenible de plantaciones forestales son destinadas con fines energética y 64% son destinado a rollos de plantaciones forestales bajo manejo de la región oriental (Guillen y Escurra, 2016). La oferta total (con fines energético y madera para rollos) de biomasa bajo manejo proveniente de bosque

nativo y plantaciones forestales de la región oriental se encuentran entre las 2.526.129 – 3.110.481 t/año, de las cuales el 36% representa madera para energía.

Tabla 2. Oferta de biomasa sólida de producción sostenible en la región oriental del Paraguay

	Biomasa energética	Madera de rollos
Oferta total de biomasa bajo manejo (m^3)	1.202.706 - 1.478.277	2.143.487 - 2.636.062
Oferta total biomasa bajo manejo (t)	907.868 - 1.17.465	1.618.261 – 1.993.016
Oferta total de biomasa para energía y madera para rollos (t)	2.526.129 – 3.110.481	

Fuente: Sostenibilidad de la biomasa forestal para energía y del etanol y caña de azúcar en Paraguay, FAO (2018).

1.3.Situación en la región occidental del país

En la región occidental del Paraguay la superficie total de bosque productivo sin incluir superficie de áreas silvestres protegidas de la región alcanza unas 12.254.457 ha (Guyra Paraguay, 2016), de las cuales la superficie de bosque nativo sujeto a manejo forestal sostenible abarca unas 22.082 ha, y el incremento anual se estima entre 0,5 a 2,0 m^3/ha/año en promedio 1,3 m^3/ha/año.

Tabla 3. Oferta de biomasa sólida de producción sostenible en la región occidental del Paraguay

	Biomasa energética	Madera de rollos
Oferta total de biomasa bajo manejo (m^3)	25.623 – 57.335	30.218 – 40.589
Oferta total biomasa bajo manejo (t)	19.692 – 44.900	22.741 – 30.751
Oferta total de biomasa para energía y madera para rollos (t)	42.433 – 75.651	

Fuente: Sostenibilidad de la biomasa forestal para energía y del etanol y caña de azúcar en Paraguay, FAO (2018).

Para estimar la biomasa que podría utilizarse con fines energéticos (ramas) en bosque nativo, en la región occidental, se utilizó un valor de 86% que corresponde a la proporción promedio de biomasa obtenida de la investigación ‘‘Determinación de la biomasa aérea total y por especie del bosque nativo del Chaco Central’’ realizada en la FCA/UNA (Neufeld y Quinteros, 2007).

La oferta total (con fines energético y madera para rollos) de biomasa bajo manejo proveniente de bosque nativo y plantaciones forestales de la región occidental se encuentran entre los 42.433 – 75.651 t/año, de las cuales el 46-59% representa madera para energía.

1.4 Oferta de Biomasa sostenible de plantaciones forestales

Se tenían monitoreadas en total una cobertura de plantaciones forestales de 122.452 ha de las cuales el 90% de las especies utilizadas corresponden a Eucaliptus spp, mientras que el 10% se distribuyen entre otras especies exóticas y nativas y no están discriminadas por los objetivos de plantación (energéticos y maderables) (INFONA, 2016).

Tabla 4. Oferta biomasa sostenible de plantaciones forestales bajo manejo para la producción de biomasa para energía y madera de rollos en Paraguay.

Plantaciones forestales bajo manejo	Superficie (ha)	IMA (m3/ha/año)	Proporción leña/ rollos	Biomasa para energía (m3/año) Rangos min y max	Madera de rollos (m3/año) Rangos min y max
Región Oriental	120.660	25-30	0,36/0,64	1.085.940-1.303.128	1.930.560-2.316.672
Región Occidental	1.792	25-30	0,36/0,64	16.128-19.354	28.672-34.406
Total	122.452	25-30	0,36/0,64	1.102.068-1.322.482	1.959.232-2.351.078
Oferta total de biomasa y madera para rollos				3.061.300-3.673.560	

Fuente: Sostenibilidad de la biomasa forestal para energía y del etanol y caña de azúcar en Paraguay, FAO (2018).

MOPC/VMME y GIZ (2013) asumieron un Incremento Medio Anual (IMA) de 25 m3/ha/año y hace mención que existe reporte de estudios realizados en plantaciones bien manejadas y en suelo fértil pueden con un IMA de más de 40 m3/ha/año. Sin embargo, muchas de las plantaciones no disponen de material genético de calidad, están ubicadas en suelos marginales y en zonas no muy productivas. Por lo tanto, se asumió un IMA promedio de 25 m3/ha/año con un máximo optimista de 30 m3/ha/año.

La oferta total de plantaciones puede llegar de 3.061.300 a 3.673.560 de m3/año (o 2.295.975 a 2.755.170 t/año). De acuerdo a estudios preliminares facilitados por el INFONA se estima que el 36% de la biomasa de plantaciones bajo manejo se destinan para energía. Por lo tanto, las plantaciones forestales pueden ofrecer una cantidad de 1.102.068 – 1.322.482 m3 por año de biomasa maderera para la producción de energía.

Tabla 5. Oferta total de biomasa maderera (madera de rollos y biomasa para energía) de bosques nativos y plantaciones forestales manejados en Paraguay

Origen de biomasa	Producción (t/año)	IMA (m3/año)	Producción (t/año)	IMA (m3/año)	Producción (t/año)
Bosque nativos manejados	63.754-395.631	2-3	8.833-35.331	0,5-2	272.587-430.962
Plantaciones forestales	2.262.375-2.714.850	25-30	33.600-40.320	25-30	2.295.975-2.755.170
Total	2.526.129-3.110.481		42.433-75.651		2.568.562-3.186.132

Fuente: Sostenibilidad de la biomasa forestal para energía y del etanol y caña de azúcar en Paraguay, FAO (2018).

La cantidad de oferta de recurso maderero sostenible es de 2.526.129 – 3.110.481 t/año en la región oriental y 42.433 – 75.651 t/año en la región occidental. La producción total de biomasa proveniente de bosques nativos manejados en el país varía entre 272.587 – 430.962 t/año y la producción total de biomasa proveniente de plantaciones manejadas entre 2.295.975 – 2.755.170 t/año. Obteniendo una oferta total de biomasa maderera de 2.568.562 – 3.186.132 t/año.

1.5. Política y legislación ambiental sobre recursos madereros

- Ley Forestal 422/73: Primera legislación nacional para la protección de los recursos naturales. El artículo 1 declara de interés público el aprovechamiento y el manejo racional de los bosques y tierras forestales del país, así como también. En el Articulo 2 se mencionan los objetivos fundamentales de la ley, entre los cuales se encuentran la protección, conservación, aumento, renovación y aprovechamiento sostenible y racional de los recursos forestales del país; la promoción de la forestación y reforestación.
- Ley 2054/04 "De prohibición en la región oriental de las actividades de transformación y conversión de superficies con cobertura de bosques", ley que es mejor conocida con el nombre de "Deforestación Cero"; y tiene el objetivo principal de proteger la deforestación de los remanentes del Bosque Atlántico del Alto Paraná en el Paraguay. En su artículo 2, prohíbe realizar actividades de transformación o conversión de superficies con cobertura de bosques, a superficies destinadas al aprovechamiento agropecuario en cualquiera de sus modalidades; o a superficies destinadas a asentamientos humanos en la región oriental. La ley fue aprobada en el año 2004 y sucesivamente prorrogada con el objetivo de proteger los bosques que quedan en la Región Oriental. Fue modificada por la ley 3139/06, ampliada por la ley 36633/08 y modificada

nuevamente por la Ley 5045/13, donde fue extendida hasta el año 2018. En el 2012 se elaboró el Plan Nacional de Reforestación, que contempla la instalación de 450.000 ha de plantaciones forestales en un periodo de 15 años. Para lo cual se han promulgado lo siguientes decretos ejecutivos:

- Decreto N ° 2285/14, por el cual se "declara de interés nacional los programas y emprendimientos forestales que posibiliten e incentiven el uso sustentable del suelo y la promoción de generación de biomasa con destino energético y celulosa".
- Decreto N ° 3050/15 por el cual "se dispone la implementación de programas en el marco del Plan Nacional de Reforestación". Cabe aclarar que dicho Plan Nacional de Reforestación es con fines energéticos para uso comercial y no con fines de recomposición del paisaje. El proyecto inicio en el año 2013 y se prevé su culminación en el año 2017, el mismo será desarrollado en tres fases con una duración de 5 años cada una.
- Ley 536 de fomento a la forestación y reforestación.
- Ley 3001/06 "De Valoración y Retribución de los Servicios Ambientales".
- Decreto presidencial N° 4056/2015 el Viceministerio de Minas y Energías en coordinación con el Instituto Forestal Nacional, la Secretaria del Ambiente y el Ministerio de Industria y comercio se autoriza a establecer regímenes de certificación, control y promoción de uso de bioenergías que garanticen la sostenibilidad de estos recursos energéticos renovables.

2. Sector agropecuario

2. 1 Agricultura

Paraguay cuenta con 16 cultivos principales, 15 de los cuales son temporales: algodón, arroz, canola, caña, girasol, ka'a he'e, maíz, mandioca, maní, poroto, sésamo, soja, tabaco, tártago, trigo; y un cultivo permanente que es la yerba mate.

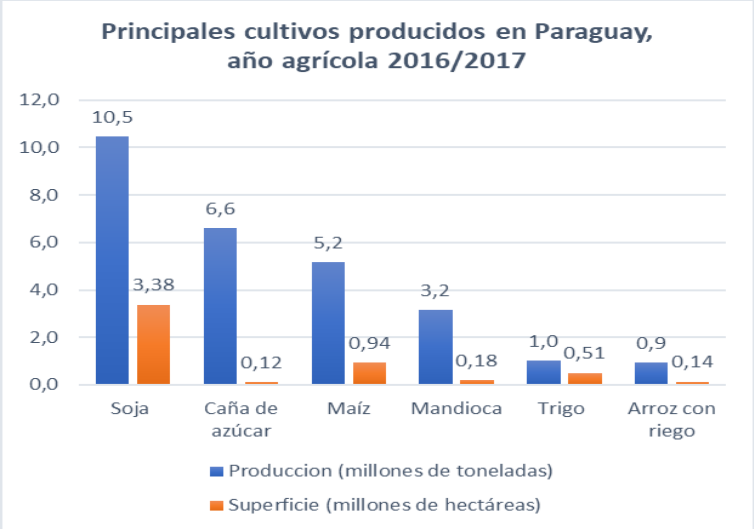


Figura 2. Principales cultivos producidos en Paraguay 2016/2017. Fuente: Elaboración propia en base a datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (2019).

De acuerdo con FAOSTAT (FAO, 2018), la producción agrícola está concentrada principalmente en la soja, caña de azúcar y maíz. La producción de soja es particularmente significativa; dado que la cantidad producida se ha estado elevando sostenidamente durante los últimos 10 años. Una gran parte de esta producción está destinada a la exportación, convirtiendo a Paraguay en uno de los principales productores y exportadores de soja del mundo.

2.2 Ganadería

Paraguay tiene una larga historia en producción de carne bovina, la cual esta principalmente concentrada en la región occidental del país. La ganadería, principalmente de vacas, se produce en tierras de pastura extensas en el Chaco (FAO, 2006). Desde el inicio de los años 1980, la población del ganado vacuno ha crecido alrededor del 50% desde aproximadamente 6.500.000 a casi 10.000.000 unidades (MAG, 2008). De acuerdo a la cantidad de cabezas la ganadería bovina sobresale en los departamentos de Pte. Hayes, Alto Paraguay y Boquerón en la región occidental, mientras que en la región oriental sobresale en los departamentos de Concepción, San Pedro y Amambay.

En los últimos treinta años también se ha observado un importante incremento en la existencia de ganado porcino, sobresaliendo principalmente en los departamentos de Itapúa, Alto Paraná, San Pedro, Caaguazú y Caazapá. A pesar de ser muy reducida, la existencia de caprinos se concentra en la región Occidental, sobre todo en los departamentos de Presidente Hayes y Boquerón, y en la región Oriental, en el departamento de Ñeembucú (Almirón, 2018).

En la Tabla N° 6 se presenta la población de animales estabulados en el año 2019, según datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Mediante experiencias y observaciones de expertos en el área, se estima que en Paraguay el peso promedio del ganado vacuno se encuentra entre 280 a 300 kg; y que cada una produce del 8 a 10% de su peso corporal en excremento por día. Tomando como promedio un peso de 290 kg y una generación de estiércol por cabeza por día de 26,1 kg (9% del peso promedio adoptado), la población de ganado vacuno actual de 13.801.993 genera una cantidad total de 131.484.686,3 t/año de residuos.

Tabla 6. Cantidad de animales estabulados, año 2019.

Especie	Cantidad
Bovinos	13.801.993
Ovinos	295.795
Caprinos	111.972
Equinos	219.108
Porcinos	371.963
Aviar-adultos	3.929.054

Fuente: DIGESETEC - SENACSA, 2019

De acuerdo a la Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, en América Latina casi todo el estiércol del ganado se gestiona como sólidos en pasturas y prados. Dicha observación se adecua a las condiciones de gestión en Paraguay, donde el estiércol del ganado bovino generalmente se deposita en las pasturas y prados en las que se generaron.

2.3 Agroindustria

Industrialización de la soja en Paraguay

Tradicionalmente el principal mercado para moler la soja paraguaya fue la Argentina. Sin embargo, en los últimos años, el sector privado en Paraguay ha iniciado un proceso de inversión para industrializar la producción de soja a través de la construcción de instalaciones de molienda con el fin de añadir valor agregado a las exportaciones y fomentar el desarrollo agroindustrial.

En 2013, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) aprobó un financiamiento a largo plazo de US$ 92 millones para el Complejo Agro Industrial Angostura S.A., el

cual incluye una planta de molienda de soja. Dicha planta, ubicada en Villeta a 40 kilómetros de Asunción, tiene una capacidad de molienda de 4.000 tonelada/día. Los productos consisten en harina de soja (72,6%), aceite de soja (19,8%) y cascarilla de soja (5%). El almacenamiento total se estima en 300.000 Mt, de los cuales 200.000 Mt son para aceite vegetal y el resto para subproductos oleaginosos (Gómez, 2016).

Según las estadísticas de la Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas (CAPECO), los usos de la soja en los últimos cinco años, se distribuyen de acuerdo a lo indicado en la Tabla N° 7.

Tabla 7. Usos de la Soja, año 2019.

Zafra	Exportación (t)	Industria (t)	Semilla (t)	Producción Total (t)
2013/2014	4.856.121	3.133.421	200.000	8.189.542
2014/2015	4447514	3486073	220.000	8.153.587
2015/2016	5371132	3625805	220.000	9.216.937
2016/2017	6316349	3669795	350.000	10.336.144
2017/2018	6237190	3675385	350.000	10.262.575

Fuente: CAPECO, 2019.

2.4 Etanol a partir de caña de azúcar y maíz

En Paraguay existen actualmente 12 plantas de bioetanol, con una capacidad total de producción de 3140 millones de litros por año; incluyendo etanol anhidro (99,5 GL) y etanol hidratado (96 GL). Nueve plantas poseen la flexibilidad de utilizar caña de azúcar y/o granos como materia prima; mientras, tres de ellas, incluyendo una de propiedad de PETROPAR, producen etanol exclusivamente de caña de azúcar. La planta de menor capacidad produce 5 millones de litros por año, mientras que la más grande (INFASA) tiene una capacidad de producción de 150 millones de litros por año, aproximadamente (FAO, 2018).

El etanol producido a partir de caña de azúcar es una de las principales formas de biocombustibles producidos en Paraguay; sólo en 2014, 118 hectáreas de tierra fueron utilizadas para el cultivo de caña de azúcar, produciéndose más de 6,3 millones de toneladas (FAO, 2018). De acuerdo con el Ministerio de Industria y Comercio (MIC), el 44% del etanol producido en Paraguay en el 2016 fue de caña de azúcar, mientras que el resto fue producido a partir de granos (principalmente de maíz y algo de sorgo). En el 2014 estos porcentajes fueron opuestos. Dicho cambio o giro es el resultado de la Ley 5444 promulgada en el 2015, la cual establece que el bioetanol debe ser producido a partir de caña de azúcar, y una vez que no exista más disponibilidad de este, se podrán utilizar otras materias primas.

En el caso del etanol de maíz se producen; además, otros coproductos como el Aceite Crudo de Maíz (CMO) y los Granos Destilados Secos Solubles (DDGS, por su sigla en inglés), ambos utilizados como base para alimentación animal y fuente de proteínas. En el caso del etanol de caña de azúcar, los principales coproductos son el azúcar, cuando la destilería es anexa; y el bagazo que se utiliza principalmente, como combustible en la caldera para la producción de calor y generación de potencia. En algunas plantas de etanol, se procesa la vinaza y se obtienen otros coproductos como biogás o compost orgánico.

2.5 Política y legislación

Las leyes y decretos vigentes que apoyan la producción y consumo de biocombustibles líquidos para el transporte, específicamente; etanol y biodiesel son:

- Ley 2748/05 de "Fomento a los Biocombustibles", la cual define al biodiesel y al etanol, anhídrido e hidratado, como biocombustibles. Asimismo, a través de los decretos 7412/06 y 4952/10, que reglamentan la citada Ley, se establece el marco legal para la producción y uso de estos biocombustibles y sus materias primas. Estos decretos incluyen mecanismos de incentivos financieros para los productores y distribuidores.
- Ley 5444/15, que pretende promover el consumo de bioetanol. La ley impone que la caña de azúcar sea la materia prima prioritaria utilizada para la producción de etanol.
- Decreto 12240/08 por el cual se establece "Régimen de incentivos para fomentar el desarrollo de los biocombustibles en el país", dispuso que el etanol tribute 0% del Impuesto Selectivo al Consumo (ISC) y bajó las tarifas de importación de los vehículos Flex Fuel a cero para todos los vehículos del segmento.

2.6 Industria azucarera y alcoholera

La producción de caña de azúcar se encuentra concentrada en el centro Oriental del país donde se destacan la producción de los departamentos de Guairá, Caaguazú y Cordillera. El país cuenta con 11 ingenios industriales de los cuales 3 se dedican exclusivamente a la producción de alcohol, 4 a la producción de azúcar y alcohol, y los 4 restantes exclusivamente a la producción de azúcar (Centrón, 2011). En 2014, 118.000 hectáreas de tierra fueron utilizadas para el cultivo de caña de azúcar produciéndose más de 6,3 millones de toneladas (FAO, 2018). Actualmente Paraguay ocupa el primer puesto en el ranking mundial de exportadores de azúcar orgánica.

Tabla 8 Capacidad industrial de las industria azucarera y alcoholera

Industria	Molienda de caña de azúcar (t/día)	Producción de alcohol (l/año)	Producción de azúcar (t/año)
Az. Paraguay S.A.	7.000	28.000.000	281.190
Az. Friedmann S.A.	2.500		46.830
Az. Iturbe S.A.	3.500	15.000.000	131.040
Az.Guarambare S.A.	700	-	13.125
Az.La Felsina S.A.	700	-	12.230
Az. O.T.I.S.A.	480	-	9.030
INSAMA S.A.	500	-	9.450
Censi&Pirotta S.A.	400	-	7.560
San Luis S.A.	s.. d	15.000.000	-
PETROPAR	3.600	30.000.000	-
ALPASA	3.000	15.000.000	-
Total	22.380	103.000.000	510.455

Fuente: Centrón, 2011.

El principal destino de la caña de azúcar en el Paraguay sigue siendo las industrias azucareras, sin embargo, en los últimos años la utilización para la producción de alcohol ha ido en aumento, lo cual se debe principalmente a la Ley 2748/05 de "Fomento de los Biocombustibles".

Los principales residuos generados por las industrias azucareras alcoholeras son: el bagazo, la cachaza y la vinaza. Si bien, los datos relacionados a los residuos generados para la producción de azúcar y alcohol en el Paraguay son escasos; se estimó, para el año 2007 un total generado de 780.013 m^3 de vinaza por parte de las industrias productoras de alcohol, y un total generado de 15.587 toneladas de residuos de cachaza por parte de la industria azucarera. A pesar de que se generan

en grandes cantidades, todos estos residuos presentan la posibilidad de ser reutilizados y, si bien, estas prácticas se realizan en las industrias azucarera y alcoholera del Paraguay, dichos residuos no pueden ser reutilizados en su totalidad, debido a la gran cantidad que se generan. Por lo tanto, terminan siendo dispuestos sin haber sido aprovechados.

2.7 Industria Ganadera

En los últimos 30 años la producción de carne y leche se duplicó; así como los indicadores de niveles de producción, tales como tasa de extracción promedio de animales sacrificados y rendimientos de producción de leche por vaca lechera, se incrementaron alrededor del 65% y 25%, respectivamente. Aún más, la cantidad de coproductos agroindustriales disponibles se incrementó considerablemente en las últimas dos décadas, particularmente en las granjas lecheras de tamaño medio a grande (FAO, 2018).

En 2014 existían 14.465.582 cabezas de ganado, en el 2013 existían 13.376.456 cabezas de ganado y 373.600 toneladas de carne de vaca producida (FAO, 2018). Un estudio de la FAO – OCDE (junio, 2013) identificó el sector de la carne paraguaya como el de mayor potencial de crecimiento en el mundo para la próxima década, con un crecimiento estimado de 465 en la producción y 52% en las exportaciones. De acuerdo al "Reporte semestral de comercio y mercado internacional de carnes" del Departamento de Agricultura de los Estado Unidos (USDA), en el 2018 Paraguay ocupó el noveno lugar como país exportador de carne con 380.000 toneladas.

Actualmente existen 17 plantas frigoríficas habilitadas para la exportación. Se tratan de plantas modernas que operan de acuerdo con los estándares y normas internacionales bajo la supervisión del Servicio Nacional de Calidad y Salud Animal -SENACSA. (Asociación Rural del Paraguay, 2017). La capacidad de faena instalada se estima en 8.000 animales/día. Estas plantas sacrificaron más de 2 millones de vacunos en el 2016 para la exportación.

3. Residuos sólidos

La tasa promedio de generación de residuos sólidos municipales (RSM) es 1,04 kg/persona/día, variando entre 0,58 y 1,3 kg/persona/día.

Tabla 9. Indicadores de Residuos Sólidos de la República del Paraguay.

Año	Población país millones de hab	Tasa de generación kg/hab/dia	Tasa de generación kg/hab/año	Fracción orgánica
2010	6213403	0,81	295	62,7%
2011	6321048	0,81	297	62,0%
2012	6430663	0,82	300	61,3%
2013	6542610	0,83	302	60,7%
2014	6656475	0,83	304	60,1%
2015	6771647	0,84	307	59,6%
2016	6885213	0,84	307	59,1%
2017	6999290	0,85	310	58,6%

Nota: la fracción orgánica incluye residuos de alimentos, jardinería y madera. (Fuente: Lima Morra, 2018).

En términos generales, se puede afirmar que el 61% de los materiales presentes en los RSM, son orgánicos biodegradables, 9% plásticos, gomas y cueros y el 30% restante corresponde a la fracción inorgánica (OPS/OMS, 2001). Refiriéndose a datos

más actualizados, de acuerdo a estudios propios[4], los residuos sólidos a nivel país se caracterizan mediante los datos presentados en la Tabla N° 9.

4. Conclusión

El sector primario es el principal generador de recursos de biomasa en el Paraguay. La explotación de bosques, la agricultura y ganadería, producen cada año residuos orgánicos que presentan alto potencial energético, debido principalmente a la gran cantidad existente de los mismos. Siendo un país cuya economía se centra en actividades de recolección, extracción y transformación de sus recursos naturales, es inevitable la generación de biomasa como residuos. La implementación de técnicas para mejorar el aprovechamiento de la biomasa existente presenta el potencial de generar impactos positivos en varios sectores de la sociedad.

El consumo de leña a nivel residencial pertenece principalmente a familias rurales, que en su mayoría extraen leña para la cocción de sus alimentos y la calefacción de sus alrededores sin costo alguno, por lo tanto, difícilmente se producirá un cambio hacia otras fuentes de energía, aunque en varios casos dichas familias cuenten con energía eléctrica. El consumo de leña se podría reducir considerablemente al implementar técnicas y/o dispositivos de cocción que mejoren el rendimiento y reduzcan el consumo de leña; actualmente los sistemas utilizados son en su mayoría fogones o braseros muy precarios. Si bien existen iniciativas para difundir el uso de sistemas de cocina con bajo consumo de biomasa a precios accesibles, no están lo suficientemente difundidas como para causar impactos considerables sobre el consumo de recursos madereros. A pesar de que la leña y el carbón son ampliamente utilizados en el país, estos recursos siguen perteneciendo a un mercado con altos niveles de informalidad. Lo que complica cuantificar de manera exacta el consumo de los mismos.

Se considera importante que las instituciones directamente involucradas con el uso, comercialización y control de la biomasa para fines energéticos trabajen de manera coordinada. Tanto el VMME como el INFONA, deberán seguir interactuando con los diferentes actores públicos y privados para multiplicar sus esfuerzos en la sistematización de información y formalización del sector de consumo de biomasa sólida. Por otro lado, la industrialización y transformación de los productos obtenidos mediante la actividad primaria, ya sea en la industria cárnica, producción de azúcar y alcohol, molienda de granos, entre otros; son actividades económicas centrales en el país y también fuente importante de biomasa como resultado de sus procesos. Actualmente una gran cantidad de estos recursos no son aprovechados, y en muchas ocasiones son dispuestos en condiciones inadecuadas, generando impactos ambientales negativos.

5. Referencias

Almirón Espínola, P.C. (2018). Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra del Paraguay.

Atlas Mundial (2016). Top wood charcoal exporting and importing countries. Disponible en: http://www.worldatlas.com/articles/top-wood-charcoal-exporting-and-importing-countries.html

[4] Inventario de los indicadores de Residuos Sólidos: generación, recolección, composición, disposición final, quemado, incineración, para el periodo 1990 al 2015, para el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero – INGEI (MADES/DNCC) 2018. Lima Morra, Roberto.

Asociación Rural del Paraguay (2017). Introducción a Paraguay y su Sector Cárnico. Recuperado de https://www.arp.org.py/images/Paraguay-y-el-Sector-Carnico.pdf

CAPECO, Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas. Recuperado de http://capeco.org.py/.

Centrón, M (2011). Estudio de potencial de mitigación de GEI en las industrias azucareras y alcoholeras del Paraguay, pp.13 – 25. Recuperado en Junio de 2019 de http://biblioteca.seam.gov.py/wp-content/uploads/2017/11/potencial-de-mitigaciu00f3n-de-geis-en-las-industrias-azucareras-y-alcoholeras-del-paraguay.pdf

Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos. (2017). Compendio Estadístico Ambiental. Recuperado de: https://www.dgeec.gov.py/Publicaciones/Biblioteca/compendio_ambiental2017/compendio_estadistico_ambiental_2017.pdf

FAO (2006). Country Pasture/Forage Resource. Profile 2006. Recuperado en Junio 2019 dehttp://www.fao.org/ag/agp/AGPC/doc/Counprof/Paraguay/paraguay.htm

GIZ (2011). Situación Energías Renovables en el Paraguay, págs.15-18, 20-28. Bell, C., Puentes, D., Candia, R., Domaniczky, P., Estigarribia, S., Pulfer, J.C., et al. (2011). Fecha de Consulta: Junio, 2019. Recuperado de https://www.ssme.gov.py/vmme/pdf/libroenergia.pdf

Global Forest Coalition, (2014). A Global Overview of Wood Based Bioenergy: Production, Consumption, Trends and Impacts. (https://globalforestcoalition.org/wp-content/uploads/2010/06/REPORT-WOOD-BASED-BIOENERGY-FINAL.pdf)

Gómez Leguizamón, C.M. (2016). Estimación de Gases de Efecto Invernadero emitidos por el sector soja en Paraguay. Tesis de grado. Ingeniería Ambiental. Facultad de Ciencias Agraria. Universidad Nacional de Asunción.

Guillen, G. y Escurra, V., (2016). Estudios de equivalencia de productos forestales. Instituto Forestal Nacional. Dirección de Comercio e Industrias Forestales.

Guyra Paraguay, 2016. Monitoreo Ambiental del Chaco Sudamericano 2016. Informe Técnico: Resultados del Monitoreo de los Cambios de Uso de la Tierra, Incendios e Inundaciones en el Gran Chaco americano.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) (2008). Censo Agrícola 2008. Recuperado de http://www.arp.org.py/images/files/CENSO%20AGROPECUARIO%202008.pdf

MOPC, VMME y GIZ (2013) - Producción y consumo de biomasa sólida en Paraguay. Proyecto de mejoramiento de la base de datos para una política energética más sustentable en Paraguay. Recuperado en Junio de 2019 de: https://www.ssme.gov.py/vmme/pdf/biomasa/base/37.%20Produccion%20y%20Consumo%20Biomasa%20(1).pdf

Neufeld, F. y Quinteros, M., (2007). Determinación de la biomasa área total y por especie del bosque nativa del Chaco Central. Carrera de Ingeniería Forestal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. (Tesis).

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Capítulo 2; Parra, G. et al (2018). Sostenibilidad de la biomasa forestal para energía y del etanol de maíz y caña de azúcar en Paraguay. Pp. 13 – 31. Recuperado en Junio 2019 de http://www.ceamso.org.py/upload/publicaciones/1528296860.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2018) Capítulo 4; Ramírez Haedo, D. et al. Sostenibilidad de la biomasa forestal para energía y del etanol de maíz y caña de azúcar en Paraguay, pp. 86 – 93. Recuperado en Junio 2019 de http://www.ceamso.org.py/upload/publicaciones/1528296860.pdf

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar I- Recursos, 2020: 39-57
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editores: S. Manrique y Y. Torreiro Villarino

I.3. Recursos de biomasa en Brasil

Lidiane La Picirelli de Souza[1], José C.Escobar Palacio[1*], Electo Eduardo Silva Lora[1*]

1 Instituto de Ingeniería Mecánica, Universidad Federal de Itajubá, Av BPS 1303, CP50, 37500-903, Itajubá-MG, Brasil

RESUMEN. La mayor inclusión de la biomasa como estrategia para el crecimiento de la generación de energía, es llevada a cabo en su planificación energética por muchos gobiernos, lo que significa que será necesaria una mayor movilización de los recursos de biomasa para satisfacer su creciente demanda. Brasil tiene estrategias para aumentar la participación de la bioenergía en su matriz energética, además, de tener condiciones favorables para un uso más amplio de la bioenergía. Este capítulo presenta una visión general de los recursos de biomasa y el uso de bioenergía en Brasil. La biomasa tiene una participación del 25,8% en la matriz energética y del 8,6% en la matriz eléctrica, sin embargo, debido al crecimiento de la demanda energética en el país, la perspectiva es que estos valores sean aún más altos. En vista de estos hechos, se identificaron los cultivos más prometedores para generar energía a través de sus residuos. En general, se describen estos cultivos, su producción anual, volumen de residuos y su potencial teórico de energía anual.

* Correspondencia: Dr. Electo Silva Lora, E-mail: electo@unifei.edu.br

1. Biomasa en los diversos sectores productivos de Brasil

La transición de los combustibles fósiles para las energías renovables es reconocida internacionalmente como fundamental para abordar los desafíos relacionados con la seguridad energética y los problemas ambientales que enfrenta la sociedad actual (Chapman et al., 2018). En la última década, las fuentes de energía renovables (por ejemplo, energía eólica, biomasa, energía hidroeléctrica, energía solar, geotérmica y oceánica) se han convertido en alternativas prometedoras (Ewertowska, et al., 2016).

Brasil tiene condiciones favorables para la producción de biomasa y bioenergía en gran escala, tales como: vasta extensión territorial, parte del territorio brasileño se encuentra en la región tropical y lluviosa, abundancia de desechos vegetales, animales y urbanos, y de diferentes categorías. plantas y semillas oleaginosas, además de la vasta experiencia en el uso de este tipo de energía, como la producción de etanol y la consecuente cogeneración (Brasil, 2007).

Dada esta realidad, y con la intención de alcanzar los objetivos de reducir las emisiones de GEI y promover la seguridad energética, una de las pautas propuestas por el gobierno brasileño es aumentar la participación de la bioenergía en la matriz energética nacional (MME, 2016). Estas características hacen de Brasil un país con

un gran potencial para la producción de biomasa, y en consecuencia, un gran potencial para la producción de energía. Además, la biomasa tiene un papel fundamental en relación con la sostenibilidad, ya que es una de las formas más eficientes de secuestrar carbono de la atmósfera. Es preciso destacar también la alta productividad de las cultivos energéticos, así como la gran disponibilidad de tierra para plantío en Brasil, que hoy se utilizan en gran parte como áreas de pasto degradadas (aproximadamente 50 millones de hectáreas) (Holman, et al., 2015).

En Brasil, la biomasa se utiliza como fuente de energía de varias maneras (Castilla, 2016):

- Para la producción de biocombustibles, especialmente etanol a partir de caña de azúcar;
- Uso directo como fuente de energía térmica, como la leña parra cocción de alimentos y el carbón vegetal, que se usa ampliamente en la industria siderúrgica brasileña y especialmente en la producción de hierro fundido;
- Fuente de energía para la cogeneración: cuando se producen dos o más fuentes de energía de forma simultánea y secuencial. El proceso más común es la producción de calor y electricidad en los fabricas de azúcar y alcohol, las fábricas de celulosa y de jugos cítricos.

1.1 La matriz energética y el uso de biomasa

La matriz energética de Brasil se encuentra entre las más renovables del mundo. En Brasil, en 2018, la biomasa tenía una participación del 25.8% en la matriz energética, era la segunda fuente principal de energía, solo superada por el petróleo y los productos derivados del petróleo. Según la Tabla 1, el tipo de biomasa más utilizado para la generación de energía en Brasil sigue siendo la biomasa de la caña de azúcar, ya que además de la participación significativa de la generación de electricidad en las plantas, a través de la cogeneración, es también fuente de energía para la producción de etanol, que tiene una gran participación como combustible para el transporte en el país.

Tabla 1. Producción de Energía Primaria entre los años 2009 y 2018

Fuentes (%)	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Energía no renovable	53,2	55,3	56,5	58,2	59,5	60,6	58,7	56,5	57	54,8
Petróleo y derivados	38,0	37,9	38,6	39,3	39,3	39,4	37,3	36,5	36,2	34,5
Gas natural	8,8	10,2	10,2	11,5	12,7	13,5	13,7	12,3	12,9	12,4
Carbón mineral y coque	4,6	5,4	5,7	5,4	5,6	5,7	5,9	5,5	5,7	5,8
Uranio	1,4	1,4	1,5	1,5	1,4	1,3	1,3	1,5	1,4	1,4
Otras no renovables	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Energía renovable	46,8	44,7	43,5	41,8	40,5	39,4	41,3	43,5	43	45,2
Hídrica	15,2	14,0	14,7	13,8	12,5	11,5	11,3	12,6	11,9	12,6
Leña y carbón vegetal	10,1	9,7	9,5	9,1	8,3	8,2	8,3	8	8,2	8,4
Derivados de la caña de azúcar	18,1	17,5	15,7	15,4	16,1	15,8	16,9	17,4	17,0	17,4
Eólica	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,6	1,0	1,2	1,4
Solar	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Otras renovables	3,3	3,4	3,5	3,4	3,4	3,7	4,2	4,5	4,7	5,3

Fuente: EPE, 2019.

La biomasa en Brasil se utiliza en una amplia gama de sectores de la sociedad. Las aplicaciones de la biomasa van desde la generación de energía hasta sectores

residenciales, industrias, transporte, agricultura, entre otros. Para presentar la importancia de la biomasa en los diferentes sectores de la economía, así como su papel en la matriz energética nacional, la Tabla 2 presenta la composición sectorial del consumo final de biomasa entre los años 2009 a 2017.

Tabla 2. Composición Sectorial del Consumo Final de Biomasa

Sectores (%)	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**
Sector energético	18,2	17,9	15,5	15,7	17,5	17,5	17,6	16,7	16,1	18,9
Residencial	12,1	10,9	10,4	10,4	8,8	9,2	9,1	8,9	8,7	8,7
Comercial y público	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Agropecuario	3,9	3,9	4,1	4,0	4,2	4,2	4,4	4,1	4,7	7 4,6
Transportes	19,1	19,0	18,4	17,4	19,6	21,2	24,0	22,4	22,6	22,6
Industrial	46,5	48,0	51,2	52,3	49,6	47,5	44,6	47,8	47,5	41,9
Cemento	0,1	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3
Hierro fundido y acero	4,1	4,7	5,2	5	4,3	4,2	4,0	3,4	3,5	3,5
Aleaciones	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,7	0,6
Química	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Alimentos y bebidas	27,1	27,3	28,7	30,1	27,9	25,8	23,7	26,9	26,2	20,4
Textil	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Papel y celulosa	9,8	10,0	10,7	10,4	10,7	11,0	11,3	12,2	12,5	12,9
Cerámica	3,2	3,3	3,7	3,8	3,9	3,8	3,2	2,9	2,9	2,8
Otros	1,2	1,3	1,4	1,4	1,3	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1

Fuente: EPE, 2019.

1.2.La matriz eléctrica y la bioelectricidad en Brasil

En el escenario mundial actual, el sector eléctrico brasileño tiene una de las tasas de participación más altas de la energía proveniente de fuentes renovables en el planeta. En 2018, el suministro interno de electricidad fue de 601,396 GWh. Por fuentes, destacan los aumentos en la participación de la energía eólica, el gas natural y la hidráulica. El predominio de la generación hidráulica se acentuó más en 2018, alcanzando el 64,7%, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Matriz eléctrica de Brasil entre los años 2014 y 2018.

	2014	2015	2016	2017	2018	Δ% (2018/2017)
Total (GWh)	590.542	581.228	578.898	589.327	601.396	0
Hidráulica	63,2%	61,9%	65,8%	62,9%	64,7%	4,9%
Gas Natural	13,7%	13,7%	9,8%	11,1%	9,1%	-16,7%
Derivados de Petróleo	5,2%	4,3%	2,0%	2,1%	1,5%	-25,4%
Carbón mineral	3,1%	3,2%	2,9%	2,8%	2,4%	-12,6%
Nuclear	2,6%	2,5%	2,7%	2,7%	2,6%	-0,4%
Biomasa	7,6%	8,2%	8,5%	8,6%	8,6%	2,2%
Eólica	2,1%	3,7%	5,8%	7,2%	8,1%	14,4%
Otras	2,4%	2,5%	2,4%	2,6%	3,0%	19,8%

Fuente: EPE, 2019.

El uso de biomasa como fuente de energía eléctrica ha crecido en Brasil, principalmente en sistemas de cogeneración (a través de los cuales es posible obtener energía térmica y eléctrica) en los sectores industrial y de servicios. Entre

las fuentes internas de energía, la biomasa solo fue superada por la hidroelectricidad, con una participación del 64,7% en la matriz eléctrica.

Tabla 4. Matriz eléctrica proveniente de biomasa en Brasil

Fuente	N° de centrales termoeléctricas	(KW)	%*
Bagazo de caña de azúcar	405	11.461.702	6,4252
Biogás-Agrícola	3	7951	0,0045
Hierba elefante	2	31.700	0,0178
Cascara de arroz	13	53.333	0,0299
Etanol	1	320	0,0002
Aceites vegetales	2	4.350	0,0024
Carbón vegetal	8	48.197	0,0270
Gas de alto horno - Biomasa	12	127.705	0,0716
Leña	7	82.215	0,0461
Licor Negro	18	2.530.719	1,4187
Residuos forestales	54	419.197	0,2519
Biogás – Residuos agroforestales	14	4.481	0,0025
Biogás – Residuos urbanos	22	172.787	0,0969
Carbón – (Residuos urbanos)	3	8.250	0,0046

*- Porciento de la potencia total instalada en el sistema (Fuente: Aneel, 2020).

Según la Aneel (2020), actualmente en Brasil hay 564 proyectos termoeléctricos en operación que usan biomasa como combustible con una capacidad instalada de más de 14GW. La biomasa de la caña de azúcar, esencialmente el bagazo, es el principal combustible de 405 plantas termoeléctricas, con una potencia de aproximadamente 11 GW. Las plantas termoeléctricas de licor negro suman 18 proyectos, con 2.5 GW de potencia. Las centrales que consumen leña de bosques energéticos están actualmente incluidas en la categoría de residuos forestales, junto con las empresas más pequeñas que consumen residuos de la industria maderera en forma de astillas o aserrín. Los altos hornos en el sector del acero consumen carbón vegetal para reducir el mineral de hierro y utilizan el gas combustible resultante a altas temperaturas para la generación de electricidad a través de la cogeneración dirigida al autoconsumo. La Tabla 4 muestra los proyectos de biomasa, en operación en Brasil (Aneel, 2020).

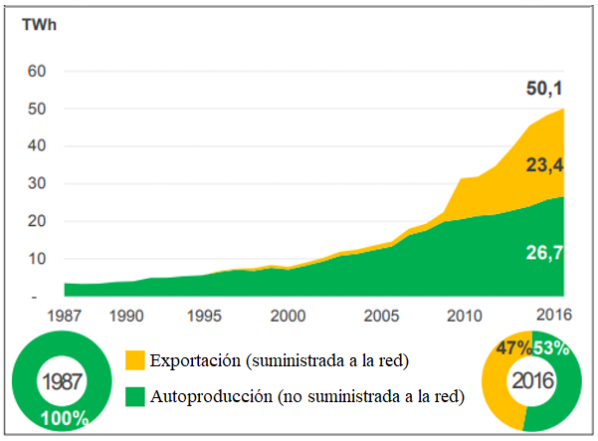


Figura 1. Oferta de bioelectricidad (biomasa total) (Fuente: EPE, 2016).

En los últimos 30 años, la participación de la bioelectricidad en la matriz eléctrica nacional ha sido notable. Los datos del Balance Nacional de Energía (EPE, 2016) muestran que, a fines de la década de 1980, toda la bioelectricidad generada (3.5 TWh en 1987) estaba destinada al autoconsumo por las unidades de producción. Con la posibilidad de realizar subastas de energía, basadas en un nuevo marco regulatorio para el sector eléctrico, en 2004, se puede observar que hubo un

crecimiento significativo en la exportación de electricidad, que se volvió aún más expresiva a partir de 2009. En 2016, aproximadamente el 50% de la electricidad generada a partir de biomasa, se exportó al Sistema Interconectado nacional. La Figura 1 muestra el crecimiento del suministro de bioelectricidad a partir de biomasa.

2. Disponibilidad de recursos

Brasil posee excelentes características edafoclimáticas, lo que le permite tener diferentes usos de la tierra en su territorio, con una fracción considerable dedicada a la agricultura y a la silvicultura, y que las fuentes de biomasa prosperen de manera integral y competitiva. Dadas estas características, el uso de biomasa se considera una alternativa prometedora para el futuro energético sostenible. Alrededor del 30% de la tierra está ocupada por propiedades rurales, según datos de la Corporación Brasileña de Investigación Agrícola, Embrapa. Sin embargo, al analizar solo la parte ocupada por los cultivos, este porcentaje es del 7,8%, es decir, Brasil todavía tiene muchas tierras agrícolas disponibles, sin afectar la superficie ocupada por los bosques y las áreas de preservación, como se puede ver por los datos de ocupación del suelo. La Figura 2 a continuación muestra, de manera sintética y resumida, las fracciones de los diferentes usos y ocupación de la tierra en Brasil.

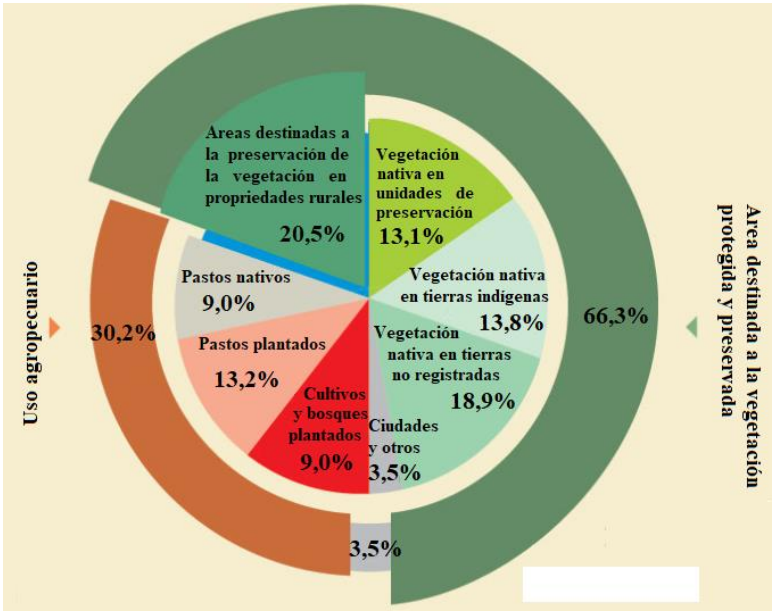


Figura 2. Cuantificación territorial de los diferentes usos y ocupación de las tierras en Brasil (Fuente: GITE/Embrapa, 2017).

Brasil es un país que ya tiene producción de biomasa suficiente para un enorme potencial de uso, tanto para generar energía eléctrica como para otras formas de producción de energía derivadas de la biomasa. Las condiciones naturales y geográficas son favorables, hay una gran cantidad de biomasa disponible para la producción de energía, que además de aliviar los problemas relacionados con la eliminación de estos residuos, aún sería viable para aliviar las adversidades causadas por el uso de combustibles fósiles.

El sector del azúcar y el alcohol está bastante avanzado en términos de opciones económicamente viables para el desarrollo de rutas tecnológicas para la recuperación y transporte de biomasa residual de los cultivos, y puede servir como núcleo principal para la consolidación de un mercado de producción de energía, aprovechando la recuperación de residuos de otros cultivos agrícolas.

2.1 Selección de los cultivos (residuos agrícolas) con mayor potencial para la generación de energía.

La agricultura genera una serie de beneficios para el país, tales como la creación de empleos, la contribución al desarrollo, la alimentación, y el crecimiento económico; sin embargo, también tiene impactos en el medio ambiente. Uno de los problemas actuales en la agricultura y los agronegocios asociados es la generación de residuos y su posterior destino y / o tratamiento. Los impactos ambientales asociados con estos residuos se caracterizan por una alta generación en términos cuantitativos y una degradabilidad lenta en ciertos casos y, en otros, por la generación de subproductos que pueden ser tóxicos, acumulativos o difíciles de degradar (Malheiros y Paula Júnior, 1997) .

Los desechos agrícolas se refieren a todo el material que se deja en el campo durante el proceso de cosecha de los cultivos, constituido por paja, tallos y hojas en general, y también hay desechos agroindustriales, resultantes del proceso de procesamiento de algunos cultivos, por ejemplo la cáscara de arroz y la semilla de algodón (Almeida, 2010). Según Matos (2005), la producción de residuos agrícolas es variable, ya que depende de la especie cultivada, su destino, las condiciones climáticas y la fertilidad del suelo, entre otros.

Los residuos agrícolas pueden tener un gran potencial para ser utilizados en la producción de energía, por ejemplo, residuos de cultivos agrícolas y su procesamiento, cáscaras de frutas, cereales, bagazo, residuos de huertos de poda y viñedos, resíduos de madera, entre otros. Los residuos forestales, por otro lado, consisten en todo el material descartado durante la recolección de madera, tanto en bosques naturales y bosques resultantes da reflorestación, y por el aserrín y las virutas producidas en el procesamiento de la madera. Los residuos que quedan en el sitio de recolección son las hojas, las ramas y el material resultante de la eliminación de la corteza (Cortez et al., 2008). Los desechos leñosos y agrícolas están disponibles en grandes cantidades y proporcionan un potencial considerable para la producción de energía.

En el contexto de esta evaluación del potencial de la biomasa como recurso energético, considerando los recursos, el suministro y los usos, cuyo enfoque es la disponibilidad de biomasa combustible para la generación termoeléctrica, para subsidiar un plan de energía enfocado en la generación de electricidad para o Brasil, centraremos nuestra atención en las fuentes de biomasa de una escala compatible con la integración en el sistema eléctrico y en los cultivos que son mas representativos en la producción agrícola del país.

Para evaluar qué cultivos son los de mayor potencial para la generación de energía en Brasil, se decidió utilizar el Diagrama de Pareto, ya que permite la concentración de esfuerzos en las áreas donde se pueden obtener las mayores ganancias (Werkema, 1995). El uso de esta herramienta de apoyo a la decisión permite un mayor consenso y coherencia en la elección de las principales culturas, ya que Brasil tiene una gran diversidad de cultivos.

Se seleccionaron los 20 cultivos más representativos en Brasil, que son: caña de azúcar, soja, maíz, mandioca, eucalipto, algodón, arroz, trigo, sorgo, coco, pino, frijoles, maní, avena, palma, café, cebada, centeno. El parámetro utilizado en el diagrama fué el potencial energético teórico, ya que esta es la variable de interés. Se seleccionaron cultivos que impactan hasta el 95% del potencial energético en

cuestión. Según la Figura 3, los cultivos de mayor potencial en Brasil para la generación de energía son: caña de azúcar, soja, maíz, yuca, eucalipto, algodón y arroz.

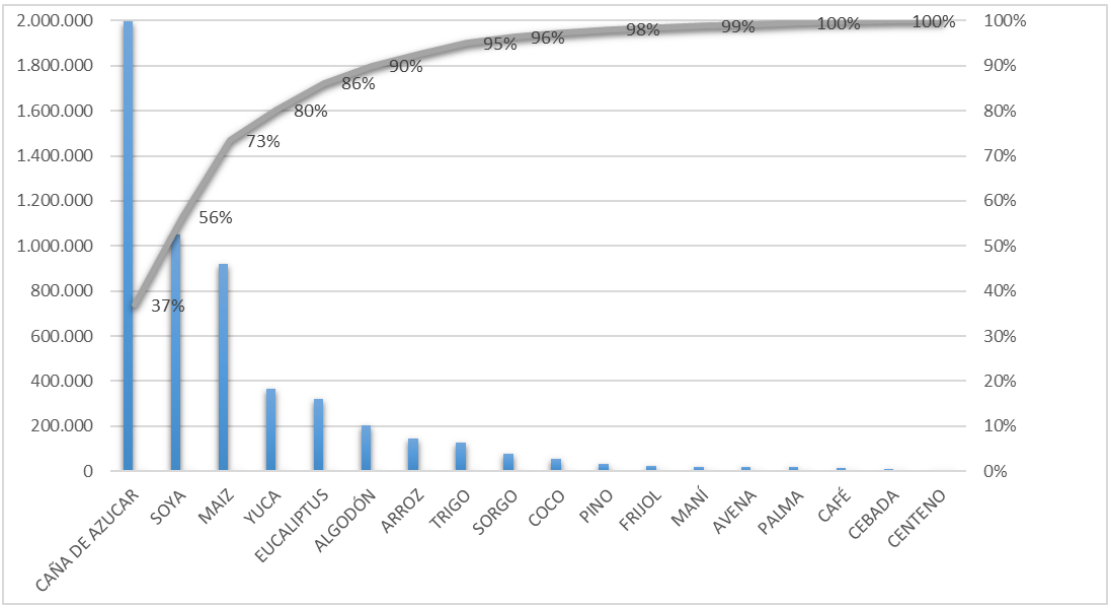


Figura 3. Diagrama de Pareto para la energía proveniente de residuos agroforestales.

2.2 Recursos forestales.

Eucaliptus

La productividad forestal brasileña es la más alta del mundo, debido a las condiciones naturales favorables y, también, al esfuerzo técnico y científico realizado por las instituciones y empresas del sector forestal. Esta condición garantiza ciclos de producción más cortos, de 7 a 8 años, en comparación con otros países. Las dos especies principales cultivadas en la silvicultura brasileña son el eucalipto y el pino. Los principales usos de esta actividad forestal son la producción de celulosa y papel, carbón y madera para otros fines. La Figura 4 muestra los valores promedio de productividad de eucalipto y pino, en Brasil y en algunos países con actividad forestal importante.

En la generación de energía, la madera de eucalipto es de gran importancia en los sectores comercial, industrial y residencial. El carbón vegetal es una excelente materia prima para la industria siderúrgica brasileña, debido a su valor como combustible, alto grado de pureza y bajo costo de producción, además de ser un producto renovable y ecológico cuando proviene de bosques plantados (Frederico, 2009). En general, se critican los efectos sobre el suelo (empobrecimiento y erosión), el agua (impacto sobre la humedad del suelo, acuíferos y aguas subterráneas) y la baja biodiversidad observada en los monocultivos. Sin embargo, algunos autores suponen que las plantaciones de eucalipto no pueden aceptarse en regiones donde el volumen de lluvia es inferior a 400 mm / año, además de que pueden conducir a la perdida de humedad del suelo. En las regiones donde el suelo antes de la siembra ya estaba degradado o tenía bajos niveles de fertilidad, las plantaciones de eucalipto pueden aumentar la cantidad de humus en el suelo, mejorando las condiciones de fertilidad del mismo (Vital, 2007).

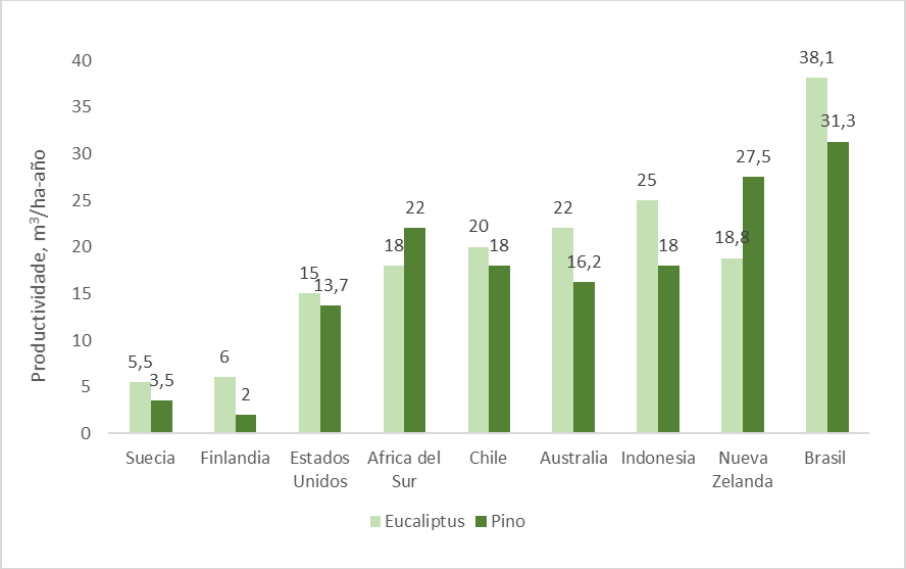


Figura 4. Productividad del eucaliptus y del pino, en Brasil y en países seleccionados (Fuente: Tolmasquim, 2016)

La industria brasileña de eucaliptus plantado es actualmente una referencia mundial por su desempeño basado en la sostenibilidad, competitividad e innovación, ya que esta cultura está orientada a la producción de celulosa, papel, paneles de madera, pisos laminados, carbón, planta y biomasa (Iba, 2017).

Productos y subproductos

El parque industrial brasileño, relacionado con el eucalipto, está muy diversificado. Se destacan las industrias de pulpa, paneles, madera aserrada, madera contrachapada y remanufactura de madera, además de los siguientes residuos:

- Los desechos industriales y de la madera se clasifican en aserrín, virutas, pedazos de madera, corteza y otros, y se generan desde el transporte de madera en toras a la industria, hasta su manipulación y procesamiento, terminando en el producto terminado (Wiecheteck, 2009).
- Residuos en la industria de la madera (aserradero y madera contrachapada): una parte de los residuos generados en la industria maderera se destina a la producción de productos con mayor valor agregado, como carbón, cables, briquetas y envases. En algunos casos, se realiza la quema directa en calderas y hornos artesanales.
- Desechos en la industria de la pulpa y el papel: el uso de estos desechos generalmente está más organizado. Utilizan corteza y residuos de madera de la cosecha como astillas. Varias empresas del segmento utilizan lodos industriales para producir fertilizantes.
- Desechos en la industria de paneles de madera: utiliza los desechos como parte de la producción de sus productos fabricados de fibra de madera.

2.3 Recursos correspondientes a los residuos agrícolas

Caña de azúcar

La caña de azúcar *(Saccharum officinarum*) se considera una de las grandes alternativas para el sector de los biocombustibles debido a su gran potencial para la producción de etanol y sus respectivos subproductos. Brasil es el mayor productor mundial de caña de azúcar, y este cultivo es de gran importancia para el agro

negocio brasileño. El aumento de la demanda mundial de etanol a partir de fuentes renovables, combinado con grandes áreas cultivables y condiciones edafoclimáticas favorables para la caña de azúcar, hacen de Brasil un país prometedor para la exportación de productos derivados de la misma (Conab, 2018). El área total de cultivo de caña de azúcar en la cosecha 2017/2018 correspondió a 8,729.5 mil hectáreas, para una producción total de 633,261.9 mil toneladas. La principal región productora es el Sudeste, liderada por el estado de São Paulo, que fue responsable por 4,558.4 mil toneladas.

Productos y subproductos:

El jugo de caña de azúcar, la melaza, el bagazo, las puntas y las hojas se consideran los productos primarios, y el alcohol anhidro e hidratado son los productos secundarios. Las unidades de producción han tratado de operar de manera más eficiente, incluso en la generación de electricidad, ayudando a reducir costos y contribuyendo a la sostenibilidad de la actividad. El bagazo, residuo de la producción de azúcar y etanol, es una de las fuentes importantes de energía renovable en las unidades industriales de la caña de azúcar, y se utiliza en la producción de bioelectricidad, parte de la cual se utiliza para servir a la unidad industrial y el excedente es exportado a la red de distribución. La Figura 5 presenta el mapa de la producción de caña de azúcar en Brasil. La mayor concentración de plantaciones de caña de azúcar se concentra en el centro-oeste del estado de São Paulo y la región costera del nordeste.

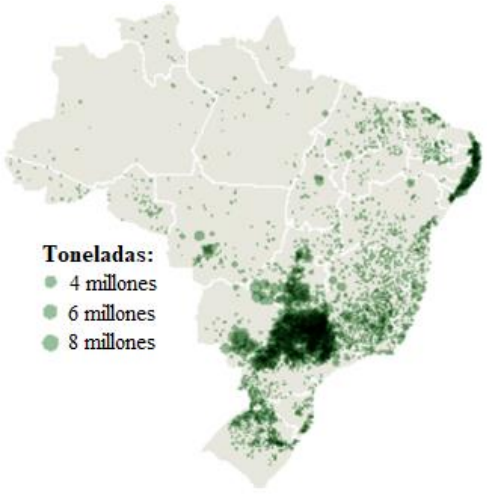


Figura 5. Plantaciones de caña de azúcar en Brasil (Fuente: IBGE, 2015).

Arroz

El arroz posee dos especies: *Oryza glaberrima* y *Oryza sativa*, y alimenta a más de la mitad de la población humana en el mundo (Brasil, 2007). La industria arrocera en Brasil está altamente calificada, con un alto estándar tecnológico e innovador y que se rige por los estándares internacionales de suministro de alimentos más rigurosos. El grano brasileño tiene una alta calidad, siendo un diferencial en el comercio mundial, con presencia establecida en más de 70 países en África, América del Sur, el Caribe, Medio Oriente y Europa (Brazilian Rice, 2015). El área total de cultivo de arroz en la cosecha 2017/2018 correspondió a 1,972.1 mil hectáreas, con una producción total de 12,064.2 mil toneladas. La principal región productora es el Sur, liderada por el estado de Rio Grande do Sul, que fue responsable de 8.460.200 toneladas. Otros estados con cultivo expresivo son: Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Paraná, Sergipe, Bahía (Conab, 2018).

Productos y subproductos

Los principales subproductos del arroz son:
• Cáscara de arroz: la cáscara es un residuo agroindustrial de los procesos de descascarado y separación durante el procesamiento del arroz, que se utiliza en parte en la unidad de procesamiento y representa aproximadamente el 20% de la masa de arroz (Pandey, 2000). La ruta más utilizada en Brasil para generar energía a partir de la cáscara de arroz es la combustión directa. El calor generado en la quema controlada de la cáscara del arroz puede usarse directamente en el secado del arroz, a través de los gases calientes utilizados en un secador o para la producción de vapor y su posterior uso en el secado y la parborización del grano (Mayer, 2006).
• Paja de arroz: la paja se compone de los tallos y las hojas de la planta que se desecharon en el campo después de la cosecha del arroz. Su uso como biomasa para la generación de electricidad y produccion de biocombustibles es posible, especialmente debido a la gran cantidad producida en el campo. En el pasado, se quemaba la paja en los campos después de la cosecha a fin preparar el suelo para la próxima siembra, sin embargo, la legislación brasileña prohibió esta actividad, y el residuo comenzó a incorporarse al suelo, lo que dependiendo del manejo del suelo y de la cantidad utilizada puede reducir la productividad del arroz de regadío.

La Figura 6 muestra el mapa de la producción de arroz en Brasil. La mayor concentración de siembra de arroz se encuentra en la región sur. El estado de Tocantins también tiene importancia en la producción de arroz, sin embargo, es del tipo de secano, donde no hay necesidad de riego.

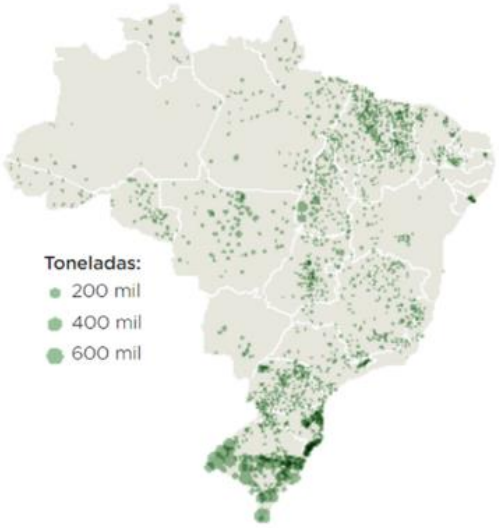


Figura 6. Mapa de la producción agrícola del arroz (Fuente: IBGE, 2015).

Soya

La soja (*Glycine max* l.) es un cultivo agrícola de gran interés mundial gracias a la versatilidad de aplicación de sus productos en la nutrición humana y animal y su valor económico en los mercados nacionales e internacionales. Brasil se encuentra entre los mayores productores de soja del mundo, siendo esta leguminosa cultivada en varias regiones del país (Melo et al., 2004). En los últimos 20 años, la agricultura de soja ha duplicado su área de cultivo debido a la alta demanda del sector productivo y al crecimiento mundial en el consumo de este grano por parte de humanos y animales. El productor ha utilizado todos los medios para aumentar el uso de la tecnología, a fin de reducir sus costos, aumentar su productividad y, por lo

tanto, mejorar su rentabilidad. Así, la productividad de la soja aumentó de 2.823 kg / ha en la cosecha 2006/07 a 3.394 kg / ha en la cosecha 2017/18, un aumento del 20%. La soja se cultiva en todas las regiones de Brasil, aunque predominantemente en las regiones del Medio Oeste y del Sur, siendo Mato Grosso el mayor productor del país, con una producción de 32,306.1 mil toneladas. La soja total producida en 2018 fue de 119,281.7 mil toneladas.

Productos y subproductos

La soja es la principal responsable de la producción de diversos productos alimenticios (leche, salsa de soja, proteínas texturadas, harinas, entre otros), productos de la industria química (cosméticos, fibras, jabón, industria farmacéutica), piensos para ganado (es una fuente de proteínas de bajo costo). La soja es responsable por más del 82% de la producción de biodiesel en Brasil, según la Agencia Nacional de Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles. Sin embargo la producción de soya para combustible es solo el cuarto producto, detrás del grano para exportación, harina y aceite de cocina.

En cuanto a los residuos generados por el cultivo de este grano, los más expresivos se producen al momento de la cosecha y limpieza de los granos, cuando se generan diferentes residuos, entre los que destaca la vaina o cáscara de soja (Guimarães, 2017). La Figura 7 muestra el mapa de la producción de soja en Brasil. La mayor concentración de siembra se encuentra en el Sur. El estado de Mato Grosso se tiene la mayor producción, sin embargo, el cultivo está más disperso.

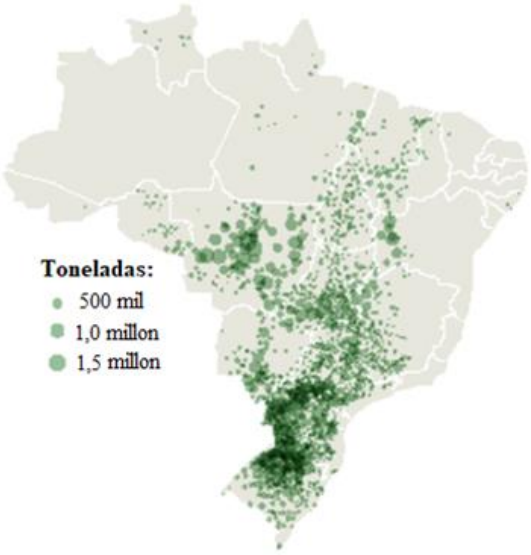


Figura 7. Mapa de la producción agrícola de soya (Fuente: IBGE, 2015).

Algodón

El algodón herbáceo (*Gossypium hirsutum L. r.* Latifolium Hutch) es una planta de origen tropical, siendo los tres mayores productores: Estados Unidos, Comunidad Europea y China (Sousa, et al. 2008). Actualmente, la cultura nacional del algodón está liderada por dos regiones: el Medio Oeste y el Nordeste (principalmente el Cerrado de Bahía), con el 27% del total.

La región del Medio Oeste es la principal región productora de algodón, seguida de la región Nordeste. Mato Grosso es el principal estado productor de Brasil, con una

cosecha anual de 3,225.5 mil toneladas y una productividad de 4,1 t / ha. La produção anual en Brasil em 2018 fue de 5,012.9 mil toneladas.

Productos de algodón y subproductos

Los residuos de algodón que se estudiarán en este trabajo son solo los residuos agrícolas, es decir, los tallos, trocos y hojas de algodón. La elección de estos residuos y la exclusión de residuos agroindustriales se debe al hecho de que existe una mayor competencia por las semillas de algodón, que son semillas oleaginosas y pueden tener varios destinos, incluida la producción de biodiesel. La Figura 8 muestra el mapa de la producción de algodón en Brasil. La mayor concentración del cultivo de algodón se encuentra en el centro de Mato Grossso y en el oeste de Bahía.

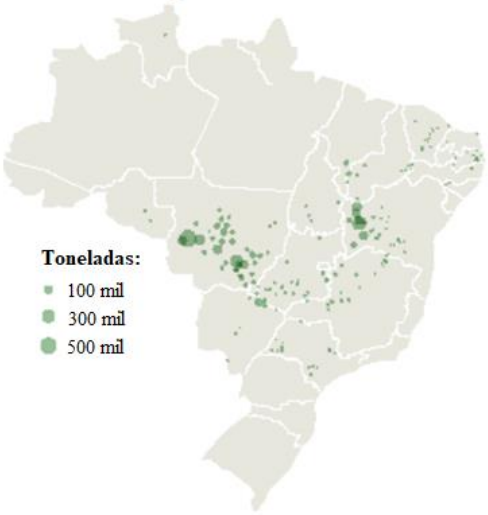


Figura 8. Mapa de la producción agrícola del algodón (Fuente: IBGE, 2015).

Yuca

La yuca (*Manihot esculenta* crantz) es una planta nativa de Brasil reconocida como un cultivo con bajos costos de producción, resistente a las plagas, fácil de adaptar a las condiciones climáticas y de alto valor energético, siendo este último un factor de subsistencia y seguridad alimentar, como fuente principal de carbohidratos en la dieta de muchos brasileños (Martínez, 2016). La yuca tiene un gran valor económico y social para Brasil, siendo el Nordeste de Brasil la segunda región de producción más grande y con un gran valor social, ya que la mayor parte de la producción se deriva de la agricultura familiar, lo que la convierte en una producción de subsistencia (Silva , 2016). La Región Norte es el mayor productor, con una producción anual de 7,434.8 mil toneladas y una productividad de 15.3 t / ha. La producción en Brasil en 2018 fue de 20,606.0 mil t.

Productos y residuos

La cultura de la yuca se destaca por permitir el uso completo de la planta, proporcionando productos tanto la parte aérea como la raíz. Las hojas trituradas están destinadas a la alimentación animal, e también sirven como alimento humano, en forma de suplementos de proteínas en mezclas de alimentos. Sus tallos se utilizan en la alimentación animal, en la producción de ensilaje, heno y consumidos ‘‘in natura’’ (Sebrae, 2015). La Figura 9 muestra el mapa de producción de yuca en Brasil. La mayor concentración de cultivos de yuca se encuentra en la Región Sur.

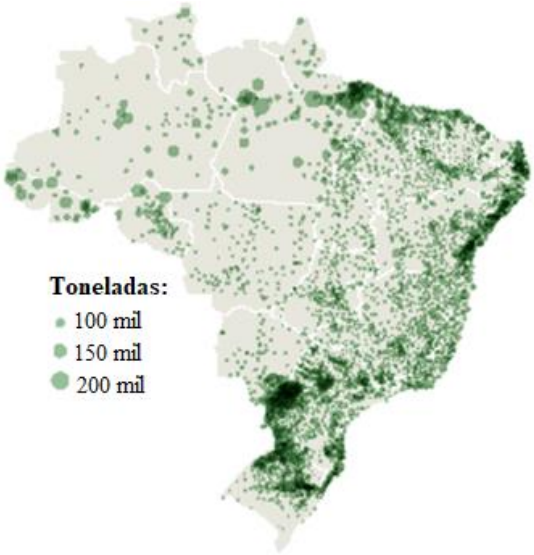


Figura 9. Mapa de la producción agrícola de la yuca (Fuente: IBGE, 2015).

Maiz

El maíz (Zea mays L.) es el segundo cereal más consumido en el mundo, y Estados Unidos es el mayor productor. El maíz es el cultivo más extendido, ya que se adapta a diferentes ecosistemas. Su cultivo generalmente está mecanizado, beneficiándose en gran medida de las técnicas modernas de siembra y cosecha (Santos, 2008). Sin embargo, en Brasil todavía hay muchas plantaciones destinadas a la agricultura familiar brasileña, tanto para la alimentación como para el comercio local (Salla, 2008). El Medio Oeste es la región productora más grande de Brasil, con una producción de 41,451.2 mil toneladas por año. La producción total en Brasil fue de 80.709,500 mil toneladas.

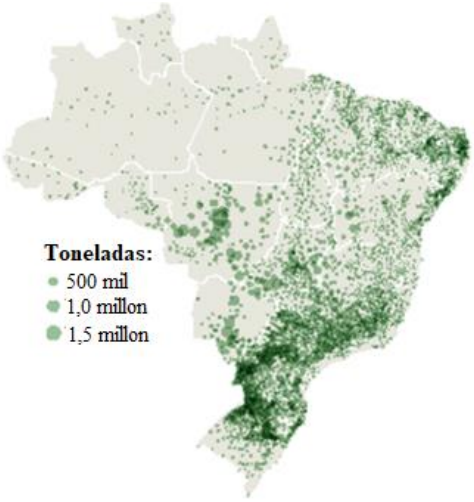


Figura 10 - Mapa de la producción agrícola del maíz (Fuente: IBGE, 2015).

Productos y co-productos

Los granos de maíz son una gran fuente de almidón, utilizada en todo el mundo en varias aplicaciones, desde la industria alimenticia hasta la producción de cosméticos (Jayaram et al., 2015). Su aplicación es amplia en la industria alimenticia, en la producción de harina de maíz, en la extracción de aceite, en confitería y panadería, principalmente en la producción de productos sin gluten (Kara et al., 2016). Además de las mazorcas comercializables, el maíz verde produce, en promedio, 25 t / ha de

materia fresca, que se puede usar directamente en la alimentación animal. Los principales residuos de la cosecha de maíz se dividen en: mazorca, hoja y paja, sin embargo, el principal es la paja. La Figura 10 muestra el mapa de la producción de maíz en Brasil. Todas las regiones del país cultivan maíz, sin embargo, la región con la mayor concentración de este cultivo es el sur.

Según los datos presentados anteriormente, la mayor producción en Brasil corresponde a la caña de azúcar, que representa el 63% del total de los cultivos en estudio, seguida de eucalipto con 14% y soja con 12%. Estos valores se deben al hecho de que estos cultivos no solo se usan como alimento, porque en el caso de la caña de azúcar y la soja, además de los alimentos, se usan ampliamente para la producción de energía. En el caso de la caña de azúcar, es una materia prima para el etanol y el bagazo se utiliza para generar electricidad. En el caso de la soya, además de exportar parte de su producción, este grano todavía se utiliza como materia prima para biodiesel. El eucalipto se usa en las industrias del papel, celulosa y muebles, además de usarse para generar energía directamente. La representatividad de la producción anual de los principales cultivos en Brasil se muestra en la Figura 11.

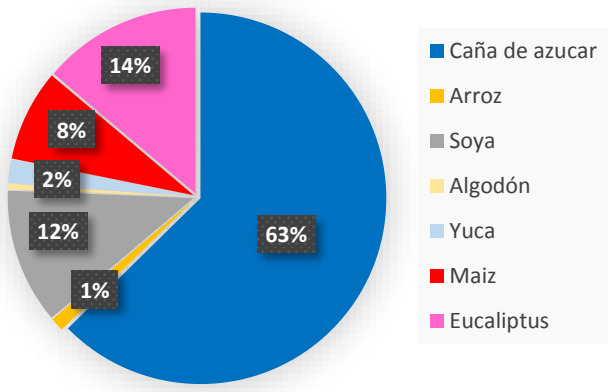


Figura 11. Principales cultivos agrícolas en Brasil (fracción de la producción total anual en toneladas).

Como la caña de azúcar es el cultivo más difundido del país y está prácticamente concentrada en la Región Sudeste, esta es la región con mayor participación agrícola en el país con alrededor del 49.8%, seguida por la región Centro-Oeste con 26.7 %, en la que se concentra la producción de soja. La participación más baja corresponde a la Región Norte, con solo el 2.8% del total, y esto se debe al hecho de que la Selva Amazónica está localizada en esta Región, es decir, es un área de preservación ambiental. La Tabla 5 muestra los rendimientos anuales de cada cultivo, por Región.

Tabla 5. Producción anual de productos agrícolas por estados brasileros

(Mil t)	Caña de azúcar	Arroz	Soya	Algodón	Yuca	Maiz	Eucaliptus
Norte	3.464,4	1.065,7	5.903,9	30,7	7.434,8	2.446,6	7.816,5
Nordeste	41.140,5	525,9	11.850,7	1.363,7	5.172,2	6.445,8	21.288,1
Sudeste	417.470,7	53,0	8.955,0	120,9	2.254,3	11.129,4	63.605,4
Sur	37.522,2	9.743,1	38.626,7		4.556,5	19.236,5	17.782,1
Centro-oeste	133.664,1	676,5	53.945,4	3.497,6	1.188,3	41.451,2	29.457,8
Total	633.261,9	12.064,2	119.281,7	5.012,9	20.606,0	80.709,5	139.950,0

Fuente: Conab, 2018.

3. Potencial teórico de residuos de biomasa por región en Brasil

El potencial teórico describe la energía física teóricamente utilizable de la biomassa disponible en una región determinada y en un período de tiempo determinado. Se define solo por los límites de uso físico y, por lo tanto, representa el límite superior de la contribución del suministro de energía, teóricamente viable (Trän, D. et al 2010). Con respecto a la biomasa y la bioenergía, Batidzirai et al., 2012 recomiendan varios elementos claves que permiten un enfoque ideal para estimar el potencial teórico de energía de la biomasa: los volúmenes de producción, el rendimiento del cultivo y los factores de disponibilidad para evitar los impactos socioeconómicos y los impactos ambientales.

Para determinar el potencial teórico de la biomasa actual, deben ser considerados aspectos técnicos y ambientales, que dependen de la productividad, la cantidad de residuos generados y de la fracción de estos que está disponible. La ecuación 1 a continuación puede ser utilizada para este cálculo.

$$\text{Eteórica} = \sum_1^n P * FD * PCI * \text{RRP} \qquad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:
P = Producción anual (t)
FC = Factor de disponibilidad de residuos para la generación de energía (FD) (%)
PCI = poder calorífico inferior (kJ / kg)
RRP= Factor de relación residuo-producto

Los factores que influyen en la determinación del potencial teórico de la biomasa se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Datos de los principales resíduos de biomasa en Brasil

Parámetro	Caña-de-azúcar (paja/ bagazo)	Arroz (cascara/paja)	Soya (paja)	Algodón (cascara)	Yuca (ramas)	Maiz (Paja)	Eucaliptus (gajos y hojas)
Producción Anual actual (mil ton)	633.261	12.064	119.281	5.012	20.606	80.709	140.426
PCI (MJ/kg)	19,81 /18,62	17,1 / 17,2	14,6	0,47	16	18,67	12
Factor de disponibilidad	0,65/ 0,1	0,3/ 1	0,7	14,6	0,3	0,39	1
Relación residuo-producto	0,22/0,22	0,26/ 1,54	2,01	2,81	1,1	1,53	0,19

La producción anual del cultivo es un factor fundamental para cuantificar el potencial de biomasa en una región determinada. Según los cultivos considerados em este estudio, el mayor potencial energético teórico para el año 2018 corresponde a la caña de azúcar con aproximadamente el 39% del total, seguido de la soya con el 21%, el maíz con el 19% y finalmente con arroz con 3%, como se observa en la Figura 12. Los factores determinantes para estos resultados fueron el factor de disponibilidad y la relación residuo-producto, ya que cada cultivo tiene valores diferentes para estos indicadores.

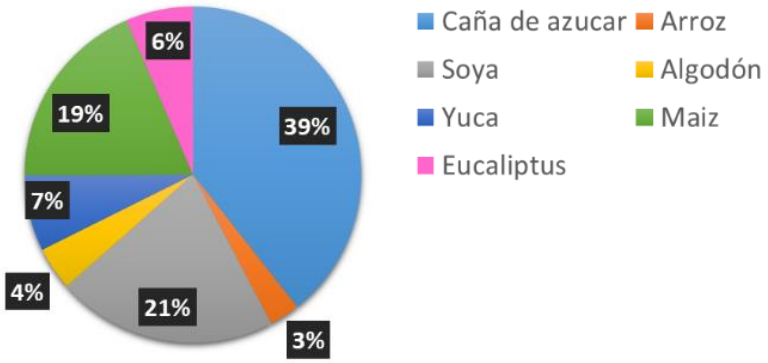


Figura 12 - Potencial teórico de energía por cultivo

La Figura 13 muestra los potenciales teóricos de energía por región en Brasil. El mayor potencial teórico hoy es para la región del medio oeste, con alrededor de 1244.8GJ de energía total y los cultivos con las mayores contribuciones son la soja y el maíz.

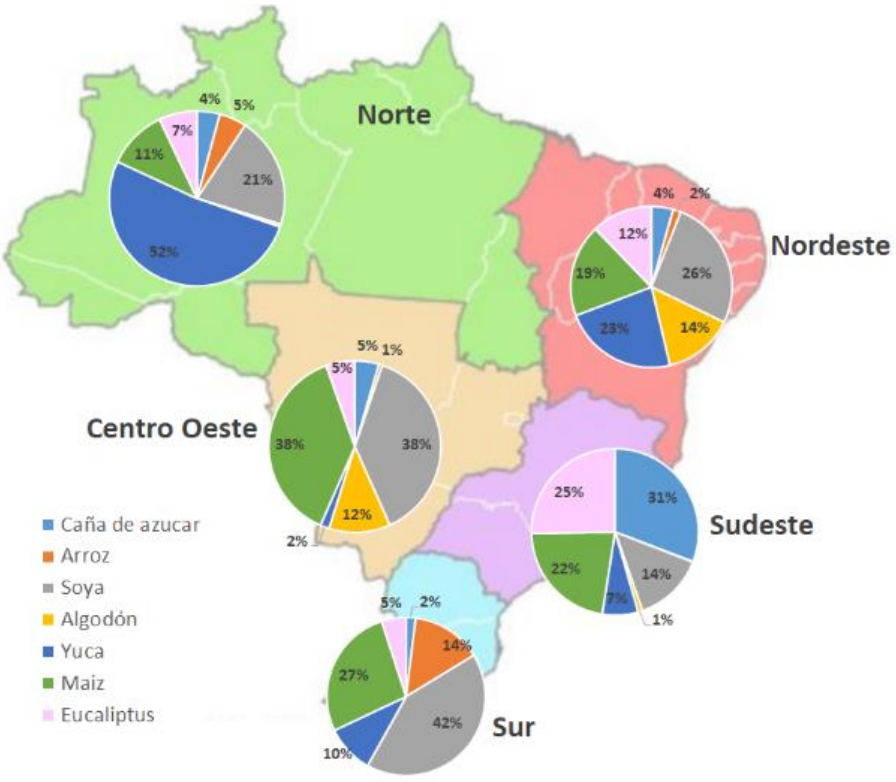


Figura 13. Potencial teórico por regiones.

En general, esta región tiene el mayor potencial, debido al gran desarrollo de la agricultura, además de tener altos rendimientos y condiciones climáticas favorables, con precipitaciones bien distribuidas durante todo el año y suelos fértiles. La región norte tiene el potencial energético teórico más bajo del país, 253GJ y esto se debe al área ocupada por la Amazonía, sin embargo, el 52% de este potencial energético se debe a los residuos de yuca. La región Noreste tiene un potencial energético teórico de 397.2GJ, y esto se debe al hecho de que esta región en general tiene bajas tasas de productividad en comparación con otros estudios, además de ser la Región Semiárida de Brasil, con baja tasas de precipitación y con ubicaciones de suelo infértil. La Región Sur tiene un potencial teórico de 812.8GJ, con énfasis en la siembra de soja, que contribuyó con el 42% del potencial energético teórico total de la

Región. El potencial de la Región Sudeste es 572.6GJ, con los potenciales energéticos más altos para los cultivos de caña de azúcar y eucalipto. Aunque la región sudeste tiene la mayor área y la mayor producción anual de productos agrícolas, su desempeño para la producción de energía primaria no fue el mayor, principalmente debido al factor de disponibilidad de los residuos de la caña de azúcar, ya que una parte debe dejarse en campo para promover la sostenibilidad del suelo, además del factor producto residual, que es relativamente bajo en comparación con los cultivos de soja y maíz, por ejemplo.

4. Conclusiones

Brasil es un país que ya tiene producción de biomasa en gran escala con un enorme potencial de uso, tanto para energía eléctrica como para otras formas de producción de energía derivadas de la biomasa. Las condiciones naturales y geográficas son favorables, y la cantidad de biomasa disponible para la producción de energía además de aliviar los problemas relacionados con la eliminación de estos residuos, aún sería viable para aliviar las adversidades causadas por el uso de combustibles fósiles. Según las culturas consideradas para el estudio, el mayor potencial energético teórico para el año 2018 corresponde a la caña de azúcar con alrededor del 39% y la región productora más grande es el Medio Oeste.

El sector del azúcar y el alcohol está bastante avanzado en términos de opciones económicamente viables para el desarrollo de rutas tecnológicas para la recuperación y transporte de biomasa residual de los cultivos, y puede servir como núcleo principal para la consolidación de un mercado de producción de energía, aprovechando la recuperación de residuos de otros cultivos agrícolas.

5. Referencias

Almeida, R.P. (2010). Suprimento Regional de Energia Através de Geração Distribuída com Recursos Renováveis. Dissertação de mestrado em Engenharia de energia. Universidade Federal de Itajubá.

ANNEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2020). Matriz elétrica brasileira, Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm. Aceso em: 18/03/2020.

Batidzirai, B., Smeets, M.W., Faaij, A.P.C. (2012). Harmonising bioenergy resource potentials—Methodological lessons from review of state of the art bioenergy potential assessments. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.16, p.6598-6630.

BRAZILIAN RICE - Perfil da Produção (2015). Disponível em: http://brazilianrice.com.br/br/sobre-obrasil. Acesso em: 28/11/2019.

Castilla, L.R.C. (2016) Bioeletricidade como fonte de energia no Brasil. Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente.

Chapman, A.J.; Mclellan, B.C.; Tezuka, T. (2018) Prioritizing mitigation efforts considering co-benefits, equity and energy justice: fossil fuel to renewable energy transition pathways Appl. Energy, v.219, p. 187-198.

CONAB - Companhia Nacional De Abastecimento (2018). Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar. v4 - Safra 2017/18.

Ministério de Minas e Energia (2007). Plano Nacional de Energia 2030 / Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética . _ Brasília : MME : EPE, Brasil.

EPE – Empresa de estudo energético (2016). Estudos de demanda de energia – Demanda de Energia 2050. Rio de Janeiro.

Ewertowska, A., Galán-Martín, A., Guillén-Gosálbez, G. Gavaldá, J., Jiménez, L. (2016) Assessment of the environmental efficiency of the electricity mix of the top European economies via data envelopment analysis. *Journal of Cleaner Production*, **116**:13-22.

Empresa De Pesquisa Energética (Brasil) (2019). Balanço Energético Nacional 2019: Ano base 2018 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE.

Frederico, P. G. U (2009). Influência da densidade e composição química da madeira sobre a qualidade do carvão de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden e de híbridos de Eucalyptus grandis X Eucalyptus urophylla S.T. Blake 2009. 66p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa.

GITE. Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (2017). Disponível em: https://www.embrapa.br /gite/. Acesso em:16/03/2020.

Guimarães, I. L. (2017) Aproveitamento de Resíduo de Soja para Produção de Painéis MDP (Medium Density Particleboard). Universidade federal de Goiás Regional Jataí. Programa de Pós-Graduação em Agronomia.

Holman, C.; Harrison, R.; Querol, X (2015). Review of the efficacy of low emission zones to improve urban air quality in European cities. *Atmospheric Environment* **111**:161– 169.

IBÁ- Indústria brasileira de árvores (2017). Relatório.

Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística (2019). Disponível em: https://mapas.ibge.gov.br/. Acesso em: 22 de outubro.

Jayaram, S.; Kapoor, S.; Dharmesh, S. M. (2015) Pectic polysaccharide from corn (Zea mays L.) effectively inhibited multistep mediated cancer cell growth and metastasis. *Chemico-Biological Interactions* **235:** 63–75.

Kara; G. N. Ozbey, F. Kabak, B. (2015) Co-occurrence of aflatoxins and ochratoxin A in cereal flours commercialised in Turkey. *Food Control* **54:** 275-281.

Malheiros, S. M. P.; Paula Júnior, D. R. (1997) Utilização do processo de compostagem com resíduos agroindustriais. In: Congresso Brasileiro De Ciência Do Solo, 26.

Martinez, D.G. (2016) Produção de etanol a partir de resíduos do processamento da mandioca. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia. Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Matos, P.P. (2014) Transferência de Tecnologia Florestal Cultivo de eucalipto em propriedades rurais: diversificação da produção e renda. Embrapa Florestas.

Mayer, F. D.; Cremonese, G.; Hoffmann, R.; et al. (2007). Análise de viabilidade econômica para uma micro central termoelétrica (mct) com biomassa residual em uma indústria de arroz.

Melo, O.L.F.; S, C.S.; Moreira, M.A.; Reis, M.S.; Massoni, G.A; Piovessan, N.D. (2004). Grain yield and seed quality of soybean selected for high protein content. *Pesq. Agropec. Bras*. **39** (5): 445-450.

MME - Ministério de Minas e Energia (2016). Nota técnica DEA 13/15. Estudos Da Demanda De Energia. Demanda de Energia 2050. Rio de Janeiro.

Pandey, A.; Soccol, C. R.; Nigam, P.; Soccol, V. T.; Vandenberghe, L. P. S.; Mohan, R (2000). Biotechnological potential of agro-industrial residues. II: cassava bagasse. *Bioresource Technology* **74**: 81-87.

Salla, D.A. (2008) Análise energética de sistemas de produção de etanol de mandioca, cana-de-açúcar e milho. Tese de doutorado, Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Botucatu.

Santos, J.P. (2008) Cultivo do Milhor - Emprapa Milho e Sorgo: Sistema de produção 2.

Sebrae - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (2015). Cartilha sobre resíduos de mandioca. Brasilia.

Silva, A.P.M.; Marques, H.R.; Sambuichi, R.H.R. (2016) Mudanças no Código Florestal Brasileiro – Desafios para Implementação da Nova Lei. Rio de Janeiro: Ipea.

Sousa, M. V.; Machado, J. C.; Pfenning, L. H.; Kawasaki, V. H.; Araújo, D. V.; Silva, A. A.; Martini Neto, A. (2008). Métodos de inoculação e efeitos de Fusarium oxysporum f.sp. vasinfectum em sementes de algodoeiro. *Tropical Plant Pathology* **33** (1).

Tolmasquim, M. T. (2016) Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear – EPE: Rio de Janeiro.

Trän, D., Thilo Seidenberger, T., Zeddies, J., Offermanna, R (2010). Global biomassa potentials – Resources, drivers and scenario results. *Energy for Sustainable Development* **14** (3): 200-205.

Vital, M. H. F. (2007). Impacto Ambiental de Florestas de Eucalipto. *Revista do BNDES* **14** (28): 235-276.

Werkema, M.C.C. (1995) Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escolha de Engenharia da UFMG, 404p.

Wiecheteck, M. (2009) Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos. Ministério do meio ambiente. Projeto pnud bra 00/20 - apoio às políticas públicas na área de gestão e controle ambiental. Curitiba.

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar I- Recursos, 2020: 58-73
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editores: S. Manrique y Y. Torreiro Villarino

I.4. Dendroenergía en Costa Rica: un nuevo vector energético hacia una economía baja en emisiones

Dagoberto Arias Aguilar[1*]

1 Laboratorio ECOPLANT. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Alameda Maria Reiche Neuman 386 dpto. 105 Torres de San Borja

RESUMEN. En Costa Rica, el consumo eléctrico para uso residencial es equivalente al promedio mundial. Estimaciones recientes sobre su evolución muestran una tendencia al incremento, que pasará de 750 kWh/habitante por año a cerca de 900 kWh/habitante por año en el 2030. Esto implica preparar al país para la creciente necesidad de energía: por un lado, incrementar los esfuerzos para educar a la población en una cultura de ahorro y eficiencia energética; y por otro, asegurar el suministro de energía en forma sostenible. La forma tradicional de lograr el abastecimiento energético en el país ha sido principalmente mediante la instalación de proyectos hidroeléctricos y geotérmicos, lo cual ha beneficiado y diferenciado enormemente a Costa Rica. La matriz energética es casi 100% renovable en la producción de electricidad y ha permitido una cobertura eléctrica de las más avanzadas en la región, con índices cercanos al 100%. Sin embargo, los próximos proyectos de mayor escala que procuran la seguridad energética implican la concentración de los impactos ambientales y sociales y hay una clara oposición de la sociedad a este tipo de desarrollos. Una alternativa es la instalación de sistemas de generación eléctrica en los mismos lugares donde se consume la energía, que van desde lo doméstico hasta lo industrial y pueden aprovechar las diversas fuentes disponibles en esos sitios; tal es el caso del uso de la biomasa. En esta sección se presenta un resumen de las oportunidades que está explorando Costa Rica para el uso de la biomasa forestal.

* Correspondencia: Dr. Dagoberto Arias Aguilar, E-mail: darias@tec.ac.cr

6. Introducción

La actividad forestal en los países en vías de desarrollo se basa en la explotación de los bosques naturales y de plantaciones forestales de especies de rápido crecimiento y de interés económico. La actividad forestal genera una cantidad de residuos que en la mayoría de los casos queda en el campo cumpliendo una función ecológica (Castro et al., 2009).

Desde el punto de vista comercial, la silvicultura de plantaciones es una técnica mundialmente extendida y tiene como propósito: "producir la mayor cantidad posible de bienes y servicios útiles a la sociedad por generaciones tras generaciones de hombres y de árboles" (Sánchez y Simón, 2008). En los últimos años se ha producido un aumento continuo en las superficies de plantaciones forestales establecidas en América Latina, con el fin de abastecer la madera y los subproductos

necesarios para satisfacer una demanda de una población creciente que se enfrenta a la reducción de los bosques naturales especialmente en los trópicos y subtrópicos (Guariguata et al., 2017).

El principal enfoque de la silvicultura de plantaciones tradicional es la obtención de madera sólida para aserrío, de modo que se subutiliza gran parte del volumen del árbol, en los procesos de transformación y aserrío de la madera, en los cuales se genera una enorme cantidad de residuos (Ulloa et al., 2018). Algunos autores como Abarca-Guerrero y Hernández (2017) afirman que el volumen de residuos generado por la industria forestal y su uso en la construcción es superior al volumen de madera elaborada, de modo que el aprovechamiento de los residuos de madera representa una importante opción de negocios y más importante aún, una fuente renovable de energía y representa un campo clave para incorporar el concepto de economía circular. Battista (2010) considera que la implementación de tecnologías de combustión y en particular de doble combustión posibilita la utilización rentable de los residuos de la industria forestal como biocombustibles, en la producción de energía térmica y eléctrica. En la Figura 1 de muestra una operación de transformación de residuos en astillas a partir de restos de cosecha en plantaciones forestales en Costa Rica. Las astillas se comercializan con las empresas del sector agroindustrial que consumen este material en sus calderas.

Figura 1. Sitio de transformación en astillas de residuos de plantaciones forestales en Guanacaste, Costa Rica (Fuente: imagen propia)

Estudios mundiales sugieren que la demanda de bioenergía aumentará significativamente para el 2050 (Lee y Lazarus, 2013). Para reducir a la mitad las energías relacionadas con emisiones de CO2 en ese año, (Agencia Internacional de la Energía, 2014) ha sugerido que la bioenergía utilizada debe triplicarse y una excelente opción para generar esta bioenergía proviene de las plantaciones forestales. Una opción para la producción de bioenergía de manera sostenida y complementaria al uso de los residuos forestales, son las plantaciones dendroenergéticas, ya que su fin no es producir celulosa ni madera sino biomasa, es decir, transformarse en materia prima para producir bioenergía orientada al consumo industrial o doméstico (Ricardo et al., 2010). En la Figura 2 se muestra una plantación de alta densidad de *Gmelina arborea* para la producción de biomasa en ciclos cortos. Esta especie es una de las que ofrece mayor potencial en Costa Rica con avances muy significativos en mejoramiento genético.

Figura 2. Plantación dendroenergética de *Gmelina arborea* de 8 meses en la Zona Norte de Costa Rica (Fuente: imagen propia).

En contraste con esto, en el contexto nacional de Costa Rica y de Centroamérica existen muy pocas hectáreas dedicadas a este tipo de cultivos, de igual forma autores como (Calvo-Alvarado et al., 2007) concluyen que las estadísticas sobre el desarrollo de estas plantaciones varían en gran medida entre países y regiones, por lo cual esta modalidad de producción no se muestra actualmente aun como una opción viable por diversos factores y se ha incentivado el uso de las especies nativas con fines de producción de madera. Consecuentemente, la producción tradicional de madera rolliza emerge como el mercado para el aprovechamiento de los residuos y su transformación para la generación de energía. En la Figura 3 se muestra un sitio de producción de astillas.

Figura 3. Sitio de producción de astillas en Costa Rica (Fuente: imagen propia).

En Costa Rica, según Rojas Rodríguez (2005), las especies más reforestadas en las regiones bajas del país son: la teca (*Tectona grandis*) y la melina (*Gmelina arborea*), ambas especies introducidas desde Asia, siendo la provincia de Guanacaste es una de las zonas con mayor área reforestada para estas dos especies, por lo que es una región que posee alto potencial en la producción de biomasa. En la actualidad existen en esta zona, empresas dedicadas a la transformación y comercialización de biomasa, especialmente mediante leña o en astillas. La estimación de los reservorios de materia prima se convierte entonces, en una parte esencial del proceso de aprovechamiento y mercadeo de la biomasa.

En el ámbito agroindustrial, según el contenido de humedad, la biomasa se clasifica como "seca" cuando tiene menos de un 13% de contenido de humedad y biomasa "húmeda" o fresca cuando presenta mucho más del 13% de contenido de humedad. En el sector agrícola hay una producción de biomasa residual húmeda muy significativa, que requiere de opciones de transformación y uso para valorizar este material biológico, cuyo manejo en el campo puede implicar consecuencias ambientales (Tenorio et al., 2014).

7. Biomasa forestal

Existen distintos tipos de biomasa, los cuales se pueden industrializar según la disponibilidad y procedencia (Tabla 1):

- Cultivos para producir biomasa: son plantas o árboles que se cultivan con el objetivo de ser utilizados para la producción de energía, por ejemplo árboles, girasol, maíz, forrajes, entre otros.
- Residuos post-cosecha: residuos producto de la cosecha de un producto principal, ya sea de aserraderos, cultivo de piña, palma aceitera, maíz, entre otros.
- Desechos industriales: residuos provenientes de todo tipo de carnes y vegetales cuyo tratamiento como desechos representan un costo considerable para la industria.
- Desechos urbanos: los centros urbanos generan una gran cantidad de biomasa en muchas formas, por ejemplo en residuos alimenticios, papel, cartón, madera y aguas negras.

Tabla 1. Clasificación de la biomasa por tipo de residuo.

Biomasa	Tipo de residuo
Residuos forestales	Restos de aserrío: corteza, aserrín, astillas.
	Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas.
	Restos de plantaciones: ramas, corteza, raíces.
Residuos agropecuarios	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales.
	Cáscara y polvo de granos secos (arroz, café).
	Estiércol.
	Residuos de cosechas: tallos y hojas, cáscaras, maleza, pastura.
Residuos industriales	Pulpa y cáscara de frutas y vegetales.
	Residuos de procesamiento de carnes.
	Aguas de lavado y precocido de carnes y vegetales.
	Grasas y aceites vegetales.
Residuos urbanos	Aguas negras.
	Desechos domésticos orgánicos (cáscara de vegetales).
	Basura orgánica (madera).

Por su parte, Fernández (2007) afirma que la biomasa forestal es aquella que se extrae de una masa forestal, siendo el motivo de la intervención el aprovechamiento energético.

La biomasa está compuesta por una serie de elementos químicos, que van desde las macromoléculas hasta las de tipo poliméricas, como celulosa, hemicelulosa y lignina y extractivos que pueden ser solubles en agua o solventes inorgánicos como el etanol, diclorometano e hidróxido de sodio. La cantidad de estos compuestos son mostrados en la Tabla 2. Estos polímeros están formados principalmente de carbono,

hidrógeno y oxígeno. Aparte de estos elementos se presentan otra serie de compuestos químicos con menor proporción, que son catalogados como micro o macro-elementos, que por lo general corresponde a metales (ver Tabla 3).

Tabla 2. Composición química de algunas biomasas de plantación de Costa Rica.

Propiedad	Elemento químico	**Cupressus lusitanica*	*Gmelina arborea*	*Tectona grandis*
Composición global	Celulosa (%)	64,7	55,6	54,4
	Lignina (%)	31,4	24,2	21,9
	Cenizas (%)	0,18	0,96	2,81
Extractivos solubles en	Agua caliente (%)	8,01	8,97	3,13
	Agua fría (%)	4,29	7,81	3,28
	Etanol-tolueno	2,21	0,82	1,18
	Diclorometano	4,61	2,21	2,20
	Hidróxido de sodio	24,23	26,13	11,98
Macro y micro elementos	Nitrógeno (%)	0,33	0,24	0,20
	Fosforo (%)	0,00	0,00	0,04
	Calcio (%)	0,06	0,17	0,14
	Magnesio (%)	0,00	0,02	0,07
	Potasio (%)	0,02	0,38	0,05
	Azufre (%)	0,01	0,00	0,01
	Hierro (mg/kg)	36,67	15,85	0,33
	Cobre (mg/kg)	0,67	2,03	5,00
	Zinc (mg/kg)	0,00	10,26	2,00
	Manganeso (mg/kg)	0,00	0,78	0,00
	Boro (mg/kg)	1,67	1,82	2,67
Otros elementos	Carbono (%)	43,88	43,09	43,88
	Hidrogeno (%)	6,52	6,91	6,52
	Oxigeno (%)	47,60	48,00	47,60

Cupressus lusitanica es una especie de conífera introducida y muy utilizada en reforestación en Costa Rica
Fuente: Moya y Muñoz (2010)..

Tabla 3. Cantidad de elementos químicos y contenido de cenizas presentes en diferentes especies maderables y especies agrícolas.

Tipo de biomasa	Porcentaje del peso (sin humedad)						
Madera	C	H	N	O	S	Cl	Ceniza
Sauce	47,66	5.20	0.30	44.70	0.03	0.01	1.45
Madera suave	52,10	6.10	0.20	39.90	-	-	1.70
Corteza madera dura	50,35	5.83	0.11	39.62	0.07	0.03	3.99
Madera dura	50,48	6.04	0.17	42.43	0.08	0.02	0.78
Eucalipto	50,43	6.01	0.17	41.53	0.08	0.02	1.76
Roble	49,89	5.98	0.21	42.57	0.05	0.01	1.29
Corteza de pino	52,30	5.80	0.29	38.76	0.03	0.01	2.90
Aserrín pino	52,49	6.24	0.15	40.45	0.03	0.04	0.60
Sub-productos agrícolas	**C**	**H**	**N**	**O**	**S**	**Cl**	**Ceniza**
Brizna de trigo	39.07	4.77	0.58	50.17	0.08	0.37	4.96
Caña de azúcar	44.80	5.35	0.38	39.55	0.01	0.12	9.79
Bagazo de caña	46.95	5.47	0.38	39.55	0.01	0.12	9.79
Paja de arroz	39.65	4.88	0.92	35.77	0.12	0.50	18.16
Cascarilla de arroz	38.68	5.14	0.41	37.45	0.05	0.12	18.15

Paja de maíz	46.91	5.47	0.56	42.78	0.04	0.25	3.99
Olote de maíz	47.79	5.64	0.44	44.71	0.01	0.21	1.20
Fibra de coco	50.29	5.05	0.45	39.63	39.63	0.28	4.14
Carbón mineral	71.70	4.70	1.30	8.30	0.64	0.06	20.70

Por qué pensar en la producción de biomasa sostenible para el mundo?

"Alcanzar las necesidades energéticas básicas de los más pobres en este planeta es un imperativo moral y social que puede y debe alcanzarse en concordancia con objetivos sostenibles" (IAC, 2007). Los acuerdos más recientes tomados en París durante la COP21, efectuada en el 2015, llevan a un entendimiento de los países hacia un mayor esfuerzo por evitar que el aumento de la temperatura global supere los 1,5 °C, pues esto tendría un efecto devastador sobre muchas zonas vulnerables, en especial las que se encuentran en países en desarrollo, y que aún cuentan con ecosistemas únicos y frágiles como patrimonio para la humanidad (presencia de sequías, inundaciones y ciclos de calor). Por ejemplo, se señaló que entre el periodo 1994-2013 cinco países, de los diez más afectados a nivel mundial, se ubicaron en América, y que los más perjudicados fueron Honduras y Haití, seguidos por Nicaragua, Guatemala y República Dominicana. Más recientemente sobrevino la afectación para Costa Rica con el paso del evento meteorológico Nate, en octubre del 2017 (Méndez, 2018).

Una de las grandes necesidades para los países de Latinoamérica es lograr que las personas más pobres tengan acceso a la energía. Más del 90% de la población dispone de electricidad en sus viviendas y son las zonas rurales, en la mayoría de los países, las que representan a la "población desatendida", con 17 millones de personas sin acceso a este servicio. Al comparar las estadísticas de los diferentes países se evidencia cómo el consumo de electricidad implica, en promedio, un crecimiento proporcional del Producto Bruto Interno, pero tiene una relación inversa con la pobreza. Dentro de las necesidades básicas de energía en las zonas rurales se enumeran en importancia: cocción, iluminación y en las regiones alto andinas, la calefacción de viviendas. (Gómez et al. 2016).

Aproximadamente 150 millones de personas en Latinoamérica queman leña o estiércol para cocinar sus alimentos, lo que representa no solo un problema energético, sino también un complejo problema con componentes sociales, de salud y ambientales. En respuesta a esta problemática de alcance global se han desarrollado una gran diversidad de programas orientados a la instalación de lo que se conoce como "cocinas mejoradas". Como ejemplo existen experiencias notables de algunos países latinoamericanos, en los cuales se han introducido varios millones de estas cocinas mejoradas o se han realizado esfuerzos con otras tecnologías de cocción (Torres Muro y Milla Taco, 2019).

Después de la necesidad de energía para cocción, la energía para iluminación sigue en prioridad para la población rural pobre que no dispone de electricidad en su casa, y requiere de mecheros y velas para la iluminación. La extensión de las redes eléctricas es muy costosa en estos casos, dada la baja densidad poblacional y el difícil acceso geográfico. Actualmente para esta población la solución sostenible más factible está representada por un sistema fotovoltaico o en una etapa de mayor desarrollo el uso de tecnologías de generación de electricidad con el uso de la biomasa. Surge entonces la pregunta: ¿de dónde se obtendrá la biomasa?

El rol de la biomasa forestal

La producción, aprovechamiento y trasformación de la biomasa forestal para energía es un tema ampliamente estudiado y documentado en diferentes partes del mundo (Betters et al., 1991; Tenorio et al., 2016). Sin embargo, para los países de la región centroamericana, todavía representa un modelo de negocio relativamente nuevo al no existir suficientes proyectos a mayor escala que utilicen el biocombustible sólido (leña, astillas, pellets, briquetas) a partir de la madera para la generación eléctrica.

Todavía se está en una fase muy incipiente sobre el entendimiento del ciclo de vida de los proyectos dendroenergéticos y son muchos los vacíos de información confiable, además no se tienen respuestas a muchas interrogantes sobre la factibilidad técnica, financiera, ambiental y social; así como tampoco sobre los métodos de trabajo que los analistas puedan utilizar como punto de partida. Sin embargo, estas condiciones ofrecen también la posibilidad para la innovación y diversificación de la matriz energética de los países de la región. El potencial del sector forestal es grande y se cuenta con la madurez técnica, el conocimiento y los profesionales de distintas disciplinas, para ofrecer nuevas alternativas hacia un nuevo vector energético basado en la madera.

Los desafíos que debe afrontar un proyecto de este tipo en el marco de la sostenibilidad incluyen:
1) El manejo técnico de las plantaciones forestales con fines energéticos, buscando optimizar el proceso para reducir los costos de producción de la biomasa y con ello el costo de producción de energía, asegurando además la sostenibilidad en el suministro de combustible.
2) La creación de un mercado regulado de biomasa para establecer precios de la materia prima que permitan evaluar la viabilidad de los proyectos bioenergéticos e implementar análisis financieros y evaluación de riesgos (financieros, ambientales y sociales).
3) La caracterización tecnológica de la biomasa como biocombustible sólido y su ajuste a los requerimientos de una planta de trasformación en función de la potencia y el proceso (tamaño de partícula, humedad, densidad aparente, poder calórico entre otros).
4) La reducción del costo capital mediante créditos diferenciados, pago por servicios ambientales, ingeniería inversa o desarrollos tecnológicos propios que minimicen la inversión y con ello el costo de generación.

Como punto central en busca de la viabilidad de la biomasa como vector energético, es necesario definir un modelo de negocio apropiado para las características del mercado energético y de la biomasa a nivel nacional; este es el principal reto para promover el desarrollo de este tipo de proyectos (Herrera Jaramillo, 2017).

8. Concepto de plantación dendroenergética

Las plantaciones dendroenergéticas (PDE), también se conocen como plantaciones silvoenergéticas o plantaciones de alta densidad, son modelos de cultivo de árboles sembrados a altas densidades donde se busca la acumulación de biomasa en el menor tiempo posible. Los cultivos energéticos incluyen especies herbáceas y leñosas. Para la obtención de la biomasa energética, los cultivos leñosos se siembran en altas densidades y por consiguiente los turnos para la cosecha del material son mucho más cortos en comparación con los cultivos maderables (Tubby y Armostrong, 2002).

En la década de 1990, en diferentes países comienzan a desarrollarse masivamente los ensayos sobre las plantaciones dendroenergéticas para estimar los rendimientos de producción de la biomasa. Las densidades de plantación aún hoy en día siguen cubriendo un amplio rango que van desde 1500 hasta 36 000 individuos ha^{-1}. En el oeste norteamericano se reconoce un modelo de espaciamientos medios, con densidades de 1500 a 2200 individuos ha^{-1}, en rotaciones de cinco a siete años (Caslin et al., 2011).

En Costa Rica en el año 2013 inició el proyecto de investigación denominado "Impulso tecnológico para la producción, transformación y uso de la biomasa para energía y biomateriales a partir de los cultivos forestales lignocelulósicos", financiado por el MICITT-CONICIT y por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del TEC. Los esfuerzos realizados permitieron trabajar directamente con diferentes empresas agroindustriales y organizaciones, generando un nuevo concepto para Costa Rica aplicable a nivel regional: las plantaciones dendroenergéticas y el uso de tecnologías de transformación de la biomasa en energía a través de la optimización de las calderas y nuevo conocimiento sobre la gasificación (Arias, 2018).

Figura 4. Ciclo de producción de una plantación dendroenergética en Costa Rica (Fuente: Imagen propia)

El modelo de plantación que propone el TEC (Figura 4), ofrece un abastecimiento más seguro de la biomasa porque es técnicamente planificado, representa una biomasa más homogénea respecto de la que se comercializa en la actualidad (leña, astillas) y se trata de árboles plantados que disminuyen la presión por la extracción y uso de la leña proveniente de los bosques. La modalidad es una alternativa de negocio dentro del sector forestal, que daría uso a los terrenos marginales que aún no tienen un valor de uso, ofreciendo una opción para recuperar los suelos mediante la incorporación de la materia orgánica y sin competir con cultivos, ni superficies agrícolas además de no poner en riesgo los bosques naturales y zonas protegidas.

En general se emplean especies con capacidad de rebrote (Figura 5), de rápido crecimiento y fácil propagación en el vivero. Idealmente se aconseja dejar dentro del sistema, árboles que serán cuidados para producir madera a los 5-6 años (en el caso de la melina o más tiempo en el caso de otras especies). Para crecer mucho en poco tiempo, los árboles son exigentes. Se usan plantas genéticamente mejoradas y de alta calidad, acá les llamamos clones y en Costa Rica se reportan grandes avances en este campo.

Figura 5. Esquema básico de manejo de rebrotes en plantaciones de dendroenergéticas (corta, aprovechamiento de la biomasa y manejo de los rebrotes). (Imágenes cortesía de Luis Diego Jiménez)

El cultivo de los árboles, también denominado como silvicultura, en estos casos es intensiva e incluye, un adecuado control de las malezas desde los primeros meses y la fertilización. El éxito está en saber cuáles sitios son apropiados, cuál especie plantar y con cuánta densidad de siembra, para obtener el máximo rendimiento sin incurrir en mayores gastos. Cuando se habla de alta densidad, significa que las plantaciones mantienen entre 2500 y 15000 árboles o tallos por hectárea, con poco espaciamiento entre los individuos y dado que los árboles se plantan en bloques pequeños y fácilmente accesibles, los costos de la cosecha dependen del uso de la mano de obra o de la posibilidad de usar maquinaria especializada (González Gabaldón, 2019).

Figura 6. Ciclo de cosecha de una plantación dendroenergética (Fuente: Imagen propia)

Hay empresas en el país que ya ofrecen el servicio de astillado en la plantación (máquinas que convierten los fustes y ramas en partículas más pequeñas). El tema del transporte es también importante, ya que el negocio es el cultivo y para que sea

rentable, las plantaciones deben estar cerca de los lugares o industrias de procesamiento para no gastar más de la cuenta. El concepto que se busca desarrollar son núcleos de producción forestal para bioenergía que incluye el aprovechamiento en el campo de los residuos forestales (podas y raleos) en combinación con las plantaciones para producción de biomasa, y todo ello integrado a la industria que convertirá la biomasa en energía.

Cuando los árboles alcanzan su máxima productividad es el momento para llevar a cabo la cosecha. En la Figura 6 se observa el diagrama sobre los diferentes métodos de cosecha de la biomasa en un núcleo forestal.

Cadena de producción: las astillas

Las astillas o chips son pequeños trozos de madera, resultantes del proceso de corte y astillado de los troncos y de las ramas de los árboles, se utilizan principalmente para fabricar celulosa como materia prima para tableros de partículas y tableros de densidad media o para bioenergía (Torres, 2018). Hoy la producción de astillas se presenta como una alternativa de uso para los residuos leñosos, que incluye el manejo de frutales, la limpieza de la foresta urbana y líneas de transmisión eléctrica, hasta la cosecha de plantaciones forestales y aserraderos a través de sus residuos. También es una oportunidad para que la industria forestal incremente el aprovechamiento de los árboles de los aclareos que de otra forma se dejan en el campo liberando metano (Ordóñez y Masera, 2016).

Figura 7. Escala de los equipos de transformación de la biomasa en astillas.

El astillado constituye un proceso que actúa físicamente sobre la biomasa, reduciendo el tamaño del material y, con ello, el volumen que ocupa. En una primera etapa se reduce el tamaño de los residuos leñosos, obteniendo astillas (chips) con un tamaño máximo de partícula que posibilita el manejo, almacenamiento, carga y transporte de los residuos de una forma técnicamente viable (Ulloa et al., 2018).

En términos generales, los equipos de astillado existentes son de características muy variadas, se puede elegir entre equipos más o menos sofisticados, dotados o no de

sistemas automáticos, para realizar las diferentes fases de que consta el proceso de astillado. La Figura 7 ilustra ampliamente el proceso de obtención de astillas con diferentes equipos.

Hacia un mayor valor agregado: las briquetas

El briquetado consiste en la compresión de la materia vegetal (aserrín, restos de madera, cáscara de arroz, desechos de frutas, hierba, hojas, residuos de cocina, agricultura, residuos forestales, entre otros) superior a 200 MPa hasta producir un aumento de la temperatura del material hasta 100-150 °C (Figura 8) (Vladerra et al., 2012).

A temperaturas elevadas la lignina se plastifica permitiendo la formación de unidades compactas (briqueta). La característica común de las briquetas es su elevada densidad (1000-1300 kg/m^3). La forma es normalmente cilíndrica con diámetros comprendidos entre 3 y 20 cm, y longitudes entre los 15 y 50 cm. Otra forma usual de briqueta es el prisma cuadrado o el prisma hexagonal vacío. También se pueden obtener formas de ladrillo. Su uso principal es para proporcionar calor en las estufas así como para cocinar.

Además del uso doméstico, se pueden producir entre un grupo de personas en cooperativa y ser una fuente de ingresos para la comunidad. Dentro de sus propiedades destacan las siguientes: poseen un alto poder calorífico, muy poca humedad que favorece el encendido, generan muy poca ceniza, fáciles de almacenar y bajo costo de producción.

El biocombustible sólido por excelencia: los pellets

El pellet es un pequeño cilindro de tamaño variable (2-7 cm de longitud; 1,5 cm de amplitud), con una humedad inferior al 12%. La densidad del pellet es relativamente elevada en comparación a las astillas (1000-1300 kg/m^3) (Gaitán Alvarez et al., 2017).

Figura 8. Proceso de fabricación de pellets y briquetas a pequeña escala.

El poder calorífico de los pellets es superior al de la leña, astillas y briquetas. Dependiendo de la densidad y humedad de la biomasa inicial, el producto contendrá un poder calorífico de entre 21-22 MJ/kg. En la Figura 8 se puede observar el proceso de fabricación de pellets.

Procesos de conversión de la biomasa en energía

El principal problema que tiene el uso de la biomasa *in natura* como energético, bien sea en la generación eléctrica o como combustible directamente, es su baja densidad energética (que corresponde aproximadamente a la mitad del poder calorífico del carbón térmico). Otros puntos importantes son la alta capacidad de retención de humedad y la degradación biológica (Torres, 2008). Por esto su transporte a largas distancias no es rentable y, en consecuencia, debe ser utilizada en las cercanías del sitio de generación, lo cual determina el tamaño de planta o escala de utilización.

El tamaño de planta, es el factor determinante en la eficiencia y ahorro económico durante la operación. La producción de pellets y la torrefacción de biomasa buscan en consecuencia, incrementar la densidad energética para aumentar el radio de transporte económico de los pellets e inclusive llevarlo a mercados internacionales como sucede actualmente con el carbón mineral (Tenorio-Monge et al., 2016).

En la Figura 9 se presenta un esquema general de los diferentes procesos utilizados en la conversión, en ella se muestran dos grandes posibilidades: procesos termoquímicos y los biológicos.

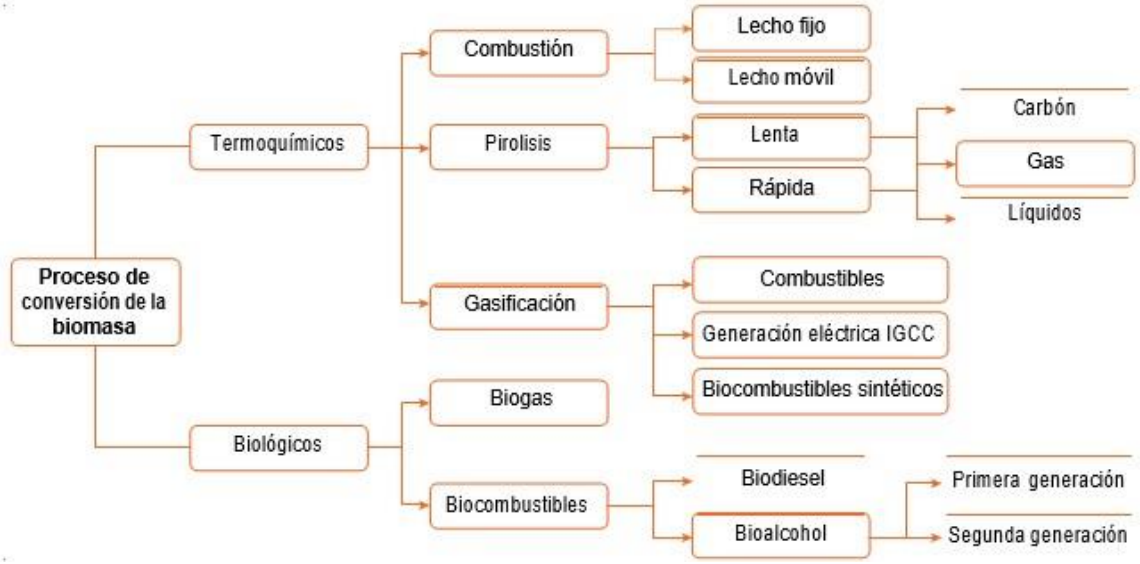


Figura 9. Procesos de conversión de la biomasa en energía (Patiño Martínez, 2014).

9. Oportunidades de negocio en Costa Rica basados en el uso de la biomasa forestal

Con la producción de biomasa y el uso de los residuos forestales se puede producir un biocombustible sólido en forma de astillas, briquetas o pellets y a partir de este desarrollo emprender entre otras, las siguientes soluciones:

a) Reducir los costos de electricidad en las industrias que generan residuos y utilizarlos para autoabastecimiento o en el caso de los ingenios la posibilidad de la cogeneración y venta de electricidad todo el año utilizando aparte del bagazo, las astillas de madera.
b) La conversión del parque nacional de calderas, mediante un acompañamiento técnico especializado para aquellas empresas que puedan sustituir el uso de quemadores de biomasa (Figura 10). Esta acción permite un ahorro de hasta un 50% en los costos por combustible para una empresa al utilizar energía biomásica en vez de derivados de los hidrocarburos.

c) La posibilidad de sustituir las calderas de una operación por otras que se alimenten con residuos o biomasa producida directamente en el país, lo cual permite a su vez generar un mercado más estable para la biomasa.
d) Instalación, puesta en marcha y mantenimiento de equipos nuevos basados en la combustión o gasificación de la biomasa (Figura 10), lo cual genera nuevos encadenamientos productivos, ahorros en los costos de los combustibles en las empresas, disminución de las emisiones compatibles con los sistemas de gestión para carbono neutralidad.
e) Los beneficios de sustituir el combustible fósil por los pellets son muchos; sin embargo, los más significativas son la reducción entre un 15% y 70% del impacto de las emisiones del dióxido de carbono y un ahorro del 25% o 30% comparado con el costo del búnker y el vapor de gas.

Figura 10. Tecnologías disponibles para la transformación de la biomasa forestal en energía.

f) Instalación de proyectos de generación eléctrica basados en el uso de biomasa forestal. En la conversión de madera en energía, un kilogramo de madera verde equivale aproximadamente a 0,25 kWh, mientras que un kilogramo de madera al 15% de humedad generará aproximadamente 0,4 kWh. A manera de ejemplo, se puede señalar que una pequeña central eléctrica con biomasa de 400 kW, operando diez horas durante 300 días del año genera una energía de 1200 MWh por año y necesitará para su aprovisionamiento 5000 toneladas de madera verde o 3000 toneladas de madera seca a 15% de humedad por año de operación. Esto equivale a utilizar 250 hectáreas en el caso de madera verde o de 150 hectáreas si se considera el uso de madera al 15% de humedad, con una producción de 20 toneladas/ha (González et al., 2018).
g) Las alternativas tecnológicas para la generación de energía eléctrica a partir de madera indican a nivel general que el valor comercial de una planta de generación y el costo del combustible son los aspectos de mayor influencia sobre el costo de generación base, que al final está determinado en una proporción de entre 50 y 65% por el valor comercial de la planta (costo capital), alrededor del 32 al 37% corresponde al costo del combustible y lo restante (15 a 22%) son los costos operacionales y de mantenimiento.
h) También se puede incentivar el uso de hornos de leña para el secado de productos agrícolas y forestales, especialmente en los sitios donde se generan directamente

los residuos. Adicionalmente el uso de biochar está tomando cada vez más auge para su uso como enmienda en los sistemas productivos (Cha et al., 2016). En la Figura 11 se ilustra el proceso de estudio de biocarbón a partir de residuos de madera de diferentes especies para su uso en sistemas de cultivos agrícolas.

Figura 11. Sistema artesanal simple para producir carbón vegetal a nivel de pequeñas fincas a partir de residuos de madera (Fuente: imagen propia).

10. Conclusión final

El país tiene grandes oportunidades para intensificar el uso de la biomasa como un recurso renovable abundante que puede ser manejado con criterios de sostenibilidad y brindar un valor agregado a través de subproductos y en particular para la producción de energía. Lograr el aporte incremental de la biomasa dentro de la matriz energética del país, traería grandes ventajas, pues contribuiría a reducir la dependencia del uso de los hidrocarburos y la emisión de gases efecto invernadero; además ayudaría a la competitividad de las empresas en la reducción de los costos de la factura eléctrica, ayudaría al desarrollo rural sostenible, generaría encadenamientos productivos con más empleos así como un incremento en la cobertura forestal del país. El conocimiento de estas posibilidades debe guardar concordancia con las políticas de desarrollo nacional, es urgente que el país apruebe cuanto antes una legislación que regule de forma coherente el sector eléctrico que permita el impulso de un nuevo vector energético basado en la biomasa y otras fuentes renovables.

11. Referencias

Abarca-Guerrero, L., y Leandro-Hernández, A. G. (2017). Situación actual de la gestión de los materiales de construcción en Costa Rica. Revista Tecnología En Marcha. Https://doi.org/10.18845/tm.v29i4.3042

Agencia Internacional de la Energía, "AIG." (2014). Consumo de energía procedente de combustibles fósiles (% del total). Estadísticas de La AIE © OCDE/AIE.

Arias, D. (2018). Plantaciones dendroenergéticas y gasificación de biomasa: nuevos desarrollos con marca TEC. Revista Forestal Mesoamericana Kurú. Https://doi.org/10.18845/rfmk.v15i1.3848

Battista, E. (2010). Doble combustión y su vinculación con combustibles biomásicos respuesta a la crisis energética desde el diseño. II Congreso Iberoamericano de investigación artística y proyectual, V Jornadas de investigación en disciplinas artísticas y proyectuales.

Betters, D. R., Wright, L. L., y Couto, L. (1991). Short rotation woody crop plantations in Brazil and the United States. *Biomass and Bioenergy*. doi: 10.1016/0961-9534(91)90011-Z

Calvo-Alvarado, J. C., Arias, D., y Richter, D. D. (2007). Early growth performance of native and introduced fast growing tree species in wet to sub-humid climates of the Southern region of Costa Rica. *Forest Ecology and Management*. doi:10.1016/j.foreco.2007.01.034

Caslin, B., Finnan, J., and Mccracken, A. (2011). Short Rotation Coppice Willow Guidelines. In Practice.

Castro, J., Marañón-Jiménez, S., Sánchez-Miranda, A., y Lorite, J. (2009). Efecto del manejo de la madera quemada sobre la regeneración forestal post-incendio: desarrollo de técnicas blandas de restauración biológica. In Proyectos de investigación en parques nacionales: 2006-2009

Cha, J. S., Park, S. H., Jung, S. C., Ryu, C., Jeon, J. K., Shin, M. C., and Park, Y. K. (2016). Production and utilization of biochar: *A review. In Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. doi: 10.1016/j.jiec.2016.06.002

FAO. (2008). Forests and energy. In Forest Ecology and Management.

Fernández, J. (2007). Energía de la biomasa. Manuales de Energías Renovables. doi: 9968-904-02-3

Gaitán-Alvarez, J., Moya, R., Puente-Urbina, A., y Rodriguez-Zuñiga, A. (2017). Physical and compression properties of pellets manufactured with the biomass of five woody tropical species of Costa Rica torrefied at different temperatures and times. *Energies.* doi: 10.3390/en10081205

Gómez, L. M. J., Prins, N. M. A., y López, M. D. R. (2016). Valoración de opción real en proyectos de generación de energía eólica en Colombia. Revista ESPACIOS| Vol. 37 (N° 26).

González Gabaldón, M. (2019). Manejo de plantaciones forestales. Revista de Ciencias Ambientales. doi:10.15359/rca.2-1.1

González, J., Roldán, C., Arias, D., Valverde, J. C., y Camacho, D. (2018). Evaluación financiera de generación eléctrica de 2 MW a partir de biomasa forestal en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú.* doi:10.18845/rfmk.v15i1.3709

Guariguata, M.R.; Arce, J.; Ammour, T.; Capella, J.L.(2017). Las plantaciones forestales en Perú: Reflexiones, estatus actual y perspectivas a futuro. *Center for International Forestry Research Center for International Forestry Research.* doi: 10.17528/cifor/006461

Herrera Jaramillo, J. A. (2017). Estrategia Nacional de Economía Circular Nuevos modelos de negocio, transformación productiva y cierre de ciclos de materiales. Simposio.

IAC. (2007). Lighting the way toward a sustainable energy future. Interacademy Council.

Lee, C. M., y Lazarus, M. (2013). Bioenergy projects and sustainable development: which project types offer the greatest benefits? *Climate and Development*. doi:10.1080/17565529.2013.812951

Méndez, A. M. (2018). Índice de resiliencia de infraestructura de agua potable ante huracanes en ciudades costeras Index of potable water infrastructure resilence facing hurricanes in coastal cities. *Revista Geográfica de América Central. Doi: 10.15359/rgac.61-3.17*

Moya, R., y Munoz, F. (2010). Physical and mechanical properties of eight fast-growinging plantation speciesspecies in Costa Rica. *Journal of Tropical Forest Science, **22**(3),317-328.*

Ordóñez, J. A. B., y Masera, O. (2016). Captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques.* doi:10.21829/myb.2001.711314

Patiño Martínez, P. E. (2014). Biomasa residual vegetal: tecnologías de transformación y estado actual. Innovaciencia Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Innova ciencia. doi:10.15649/2346075x.255

Ricardo, B. P., Marco, Y. A., y Marta, A. A. (2010). Cultivos dendroenergéticos de híbridos de álamo para la obtención de biocombustibles en Chile: Estado del arte. *Bosque.* doi:10.4067/s0717-92002010000200002

Rojas Rodríguez, F. (2005). Principales especies forestales introducidas en Costa Rica. Revista Forestal Mesoamericana Kurú, 2(4), 88-100

Sánchez-González, A., D., Granados Sánchez D. y Simón-Nabor, R. (2008). Uso medicinal de las plantas por los otomíes del municipio de Nicolás Flores, Hidalgo, México. Revista Chapingo, serie horticultura, 14 (3), 271-279

Tenorio-Monge, C., Moya-Roque, R., Valaert, J., y Tomazello-Filho, M. (2016). Potencial de fabricación de pellets de residuos forestales de Cupressus lusitanica y Tectona grandis en Costa Rica. Revista Tecnología En Marcha. Https://doi.org/10.18845/tm.v29i2.2694

Tenorio, C., Moya, R., y Cubero, R. (2014). Difusión del agua en astillas de madera de diez especies de rápido crecimiento en plantaciones en Costa Rica. *Interciencia, **39**(2),129-135.*

Tenorio, C., Moya, R., Arias-Aguilar, D., y Briceño-Elizondo, E. (2016). Biomass yield and energy potential of short-rotation energy plantations of Gmelina arborea one year old in Costa Rica. *Industrial Crops and Products*. doi:10.1016/j.indcrop.2015.12.005

Torres, C., Chaves, M., Urvina, L., y Moya, R. (2018). Evaluación de la incidencia de pellets y astillas de madera en el desempeño de un gasificador tipo "downdraft." *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*. doi:10.18845/rfmk.v15i1.3847

Torres, L. O. (2008). Producción de biocombustibles sólidos de alta densidad en España. Boletín Del CIDEU.

Torres Muro, H., y Milla Taco, B. (2019). Desarrollo de nuevas tecnologías para la cocción de alimentos. *Ciencia y Desarrollo*. doi:10.33326/26176033.2005.9.166

Tubby, I., y Armstrong, a. (2002). Establishment and management of short rotation coppice. Practice Note-Forestry Commission.

Ulloa, A., Camacho, D., Arias, D., y Valverde, J. C. (2018). Análisis del mercado de biomasa forestal con fines energéticos en la zona de Guanacaste, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*. doi:10.18845/rfmk.v15i1.3722

Vladerra, A., Curo, H., Quispe, C., y Llantoy, V. (2012). Briquetas de residuos sólidos orgánicos como fuente de energía calorífica en cocinas. Centro de Desarrollo e Investigación En Termofluidos CEDIT.

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar I- Recursos, 2020: 74-81
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editores: S. Manrique y Y. Torreiro Villarino

I.5. Producción de briquetas en la Cooperativa Atahualpa Jerusalén - Granja Porcón. Perú

Mary Flor Césare[1*], Roxana Guillén[1], Benito Ramirez[2], Javier Trigoso[2], José Luis Calle[1]

1Laboratorio de Energías Renovables, Universidad Nacional Agraria La Molina, La Molina, Lima 12, Perú

2 Practical Action, Miraflores, Lima, Lima 18, Perú

RESUMEN. El estudio se realizó en las instalaciones de la Cooperativa Atahualpa Jerusalén llamada Granja Porcón, ubicada en la región Cajamarca. Se tuvo como objetivos: 1) caracterización química de la materia prima, 2) producción de briquetas y 3) determinación del contenido energético de ambas. La briqueta se produjo a partir de los residuos forestales de la industria del aserrío de madera rolliza, obteniéndose el aserrín de pino (patula en su mayoría y radiata en menor proporción). La caracterización química de materia prima se basó en el análisis elemental (ASTM D4239), análisis proximal (ASTM D7582) y el análisis energético de la briqueta (ASTM D5865-13). Los resultados indicaron que la materia prima presentó bajo contenido de humedad (2.54%), cenizas (0.55%) y carbón fijo (7.91%), así como alto contenido de compuestos volátiles (89.02%), propio de maderas blandas. Sin embargo, la briqueta obtenida presentó buen contenido energético (20002 kJ/kg). Concluyéndose finalmente que el pino radiata presenta buena performance para la producción de combustibles sólidos como briquetas y pellet.

* Correspondencia: Mg. Quím. Mary Flor Césare C.. Email: mcesare@lamolina.edu.pe

1.Introducción

Las fuentes de energías renovables constituyen en la actualidad una gran alternativa al uso de combustibles fósiles, sobre todo en zona alejadas e inaccesibles donde el precio de este es muy elevado, por ello para asegurar el abastecimiento de energía a la población, se ve la necesidad del uso alternativo de la biomasa sólida, cuya disponibilidad es abundante y sostenible, la cual puede ser usada directamente para la producción de energía (Herguedas et al., 2012). Así el gobierno peruano se encuentra incentivando el uso de las energías renovables mediante la Ley N° 28054. Dicha ley, en su artículo 1 «establece el marco general para promover el desarrollo del mercado de los biocombustibles sobre la base de la libre competencia y el libre acceso a la actividad económica, con el objetivo de diversificar el mercado de combustibles, fomentar el desarrollo agropecuario y agroindustrial, generar empleo, disminuir la contaminación ambiental y ofrecer un mercado alternativo en la lucha contra las drogas» (Ley N°28054, p. 1). Autores como Félix y Rosell (2010) refieren que la Ley de promoción del mercado de biocombustibles incentiva el desarrollo rural lo cual permite reducir pobreza en estas zonas y por consiguiente

mitigar los efectos de las emisiones contaminantes por otro lado contribuye a la independencia energética de los combustibles fósiles.

Dicha Ley en su artículo 2 define a los biocombustibles como «los productos químicos que se obtengan de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial o de otra forma de biomasa» (Ley N°28054, p. 1). Herguedas et al. (2012) definen a la biomasa como la parte biodegradable de los productos, las cuales constituyen la biomasa solida residual proveniente de la acumulación de los desechos biodegradable de las actividades agrícolas (vegetal y animal), forestales (hojas, ramas, virutas, aserrín, corteza, recortes), pesca, industriales y municipales, actividades cuya característica es la generación de forma sostenible de grandes cantidades de biomasa residual, así Huanca (2017) indica que estos son desaprovechados, por contener alto porcentaje de humedad, por ello son acumulados, quemados o abandonados en grandes espacios físicos, como es el caso de la biomasa residual de la industria forestal quien forma grandes montañas de aserrín, sin poseer un mayor valor agregado o alcanzar una eficiencia energética mayor (Huanca, 2017). El Decreto Legislativo 1278, Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos El Peruano (2017), contempla su valorización para fines energéticos. Siendo una de las formas de valorizar estos residuos madereros la producción de combustibles sólidos densificados llamados pellets o briquetas. Lo cual conlleva a disminuir la cantidad de residuos y reducir el volumen transportado, así como una combustión eficiente y más limpia (García, 2014). Gallipoliti et al. (2012) definen a las briquetas como el producto obtenido del material de descarte de la industria de madera, mediante un proceso de comprensión de los desechos maderables como el aserrín, cuyas propiedades caloríficas son mayores al del material inicial, el cual es adecuado para usos energéticos.

Por ello la cooperativa Granja Porcón, ha visto como una oportunidad la producción de briquetas para poder solucionar el problema de sus residuos, así como satisfacer su demanda energética con un combustible eficiente y barato, dado que esta Cooperativa cuenta con cerca de 10 mil hectáreas de plantación de especies forestales en su mayoría pino, siendo estas manejadas para su producción y extracción en la industria maderera. La producción de aserrín varía de acuerdo a dos épocas marcadas en el año, donde, un metro cúbico pesa aproximadamente entre 250 a 300 kilogramos (dependiendo de la humedad), así un cubo de aserrín equivale a 1.0 m^3. Los periodos de producción son en verano (mayo – diciembre) e invierno (diciembre - abril). En el periodo de verano se produce 7 cubos al día en un horario de lunes a viernes y en el periodo de invierno 4 cubos de aserrín por día de producción (lunes a viernes).

Por lo expuesto este trabajo tiene como primer 1) caracterización química de la materia prima, la cual nos da información importante para conocer si la materia prima necesita secado, antes de la producción de la briqueta, como así, la caracterización química y física, nos permite relacionarlo con su contenido energético aproximado. 2) producción de briquetas de aserrín de Pino patula, finalmente 3) determinación del contenido energético de la briqueta obtenida.

2. Materiales y métodos

Esta investigación se realizó en la Granja Porcón y la caracterización química en el laboratorio de Energías Renovables del Departamento de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina. La Granja Porcón (la Granja) se encuentra ubicada en la sierra peruana, en la región Cajamarca, 30 km al norte de la capital, a una altitud que varía entre los 3.000 m. s. n. m. y los 4.000 m. s. n. m. Ocupa una

extensión de 10.800 hectáreas entre las provincias de San Pablo y Cajamarca, en los distritos de Tumbadén y Cajamarca, respectivamente (Figura 1). El inicio de la ocupación de la Granja data de 1847, año en que la Beneficencia Pública de Cajamarca empezó a administrar el hospital de indios, así como las tierras de la Granja y zonas aledañas, que en su conjunto conformaban la antigua Hacienda Porcón.

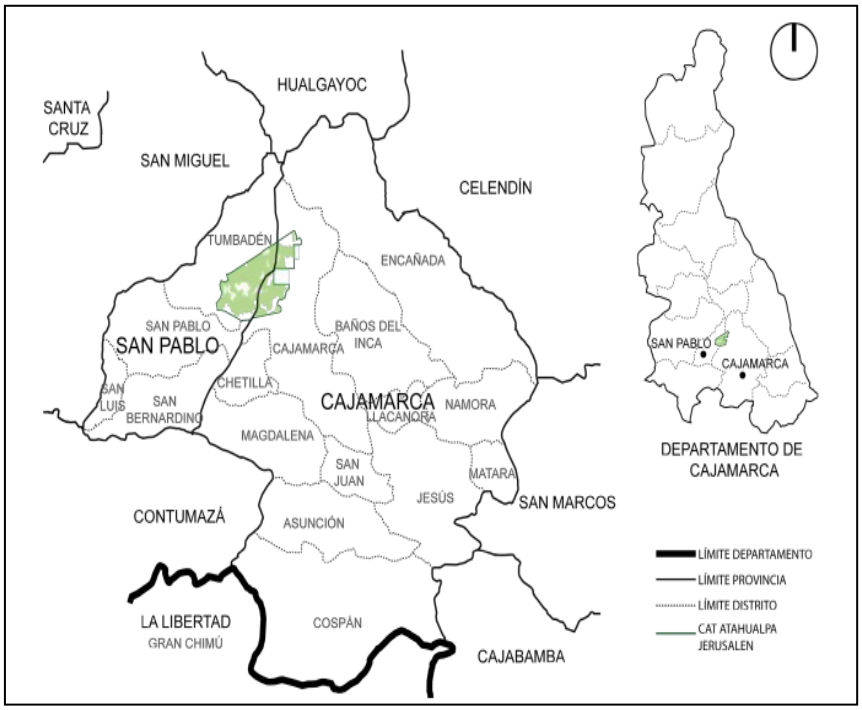


Figura 1. Mapa de ubicación de la Granja Porcón

Los residuos lignocelulósicos de la especie de *Pinus patula*, fueron recolectados de las zonas de aserrío Cooperativa Atahualpa Jerusalén ubicada en Cajamarca, Perú.

Análisis químico elemental

El análisis elemental (C, H, O, N) se realizó siguiendo la metodología propuesta (ASTM D 5373 - 16), tal como lo indica el manual del equipo Instrument CHN628. Este análisis se realizó con la muestra seca, previamente acondicionada.

Análisis Termo gravimétrico – TGA (Proximal)

El análisis proximal (% H, %MV, %Ceniza) se realizó con el equipo LECO TGA701, el cual emplea la metodología (ASTM D7582 - 15), establecido en el manual del equipo TGA Q600; este análisis se realizó en base húmeda, muestra sin tratamiento previo, usándose una termobalanza TA INSTRUMENT TGA Q600.

Análisis de poder calórico – TGA (Calorímetro)

Se usó un calorímetro LECO AC600, llevando a cabo una combustión en atmósfera de oxígeno seco, usando 0.4 g de muestra sólida en base seca. El cálculo del poder calorífico se realizó de acuerdo con la norma (ASTM D5865 - 07), la cual es indicada en el manual del equipo LECO AC600.

Proceso de producción de briquetas de pino

Las briquetas fueron preparadas con el residuo forestal de la industria del aserrío de madera rolliza, obteniéndose el aserrín de pino (P. patula en su mayoría y P. radiata en menor proporción) (Figura 2).

Figura 2. Pre secado al aire libre del aserrín (Fuente: imagen propia)

En el verano es suficiente el presecado al aire libre de la materia prima ya que presenta baja humedad. En época de lluvias (invierno) para asegurar el abastecimiento de materia prima, se hace necesario el uso de un secador de cilindro (Figura 3).

Figura 3. Secador de cilindro (Fuente: imagen propia)

Una vez acondicionado la materia prima, su contenido de humedad debe ser menor al 10%; asimismo es importante que el aserrín tenga un tamaño de poro entre 3 a 5 mm, para ello se usó un triturador de martillo, el cual se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Triturador de martillo (Fuente: imagen propia)

Antes de la etapa de briquetado, se requiere en algunos casos el uso de aglutinantes artificiales para una buena compactación, en el caso del pinus patula no es necesario, basta su propia resina.

En la etapa de briquetado el flujo de aserrín (kg/min) que ingresa a la bandeja de entrada de la maquina a la briquetadora es aproximadamente entre 6 a 8 kilogramos, siendo la presión de compactación entre 150 a 200 bares y el intervalo temperatura se encuentra entre 150 a 180 °C. Los elementos utilizados fueron: máquina briquetadora automatizadas marca Taeyoung con un motor de 50 hp (38 kW), cuya capacidad de producción está entre 250 a 300 Kg por hora. Las condiciones de operación son máximas 3 horas por la mañana y 3 horas por la tarde, lo que hace un total de 1500 kg de residuos procesados por día. El tiempo de producción todavía no está estabilizado por estar iniciándose recién la operación de la planta.

Figura 5. Proceso de producción de briquetas a) Ingreso del aserrín a la cámara de distribución b) producción de briquetas c) briquetas (Fuente: imagen propia)

3. Resultados y discusión

Los resultados de los análisis realizados a la materia prima en estudio se presentan en las Tablas 1 y 2, estas contienen los valores promedios de cada análisis realizado, en la Tabla 3 se muestra el contenido energético de la briqueta producida, todos los resultados fueron obtenidos a partir de 3 repeticiones en cada caso.

Análisis químico elemental

Tabla 1. Análisis químico elemental

Muestra	C (%)	N (%)	H (%)	O (%)	S (%)	Referencia
Aserrin de pino	48.25	0,17	6.14	45.4	0.03	Presente estudio
Madera	46.62	0.20	5,73	32.53	0.08	Cabrera et al. (2013)
Corteza de coniferas	51.40	0.48	5.70	38.70	0.085	Francescato et al. (2008)
Sause	47.90	0.54	6.10	44.2	0.045	Francescato et al. (2008)

FUENTE: Laboratorios de Energías Renovables (LER) UNALM.

Del análisis químico elemental (Tabla 1), se pudo observar que el contenido de azufre es menor al obtenido por Cabrera et al (2013) y Francescato et al (2008) para la madera (0,08) y para la corteza de coníferas (0,085) respectivamente; aunque ligeramente cercano al del sauce indicado por Francescato et al (2008). El contenido de carbono, hidrógeno y oxígeno fueron mayores a los de la madera (5.73% y 32.53%) y a la corteza de coníferas (5.70% y 38.70%), respectivamente, reportados por el mismo autor. Siendo estos elementos importantes para el uso del pino como biomasa para producción de energía, ya que según Francescato et al. (2008), el carbono es el componente del biocombustible sólido a través del cual se libera el contenido energético del combustible observándose que el valor obtenido (48.25%) es cercano al reportado por Francescato et al. (2008) de la corteza de coníferas (51.40%), sauce (47.90) y al valor obtenido (46.62%) por Cabrera et al. (2013), con respecto al hidrógeno este suministra energía adicional al proceso de oxidación que, sumado a la energía producida por el carbono, determina el poder calorífico inferior del combustible. El resultado obtenido es similar al obtenido por Francescato et al (2008). Mientras que el oxígeno solo mantiene el desarrollo del proceso de oxidación, por lo que se infiere que el contenido energético y el poder calorífico del P. patula será mayor a la madera; lo cual es confirmado al comparar los resultados obtenidos con los del autor (Cabrera et al., 2013).

Análisis Termo gravimétrico – TGA (Proximal)

Tabla 2. Análisis químico termogravimétrico

Muestra	Humedad (%)	Materia volátil (%)	Ceniza (%)	Carbón fijo (%)	Referencia
Aserrín de pino	2.54	89.02	0.55	7.91	Presente estudio
Madera	12.03	70.65	2.82	14.5	Cabrera *et al*. (2013)
Pino blanco	12.3	60.9	1.9	24.9	Gallipoliti *et al.* 2012)
Madera de bamboo	9.37	70.31	2.57	17.75	Cuesta (2019)

FUENTE: Laboratorios de Energías Renovables (LER) UNALM.

Los resultados obtenidos (Tabla 2), muestran que los porcentajes de humedad (2.54%), cenizas (0.55%) y carbón fijo (7.91%) son menores al valor obtenido por Cabrera et al. (2013), Gallipoliti et al (2012) y Cuesta (2019). Así Gallipoliti et al (2012) indican que las cenizas, son exclusivamente inorgánicas conformadas principalmente por sílice, calcio, potasio, manganeso y magnesio, por ello para una combustión completa es importante conocer su contenido, ya que esta puede formar depósitos en las paredes de los hornos reduciendo el poder calorífico del combustible y el rendimiento térmico del horno, al interferir en la transferencia de calor; además, su eliminación encarece el proceso. Tanto el bajo contenido de cenizas como el bajo porcentaje de humedad (por debajo del 10 %) indica que el material es apropiado para fines energéticos Cabrera et al., (2013), como para la producción de briquetas (Cuesta, 2019). Así un alto porcentaje de humedad afecta a las briquetas, generando que estas se deformen y desmoronen, asimismo produciría combustión incompleta, emitiendo hollín y monóxido de carbono, requiriéndose exceso de aire (Sánchez, 2012) y por consiguiente consumo de energía para vaporizar el agua (Irias y Lutz, 2014) y bajos rendimiento (Sánchez, 2012).

Con respecto al material volátil, el resultado obtenido es mucho mayor al obtenido por Cabrera et al (2013), Gallipoliti et al. (2012) y Cuesta (2019). Se observa que el porcentaje de carbón fijo obtenido es mucho menor al reportados por Cabrera et al (2013) y Cuesta (2019).

Se observa además que el material volátil es mucho mayor al obtenido por los autores Cabrera et al (2013) y Gallipoliti et al (2012), así este autor indica que el alto contenido de volátiles permite que el material combustione fácilmente y con llama larga.

Análisis de poder calórico – TGA (Calorímetro)

Tabla 3. Análisis poder calorífico de diferentes briquetas

Briqueta	Base seca PCS[1] (kJ/kg)	Base húmeda PCI[2] (kJ/kg)	Referencia
Pino	20002.7	18532.1	Presente estudio
Pino blanco	17958.8	19562.6	Gallipoliti et al. (2012)
Corteza de eucalipto adulto	14764.2	42794.1	Ortiz (2008)

[1]Poder Calorífico Superior [2]Poder Calorífico Inferior (Fuente: Laboratorios de Energías Renovables, UNALM).

El PCS (20002 kJ/kg) en base seca de pino es mayor al del poder calorífico del material húmedo (18532 kJ/kg) (Tabla 3). Esto se debe a que se consumirá energía para vaporizar el contenido de agua. Se observa lo mismo en reportes de otros autores. El PCS obtenido es mayor al reportado por Gallipoliti et al. (2012) (17958.9 kJ/kg) y al reportado por Ortiz (2008) (14764 kJ/kg), posiblemente porque el material presentó bajo contenido de humedad (2.54%). Asimismo, los resultados de Gallipoliti et al. (2012) mostraron mayor contenido de carbón (24.9 %) y gran cantidad de compuestos volátiles (12.3%). Los resultados obtenidos se encuentran dentro del valor estipulado por la Norma técnica colombiana (NTC 2060) cuyo valor está entre 12560.4 y 20934 kJ/kg para briquetas. Si comparamos el PCS de la briqueta de pino estudiada (20002.7 kJ/kg) con la corteza de eucalipto adulto (14764.2 kJ/kg) vemos que la briqueta de pino tiene mejor performance como biocombustible.

4. Conclusiones

La fabricación de briquetas a partir de residuos forestales de *Pinus patula* procedente de la granja Porcón de la provincia del Cajamarca constituye una importante fuente energética para la zona, contribuyendo positivamente al cuidado del medio ambiente y desarrollo sostenible de la región. Asimismo la fabricación de estos combustibles sólidos contribuye a solucionar los problemas de desechos madereros, revalorizándolos y brindando a la comunidad un combustible alternativo, principalmente a las poblaciones rurales que viven alejadas de los centros de provisión de combustibles convencionales.

5. Agradecimientos

Al proyecto "Aprovechamiento sostenible de los residuos forestales para la producción a pequeña escala de briquetas de biomasa, en la Cooperativa Atahualpa Jerusalén, Cajamarca, ejecutado por Practical Action, con el financiamiento de la Fundación Christadelphian.

6. Referencias

Cabrera, G., Madriñan, S. y Muñoz, D. (2013). Evaluación de índices de conversión energética en la producción de gas combustible a partir de biomasa. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. Edición especial N°2 (118-125). Recuperado de: http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11nspe/v11nespa14.pdf

Cuesta, E. (2019). Valorización de serrín mediante pirólisis: obtención de vinagre de madera. Tesis para optar el título de Ingeniero en Tecnologías Industriales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Universidad de Cantabria. P 91.

D. L. N° 1278. (21 de diciembre 2017). Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. El Peruano. Lima. Recuperado en febrero 2020 de: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/1599663-10%20(5).pdf

Felix, E., Rosell, C. (Ed.).(2010). Bionenergía y seguridad alimentaria. BEFS Volumen I Resultados y conclusiones. Recuperado de: http://www.fao.org/3/i1712s/i1712s.pdf

Francescato, V., Antonini, E., Metschina, C., Schnedl , C., Krajnc , N. y Koscik , K. (2008). Manual de combustibles de madera. Valladolid, España: Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa. Recuperado de: https://docplayer.es/11944307-Manual-de-combustibles-de-madera-produccion-requisitos-de-calidad-comercializacion.html

García, M.E. (2014). Diseño de proceso y de planta piloto para fabricación de briquetas de aserrín (tesis de pregrado). Universidad de Piura, Piura, Perú.

Gallipoliti, V., Martina, P., Corace, J.R., Aeberhardt, R. y García Sola, E. (2012). Fabricación de briquetas con aserrín blanco de pino. Análisis inmediato y obtención de su poder calorífico. *Avances en Energía Renovable y Medio Ambiente* **6**: 35-40.

Huanca, L.V. (2017). Evaluación del Proceso de Producción de Briquetas a partir de residuos de dos maderas de la zona de Iquitos, Loreto (tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

Herguedas, A.I, Taranco, C. (2012). Bloque I Materias primas. En Biomasa, Biocombustibles y Sotenibilidad. (4-12). Madrid, España: Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario.

Irias, A., y Lutz, G. (2014). Composición Química de la biomasa residual de la planta de piña variedad MD2 provenientes de Guacimo, Limon. *Ciencia y Tecnología*, **30** (2), 27-34.

Ortiz, L. (2008) Producción de biocombustibles solidos de alta densidad en España. CIDEU, 5, 107-123. Recuperado de: file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-ProduccionDeBiocombustiblesSolidosDeAltaDensidadEn-2718831%20(1).pdf

Sánchez, A.D. (2012). La biomasa, una oportunidad para las entidades locales. Centro Nacional de Energías Renovables. España. http:// www.crana.org/themed/crana/files/docs/212/172/4biomasa_cener_david_sanchez.pdf

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar I- Recursos, 2020: 82-90
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editores: S. Manrique y Y. Torreiro Villarino

I.6. Valorización energética de biomasas residuales a pequeña escala: obtención de calor y electricidad en España

Yarima Torreiro Villarino[1*], Leticia Pérez[1], Ángela Rodríguez-Abalde[1]

1 Centro Tecnológico EnergyLab, Edificio CITEXVI, Fonte das Abelleiras S/N 36310 Pontevedra (España)

RESUMEN. El empleo de biomasas residuales como fuentes energéticas puede ser una solución eficaz contra el cambio climático causado por el uso masificado de combustibles fósiles. En este trabajo se ha evaluado el funcionamiento de un ciclo orgánico de Rankine (ORC) capaz de producir hasta 50 kWt y 4,4 kWe para la obtención simultánea de calor y electricidad mediante la combustión de biomasas residuales de origen agrícola. Para ello, el módulo ORC se acopló a una caldera de biomasa de 60 kW capaz de producir agua caliente con una temperatura de hasta 100°C. Se realizaron diferentes ensayos consistentes en variar la diferencia de temperatura entre los focos caliente y frío. Los resultados obtenidos indican eficiencias de cogeneración próximas a un 96%, convirtiendo este método de valorización energética en idóneo para el abastecimiento de energía a pequeña escala.

*Correspondencia: Dra. Yarima Torreiro Villarino. Email: yarima.torreiro@gmail.es

1.Introducción

Tradicionalmente, la base de la industrialización de los países ricos ha sido el uso masivo de combustibles fósiles. A día de hoy esto sigue siendo un elemento principal de los procesos de cambio económico que caracterizan a los países más poblados del mundo. En las últimas décadas se han utilizado más que nunca en la historia el petróleo, carbón y gas natural (Salaet y Roca, 2010). El incremento constante en el precio de estos recursos debido a su limitación y futuro agotamiento así como el impacto medioambiental asociado a ellos, han promovido la búsqueda de nuevas fuentes de energía y la necesidad de establecer políticas comunitarias que frenen su consumo. La Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo establece que el consumo final bruto de energía en la Unión Europea deberá proceder como mínimo en un 20% de energías renovables en el año 2020 (CE, 2009).

En España el empleo de energías de origen renovable ha ido adquiriendo cada vez más relevancia. En el año 2017 supusieron un 12,6% del total del consumo energético, lo que las posiciona en tercer lugar, por detrás de los productos petrolíferos (44,3%) y del gas natural (20,9%). Además, las energías renovables cubrieron en su conjunto el 31,9% de la generación eléctrica peninsular ese mismo año (APPA, 2017; IDAE, 2019). En el caso de Portugal y América Latina, las renovables

presentaron los últimos años en torno a un 25% de índice de utilización, generando valores próximos a un 55% de la electricidad obtenida (Dávalos, 2012; APA, 2018).

Entre las energías renovables, la biomasa resulta especialmente atractiva para la generación descentralizada de energía térmica y/o eléctrica en regiones aisladas, ya que se trata de un recurso localmente disponible (Rincón y Silva, 2014). Asimismo, presenta un potencial elevado debido a su papel en la lucha contra el cambio climático, a su menor impacto medioambiental y a su contribución en la mejora de la competitividad, el empleo y el desarrollo regional (APPA, 2017). Si a esto se le añade la gran cantidad de bosques abandonados y la existencia de tipologías de biomasas que en la actualidad no están siendo aprovechadas, el uso de biomasas residuales como fuente de energía se perfila como fundamental para mejorar la calidad del medio ambiente, contribuir al desarrollo de una economía circular y brindar recursos energéticos a zonas apartadas y sin acceso a la red eléctrica (Febrero et al., 2015; Verma et al., 2012; Fernandes, 2010; Carneiro y Ferreira, 2012), situación que en América Latina se estima afecta al 7% de la población (31 millones de personas) (Rincón y Silva, 2014).

El territorio iberoamericano cuenta con un número importante de recursos forestales y agrícolas que permitirían cubrir buena parte de la demanda energética no sólo de las áreas rurales y urbanas marginales sino de los territorios en general. En el caso de España, este tipo de biomasas presentan una elevada disponibilidad (Unión por la biomasa, 2018), perfilándose como recursos con un gran potencial, tanto desde el punto de vista energético como económico, ya que en su gran mayoría no están siendo valorizadas. Tal es el caso de los restos procedentes de las podas de viñedos, plantaciones presentes en casi 1.000.000 ha del país (MAPA, 2013). Es por ello que fomentar y optimizar la valorización energética de la biomasa es de gran importancia, debido a la necesidad urgente de reorientar el modelo productivo hacia un modelo circular basado en la bioeconomía.

Dentro de las diferentes opciones de valorización energética, la cogeneración ha demostrado ser una forma eficiente y limpia de producción simultánea de electricidad y calor útil en el propio lugar de consumo, requiriendo un menor consumo de energía primaria en comparación con la misma producción de electricidad y calor por separado, con la consiguiente reducción de emisiones a la atmósfera (Peris et al., 2014). De hecho, la cogeneración es considerada como la opción principal para la sustitución de los sistemas energéticos tradicionales (D'Accadia et al., 2003). Teniendo en cuenta esto, la microcogeneración, (referida a equipos de pequeña potencia, de menos de 50 kW), se perfila como una alternativa idónea en las aplicaciones a pequeña escala (Fenercom, 2012).

Tradicionalmente la generación de energía eléctrica a partir de la combustión de biomasa se basa en generar vapor a presiones elevadas, para luego en su descompresión poder generar trabajo en una turbina y con ello generar energía eléctrica. El vapor que sale de la turbina se introduce en un condensador, donde cambia a estado líquido. Una bomba se encarga de aumentar la presión de dicho líquido para introducirlo de nuevo en la caldera, cerrando de este modo el ciclo. El proceso termodinámico que se lleva a cabo es el ciclo de Rankine, en donde la mejora del rendimiento térmico del ciclo se consigue por medio de la máxima diferencia entre las temperaturas alcanzadas en el proceso. Esto obliga a tratar de conseguir vapor sobrecalentado, lo que resulta difícil mediante la combustión de biomasa, ya que es complicado alcanzar temperaturas superiores a 350°C (Vignote, 2016).

Una alternativa al ciclo anteriormente descrito es el ciclo orgánico de Rankine (ORC). El funcionamiento del ORC es similar al ciclo básico de Rankine pero en vez de agua opera con un fluido o aceite orgánico (generalmente un fluorocarbono), de elevado peso molecular cuyo punto de ebullición se encuentra por debajo de los 100°C, lo cual permite que se simplifique considerablemente el proceso tradicional en cuanto a complejidad y coste. Estas ventajas hacen que el uso de este ciclo sea especialmente atractivo para generar electricidad de un modo eficiente a partir de fuentes térmicas de baja calidad como es el caso de las obtenidas mediante combustión de la biomasa, mejorándose así la eficiencia del proceso en aplicaciones de baja temperatura (Peris et al., 2014; Droguett, 2017).

El principio básico de funcionamiento de un ORC consiste en la captura de energía térmica procedente de un foco caliente mediante la evaporación del fluido de trabajo, para posteriormente reducir su entalpía en un expansor y generar trabajo mecánico o eléctrico. Al tratarse de un ciclo cerrado, el vapor de la salida del expansor se condensa por la acción de un foco frío y seguidamente se presuriza el líquido para empezar de nuevo el ciclo (Peris et al., 2014; Droguett, 2017; Persi et al., 2015). Adicionalmente puede emplearse un regenerador o precalentador donde el fluido es precalentado mediante el calor cedido cuando dicho fluido condensa, permitiéndose el incremento de la eficiencia del sistema (Calise et al., 2018; Park et al., 2018).

Un ORC puede generar únicamente electricidad mediante la disipación del calor procedente del condensador o producir al mismo tiempo calor útil para proceso, permitiendo la consecución de un sistema globalmente más eficiente con rendimientos globales superiores a un 90% (Peris et al., 2014). A nivel mundial existen en la actualidad al menos cien plantas de biomasa acopladas a ORC para la producción de electricidad y calor a potencia intermedia (100-1.500 kW), estando la mayor parte de ellas situadas en Europa. Este número se está viendo rápidamente incrementado a medida que la tecnología va madurando y, con ello, disminuyendo sus costes de implantación (Tchanche et al., 2011).

El objetivo de este trabajo es evaluar la viabilidad de la aplicación de la microcogeneración como sistema de valorización energética de biomasas residuales agrícolas no valorizadas (restos de poda de vid) mediante un ORC acoplado a una caldera de biomasa. Para ello se analizarán las eficiencias eléctricas, térmicas y de cogeneración obtenidas, valores con los que será posible evaluar la idoneidad del sistema empleado para la obtención simultánea de calor y electricidad en aplicaciones a pequeña escala.

2.Materiales y métodos

Se emplearon restos de podas de vid en forma de pellets cilíndricos con un diámetro de 6 mm y longitud < 40 mm (D06). En todos los ensayos realizados se usaron pellets de pino con certificación ENplus A1 como combustible de referencia. El sistema de microcogeneración estudiado en este trabajo cuenta con los siguientes elementos principales:

- Una caldera policombustible, encargada de generar la energía térmica necesaria para poder producir electricidad en el ORC en forma de agua caliente, con las siguientes características principales:
  - Tipo de alimentación: desde un silo mediante un tornillo sinfín por canal ascendente.
  - Diseño del quemador: parrilla móvil.

- Sistema de ignición: elemento de encendido de cerámica.
- Revestimiento de la cámara de combustión con carburo de silicio para resistir las altas temperaturas de combustión.
- Intercambio de calor mediante turbuladores de alta eficiencia. Limpieza mecánica automática y programable.
- Potencia: 60 kW.
- Sistema de control de combustión con sonda Lambda.
- Extracción automática de cenizas a intervalos regulares en un contenedor designado para tal fin.
- Dispositivo de seguridad contra incendios, mediante una esclusa de rueda circular, que garantiza un funcionamiento totalmente seguro.

Una máquina ORC (modelo comercial HRU-4 (Enerbasque, 2018) diseñada para el aprovechamiento de calor a baja temperatura, (hasta 100°C en agua), mediante su conversión en electricidad. Cuenta con una configuración de ciclo regenerativa por la cual recupera, además del calor producido en la fuente térmica, el calor residual disponible a la salida del expansor para precalentar el líquido presurizado. Está diseñada para generar una potencia eléctrica máxima de 4,4 kWe, limitada por la potencia nominal del generador, alcanzando un rendimiento eléctrico mínimo del 7,5% (ŋel, ecuación 1). Por otra parte, la potencia térmica que puede ser recuperada en el evaporador es de hasta 50 kW, con rendimientos térmicos de como mínimo un 83% (ŋt, ecuación 2).

$$\eta el = \frac{\text{potencia eléctrica en bornas del generador (kWe)}}{\text{potencia térmica aportada en el evaporador (kWt)}} \qquad \text{[Ecuación 1]}$$

$$\eta t = \frac{\text{calor cedido por el condensador (kWt)}}{\text{calor captado en el evaporador (kWt)}} \qquad \text{[Ecuación 2]}$$

El rendimiento eléctrico presentado es el rendimiento bruto. Para el cálculo del neto debe considerarse la diferencia entre la electricidad producida en el generador y la consumida por la bomba del ORC. La eficiencia de la cogeneración se calcula mediante la suma del rendimiento eléctrico neto y el térmico. Las potencias térmicas se calculan de acuerdo a las ecuaciones 3 y 4, en las que se tienen en cuenta la densidad (ρ), el caudal volumétrico (Q), el calor específico (Cp) y las temperaturas del fluido caloportador empleado (T). Los caudales y temperaturas necesarios para los cálculos fueron medidos y registrados mediante un sistema de control de datos en el que se visualizan y registran en todo momento todos los parámetros relevantes del sistema.

$$Potencia\ condensador = \rho * Q * Cp\ (T_{agua,\ salida} - T_{agua,entrada}) \qquad \text{[Ecuación 3]}$$

$$Potencia\ evaporador = \rho . Q . Cp\ (T_{agua,entrada} - T_{agua,salida}) \qquad \text{[Ecuación 4]}$$

El fluido orgánico utilizado es el R245fa, comúnmente utilizado entre los sistemas ORC, ya que se trata de un fluido no inflamable, con baja toxicidad y moderadas propiedades medioambientales (bajos potencial de agotamiento de la capa de ozono y potencial de calentamiento global)(Persi et al., 2015). En la Tabla 1 se resumen algunas de las características del módulo ORC estudiado.

A pesar de tratarse de una planta destinada a la cogeneración, el sistema experimental cuenta con un aerorefrigerador para evacuar el calor del condensador mediante un circuito de agua. Dicho equipo es un intercambiador de calor aire/agua que impulsa aire mediante convección forzada para refrigerar el agua de entrada.

Tabla 1. Características del ciclo orgánico de Rankine empleado.

Potencia eléctrica nominal/máxima (kW)	4/4,4
Generador	Asíncrono
Potencia térmica recuperada en evaporador (kW)	50
Fluido de trabajo	Hidrofluorocarbono R245fa
Configuración del ciclo	Regenerativa
Tipo de intercambiadores de calor	Placas soldadas
Temperatura entrada agua evaporador (ºC)	100
Temperatura salida agua evaporador (ºC)	70-92
Temperatura de agua máxima (ºC)	120
Temperatura máxima entrada agua condensador (ºC)	40
Presión de agua nominal/máxima	3 bar/5,5 bar

El sistema cuenta asimismo con un disipador eléctrico en forma de resistencias para evitar la inyección de la electricidad generada a red. En las siguientes Figuras 1, 2 y 3 se muestran los principales componentes del sistema.

Figura 1. Caldera del sistema de microcogeneración (Fuente: manual técnico caldera KWB Modelo MF2-D60).

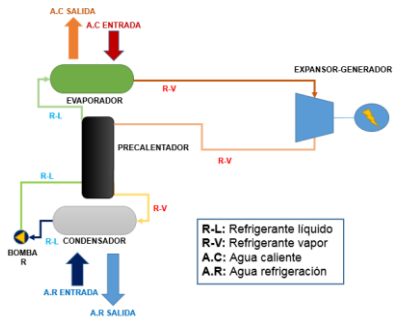


Figura 2. Módulo ORC empleado (Fuente: imagen propia).

Figura 3. Aerorefrigerador (Fuente: imagen propia).

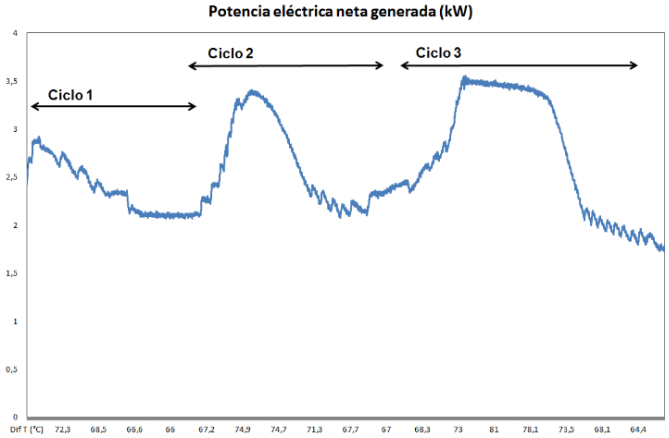
Banco de ensayos del sistema ORC

Con el objetivo fundamental de evaluar la viabilidad del empleo del sistema de microcogeneración para la valorización energética de las biomasas estudiadas se llevaron a cabo una serie de pruebas experimentales basadas fundamentalmente en variar la temperatura del foco caliente entre 82°C (temperatura próxima a la mínima que requiere el ORC empleado para funcionar) y aproximadamente 98°C (temperatura cerca de la cual se produce el paro automático de la caldera por riesgo de sobrecalentamiento). Durante el transcurso de los ensayos se mantuvieron prácticamente constantes la temperatura del foco frío (dependerá de la temperatura del aire ambiente en el día del ensayo) y los caudales de agua caliente y fría.

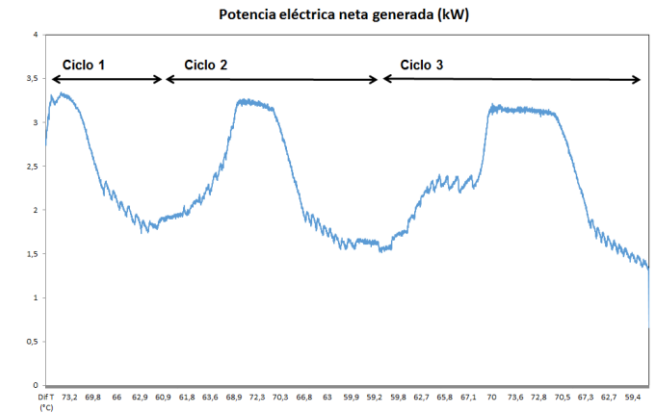
3. Resultados y discusión

La Figura 4 muestra la influencia de la diferencia de temperatura entre focos sobre la potencia eléctrica neta generada en el ORC a lo largo de tres ciclos de funcionamiento en continuo.

La potencia eléctrica máxima alcanzada es de 3,55 kW en el caso de emplear pellets de pino (ΔT=74,7°C) y de 3,33 kW cuando se utilizan pellets de poda de vid (ΔT=74,1°C). El orden de potencias observado está directamente relacionado con la diferencia de temperatura entre focos: a mayor diferencia de temperatura, mayor es la potencia generada por el módulo estudiado.



(a)



(b)

Figura 4. Potencia eléctrica neta generada en el ORC en función de la diferencia de temperatura entre focos empleando (a) pellets de pino (b) pellets de poda de vid.

En la Figura 5 se presenta el rendimiento eléctrico neto alcanzado por los diferentes biocombustibles estudiados. Dado que en ninguno de los casos se observa la misma tendencia en el primer ciclo que en los otros dos, se indicarán los mayores valores obtenidos tras ese primer ciclo.

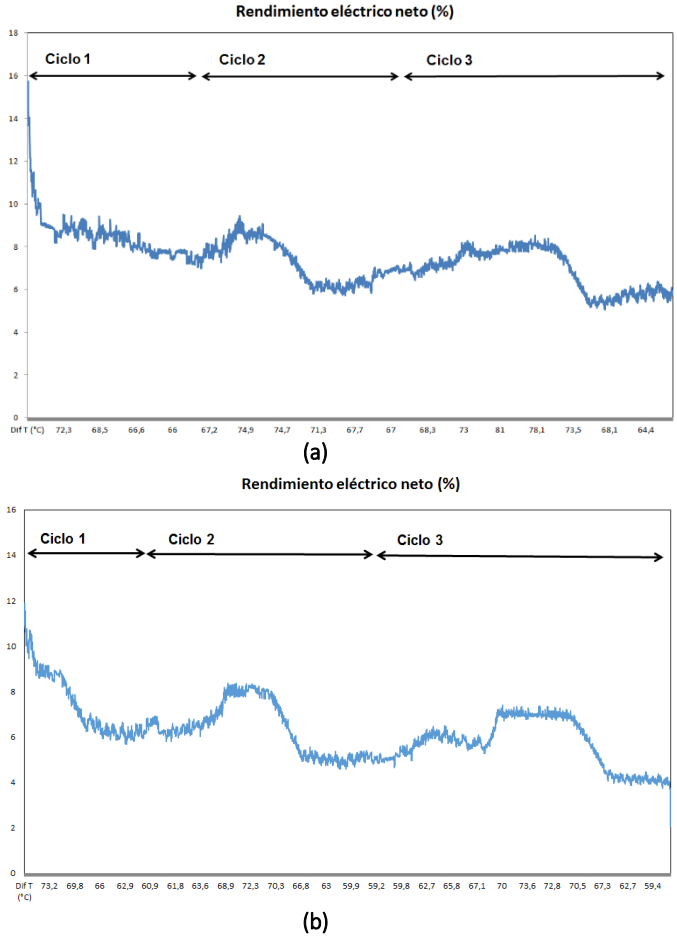


Figura 5. Rendimiento eléctrico neto del ORC en función de la diferencia de temperatura entre focos empleando pellets de pino (a) y pellets de poda de vid (b).

Tal y como se observa se obtiene la misma tendencia que en el caso de la potencia, es decir, el rendimiento eléctrico se incrementa cuanto mayor es la diferencia de temperaturas entre los focos caliente y frío, tal y como establece el Teorema de Carnot para cualquier máquina térmica. La eficiencia máxima obtenida se aproxima a un 9,45% en el caso de emplear pellets de pino y a un 8,37% cuando el combustible utilizado son pellets de poda de vid. Conviene destacar que las pequeñas diferencias que se puedan observar tanto en los valores de potencia como en los de los rendimiento obtenidos a la misma diferencia de temperaturas con los dos materiales empleados se debe a que, aunque la diferencia de temperaturas en valor absoluto sea la misma, se obtendrán valores más prometedores cuando el ORC se aproxime más a las condiciones de diseño (T foco caliente=100°C; T foco frío=15°C). Por último y con objeto de caracterizar el módulo de cogeneración, en la Tabla 2 se muestran las características más relevantes del sistema en uno de los puntos de máximo rendimiento eléctrico neto observado en estos ensayos (9,45%).

Empleando el módulo ORC descrito en la presente investigación se pueden llegar a alcanzar eficiencias de cogeneración superiores a un 100%, pero esto es debido a que los valores proporcionados en la Tabla 2 son en un instante puntual. Al tratarse de una máquina térmica y tener un depósito/pulmón de refrigerante, las inercias

hacen que no nos podamos fijar en rendimientos instantáneos, puesto que la energía captada por el evaporador no se traslada instantáneamente al generador eléctrico ni al condensador.

Tabla 2. Características del módulo ORC en el punto de máximo rendimiento observado.

T entrada agua evaporador (ºC)	89,5
T entrada agua al condensador (ºC)	15,8
Potencia eléctrica bruta (kW)	3,85
Potencia eléctrica neta (kW)	3,31
Potencia térmica captada (kW)	35,02
Calor útil producido (kW)	34,47
Rendimiento eléctrico bruto (%)	10,99
Rendimiento eléctrico neto (%)	9,45
Rendimiento térmico (%)	99,42
Eficiencia cogeneración (%)	≥100

Considerando los valores acumulados a lo largo de un ciclo se obtienen rendimientos de cogeneración próximos a un 96% con los diferentes biocombustibles empleados (en torno a un 8% de rendimiento eléctrico neto y 88% de rendimiento térmico en el caso del pino y en torno a un 7% de rendimiento eléctrico neto y 89% de rendimiento térmico en el caso de emplear restos de poda de vid), con pérdidas mínimas debido a la radiación y al generador, demostrándose así la idoneidad del empleo del sistema para la valorización energética de las biomasas estudiadas.

4. Conclusiones

En este trabajo se ha evaluado el funcionamiento de un módulo ORC acoplado a una caldera de biomasa para llevar a cabo la valorización energética de biomasas residuales mediante su transformación en electricidad. Las pruebas realizadas permiten determinar, por una parte, que las diferencias de temperatura entre el foco caliente y el foco frío influyen de un modo significativo en los resultados obtenidos y, por otra que, en las condiciones empleadas en este trabajo se pueden obtener rendimientos de cogeneración próximos a un 96%, perfilándose este método como idóneo para la obtención de calor y electricidad a partir de los materiales estudiados, convirtiéndolo en una opción a tener en cuenta para el abastecimiento energético a pequeña escala.

5. Agradecimientos

Los autores quieren mostrar su agradecimiento al Proyecto Biomasa-AP, cofinanciado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través del Programa Interreg V-A España-Portugal (POCTEP) 2014-2020, a Enerbasque (fabricante del ORC) y a ReBiBiR.

6.Referencias

Agencia Portuguesa do Ambiente, "REA Relatório do estado do ambiente 2018", Portugal, 2018.

APPA (2017). Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España.

Calise F., Macaluso A., Pelella P. y L. Vanoli. (2018). A comparison of heat transfer correlations applied to an Organic Rankine Cycle. *Eng. Sci. Technol. an Int. J*, Octubre.

Carneiro P. y Ferreira P. (2012). The economic, environmental and strategic value of biomass. *Renewal Energy*, **44**, 17–22.

Consejo de la Unión Europea. (2009). Directiva 2009/28/CE del parlamento europeo relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.

D'Accadia D., Sasso M., Sibilio S., y Vanoli L. (2003). Micro-combined heat and power in residential and light commercial applications. *Aplied Therm. Eng*., ***23(10) 1247-1259***.

Dávalos, V. (2012). Matriz energética en América Latina y el Caribe, situación actual y perspectivas de las energías renovables. La Habana.

Droguett P. R. (2017). Estudio de aplicación de sistemas ORC para la generación de Energía Eléctrica y su estado actual en el mercado nacional. Valparaíso - Chile.

Enerbasque (2018). "HRU-4,". Recuperado de http://enerbasque.com/

Febrero L. E. Granada, Regueiro A. y Míguez. J. (2015). Influence of combustion parameters on fouling composition after wood pellet burning in a lab-scale low-power boiler. *Energies*, **8**, 9794–9816.

Fenercom. (2012). Guía Básica de Microcogeneración. Madrid.

Fernandes M. C. (2010). Potential of biomass residues for energy production and utilization in a region of Portugal. *Biomass and Bioenergy*, **34**(5), 661–666.

IDAE. (2019). Informe estadístico de energías renovables. Recuperado de http://informeestadistico.idae.es/t1.htm.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, "Vitivinicultura" (2013).Recuperado de https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/vitivinicultura/default.aspx.

Park B. S., Usman M., Imran M. y Pesyridis A. (2018). Review of Organic Rankine Cycle experimental data trends. *Energy Convers. Manag*, **173**, 679–691.

Peris B., Navarro-Esbrí F., Joaquín Molés, Mota-Babiloni A., Barragán-Cervera Á. y Collado R.(2014). Mejora de un sistema de cogeneración mediante el ciclo Rankine orgánico (ORC). XIII Congr. Ibero-Americano Clim. y Refrig, (CIAR). Madrid - España.

Peris B., Navarro-Esbrí J., Molés F., González M. y Mota-Babiloni A. (2015). Experimental characterization of an ORC (organic Rankine cycle) for power and CHP (combined heat and power) applications from low grade heat sources. *Appl. Therm. Eng*, **79**, 1–8.

Peris B., Navarro-Esbrí J., Molés F. y Mota-Babiloni A. (2015). Optimización teórica del ciclo Rankine orgánico (ORC) para el aprovechamiento de fuentes térmicas de baja temperatura.

Rincón Martínez J. M. y Silva Lora E. E. (2014). Bioenergía: Fuentes, conversión y sustentabilidad. Bogotá - Colombia: CYTED.

Salaet Fernández, S. y Roca Jusmet, R. (2010). Agotamiento de los combustibles fósiles y emisiones de CO2: Algunos posibles escenarios futuros de emisiones. *Rev. Galega Econ*, **19** (1).

Tchanche B., Lambrinos G., Frangoudakis A. y Papadakis G. (2011). Low-grade heat conversion into power using organic Rankine cycles–A review of various applications. Renew. Sustain. *Energy Rev*,**15**, 3963–3979.

Unión por la Biomasa. (2018). Balance socioeconómico de las biomasas en España 2017-2021.

Verma V., Bram S., Delattin F., Laha P. y Vandendael I. (2012). Agro-pellets for domestic heating boilers: Standard laboratory and real life performance. *Appl. Energy*, **90**, 17–23.

Vignote S. (2016). Procesos termoquímicos de la madera y en general de la biomasa.

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar I- Recursos, 2020: 91-96
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editores: S. Manrique y Y. Torreiro Villarino

I.7. Crecimiento potencial de la bioenergía y de la cogeneración en la agroindustria azucarera de Colombia

José María Rincón Martínez[1*], Pedro Oswaldo Guevara Patiño[1], Diana Marcela Durán Hernández[1]

[1]*Centro de Desarrollo Industrial – Tecsol. Bogotá – Colombia.*

RESUMEN. En Colombia, bajo condiciones normales de hidrología, el 80% de la generación es hidroeléctrica. En temporada seca la generación térmica es importante y llega a cubrir más del 50% de la demanda energética del país. En el caso de los ingenios azucareros la cogeneración con bagazo de la caña de azúcar se vuelve importante para resolver el problema de la escasez y la generación se puede incrementar utilizando carbón en co-combustión con el bagazo, y el uso de calderas modernas de alta presión que mejora la eficiencia energética en los ingenios azucareros. Evaluaciones iniciales muestran que la capacidad de generación eléctrica puede mejorar de 8,5 MW (en condiciones de generación con calderas de baja presión) a 34 MW con calderas modernas, entregando cada ingenio hasta 25 MW a la red central. Entre todos los ingenios azucareros del país se puede sustituir, en temporada seca, una planta térmica de carbón de 250 MW. Este modelo de cogeneración con biomasa- carbón es factible de aplicar en otras regiones de zafra como Centro América y el Caribe.

*Correspondencia: Dr José María Rincón. E-mail: joserinconmartinez@gmail.com.

1. Introducción

La Cordillera de los Andes, la más importante de América Latina, se divide en tres ramas dentro del territorio colombiano, dando lugar a una variedad de climas que van desde bosques y llanuras tropicales hasta áreas de nieve perpetua a una altitud de 4.000 m.s.n.m. El clima permanece relativamente estable durante todo el año, con dos estaciones secas de diciembre a marzo y de julio a agosto; y dos de lluvias intensas de abril a junio y de octubre a noviembre. Las características geográficas y climáticas mencionadas favorecen la generación de energía hidroeléctrica, como fuente principal de generación primaria con lluvias constantes y condiciones favorables para el almacenamiento de agua. Esta alta capacidad de almacenamiento hidroeléctrico conduce a la vulnerabilidad en el sistema energético cuando hay periodos largos de sequía; como ocurrió en el 2015 - 2016 donde se presentó un aumento de la intensidad del fenómeno del NIÑO que causó la disminución significativa del suministro de agua y como consecuencia el aumento de los precios de la energía en la bolsa.

En Colombia, la capacidad instalada por fuente de generación de energía eléctrica, se distribuye como se muestra en la Figura 1, 69,93% hidroeléctrica, 5,61% ACPM, 0,55% bagazo, 8,17% carbón, 12,61% Gas Natural, y 3,13% otros. En condiciones normales de hidrología, el 80% de la generación en el país es hidroeléctrica. En la estación seca, la generación térmica se vuelve importante y llega a satisfacer más del 50% de la demanda de energía en el país.

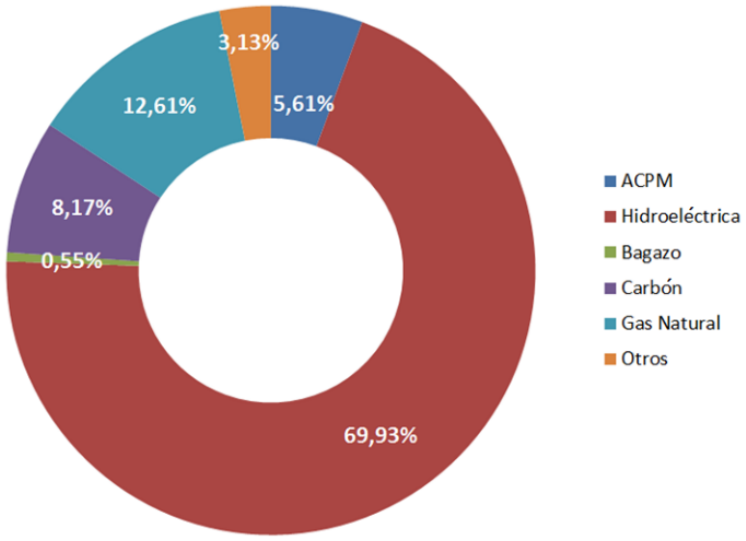


Figura 1. Participación por capacidad instalada de generación 2016 (UPME, 2016)

Las regiones tropicales de América Latina y el Caribe, tienen condiciones naturales favorables a la producción de bioenergía, tales como: alta incidencia de radiación solar, temperaturas apropiadas, suelos y topografía adecuados, especialmente entre los paralelos de 35° de latitud norte y sur. Además de la disponibilidad de agua, existe el potencial de aumentar las tierras cultivables y una tradición de industrialización de la caña de azúcar, el cultivo energético de mayor eficiencia en el mundo (Brito-Cruz et al., 2016).

El cultivo de caña de azúcar, en Colombia, se extiende a lo largo del valle geográfico del río Cauca, al suroccidente colombiano que se caracteriza por sus suelos fértiles y planos, no inundables. Con una temperatura media de 24°C, la región presenta condiciones agroclimáticas privilegiadas que permite cultivar y cosechar caña durante todo el año. El área sembrada abarca 230.303 hectáreas en 48 municipios (Asocaña, 2015), desde el norte del departamento del Cauca, la franja central de los departamentos del Valle del Cauca, Quindío, Risaralda, hasta el sur del departamento de Caldas.

2. Discusión

Colombia es hoy, el segundo productor de etanol a partir de la caña de azúcar, después de Brasil. El país comenzó la producción de alcohol anhidro a fines de 2005. En 2003, por razones ambientales, el gobierno colombiano estableció un marco de política para el sector de los biocombustibles que garantiza un precio mínimo a los productores y un compromiso general del gobierno para apoyar la producción y el desarrollo de biocombustibles (Gilbert y Pinzón, 2015).

Colombia, también es conocida como el país con mayores reservas de carbón, en Sur América, con una producción de 85 millones de toneladas anuales (Portafolio, 2016). Por lo tanto, la co-combustión del bagazo con carbón es muy importante para

la sostenibilidad de la generación de energía firme, en épocas de invierno en la que se reduce la molienda de caña y por tanto la disponibilidad de bagazo. La Tabla 3 muestra la caracterización analítica del bagazo y del carbón utilizado en la caldera de cogeneración.

Tabla 3. Datos analíticos del bagazo y del carbón utilizado.

Propiedad	Bagazo	Carbón
Humedad (%)	45,49	4,4
Cenizas (%)	10,75	12,6
Materia volátil (%)	38,27	32,8
Carbono fijo (%)	5,49	50,2
Azufre (%)	0,14	1,0
Poder Calorífico (kcal/kg)	2.100	7.057

En la Tabla 3 se puede observar que la humedad del bagazo es alta mientras que en el carbón es baja (bagazo 45,49%, carbón 4,4%), el contenido de azufre en el bagazo es bajo (0,14%) comparado con el carbón (1,0%). El comportamiento del poder calorífico es contrario, alto para el carbón y bajo para el bagazo (7.057 y 2.100 kcal/kg respectivamente); esto muestra que hay una complementariedad entre los dos combustibles utilizados.

La Figura 2, muestra la producción normal de caña de azúcar (línea verde), en comparación con la cantidad de lluvia (línea azul). Cuando hay una mayor cantidad de lluvia la producción de caña de azúcar disminuye debido a la dificultad de la cosecha, y esta aumenta durante la estación seca dada la facilidad de mantenimiento de las carreteras veredales.

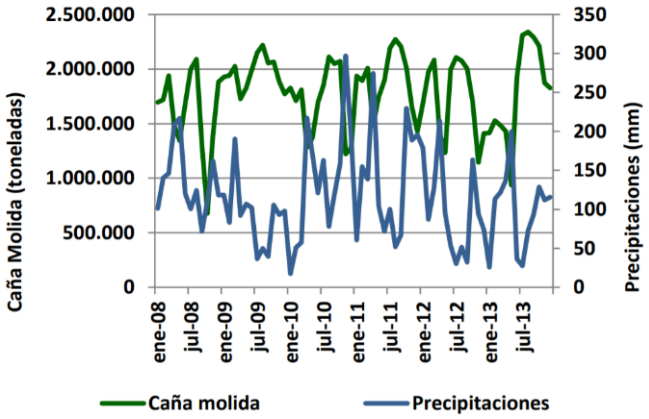


Figura 2. Complementariedad en la producción de bagazo con generación hídrica (Asocaña, 2015)

El principal problema cuando se utiliza el bagazo es su alto contenido de humedad, que se podría evitar mediante un proceso de pre-secado. La producción de bagazo para cada mes es más alta durante la estación seca, cuando la generación hidráulica es menor, por lo que hay una fuente de energía complementaria como se muestra en la Figura 2, lo cual indica claramente que durante la temporada de lluvias (abril-mayo y octubre-noviembre) la producción de bagazo es menor mientras que durante el período seco hay una oferta máxima. Esta complementariedad es importante para asegurar el suministro de energía durante la estación seca; no obstante, para los períodos de invierno que disminuye la oferta de bagazo, se tiene el uso del carbón como co-combustible para asegurar el suministro de energía, y en esta forma garantizar la oferta de energía firme a la red.

La Ley 1715/14, en Colombia, fue creada para promover el desarrollo y uso de fuentes de energía no convencionales, para la generación y entrega al sistema energético nacional y que sirva como factor determinante al desarrollo económico sostenible. Esta ley también promueve el crecimiento de la autogeneración y los sistemas de generación distribuida. Cuando la generación se ve afectada, como en el período del NIÑO, necesitamos generación termoeléctrica con carbón, que produce emisiones de gases de efecto invernadero, estas emisiones pueden ser parcialmente evitadas en el proceso de co-combustión con bagazo y biomasa residual industrial y agrícola.

Antes de la Ley 1715, no existían incentivos suficientes para la generación de energía a pequeña escala con fuentes de energía renovables y la eficiencia de generación no era importante desde el punto de vista económico. En la actualidad, la nueva regulación fomenta la modernización de los turbogeneradores como los de la cogeneración en la agroindustria azucarera, para suministrar energía a la red, convirtiéndose en una oportunidad de negocio, por lo que la eficiencia energética y los ahorros de energía se han vuelto más importantes. En consecuencia, todos los ingenios azucareros han modernizado la generación de energía y la eficiencia en la utilización de la energía es considerada un importante factor de productividad, ya que un ahorro de energía por mayor eficiencia se convierte en una mayor oferta de energía excedente a la red. En condiciones similares existen otras agroindustrias con residuos de biomasa que son candidatos a instalar plantas de cogeneración como la de palma aceitera, arroz y otras biomasas (Rincón et al., 2014) que pueden aumentar la oferta de generación para evitar emisiones de gases de efecto invernadero y ayudar en la mayor oferta competitiva de los alimentos relacionados.

Con estos principios la agroindustria azucarera busca aumentar la oferta energética mediante el uso de otros biocombustibles o subproductos como es el caso de los residuos de cogollos, hojas de la caña y malezas que acompañan la planta como paja y vejucos factibles de recolección durante la cosecha, conocidos como Residuos Agrícolas de Cosecha (RAC). En la Figura 3 se muestra la producción total de RAC por meses durante los años 2014 y 2015, en ella se evidencia la producción constante durante todo el periodo de estudio, lo cual es importante para su aprovechamiento.

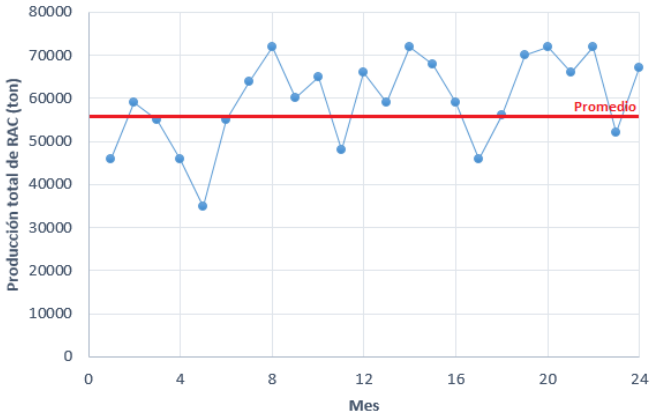


Figura 3. Producción total de RAC de caña de azúcar. (Fuente: Adaptado de Salcedo y otros, 2015)

La producción de bagazo, combustible sólido, actualmente utilizado en la generación eléctrica en los ingenios, es el 28% de la producción de caña que se estima en 6 millones de toneladas anuales. Un informe reciente, estima que la generación total de residuos aprovechables de cosecha (RAC) en base húmeda, en el año 2015 fue de 952.450 toneladas, que en base seca corresponde a 285.000 toneladas, con poder

calorífico de 4.302 kcal/kg (Salcedo et al., 2015). Las características fisicoquímicas del cogollo y las hojas se presentan en la Tabla 4. Se observa la importancia de hacer un pretratamiento de secado a este material ya que un 70% en promedio de humedad residual puede ser llevado a un 12% de humedad de equilibrio con un secado al ambiente, que en el ingenio se puede realizar con aire caliente utilizando el calor residual no aprovechado en el proceso de elaboración de azúcar, este mismo principio es factible de utilizarse con el bagazo, para lo cual es importante hacer los ensayos pilotos respectivos.

Tabla 4. Análisis próximo (%) y poder calorífico superior (PCS) de los RAC de caña de azúcar (Salcedo et al., 2015)

Parámetro	Cogollo	Hoja Verde	Hoja Seca
Humedad inicial (%)	78,61	65,7	11,97
Humedad residual (%)	6,04	6,22	5,94
Materia Volátil (%)	71,21	66,88	68,57
Carbón Fijo (%)	15,62	17,11	13,9
Cenizas (%)	7,13	9,75	1,59
Azufre (%)	0,2	0,26	0,22
PCS (kcal/kg)	4.321	4.402	4.443

Una parte de energía generada a partir de la co-combustión de bagazo/carbón que se produce en la industria de los Ingenios, se utiliza en el proceso de molienda, la otra parte se exporta a la red y la energía térmica se utiliza en la elaboración del azúcar.

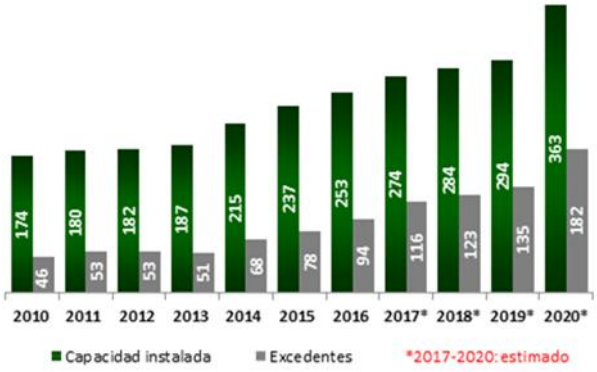


Figura 4. Capacidad instalada para la generación de energía en ingenios azucareros (MW). (Asocaña, 2016)

Los proyectos de cogeneración y la proyección de la capacidad instalada se muestran en la Figura 4, esta capacidad aumentará en 100 MW a corto plazo para entrega de energía excedente a la red, es decir unos cinco años, de 237 MW a 337 MW, debido a los nuevos incentivos regulatorios y al nuevo sistema de distribución. La cogeneración de biomasa se está volviendo muy importante para resolver el problema de la escasez de energía eléctrica, y su capacidad puede sostenerse mediante el uso de carbón en co-combustión con bagazo u otros residuos de biomasa industrial como se discutió anteriormente.

En la Tabla 5 se muestran los datos de mejoramiento de la generación entregada a la red nacional antes de la implantación de las mejoras de co-combustión y después de las mismas.

Tabla 5. Datos de mejoramiento de la generación entregada a la red

Objetivo	Antes	Ahora
Eficiencia	Cuádruple efecto	Quíntuple efecto
	Turbinas a vapor	Motorización Moderna
	Calderas (baja presión y temperatura)	Calderas (alta presión y temperatura)
	Turbogeneradores antiguos	Turbogeneradores modernos
Consumo de carbón	> 6.200 t/mes	< 2.000 t/mes
Reducción de material particulado y emisiones	2.300 mg/N*m^3 SO_2 22 t/mes. NO_x 32 t/mes.	< 50 mg/N.m^3 SO_2 19 t/mes. NO_x 20 t/mes.
Capacidad de generación	8,5 MW	34 MW
Energía vendida	< 1 MW	15 MW

Las evaluaciones iniciales muestran que la capacidad de generación eléctrica puede doblarse con la práctica de co-combustión de biomasa-carbón; cada planta de azúcar puede entregar hasta 25 MW a la red central, por lo que en Colombia, los diez ingenios azucareros pueden reemplazar una planta térmica de carbón de 250 MW durante las estaciones secas. Si se integra el RAC como combustible de la caldera, este puede reemplazar una tercera parte del bagazo o su equivalente en carbón, en las plantas de cogeneración.

En general, la biomasa residual generada como residuos durante la producción de alimentos en la industria agrícola, es una fuente de energía renovable. La sinergia entre la producción de alimentos y la coproducción de bioenergía ayuda a garantizar una oferta suficiente y competitiva de los alimentos y aumentar el suministro de energía, evitando emisiones excesivas de gases de efecto invernadero y otros contaminantes.

3. Referencias

Asocaña. (2015). Sector Azucarero: Patrimonio Cultural, Social y Económico de los Colombianos. Recuperado el 13 de Julio, 2016 de http://www.asocana.org/documentos/2692014-90F926BD-00FF00,000A000,878787,C3C3C3,0F0F0F,B4B4B4,FF00FF,2D2D2D.pdf

Asocaña. (2016). Aspectos Generales del Sector Azucarero Colombiano 2015-2016.

Brito-Cruz, C., Cortez, L., Nogueira, L., Baldassin Jr., R., y Rincón, J. (2016). Guide towards a sustentable energy future for the americas. Mexico.

Gilbert, A., y Pinzón, L. (2015). Colombia Biofuels Annual: Trade Protection Worsens Biofuels Shortfall. USDA Foreign Agricultural Service.

Portafolio. (2016). Producción de carbón no superará los 85 millones de toneladas.

Rincón, J., Gastón, R., Islas, J., y Lizarde, J. (2014). Potencial de la biomasa y perspectivas en diferentes países. *Bioenergía: Fuentes, conversión y sustentabilidad*. Bogotá.

Salcedo, J., Clavijo, J., Valencia, L., Gutiérrez, M., Angulo, J., y Arias, A. (2015). Cuantificación, Caracterización y Georreferenciación de la Biomasa Residual para aprovechamiento energético en el Valle geográfico del río Cauca. Palmira.

UPME. (2016). Informe Mensual de Variables de Generación y del Mercado Eléctrico Colombiano - Diciembre de 2016. Bogotá

..

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar I- Recursos, 2020: 97-105
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editores: S.M. Manrique - Y. Torreiro Villarino

I.8. Biogás como sustituto de la leña. Caso colombiano

José María Rincón Martínez[1], Diana M. Durán Hernández[1]

[1] *Centro de Desarrollo Industrial, Tecsol Ltda- 1 a 24, Cra. 71, Bogotá, Colombia*

RESUMEN. El biogás producido en pequeños digestores en zona rurales, cada día se usa con mayor frecuencia en estufas para cocinar o calentar alimentos, desplazando combustibles que generan altas emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como los derivados de petróleo y el carbón mineral. En este escrito se muestran las externalidades ambientales y sociales positivas que se obtienen al utilizar biogás como combustible térmico en el medio rural y la metodología para el cálculo de la reducción de emisiones de GEI. En el caso de Colombia existen 32.305 veredas, cerca del 16.5% no cuenta con servicios públicos y 1.1 millones de familias utilizan el fogón de leña como único combustible para cocinar. Si se realiza la transición de leña a biogás se evitarán 604.639 tCO_{2eq} por uso de GLP que es el principal combustible propuesto como sustituto. Además, el uso del biogás en la cocción de alimentos reduce totalmente las enfermedades pulmonares debido a la contaminación por material particulado y presencia de inquemados durante la combustión de la leña.

*Correspondencia: Dr José María Rincón. E-mail: joserinconmartinez@gmail.com.

1. Introducción[5]

Se muestran las ventajas de utilizar el biogás como sustituto de la leña en zonas rurales y en poblaciones urbanas marginadas por ser una tecnología totalmente sostenible que utiliza los desechos agrícolas y los residuos de ganado. El biogás producido en pequeños digestores en la zona rural, cada día se usa con mayor frecuencia en estufas para cocinar o calentar alimentos, desplazando combustibles sólidos que generan altas emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) como la leña y el carbón mineral. Alrededor de 126 millones de personas utilizan 50 millones de estufas de biogás para cocinar principalmente en China (112 millones) e India (10 millones) (Jain, 2019).

Los digestores domésticos rurales operan principalmente con estiércol de ganado, residuos de comida y residuos agrícolas. En zonas rurales, el biogás se usa para cocinar y calentar el ambiente; sustituyendo leña, carbón y otras biomasas sólidas que afectan negativamente la calidad del aire; salud y calidad de vida. Además, el biogás se puede almacenar para su uso cuando sea necesario, actuando como una "batería" para acompañar las energías renovables intermitentes, como la eólica y la solar.

[5] *Adaptado de trabajo recolectado en extenso para CORPOEMA, Colombia*

Las emisiones de GEI generadas en el campo por el uso de los combustibles fósiles se pueden evitar al utilizar biogás como combustible térmico a cambio del uso de combustible fósil. Bajo este concepto, se puede ayudar a rentabilizar el campo mediante la venta de certificados de carbono neutro por la producción y uso de biogás agrupando los diferentes usuarios. Por lo tanto, en el sector agrícola la implementación de tecnologías de digestión anaeróbica puede obtener importantes beneficios económicos, ambientales, sociales y energéticos; también permite mejorar los suelos al utilizar el biofertilizante (producto residual del proceso), a cambio de fertilizantes químicos de mayor costo.

Las plantas de biogás a escala de granja tienen varios tamaños, diseños y tecnologías. Algunas son muy pequeñas y tecnológicamente simples, mientras que otras son bastante grandes y complejas, similares a las plantas de codigestión centralizadas. Todos tienen un diseño de principio común: el estiércol se recoge en un tanque de pre almacenamiento, cerca del digestor y se bombea al digestor, que es un tanque hermético a los gases, aislado para mantener un proceso a temperatura constante. Los digestores pueden ser horizontales o verticales, generalmente con sistemas de agitación, responsables de mezclar y homogeneizar el sustrato, y minimizar los riesgos de capas de natas y la formación de sedimentos. El tamaño de los digestores determina la escala de las plantas de biogás y varía desde unos pocos metros cúbicos en el caso de pequeñas instalaciones domésticas hasta varios miles de metros cúbicos, como en el caso de grandes plantas comerciales, a menudo con varios digestores que usan residuos agroindustriales como materia prima (Dumitru y Bibu, 2014). Los reactores de biogás más utilizados en las zonas rurales a pequeña escala son de cúpula y reactores de tambor flotante, de los cuales no ha habido mayor innovación en el diseño durante los últimos años (FAO, 2011). Adicionalmente, estos reactores requieren una gran habilidad técnica para la construcción y también son propensos a fugas. Los reactores tubulares construidos con geo-membranas son en la actualidad los más utilizados a nivel individual en el campo.

Antes de realizar el diseño de una planta de biogás para el medio rural, es necesario estimar el potencial de producción y las necesidades de biogás (Tabla 1), para definir su factibilidad considerando la forma de manejo del ganado y, por lo tanto, determinar la cantidad mínima de residuos que permita producir el biogás requerido para cubrir las necesidades planteadas.

Tabla 1. Necesidades de biogás para una familia colombiana compuesta en promedio por 3 personas.

Requerimiento	Factor	Consumo (m^3/día)
Cocción (5 horas)	0.2 * 5	1.00
Iluminación (3 lámparas, 3 horas)	0.15 * 3 * 3	1.35
Refrigeración (nevera)	2.20 * 1	2.20
Total		4.55

Fuente: (FAO, 2011)

Para cubrir estas necesidades se requiere disponer de un determinado número de animales. El número de animales necesarios para una familia de 3 personas en promedio son: 10 bovinos, o 34 porcinos, o 60 aves, o sus mezclas proporcionales. Si las necesidades se reducen a la producción de biogás, únicamente para la cocción de alimentos, el número de animales para 1.0 m3, se reduce a 3 bovinos los cuales se pueden sostener en una parcela de dos hectáreas de terreno. De aquí que el biodigestor doméstico debe tener la capacidad de producción mínima de 1.0 m3 de biogás por día.

2. Valoración de externalidades positivas en el uso del biogás

Una externalidad se produce siempre que una persona o empresa realice una actividad que afecta al bienestar de otros que no participan en la misma, sin pagar ni recibir compensación por ello. Internalizar una externalidad, positiva o negativa, supone cuantificar e integrar sus costes en la actividad económica, es decir, incluir en el cálculo económico total, el valor que tiene, por ejemplo, la pérdida o la ganancia de un recurso y, en su caso, la reparación del daño causado.

Entre las externalidades negativas se destaca la contaminación del medio y sus repercusiones en la salud, en Colombia existen tasas o impuestos ecológicos como los descritos en la ley 1819 de 2016 y el decreto 1951 de 2017 donde el pago por tonelada de CO2 es de $15.000. Por el contrario, y debido al entorno en el que se desarrollan, su organización estructural y sus métodos productivos, las actividades tradicionales ligadas al sector agropecuario en zonas de alto valor natural generan externalidades positivas, a menudo considerados bienes y servicios públicos (biodiversidad, control de la erosión, sumideros de CO2, entre otros).

En la Tabla 2 se presentan las externalidades ambientales positivas obtenidas al instalar una planta de biogás para la cocción de alimentos en la zona rural.

Tabla 2. Externalidades ambientales y su efecto.

Externalidad	Efecto
Control de malos olores	Los microrganismos presentes en la producción de biogás mineralizan la materia orgánica, por lo tanto, los olores nauseabundos de la descomposición de la materia orgánica se eliminan.
Disminución en la dispersión de microorganismos	El estiércol normalmente se elimina mediante lavado, provocando dispersión de microorganismos aguas abajo. Cuando el estiércol se utiliza en la producción de biogás, gran parte de estos microorganismos se eliminan.
Aprovechamiento de residuos orgánicos	En el campo, cuando se acumulan los desechos orgánicos, durante su descomposición se libera al ambiente GEI como CH_4, NO_x. En las plantas de biogás el CH_4 se almacena para su utilización.
Balance negativo de CO_2	El aprovechamiento de la biomasa mediante la digestión anaeróbica es CO_2 neutra. No obstante, durante el proceso de digestión anaerobia (DA) se da la mineralización de N, P y K, por consiguiente, se evita la formación de N_2O que se libera al ambiente durante la combustión. Cuando el digerido se utiliza como biofertilizante a cambio del fertilizante químico, se evita el CO_2 liberado durante su producción por procesos térmicos con combustible fósil, como resultado global, el balance de CO_2 es negativo.
Control de la deforestación	En el campo, el uso de leña causa deforestación, la cual se evita con el uso de biogás para la cocción de alimentos.
Conservación de fauna y flora	Cuando se controla la deforestación se conserva la fauna y flora del hábitat.
Mejoramiento de la calidad del agua	Durante la digestión anaerobia se lleva a cabo un tratamiento biológico del agua, como resultado, se tiene agua libre de algunos microorganismos patógenos. Por otro lado, cuando se reemplaza el uso de fertilizantes químicos por biofertilizantes se evita la contaminación a las fuentes hídricas aledañas y subterráneas.
Uso de biofertilizante	El uso de fertilizantes orgánicos mejora las propiedades del suelo y la calidad de las cosechas. Además, es una oportunidad comercial para la exportación de productos orgánicos.

Fuente: Elaborado por los autores

En la Tabla 3 se muestra las externalidades sociales positivas obtenidas al instalar una planta de biogás para la cocción de alimentos en la zona rural.

Tabla 3. Externalidades sociales y su efecto

Externalidad	Efecto
Control de enfermedades pulmonares	La combustión del biogás no genera material particulado, ni inquemados, siendo estos los principales causantes de las enfermedades pulmonares.
Disminución de la migración del campesino	Cuando hay oferta de trabajo en el campo, y mejoramiento en la calidad de vida, el campesino no ve la necesidad de migrar a la ciudad. Así mismo, mediante el uso de biofertilizantes se mejora el rendimiento de los cultivos, y con la energía producida a partir del biogás se promueve y mejora los procesos productivos del campesino.
Nuevos puestos de trabajo	La construcción, instalación, y mantenimiento de plantas de biogás se realizan con mano de obra local, por consiguiente, se generan nuevos puestos de trabajo.
Mejoramiento de la calidad de vida	Con el biogás se evita la recolección de leña, se produce energía eléctrica, y se puede manejar sistemas de enfriamiento para conservación de alimentos.

Fuente: Elaborado por los autores

Estimación de reducción de emisiones

Los GEI son el principal causante del cambio climático, estos se derivan del estilo de vida y las actividades humanas. Es importante su monitoreo, para conocer su comportamiento, acumulación y efecto en el clima, en la atmósfera terrestre, y en los océanos.

Como respuesta a la necesidad de la mitigación del cambio climático, varios países iniciaron programas para reducir o prevenir las emisiones de GEI. Colombia por su parte, se comprometió a reducir sus emisiones en un 20% para el 2030 mediante la implementación de energías renovables, uso intensivo de gas natural y el incremento de la eficiencia energética (Del y Clim, 2017). Esta mitigación involucra el uso de nuevas tecnologías o de energías renovables, en este caso particular, se propone la transacción del uso de leña al uso de biogás y biometano en las zonas rurales de Colombia, este último tiene propiedades similares a las del gas natural.

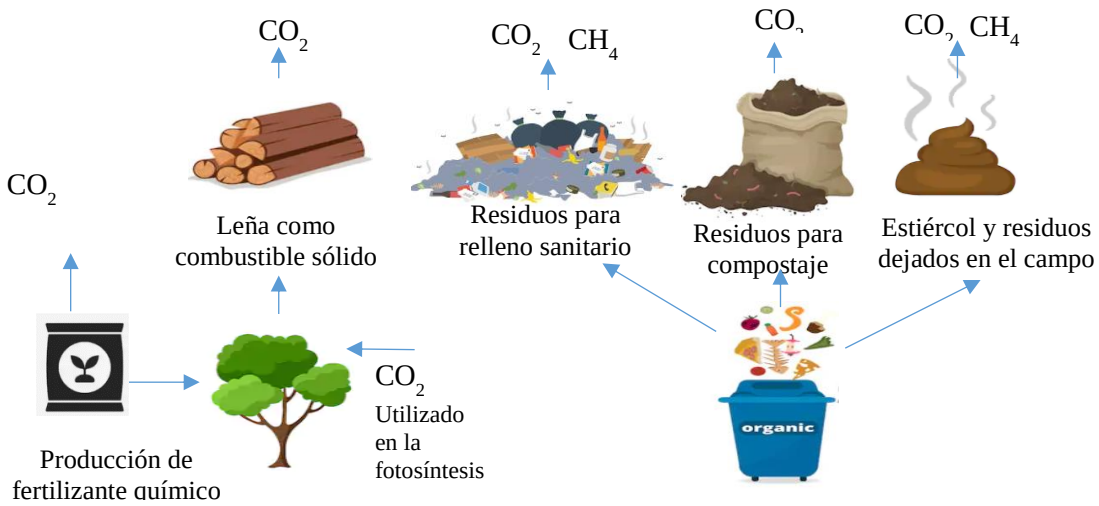


Figura 1. Emisiones de CO2 y CH4 producidas por las actividades y disposición de residuos en el campo. Fuente: Elaborado por los autores

En las zonas rurales cuando se utiliza leña (Ramírez y Taborga, 2014), se promueve la deforestación y la emisión de CO2, contando además de las emisiones derivadas de la producción de fertilizantes químicos utilizados. Lo mismo sucede con los residuos agropecuarios que se dejan en el campo, se utilizan para compostaje o se

van a los rellenos sanitarios (Ver Figura 1). No obstante, cuando los residuos en el campo se aprovechan adecuadamente y se tiene otra fuente de energía como el biogás, el cual es considerado combustible de segunda generación, el balance de carbono es neutro (Ver Figura 2).

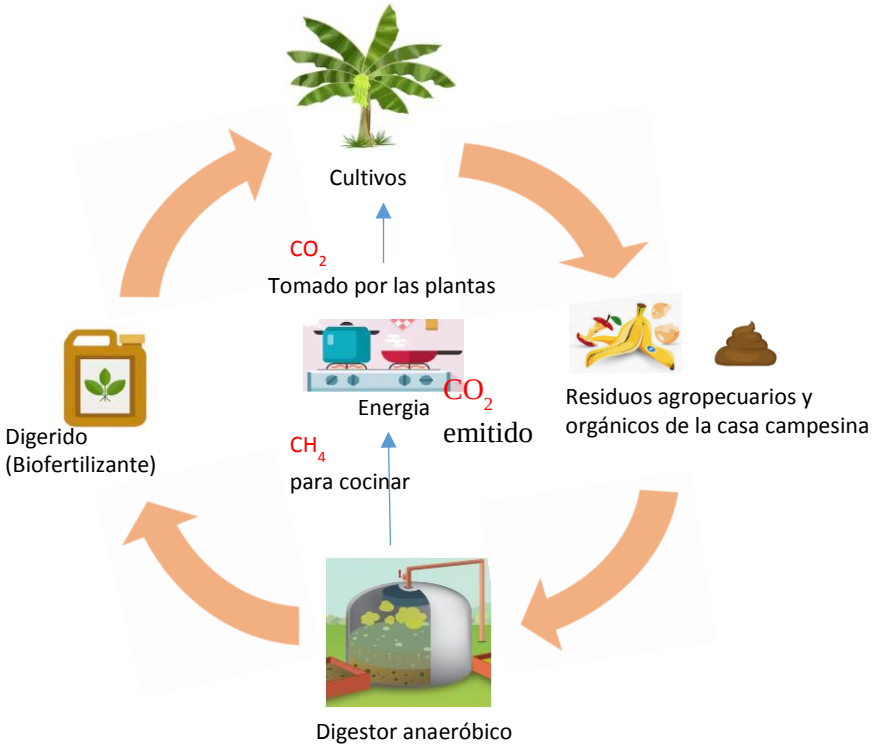


Figura 2. Emisiones evitadas en el ciclo de producción de biofertilizante y energía a través del proceso de digestión anaerobia

La huella de Carbono se define como la totalidad de GEI emitidos por efecto directo e indirecto de un individuo o producto. Las emisiones indirectas están asociadas con todas las emisiones que se producen en la cadena de valor de un producto o servicio. En el caso de la construcción de plantas de biogás para las zonas rurales, existe una cantidad de emisiones relacionadas a la producción, transporte y residuos generados de insumos como la tubería para el transporte del biogás, insumos para la limpieza del biogás, la biobolsa para el almacenamiento del biogás, y todos los materiales de construcción del biodigestor. De igual forma, las emisiones correspondientes a la disposición de los materiales cuando terminan su vida útil (Ver Figura 3).

A continuación, se presenta las emisiones evitadas con el uso del biogás y biometano. Esto incluye las emisiones evitadas en cada etapa, desde la fuente hasta el uso:

- Emisiones por la recolección y el transporte de la biomasa: Uno de los mayores inconvenientes que presenta el aprovechamiento de residuos orgánicos, es la logística que existe para la recolección y el transporte de estos. Por lo tanto, es esencial estructurar una logística adecuada y pertinente. En el caso de pequeñas plantas de biogás para la cocción de alimentos, el trabajo realizado para el mantenimiento sanitario del establo o corrales es equivalente al trabajo realizado para la recolección de las heces, por esta razón, en esta operación no existe un aumento de costos ni de emisiones.
- Emisiones de las actividades de digestión anaerobia: Normalmente el reactor se calienta con el mismo biogás producido, sin embargo, cuando se utiliza otra fuente

como sifones solares se debe realizar el cálculo respectivo de sus emisiones de GEI. En zonas tropicales, y para biodigestores de tamaños inferiores a 10 m^3 utilizados en zonas rurales no es necesario calentar el digestor.

- Emisiones de la limpieza del biogás: Las impurezas del biogás se pueden eliminar por métodos sencillos como hacer pasar la corriente gaseosa por esponjilla de hierro, carbón activado o soluciones de soda caustica. Durante el proceso no hay emisiones, sin embargo, se deben considerar las emisiones indirectas relacionadas con la producción de la esponjilla, carbón activado, o soda caustica.
- Emisiones por el transporte y uso del biogás y/o biometano: En las zonas rurales el biodigestor se instala en las cercanías de su sitio de aprovechamiento, utilizando tubería para transportar el biogás libre de H_2S y humedad. Cuando el sistema es totalmente hermético y no existen fugas, no hay emisiones derivadas de esta operación.
- Emisiones del uso del digerido (biofertilizante): Como subproducto del proceso de digestión anaerobia se tiene el digerido, el cual, presenta alto contenido de nutrientes. En esta etapa no hay emisiones asociadas, el tiempo de riego del biofertilizante es equivalente al tiempo de riego del fertilizante químico, no existe un aumento de costos ni de emisiones.

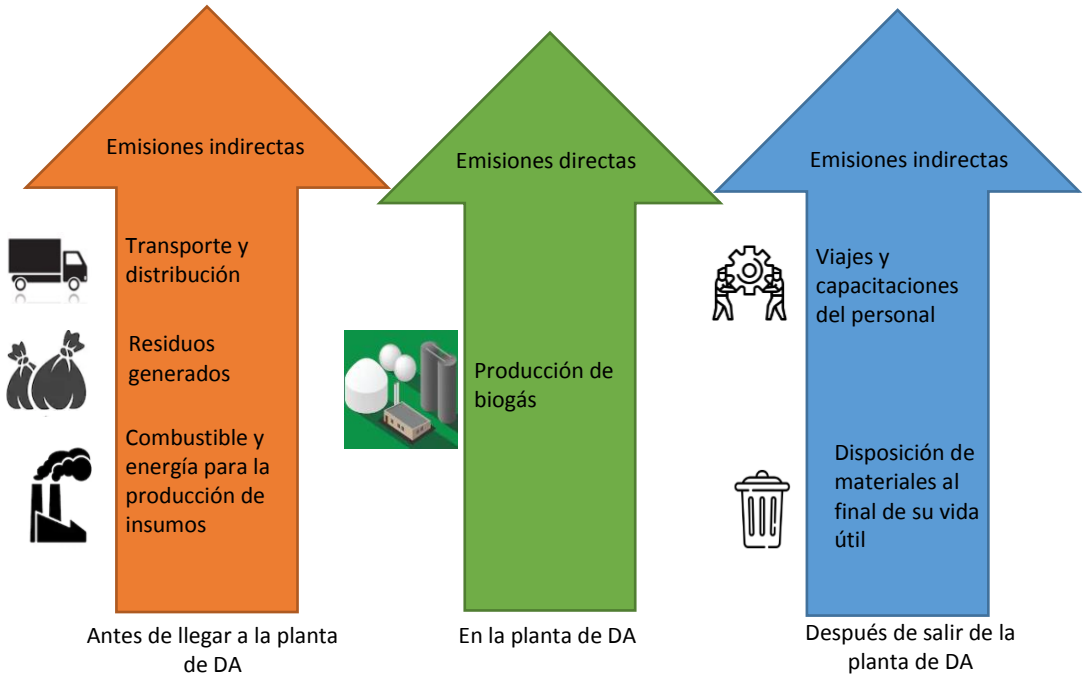


Figura 3. Emisiones indirectas (antes y después de la planta de DA) y directas asociadas a la producción y limpieza de biogás en las zonas rurales.

Bajo el concepto de huella de carbono, en la Tabla 4 se presentan las actividades, emisiones directas, emisiones indirectas y las emisiones evitadas de las correspondientes actividades.

En la actualidad existen varias metodologías de cálculo de huella de carbono, entre ellas se distinguen las descritas en el ISO 14.064 e ISO 14.065 siendo estos los estándares más impactantes del ISO relacionados con la Huella de carbono, también se conoce el Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol), Bilan Carbone, PAS 2050, PAS 2060, entre otros. Estas últimas cuentan con una plataforma de cálculos gratuito.

Tabla 4. Descripción de las emisiones directas, indirectas y evitadas de acuerdo a las actividades relacionadas con el proceso de digestión anaerobia**.**

Actividades	Emisiones directas	Emisiones indirectas	Emisiones evitadas
Recolección y transporte de los residuos	Consumo de combustible	Consumo de electricidad	CH_4 evitado por el aprovechamiento de residuos a cambio de dejarlo en el campo o en rellenos sanitarios.
Digestión anaerobia	Consumo de combustible, proceso de metanización	Consumo de electricidad	Producción de calor a partir de biogás. Producción de electricidad a partir de biogás. Producción de biofertilizante.
Limpieza de biogás	No aplica	Consumo de electricidad	No aplica
Transporte y uso del biogás	Consumo de combustible fósil	Consumo de electricidad	CO_2 evitado por el uso de biogás procesado in situ, teniendo en cuenta los gases evitados por el transporte de los combustibles fósiles por unidad de longitud
Biofertilizante	Consumo de productos químicos	Consumo de electricidad. Consumo de combustible.	Producción de biofertilizante a cambio de fertilizante químico como nitrato de amonio, urea, productos fosforados y sales de potasio.

Fuente: Elaborado por los autores

El primer paso para la estimación de reducción de GEI es decidir el periodo para los cálculos, lo sugerido es 1 año. Posteriormente se establecen los límites, es decir, considerar las actividades sobre las que se ejerce el control para garantizar que la huella de carbono incluya todas las actividades de la planta. Una vez definidos los límites se identifican las fuentes de generación de GEI (Ver Tabla 4) y finalmente establecer el alcance del cálculo de huella de carbono, se conocen tres y cada alcance está relacionado con diferentes actividades (Ver Figura 3).

- Alcance 1: Emisiones directas de GEI; estas se producen por las fuentes que son propiedad o están controladas por la empresa o planta.
- Alcance 2: Emisiones indirectas de GEI; asociadas a la adquisición de electricidad, estas emisiones se generan en la planta que produce electricidad, pero es la energía consumida en las instalaciones y procesos de la empresa o planta.
- Alcance 3: Estas emisiones son consecuencia de la actividad de la empresa, ocurre en fuentes que no son de su propiedad ni están controladas por ella. Entre estas actividades se encuentra gestión de residuos, transporte y distribución.

La metodología utilizada en este caso para calcular las emisiones de GEI es mediante la aplicación de factores de emisión (Ver Ec 1).

$$toneladas\ equivalnete\ de\ CO_2 = cantidad * factor\ de\ emisión \qquad \text{Ec. 1}$$

Las emisiones generadas en el proceso de digestión anaeróbica de la planta de producción de biogás, en donde se producen reacciones endógenas por parte de los microorganismos, generan como productos CO_2 y CH_4. Este metano es considerado de origen biogénico, el carbono vuelve a la atmosfera de la misma forma en que hubiera ocurrido naturalmente (como CO_2). Por lo anterior, no es considerado una emisión antropogénica y no se tiene en cuenta en el cálculo de emisiones de GEI.

En Colombia existen 32.305 veredas (Rincón Martínez et al., 2018), donde cerca del 16.5% no cuenta con servicios públicos y cerca de 1.1 millones de familias utilizan el fogón de leña como único combustible para cocinar. Si se realiza la transición de leña a biogás se evita alrededor de 7.3 millones de $tCO_{2\ eq}$ por uso exclusivo de leña,

equivalente a 604.639 tCO_{2eq} por uso de GLP (Carrasco Leal, 2015) (Ver Tabla 5). Se resalta que al cocinar con biogás no se producen emisiones.

Tabla 5. Emisiones asociadas a posibles combustibles rurales.

	Biogás	Leña	GLP
tiempo base (días)	365	365	365
familias rurales con solo leña	1.164.421	1.164.421	1.164.421
consumo para cocción (m^3/familia/día) *(kg/familia/día)	1,0	11.0*	0,45*
consumo($m^3_{combustible}$/ $familias_{rurales}$ /año) ($ton_{combustible}$ / $familias_{rurales}$ /año)	425.013.665	4.675.150*	191.256*
factor de emisión (kg_{CO2} /kg) * (kgCO2/GJ)	0	1.56	3.16
emisiones (ton_{CO2eq} /año)	0	7.293.234	604.369

Fuente: Elaborado por autores a partir de información de este informe

3. Análisis costo-beneficio de una planta de biogás rural en Colombia

El uso del biogás en la cocción de alimentos evita en un ciento por ciento las enfermedades pulmonares debido a la contaminación por material particulado y presencia de inquemados durante la combustión de la leña. El impacto económico al realizar un programa de biogás que cubra el total de la población rural que en la actualidad utilizan leña como combustible se considera el mencionado por el Banco Mundial (BM), el cual analiza el impacto en la salud como parte del programa de asistencia técnica y apoyo analítico al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el cual tiene un valor de 1.13 billones de pesos, 0.22% del PIB en el 2009.

El costo de una planta de 7 m^3 varía entre US$ 280 (planta artesanal tipo Taiwán o salchicha), a US$ 2.800 de geo textil, el valor de una planta domo fijo como la mostrada en la Figura 4 es de US$ 2.100. En la Figura 4, se muestran los diagramas de los biodigestores comerciales más utilizados en el mundo rural. El tiempo de vida de un biodigestor de polietileno tipo Salchicha varía entre 3-5 años, el de geo membrana hasta 20 años y los de domo fijo hasta 35 años.

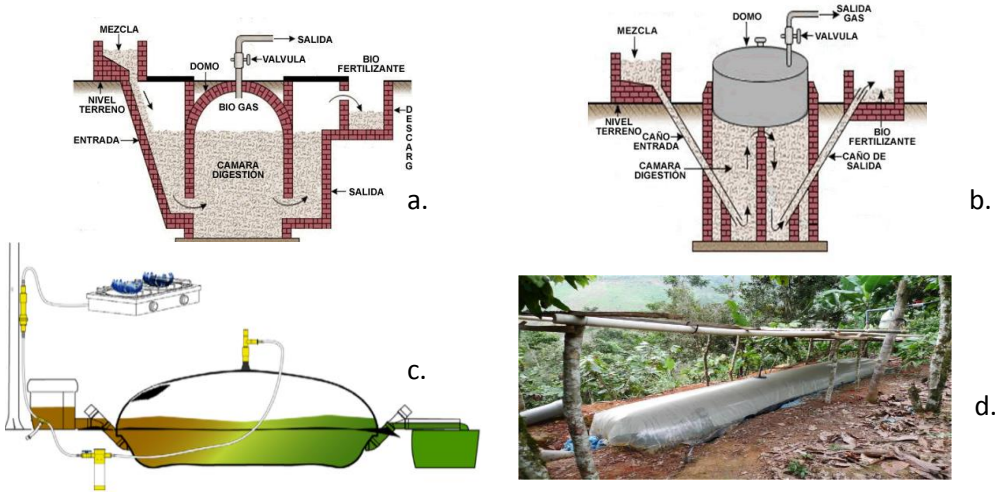


Figura 4. Tipo de biodigestores rurales existentes comercialmente. a: chino, b:hindú, c: biobolsa, d:artesanal Taiwán (Fuente: FAO, 2011)

Para el análisis de los beneficios de una planta de biogás para la zona rural, se toman las consideraciones presentadas en la Tabla 5, siendo 1 m3 igual a 11 kg de leña, o 0.45 kg de GLP utilizado en cocción de alimentos. Una planta que produce 1 m3 de biogás al día se ahorra la compra o recolección de 11 kg de leña o el pago de 0.49

kilos de GLP que a un precio estimado de $3.000/kg el ahorro sería de $1470/día. Totalizando los ahorros para una familia que consume 365 m3/biogás*año el ahorro en consumo de leña es de 4 ton de leña, y $500.000 COP por compra de GLP. Además, se estaría produciendo alrededor de 102 l/día de digerido, que en el año sería 37.500 l.

En síntesis, en las familias campesinas es importante disponer de un combustible para cocinar, calentar e iluminar la casa, si se desea sustituir y evitar la recolección de leña. En este caso, el biogás es un buen combustible que cumple a cabalidad con los requisitos de no generación de humos e inquemados y deja menos expuestas a las mujeres y niños a este tipo de contaminantes que afectan la salud. También reduce la contaminación por parásitos y bacterias al desinfectar el estiércol de la parcela y mejora apreciablemente la calidad de vida, al satisfacer otras necesidades como alumbrado nocturno y poder contar con un sistema de frío para la conservación de alimentos. El costo de instalación de una planta de biogás y mantenimiento son las principales barreras para una implementación más amplia de la tecnología de biogás. La evaluación de costos presenta características propias y su análisis es complejo, pues no sólo interviene el aspecto energético, sino que también hay impactos positivos de difícil evaluación como la conservación del medio ambiente, mejoramiento de suelos, alimentación de animales y en general mejoramiento de las condiciones de vida en el campo. Estas externalidades positivas traen beneficios sociales y económicos que en la mayoría de los casos no se evalúan. El costo estimado de una planta instalada de biogás rural (1m^3/d) para una familia es de $1.500.000.

Sin embargo, dada la oportunidad que ofrece el biogás en el sector rural como su utilización para satisfacer otras necesidades como: alumbrado, una nevera o un sistema de frío para la conservación de alimentos, el bombeo de agua, su utilización en el mecanizado del ordeño, o en la producción de electricidad, siempre y cuando se cuente con la materia prima, estos costos pueden variar ampliamente y dependen además de la tecnología utilizada y de las necesidades auxiliares que necesita cada usuario.

4. Referencias

Carrasco Leal, JB "Mecanismo Para La Mitigación Voluntaria De Emisiones De Gases Efecto invernadero.

Del B y C. Clim, Medios de implementación de la cmnucc en Colombia. 2017.

Dumitru M. y M. Bibu, "Researches on the digesters and reactors which can be used in a farm scale biogas planT," vol. 14, no. 3, pp. 63–68, 2014.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2011), "Manual de biogás". Recuperado el 15 de marzo de 2020 de http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf.

Jain S, "Global potential of biogas," 2019. Recuperado en octubre de 2019 de https://www.worldbiogasassociation.org/wp-content/uploads/2019/09/WBA-globalreport-56ppa4_digital-Sept-2019.pdf.

Ramírez Quirama, JF y Taborda Vergara AL, "Consumo de leña en fogones tradicionales en familias campesinas del oriente antioqueño," Prod. + limpia, vol. 9, pp. 99–114, 2014.

Rincón Martínez JM, Durán Hernández DM, O. Quintero Montoya, C. S. Duarte González, P. O. Guevara Patiño, and M. E. Velásquez Lozano, "Disponibilidad de biomasa residual y su potencial para la producción de biogás en Colombia," pp. 16–25, 2018.

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar II- Tecnologías, 2020: 106-114
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editores: M.L. Contreras Rodríguez y J.M. Sánchez Hervás

Sección II: Tecnologías de Biomasa

Mª Luisa Contreras Rodríguez[1]*, Alberto Bahillo Ruíz[1], José María Sánchez Hervás[1]

[1] *Unidad de Valorización Termoquímica Sostenible. Departamento de Energía, CIEMAT, Madrid, 28040, España.*

RESUMEN. En la actualidad, el aprovechamiento de la biomasa presenta un reparto desigual como fuente de energía primaria. Mientras que en los países desarrollados es una de las energías renovables más fomentada, los países en vías de desarrollo dependen del uso tradicional de la biomasa previéndose un fuerte aumento de la demanda energética en los próximos años, por lo que eliminar el uso ineficiente de la biomasa es una necesidad urgente. Las tecnologías de transformación de la biomasa vegetal son variadas y requieren de infraestructuras robustas para que el proceso sea eficiente desde el punto de vista económico y ambiental. A través de este documento, se detallan los diversos tipos y aplicaciones energéticas de la biomasa, centrando la atención en la biomasa lignocelulósica, como apuesta energética, económica y social futura en Iberoamérica.

*Correspondencia: Dra. Mª Luisa Contreras. Dirección postal: CIEMAT Avda. Complutense, 40.28040, Madrid. E-mail: mluisa.contreras@ciemat.es

1. Introducción

La biomasa residual vegetal es una alternativa para la producción de energía a nivel mundial. El concepto de biocombustibles abarca la posibilidad de reemplazar los recursos fósiles, en los cuales nuestra sociedad moderna ha basado su desarrollo, y dando origen a graves problemas ambientales por el uso excesivo de los mismos (Romanelli et al., 2015).

Actualmente en países como España, Estados Unidos, Brasil y Alemania, entre otros, se vienen desarrollando políticas con el fin de incentivar la implementación de plantas de biomasa. Sin embargo en muchos otros países, la transformación de la biomasa residual vegetal se encuentra aún en fase de desarrollo.

La conversión de los residuos vegetales en alguna forma energética requiere la aplicación de tecnologías que estén acorde a lo expresado en el numeral IV, artículo 2 del Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático (1998) y normativas específicas de cada país o región (Elías Patiño, 2014). Las tecnologías de transformación de la biomasa vegetal son variadas y necesitan de infraestructuras robustas que permitan la eficiencia económica y ambiental del proceso.

Aparte de las claras ventajas ambientales que supone el empleo de un recurso renovable como la biomasa para la obtención de energía, existen otras razones sociales de alta trascendencia en la actualidad que justifican una seria necesidad de invertir en el desarrollo de las tecnologías de transformación de este recurso, para favorecer su accesibilidad. Todavía hoy, 2.700 millones de personas que habitan en países en vías de desarrollo dependen de los combustibles tradicionales (leña, carbón vegetal, residuos agrícolas o residuos animales) para cocinar y calentarse, y las proyecciones son que esta situación ascenderá en 2030 si no se ponen en marcha las acciones necesarias (Fundación Energía Sin Fronteras, 2012). La mayor parte de estas personas habitan en zonas rurales y muchas de ellas en comunidades aisladas. Eliminar el uso ineficiente de la biomasa en los hogares es una necesidad urgente, porque eleva notablemente los niveles de contaminación dentro de las viviendas afectando gravemente a la salud. Además implica el aprovisionamiento de gran cantidad de recursos utilizados ineficientemente, lo que puede provocar deforestación en las zonas circundantes a las áreas de consumo, y hace que los responsables familiares de proporcionar el recurso energético, deban dedicar gran tiempo y esfuerzo diarios en la recolección del combustible, restándolo a la capacidad de dedicarse a otras actividades. La sustitución de las distintas formas de biomasa para cubrir las necesidades térmicas no parece ser una alternativa factible a nivel mundial, por lo que será necesario proporcionar tecnologías accesibles que disminuyan los efectos adversos que tiene la utilización tradicional de la biomasa.

2. Tecnologías de biomasa en Iberoamérica

2.1. Biocombustibles sólidos

Existen diferentes tipos de biomasa utilizables como fuente de energía, distinguiéndose los que corresponden al entorno forestal de los del agrícola. La biomasa de origen forestal permite diversas clasificaciones, según proceda de cortas de masas no comerciales, de restos de corta de otras especies comerciales o de residuos de las industrias forestales (serrerías, polvo de lijado, etc.). La agrícola también presenta diferentes orígenes (orujo, paja, cardo, maíz) e igualmente aporta residuos de sus industrias (alpechines, cáscaras de frutos secos, harineras, etc.). Por último, también se obtiene biomasa de cultivos energéticos, tanto forestales (chopo, eucalipto, paulonia, acacia, salix, etc.) como agrícolas (sorgo, colza, etc,) (De la Calle, 2010).

Formalmente se llama biocombustible a aquel que se obtiene mediante un tratamiento físico o químico a partir de materia vegetal o restos orgánicos (es decir biomasa o residuos de la misma) no fosilizados. Aunque su preparación y uso no puede generalizarse en un único método, tienen en común el hecho de que se parte de biomasa como materia prima principal, siendo una fuente importante la de origen agrícola, que es a la que suele referirse, quizás incorrectamente, con el prefijo "bio", resultando más adecuado para éstos el uso del término "agrocombustibles". El mismo criterio puede aplicarse a los derivados de la industria forestal bajo el término "dendrocombustibles".

Usualmente se asume que los biocombustibles son líquidos, sin considerar otras fuentes de biomasa que usualmente se consumen por combustión en mayor cantidad; es el caso de los biocombustibles sólidos, que incluyen leña, astilla, paja, carbón vegetal, pellets o briquetas, etc. y resultan ser en la actualidad la principal fuente de energía a partir de biomasa (Romanelli et al., 2015). También existen biocombustibles gaseosos como el biogás, que puede obtenerse a partir de fuentes muy variadas.

Los desechos de las industrias de la madera y agropecuaria pueden transformarse mediante procedimientos mecánicos en materiales con suficiente poder calorífico como para que resulte aprovechable y redituable. En general los materiales sólidos suelen compactarse hasta obtener pastillas con una densidad importante de material que según su forma y tamaño se denominan briquetas o pellets. Estos materiales liberan una cantidad de calor importante al entrar en combustión a causa de su elevado grado de compactación. Se los suele administrar en la forma de pequeñas pastillas cilíndricas que se queman directamente en una estufa u horno (pellets) o de manera igualmente compacta en la forma de ladrillos o bloques de mayor tamaño (briquetas).

2.2. Tecnologías de conversión de la biomasa

La biomasa debe someterse a varios procesos para ser utilizada como fuente de energía. La finalidad de estos procesos es la transformación de la energía acumulada en forma de carbono e hidrógeno, en combustibles sólidos, líquidos, gaseosos o directamente en electricidad. Estos tipos de energía tienen mayor espectro y son más fáciles de utilizar. Los procesos y tecnologías de transformación a la que se pueden someter los residuos vegetales, se pueden observar en la Figura 1. Existen tres procesos de transformación (Elías Patiño, 2014):

a) Procesos termoquímicos, como la combustión (producción de bio-oil), pirolisis (gas combustible), gasificación (H2, CO, CH4), Alta presión-Agua subcrítica y el hidrotratamiento;
b) Procesos de conversión biológica, que incluyen la fermentación (bioetanol), y la digestión (biogás: una mezcla principalmente de metano y dióxido de carbono)
c) Procesos químicos, que incluyen la esterificación (Biodiesel), y las modificaciones estructurales químicas (reacción de esterificación).

La tecnología más adecuada para la conversión de un tipo concreto de biomasa depende fundamentalmente de su composición y grado de humedad, y por supuesto, del producto final deseado (Arauzo et al., 2014). A continuación se exponen con mayor grado de detalle dos de las diferentes tecnologías existentes para el tratamiento termoquímico de la biomasa:

-Combustión directa: La forma más sencilla de aprovechamiento energético de la biomasa lignocelulósica es mediante la combustión directa. Desde hace mucho tiempo la biomasa se ha empleado en pequeñas calderas domésticas para generar calor. En general, se trata de sistemas de poca eficiencia energética donde la biomasa no requiere de ningún tratamiento previo y para su aprovechamiento industrial, es necesario recurrir a grandes instalaciones, basadas en la generación de vapor a alta temperatura y presión/electricidad. Acorde a la tecnología empleada, se distinguen tres tipos de menor a mayor eficiencia:

- Calderas de lecho fijo o parrilla. El combustible, en astillas o trozos de varios centímetros, se introduce sobre unas placas vibrantes o parrillas inclinadas, en las que se quema al tiempo que se desplaza hacia un colector de cenizas en el extremo opuesto a la inyección.
- Calderas de lecho fluido. El combustible se reduce a tamaños menores (mm) y se mantiene en suspensión junto con partículas de arena («lecho»). En ocasiones se añade al lecho un ciclón y el flujo es circulante, y solo son arrastradas las partículas de ceniza, por el aire usado en la combustión.
- Calderas de combustible pulverizado o lecho arrastrado. El combustible se muele hasta tamaños típicamente menores de un milímetro, y se introduce en

la caldera a través de quemadores junto con el aire de combustión. Las partículas se van quemando a lo largo de la caldera, y salen junto con los gases hacia las etapas de filtrado y limpieza.

Desde el punto de vista técnico, la combustión de biomasa lignocelulósica no es un proceso homogéneo, sino que implica una serie de etapas (secado, descomposición térmica, combustión de fracción volátil del carbono fijo). Para optimizar el aprovechamiento energético, es necesario conocer las propiedades químicas, físicas y térmicas del combustible, las cuales suelen ser variables como consecuencia de la heterogeneidad de este recurso. En comparación con los combustibles fósiles sólidos, la biomasa lignocelulósica suele tener un mayor contenido en humedad, volátiles y oxígeno elemental, así como un menor contenido en carbono fijo y elemental, lo cual implica un menor poder calorífico, menor densidad energética, un mayor tamaño de llama y menor temperatura de combustión. Un aspecto problemático suele ser el contenido en cenizas, ya que, aunque su contenido total suele ser inferior al del carbón, la presencia de cloro y de metales alcalinos hace que los componentes de esta fracción se fundan y se volatilicen a temperaturas relativamente bajas, originando problemas de ensuciamiento, deposición y corrosión (Fernández González et al., 2015).

Una alternativa interesante y prometedora para la producción de energía eléctrica a partir de biomasa es la co-combustión en centrales térmicas de carbón convencionales ya en funcionamiento. Consiste en la sustitución de parte del carbón empleado en la central, generalmente entre el 2 y el 20% en energía, por biomasa. Aunque este porcentaje sea pequeño, debido al gran tamaño de las centrales, el resultado final es la producción de una muy importante cantidad de energía eléctrica con este combustible renovable. Además de la biomasa residual seca (residuos forestales, agrícolas, etc.) también se adapta a esta tecnología los cultivos energéticos (Royo et al., 2008). La principal ventaja es el aprovechamiento de la estabilidad y eficiencia del conjunto de la caldera y la reducción de incertidumbres tanto en el comportamiento como en el suministro de la biomasa.

Otras tecnologías emergentes en los últimos años, con el objetivo de contener las emisiones globales de CO2 dentro de los objetivos de límite de emisión impuestos, y aplicables a procesos de combustión son las denominadas "Tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CCS)". Dependiendo de en dónde y cuándo se localiza el proceso de captura, los tres sistemas posibles a aplicar para remoción del CO2 pueden dividirse en: Post-combustión, Pre-combustión y Oxi-combustión. La post-combustión se refiere a la instalación de unidades de captura que procesan gases de combustión. Normalmente son procesos que emplean absorbentes inorgánicos y orgánicos modificados en un esquema regenerativo, que permite reutilizar durante varios ciclos el absorbente. El sistema Pre-combustión es aplicable en instalaciones de gasificación de carbón, que normalmente para generar electricidad se complementan con un ciclo combinado contiguo (p.ej. ELCOGAS en Puertollano (Ciudad Real, España)). Se conocen como instalaciones GICC o Gasificación Integrada en Ciclo Combinado (IGCC, Integrated Gasification in Combined Cycle). La Oxi-combustión implica la combustión en una atmósfera altamente oxidante, con abundante presencia de oxígeno, por tanto, a diferencia del aire normalmente utilizado como comburente, en una atmósfera deficiente en nitrógeno. Los gases de combustión presentan una elevada concentración de gas ácido, CO2, que es posteriormente retirado mediante la aplicación de ciclos de deshidratación y compresión, conocida como unidad de purificación y compresión (Clemente y Guerrero, 2013).

Pirólisis: Es el término genérico con el que se denomina el calentamiento de un material biomásico en ausencia total de oxígeno u otros agentes oxidantes (debe hacerse notar que la torrefacción, mencionada en el párrafo anterior, es un proceso de pirólisis a bajas temperaturas). Como consecuencia de este calentamiento a temperaturas moderadas (generalmente hasta un máximo de unos 600°C), se produce la descomposición térmica de la biomasa y la obtención de tres fracciones principales de producto: sólido, líquido y gas. Es interesante destacar que el control de las condiciones de operación, fundamentalmente de la temperatura final y la velocidad de calentamiento, permite dirigir el proceso a la obtención prioritaria de uno de estos tres productos, si bien la formación de los otros dos ocurre inevitablemente (aunque en menor medida).

El producto sólido se maximiza a bajas velocidades de calentamiento de la biomasa, temperaturas moderadas y altos tiempos de residencia de los vapores de pirólisis, siendo el ejemplo clásico la producción de carbón vegetal, el cual puede usarse directamente como combustible o en otras aplicaciones (p.ej. enmienda orgánica (biochar); agente reductor para industria metalúrgica; carbón activo). Si la pirólisis se realiza a altas velocidades de calentamiento, se favorece la producción de fracción líquida de producto, la cual contiene una amplia variedad de compuestos orgánicos, y puede sustituir total o parcialmente como combustible líquido al fuel-oil en calderas; existen experiencias también de combustión en motores y turbinas. Sin embargo, se degrada fácilmente al ser almacenado a temperatura ambiente, su contenido en agua es alto y su poder calorífico relativamente bajo, por lo que actualmente se está explorando el empleo de catalizadores, directamente durante el proceso de pirólisis o como etapa posterior para la mejora de sus propiedades como combustible. La extracción de compuestos químicos de interés parece ser otra opción viable para la valorización parcial del bio-oil (fenoles, oxigenados y ácidos orgánicos.

-Gasificación: Para sistemas de gran capacidad, la combustión directa entra en competencia con otras tecnologías de conversión termoquímica como la gasificación. Este proceso tiene como objetivo la obtención de una fracción mayoritaria de gas combustible, mediante una serie de reacciones que ocurren a temperaturas superiores a las de pirólisis en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno puro y/o vapor de agua). En definitiva, se trata de una oxidación parcial de la biomasa usando únicamente un 25-30% del oxígeno estequiométrico para la combustión total de la misma. El proceso de gasificación puede tener carácter autotérmico o requerir, como la pirólisis, de aportes suplementarios de energía para llevarse a cabo. Si bien se maximiza el rendimiento a productos gaseosos, se producen también una fracción sólida (constituida en gran parte por el contenido en cenizas original de la biomasa y una pequeña cantidad de carbono no convertido), y una fracción líquida condensable. Esta última se conoce genéricamente con el nombre de alquitranes (tars) y representa un importante problema operacional en la mayoría de las instalaciones de gasificación por su tendencia a condensar en válvulas y conducciones, creando atascos y dificultades a la hora de quemar el gas producto. Resulta, por tanto, de la mayor importancia minimizar la generación de estos alquitranes mediante medidas primarias –selección cuidadosa de las condiciones de operación, empleo de catalizadores- o secundarias -craqueo térmico o catalítico de los alquitranes en fase gas, o sistemas eficientes de recogida de condensados.

Los componentes principales del gas de gasificación son monóxido de carbono e hidrógeno, que pueden ir acompañados por nitrógeno (si el agente gasificante es aire), vapor de agua, CO2, CH4 y, en menor medida, otros hidrocarburos y H2S.

Tanto el tipo de reactor de gasificación como las condiciones de operación (temperatura y agente gasificante) tienen un importante impacto en su composición. Como resultado, puede obtenerse un gas apto para su combustión en turbinas, motores de combustión interna o calderas, o bien el llamado gas de síntesis, adecuado para su transformación en diversos productos y combustibles líquidos.

El tipo de reactor empleado, además de influir en la composición y calidad del gas de gasificación, viene determinado por las características de la biomasa a gasificar: tamaño de partícula, humedad y composición. Otros reactores, como los de lecho móvil downdraft y updraft, se emplean a pequeña escala, usando aire como agente gasificante para la obtención de gas combustible y su uso en motores o calderas para la producción de electricidad y/o calor.

La posibilidad de obtener gas de síntesis resulta particularmente interesante de cara a la obtención de combustibles líquidos mediante tratamientos catalíticos posteriores. Es el caso de la síntesis Fischer-Tropsch, que puede conducir a la obtención de diésel o gasolinas, o la síntesis de metanol y toda una serie de derivados de este compuesto; o de la reacción Water-gas shift para la obtención de hidrógeno purificado.

2.3. Análisis del uso de la biomasa con fines energéticos.

Las aplicaciones térmicas con producción de calor y agua caliente sanitaria son las más comunes dentro del sector de la biomasa. En un nivel menor de desarrollo se sitúa la producción de electricidad. También mediante la cogeneración se obtienen ambos tipos de energías. Otra de las aplicaciones de la biomasa, es en el sector del transporte mediante el uso de biocarburantes (UGT, 2016).

- **Aplicaciones térmicas.**

La producción térmica sigue una escala de usos que comienza en las calderas o estufas individuales utilizadas tradicionalmente en los hogares. Hoy en día existen aparatos tanto de aire, que calientan una única estancia, como de agua, que permiten su adaptación a un sistema de radiadores o de suelo radiante y a otros sistemas con producción de agua caliente sanitaria.

En un segundo escalafón se sitúan las calderas diseñadas para un bloque o edificio de viviendas, equiparables en su funcionamiento a las habituales de gasóleo C o gas natural, que proveen a las viviendas de calefacción y agua caliente. Debido a la necesidad de disponer de un lugar amplio y seco para el almacenamiento del biocombustible este tipo de instalaciones pueden tener problemas en edificios con salas de calderas pequeñas y poco espacio aprovechable. En cambio son una buena solución, tanto económica como medioambiental, para edificios de nueva construcción.

Una red de calefacción centralizada, conocida en inglés como district heating, supone el siguiente nivel dentro de las aplicaciones térmicas de la biomasa. Este tipo de instalaciones están muy extendidas en el Centro y Norte de Europa. La red de calor y agua caliente llega no sólo a urbanizaciones y otras viviendas residenciales sino también a edificios públicos, centros deportivos, complejos comerciales y un amplio elenco de edificios e incluso industrias. El mayor tamaño, tanto de las calderas como de los silos de almacenamiento del combustible, requiere de instalaciones exclusivas para estas centrales térmicas. En España se están instalando redes de climatización centralizada alimentadas con biomasa, las cuáles no sólo

proveen de calefacción en invierno a los usuarios sino que permiten la distribución de frío para la climatización de las viviendas y otros edificios en verano.

Por último, los consumos térmicos de determinadas industrias también son abastecidos por calderas de biomasa. Se trata principalmente del aprovechamiento de residuos de las industrias agroforestales para producción de calor que, en ocasiones, es acompañado de producción eléctrica (cogeneración con biomasa).

Las materias más utilizadas para las aplicaciones térmicas de la biomasa son los residuos de las industrias agrícolas (cáscaras de almendras, huesos de aceitunas…), los residuos forestales (astillas, serrines…), los residuos de actividades silvícolas (podas, claras, limpieza de bosques,…) y de cultivos leñosos (podas, arranques,…). En muchas ocasiones algunos de estos residuos se transforman en pellets y briquetas, astillas molturadas y compactadas que facilitan su transporte, almacenamiento y manipulación pero que requieren de un tratamiento previo encareciendo el producto final.

- **Aplicaciones eléctricas.**
  La producción de electricidad precisa de sistemas aún más complejos dado el bajo poder calorífico de la biomasa, su alto porcentaje de humedad y su gran contenido en volátiles. Para ello, se necesitan centrales térmicas específicas con grandes calderas, con volúmenes de hogar mayores que si utilizaran un combustible convencional, que conllevan inversiones elevadas y reducen su rendimiento. Todo ello, explica el poco peso de la biomasa eléctrica en el cómputo global de esta energía.

  La gran demanda de combustible de este tipo de plantas obliga a asegurar un abastecimiento continuo, que tiene la dualidad de encarecer su precio por la distancia a la que se debe buscar el suministro, pero también puede reducirlo al adquirir grandes cantidades.

- **Cogeneración**
  Es la producción combinada de electricidad y calor o frío a partir de biomasa bruta, pretratada (por compactación, astillado o molienda) o a partir de biomasa transformada mediante procesos termoquímicos (syngas) o biológicos (biogás). El avance tecnológico producido tanto en la maquinaria de cosecha y manejo de la biomasa como en los procedimientos de transformación, crea un escenario de disponibilidad de equipos y tecnologías fiables que permiten acometer proyectos de producción eléctrica con aprovechamiento del calor residual, ya sea en un proceso industrial o para otros usos como la climatización de edificios. La principal ventaja de la cogeneración es su mayor eficiencia energética ya que se aprovecha tanto el calor como la energía mecánica o eléctrica en un único proceso.

- **Trigeneración.**
  Es un procedimiento similar a la cogeneración; en el que se consigue frío, además de energía eléctrica y calor típicos de la cogeneración. Para la obtención de frío se utiliza un proceso de absorción, con el que se genera frío a partir de una fuente de calor. Poseen un alto rendimiento y por ello, las plantas de trigeneración permiten reducir el coste energético de los procesos productivos en los que se necesiten grandes cantidades de calor en forma de vapor o agua caliente, frío industrial o energía eléctrica.

La trigeneración es aplicable al sector terciario, donde además de necesidades de calefacción y agua caliente se requieren importantes cantidades de frío para climatización. La estacionalidad de estos consumos (calefacción en invierno y climatización en verano) impediría la normal operación de una planta de cogeneración clásica.

3. Capítulos de la Sección II

Se incluyen siete capítulos en esta Sección, relevando la situación de las tecnologías en Argentina (capítulo II.1), Chile (capítulo II.2), Colombia (capítulo II.3), Cuba (capítulo II.4), España (capítulo II.5), Paraguay (capítulo II.6) y Perú (capítulo II.7).

4. Conclusiones y visión de futuro de las tecnologías de biomasa en Iberoamérica.

La biomasa es una energía autóctona, ecológica y más barata que el gasóleo o el gas y supone claramente una mayor eficiencia energética. La biomasa lignocelulósica es el material biológico más abundante en la tierra, el de mayor contenido en las plantas superiores y por consiguiente el más económico de producir.

La forma más sencilla de aprovechamiento energético de este recurso es mediante su combustión directa. La viabilidad económica de la combustión directa como vía de valorización energética de biomasa lignocelulósica está condicionada en gran medida por el coste y la disponibilidad del recurso biomásico (Fernández González et al., 2015). Esta tecnología es apropiada principalmente en localizaciones donde este recurso se genere como subproducto de otras actividades agrícolas, forestales o industriales. El acondicionamiento previo de la biomasa lignocelulósica implica costes adicionales pero supone una serie de mejoras en cuanto a su comportamiento como combustible y la automatización de proceso de combustión.

Los desarrollos tecnológicos que repercutan en una mejora de la eficiencia y coste de las instalaciones, la aplicación de criterios medioambientales y socio-económicos en los usos de la biomasa así como los incentivos a su producción son aspectos fundamentales para su desarrollo. La optimización de los sistemas de aprovechamiento de los residuos, permitirán aumentar el potencial de producción de biomasa necesaria para hacer frente a la demanda. Por tanto la investigación I+D+i es fundamental para evaluar las fases de suministro de la biomasa y, en especial, para estimar los recursos realmente disponibles, calcular los costes de elaboración y transporte, optimizar los procedimientos de trabajo y adaptar los medios para la recogida y transporte a las condiciones de cada país[6].

Es preciso el desarrollo de tecnologías de conversión más flexibles que las actuales en cuanto al rango de biomasas a utilizar, lo que daría lugar a una mayor seguridad de suministro de materia prima, disponibilidad de biomasas de menor coste o menor interferencia con otros mercados.

La energía que se produce a partir de la biomasa puede ser básicamente eléctrica, eléctrica y térmica o sólo térmica. Dado el escaso rendimiento de los sistemas actuales de producción de energía eléctrica con biomasa forestal (sólo un 27%), lo ideal es generar simultáneamente electricidad y calor (en torno a un 80%) o desarrollar y utilizar nuevas tecnologías como la gasificación o la pirólisis.

[6] https://www.caloryfrio.com/energias-renovables/biomasa/biomasa-presente-y-futuro.html) (último acceso 15 de enero de 2020)

Respecto al uso térmico, dada la dificultad de asegurar grandes volúmenes a través de empresas de logística y de abastecimiento de biomasa, sólo aquellas empresas que pueden autoconsumir sus residuos o el sector doméstico, cuyo sistema de distribución es menos complicado, presentan cifras relevantes de consumo.

Los sistemas en los que de forma más eficiente se puede utilizar la biomasa, redes de calor con cogeneración, se basan en la utilización de combustibles más económicos y gestión más sofisticada, lo que requiere por una parte importantes inversiones y, por otra, genera más empleo y además de calidad. La biomasa en estos sistemas es perfectamente compatible con energía solar, geotérmica, calor residual de la industria o combustibles fósiles (Tellechea, 2010).

5. Referencias de la Sección II

Arauzo, J., Bimbela, F., Ábrego, J., Sánchez, J.L, Gonzalo, A. (2014). Introducción a las Tecnologías de Aprovechamiento de Biomasa. Bol. Grupo Español Carbón nº33.

Clemente, M.C. y Guerrero García, J.F (2013). Escenario de potenciales tecnologías limpias de carbón y evaluación de las iniciativas de reducción de CO2 en su aproximación a centrales de generación eléctrica de emisiones cero. *Anales de la Real Academia de Doctores de España*, **17**(1), 87-102.

De la Calle Santillana, R. (2010). Situación actual de la biomasa y tendencias de futuro. Congreso Nacional de Medio Ambiente 2010.

Elías Patiño, P. (2014). Biomasa residual vegetal: Tecnologías de transformación y estado actual. *Innovaciencia* **2** (1): 45 – 52.

Fernández González, J., Gutiérrez Martin, F., Del Rio González, P., San Miguel Alfaro, G., Bahillo Ruiz, A., Sánchez Hervás, J.M, Ballesteros Perdices, M., Vázquez Minguela, J.A, Rodríguez Anton, L.M, Aracil Mira, J (2015). Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética. Ediciones mundiprensa.

Fundación Energía sin fronteras (2012). Biomasa y desarrollo. Oportunidades de la biomasa para mejorar el acceso local a la energía en comunidades rurales aisladas de américa latina. Gráficas Áncora, S.A.

Romanelli, G.P., Ruiz, D.M., Pasquale, G.A. (2015). Química de la biomasa y los biocombustibles. Libros de Cátedra. Editorial de la Universidad de la Plata.

Royo, J., Canalís, P., Sebastián, F (2007/2008). Co-combustión. Master en Energías Renovables y Mercado Energético. EOI.

Tellechea, I., (2010). La Biomasa Forestal: retos y oportunidades. p. 21.

UGT (Unión general de trabajadores) (Castilla y León) (2016). Estudio sobre el aprovechamiento energético de la biomasa, energías renovables y reducción de emisiones de CO2 en los municipios de castilla y león. Observatorio de la energía de Castilla y León.

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar II- Tecnologías, 2020: 115-125
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editores: M.L. Contreras Rodríguez y J.M. Sánchez Hervás

II. 1. Panorama de tecnologías de bioenergía en Argentina

Silvina M. Manrique[1*], Aien Salvo[1], Florencia Villafañe[2], Nicolás Martín[3], Martín Honorato[4]

[1]*Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Universidad Nacional de Salta (UNSa). Avenida Bolivia 5150, A4408FVY Salta, Argentina. Tel: +54 387 4255424/ Fax +543874255439. Email: silmagda@unsa.edu.ar*

[2]*Ministerio de Ambiente de la Provincia de Jujuy. República de Siria 150, Y4600, San Salvador de Jujuy, +543884249261*

[3]*Instituto de Ambiente Hábitat y Energía (INAHE), Centro Científico Tecnológico Mendoza CCT – Mendoza. Av. Ruiz Leal s/n Parque General San Martín. Mendoza – Argentina. CP 5500. Tel: 54-261- 5244338 / Fax: 54-261-5244001*

[4]*Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agroforestal Esquel. Chacabuco 513, Esquel, Chubut, Argentina. Tel: (02945) 451558/453515*

RESUMEN. Se releva el panorama de la bioenergía en Argentina, y sus aplicaciones térmicas y eléctricas. Se analizan los avances en experiencias de acondicionamiento de biomasa sólida en forma de pellets, chips y carbón. Se mencionan algunos aprovechamientos energéticos más destacables en el país, que dan cuenta de la diversidad de recursos, pero aún señalan aspectos técnicos, tecnológicos y logísticos que deben ser resueltos. En particular, grandes emprendimientos cuentan con importación de tecnología y es escasa la producción nacional.

*Correspondencia: Dra. Silvina M. Manrique. Dirección postal: INENCO, Universidad Nacional de Salta. Avda. Bolivia 5150. 4400. Salta, Argentina. E-mail: silmagda@unsa.edu.ar

1. Participación de la Bioenergía en Argentina

En los últimos años Argentina comenzó a mostrar algún crecimiento en materia de energías renovables (ER). Para fines de 2017 se llegó a los US$ 360.000 millones invertidos en ER (incluye represas hidroeléctricas ≤ 50MW), con una potencia de generación global de 2.195 GW (KPMG, 2019), siendo el 50,8% aportado por la energía hidroeléctrica, el 24,6% por la eólica y el 18,5% por la solar, en tanto que el 6,1% restante se distribuyó entre las bioenergías y las provenientes de las fuentes geotérmica y mareomotriz. En general, según la Red de Políticas de Energías Renovables para el siglo 21, la capacidad total de generación de energías renovables en la década 2007 – 2017, referida a fuentes renovables no hidroeléctricas (es decir, las provenientes de la bioenergía o de fuentes eólicas, solares, geotérmicas, entre otras) aumentó en un múltiplo mayor a seis (REN21, 2018).

La ley 26.190 de 2006 (promulgada en 2007) establecía 10 años para lograr el 8% de producción de energías renovables. No se logró el cumplimiento de las metas. Dicha Ley fue modificada por la 27191 en 2015, estableciendo que el 8% debía cumplirse en 2017, aumentando el porcentaje de participación en años subsiguientes hasta el 20% en 2025 (Figura 1) A pesar del crecimiento, aun no se cumplieron las metas previstas en la ley.

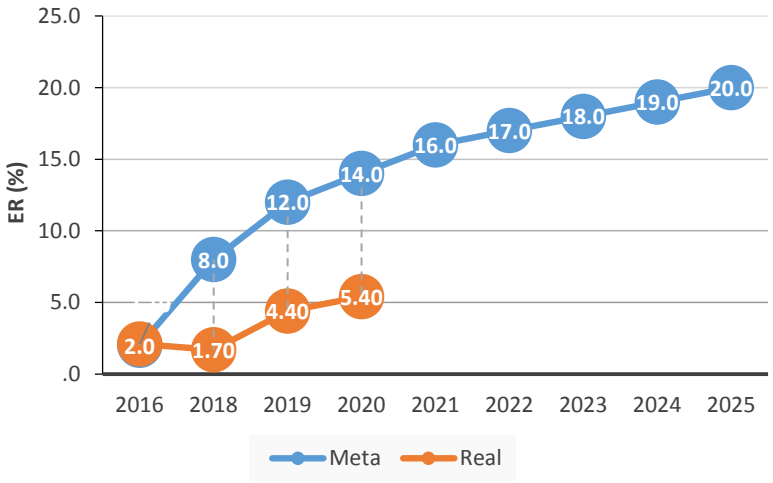


Figura 1. Metas previstas en legislación y logros reales alcanzados en generación de electricidad desde ER (Fuente: CAMMESA, 2019)

Según el informe mensual de junio de 2019 de CAMMESA (Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico), un 5,4% de la energía eléctrica generada proviene de fuentes renovables. La energía eólica y la solar fueron las que más crecieron en los últimos dos años. En parte, el crecimiento en dichas fuentes se explica porque los precios fueron más competitivos, incluso menores a los de sistema eléctrico en general. En los precios promedio de RenovAr, la energía eólica y solar se ubican en U$S50/MV, mientras que el de los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, biomasa y biogás superó los U$S100/MV[7].

Las plantas de energía renovable, con base en biomasa, biogás o gas de relleno sanitario (LFG, landfill gas) en operación comercial al año 2019[8], incluyendo proyectos GENREN, RENOVAR ronda 1, 1.5 y 2 y proyectos anteriores a Ley 26.190, se muestran en la Figura 2.

Hasta abril de 2019 se contabilizan 16 proyectos conectados al Sistema Interconectado Nacional (SIN), por un total de 137 MW aproximadamente. De ellos, el 80,3% (110 MW) corresponden a 8 proyectos con biomasa y el 5,1% (7,02 MW) a 4 proyectos con biogás. El 14,6% restante (20 MW) son 3 proyectos de biogás de rellenos sanitarios (LFG). Este conjunto representa el 14,6% del total de proyectos ER del programa RenovAr. Los proyectos de biomasa generan potencias nominales en el rango 2-38 MW, con una potencia media de 12,5 MW (CEARE, 2019)[9]. La tecnología más usada para generación eléctrica es caldera-turbina-generador y también existen experiencias de cogeneración.

[7]www.minem.gob.ar/www/833/25871/precios-adjudicados-del-programa-renovar
[8]www.argentina.gob.ar/energia/energia-electrica/renovables/plantas-de-energia-renovable
[9]http://energia.salta.gob.ar/wp-content/uploads/2019/06/Guia-T%C3%A9cnica-Mejores-Pr%C3%A1cticas-para-la-realizaci%C3%B3n-de-los-EIA-de-Proyectos-Bioenerg%C3%A9ticos.pdf

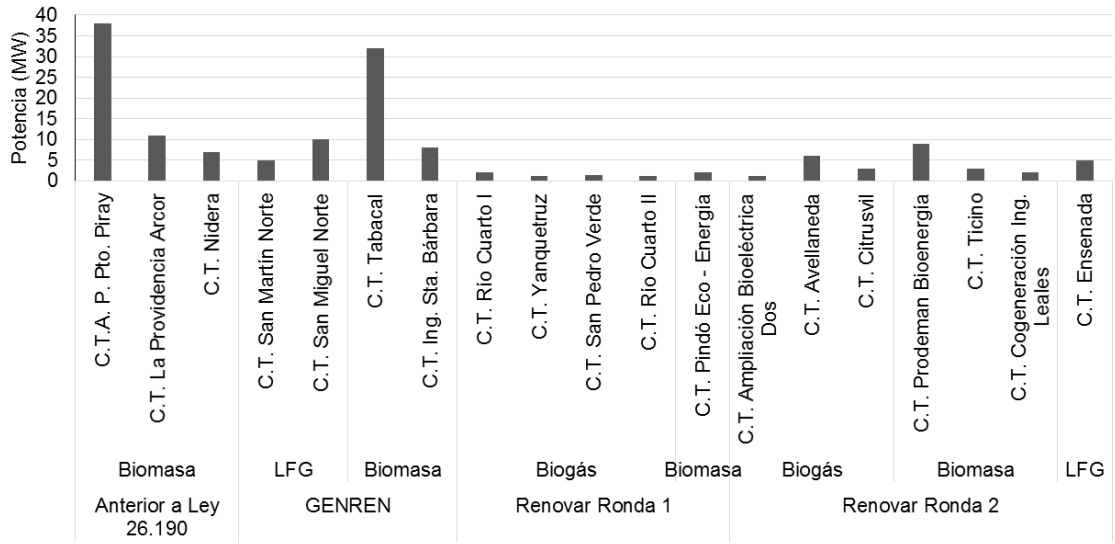


Figura 2. Plantas instaladas de bioenergía al 2019. Donde C.T.= central térmica.
(Fuente: elaboración propia a partir de Ministerio de Hacienda, 2019)

2. Recursos de biomasa y procesos energéticos más utilizados

Según los datos de 2016, la biomasa representa aproximadamente el 5,9% de la oferta interna de energía primaria, la cual está conformada por leña (1,1%), bagazo (1,1%), aceite (3,3%) y otros primarios –biogás, girasol, soja, tung, aserrín, licor negro, gas residual, gas de cola y gas ácido (BEN, 2016). La mayor proporción del aporte de biomasa en esta matriz está dada por la participación del biodiesel y bioetanol.

El biodiesel fue uno de los primeros biocombustibles líquidos con fines carburantes, que ha crecido en la última década, movido por importantes inversiones nacionales y extranjeras, una demanda internacional creciente y beneficios impositivos que complementaron los incentivos derivados de las Leyes 26093/2006 y 26334/2007. En el país, el biodiesel es producido exclusivamente a partir del cultivo de soja (*Glycine max*), siendo el aceite de soja el principal insumo. Del procesamiento del grano de soja se obtienen aceites, concentrados y harinas proteínicas. A través del proceso químico de ***transesterificación,*** mediante el cual el aceite se combina con alcohol, se obtienen ésteres metílicos (biodiesel), que atraviesan varias fases que incluyen la separación, purificación y estabilización. Como subproducto de este proceso, se obtiene glicerina, la cual representa un alto valor agregado para la industria farmacéutica. Argentina cuenta con un total de 37 plantas productoras de biodiesel para abastecer el mercado interno y el internacional (MINEM, 2019). El 85% de la capacidad instalada de producción se concentra en diversas localidades situadas en el litoral santafecino, las cuales están asociadas a la presencia de plantas aceiteras.

A esto se suma la producción de bioetanol, que ha crecido en los últimos 5 años, y que se realiza por ***fermentación alcohólica*** en base a la melaza, un sub-producto de fabricación de azúcar, de jugo directo de caña de azúcar (*Sacharum officinarum L*) y de los cereales, principalmente el maíz (*Zea mays*), el cual fue incorporado con posterioridad a la caña. Luego de la conclusión del "Programa Alconafta" (el cual estuvo vigente en Argentina entre los años 1981 y 1988), se retomó la producción de bioetanol en la Argentina a partir de la implementación de las leyes mencionadas previamente. Así, si bien ya se contaba con cierta capacidad de producción en base a caña de azúcar desde fines de la década de 1970, la misma fue modernizada y ampliada notablemente en los últimos 5 años, sumando como novedad el surgimiento de proyectos orientados

a obtener etanol de maíz con tecnologías modernas (Chidiak et al., 2014). La mayor concentración de plantas productoras de bioetanol se da principalmente, en el noroeste argentino (NOA), registrándose un total de 14 plantas, a lo que se suman 2 plantas con doble producción biodiesel-bioetanol (MINEM, 2019).

En cuanto a biogás, en 2015 se contabilizaron 105 plantas que integraban la ***biodigestión anaeróbica*** distribuidas en 16 provincias siendo Santa Fe la de mayor desarrollo (FAO, 2019). Sin embargo, solo un 4% del total de plantas de biogás tiene fines energéticos y, en el sector privado, este porcentaje asciende al 6%. Esto da cuenta de la baja tasa de utilización del biogás como fuente de energía renovable pese a que representa una oportunidad de saneamiento, liberación de espacio en sitios productivos, energía y su posibilidad de ser producido en forma industrial.

En cuanto a la utilización de biomasa sólida (sólo considerando leña y bagazo), ha ido perdiendo en términos relativos su participación, oscilando desde más de 4% en 1970 a alrededor de 2.2% en el año 2016. Sin embargo, los aprovechamientos térmicos son más difíciles de cuantificar, ya que en muchos de sus usos a pequeña escala, en sectores aislados o para autoconsumo, no existen registros oficiales. En particular el proceso por excelencia para su aprovechamiento es la ***combustión,*** y solo existen a escala piloto un par de instalaciones de ***gasificación.*** La ***pirólisis*** ha tomado relevancia en el país a raíz de la instalación de los Altos Hornos Zapla, donde se fabricaba carbón vegetal para la industria siderúrgica, lo cual dejó de ser utilizado a fines de los 90, cuando la planta se privatizó y las plantaciones fueron vendidas.

Según la Asociación Forestal Argentina (AFoA), en el 2018 los residuos de foresto industria (2 millones de toneladas/año), los residuos de plantaciones como podas, raleos y tala (5 millones de t/año), el aprovechamiento sustentable de bosque nativos (9 millones de t/año) y el residuo agroindustrial (9 millones t/año) representan un potencial térmico de 6200 megawatts (MW)[10]. Solo hace un par de años se vienen sosteniendo debates en una mesa de Biomasa Térmica[11] (la última realizada en mayo de 2019)[12], para empezar a establecer líneas de trabajo con el principal objetivo de utilizar a la biomasa, en sus estados seco (para calderas y estufas), o húmedo (para la generación de biogás), para su utilización como vector de energía térmica en reemplazo de combustibles fósiles, tales como el gas natural, el GLP (gas licuado de petróleo), el fuel oil o el gasoil. Se asume que su uso térmico sería más eficiente que su uso eléctrico, ya que el nivel de aprovechamiento energético en el proceso de producción de energía eléctrica a partir del vapor que resulta de la quema de biomasa, es de apenas el 30%. Es decir, que habría un 70% que se estaría perdiendo aún con las turbinas más eficientes. Hasta el momento hay muy pocas experiencias en este sentido en la Argentina y los esfuerzos que se están realizando son más bien para atender la demanda de energía eléctrica.

3. Acondicionamiento de materia prima de biomasa

Una de los procesos de acondicionamiento más útiles a los fines de aprovechamiento energético de la biomasa, es el de compactación o densificación, lo cual incluye la fabricación de pellets y briquetas. El chipeado, como proceso de reducción de tamaño, también resulta de importancia, facilitando el transporte y combustión de la biomasa.

[10] https://noticiaspositivas.org/biomasa-forestal/

[11]http://www.energiaestrategica.com/biomasa-generacion-termica-los-puntos-privados-analizan-plantearle-al-gobierno/

[12] http://www.probiomasa.gob.ar/sitio/es/noticia.php?id=190513130545

Las estadísticas nacionales del sector energético no separan los "pellets" dentro de las cifras presentadas, por lo que resulta difícil conseguir información actualizada y global. El INDEC (2010) menciona un descenso de toneladas exportadas de pellets desde Argentina desde 7950 t en 2012 a 1590 t en 2017. El mercado actual de pellets de madera incluye en Argentina seis empresas (Lipsia SA, Maderas de la Mesopotamia S.A., Enrique Zeni y CIA SA, GP Energy SA, Lare SA, Zuamar SA), todas ubicadas en Misiones, Corrientes y Entre Ríos, aunque el enfoque que se la da a sus clientes varía mucho una de la otra. Los principales tipos de clientes actuales son hogares, edificios, industrias y el mercado de consumo masivo. Dentro del país hay una tendencia de los productores a buscar mercados en regiones cercanas a la fábrica en el NEA y el Litoral. Este radio de posibilidades se calcula con un precio techo que se impone en relación con el precio del GLP y el porcentaje de ganancia que se desee obtener. El resto serán los costos de materia prima, fabricación y transporte, el cual depende de la distancia al cliente.

Dentro de la gama de estufas, Lipsia[13] ofrece por ejemplo, la marca italiana Palazzetti, con doble combustión, con equipos que generan aire caliente y otros que calientan agua. Dentro de los primeros los hay con salida de aire por el frente o aquellos que tienen conductos para canalizar el calor hacia otro ambiente distinto donde se encuentra la instalación. Las estufas que generan agua caliente, permiten vincularlas a circuitos de piso radiante, radiadores y/o circuitos de agua caliente sanitaria (ACS) mediante un acumulador. La doble combustión de Palazzetti resuelve el problema de la combustión incompleta e introduce por un circuito especial oxígeno precalentado, que provoca una segunda llamarada. Esta quema el monóxido de carbono residual y libera más calor con una consecuente cantidad de anhídrido carbónico en equilibrio con el medio ambiente. En la oferta de calderas[14], se observa la marca austríaca EASYPELL que proporciona calor y agua caliente sanitaria (ACS) para el hogar de acuerdo a las necesidades. El rango de potencias es de 20/32 kW.

En cuanto al mercado nacional, éste es aún pequeño, con una trayectoria de largos períodos de tarifas subsidiadas, con falta de estímulos fiscales al consumo y muy altos costos de logística. Hay tres tipos de industrias de interés: en primer lugar, las que utilizan combustible líquido durante todo el año, por lo que en este caso se deberá realizar la adaptación de las parrillas y quemadores de la caldera. También hay industrias que utilizan biomasa no renovable para sus procesos, en el mismo la adaptación será incluso menor, teniendo que modificar solamente los quemadores. Un tercer tipo son las industrias que tienen acceso al gas natural, pero tienen carácter interrumpible, teniendo que abastecerse de otras fuentes en los meses que el consumo residencial aumenta por encima de los valores disponibles[15].

Algunas de las principales dificultades a vencer reconocidas son que están finalizando los programas de apoyo y no se están renovando; hay mayor competitividad de la energía eólica y solar; los cuestionamientos existentes a la teoría de "Balance cero" de las emisiones de productos forestales; que la materia prima no cumpla con los "Criterios de Sustentabilidad Ambiental", y por último, dificultad logística y escasez de calderas[7]. Moyano (2017)[16] reconoce que existen ciertas limitantes técnicas y tecnológicas para el avance en el mercado de pellets y chips:

[13] Modelos de estufas ofrecidas por Lipsia, ver en www.lipsia.com.ar/bioenergia/productos/hogares/, (consultado el 12 de noviembre de 2019).
[14] Modelos de calderas ofrecidas por Lipsia (Fuente: www.lipsia.com.ar/bioenergia/productos/hogares/, (consultado el 12 de noviembre de 2019
[15] http://www.cpcfch.org.ar/descargas/panel302.pdf
[16] https://www.afoa.org.ar/descargar_adjunto.php?p=185

- Pellets: dificultad en la importación de tecnologías (calderas, quemadores, estufas, etc.); falta de conocimiento y difusión sobre el uso de pellets; escasez de financiamiento de la reconversión y compra de tecnología adaptada a biomasa.
- Chips: falta de estandarización de chips y de un mercado transparente (calidad y precio); red logística de provisión inadecuada; desconocimiento de bancos sobre tecnología que reduce el acceso al financiamiento; baja interacción entre oferentes de chips y fabricantes de calderas /secadores de biomasa.

En cuanto a tecnologías de producción de carbón vegetal[17], el grueso de la producción se realiza en una forma semi-artesanal, en hornos de barro denominados ‘‘media naranja’’ que permiten alcanzar un grado de carbonización entre el 60 y el 65%. El proceso dura tres días y el estándar de conversión es de 5 toneladas de leña a una de carbón. También se utilizan hornos metálicos de fabricación industrial, con mayor velocidad de producción y una mejor relación de conversión leña/carbón. Una alternativa tecnológica son los hornos elevados de acero, con encendido en la parte superior y avance del frente de carbonización en sentido descendente, aptos para la producción de carbón vegetal a partir de madera o desechos de aserradero, y eventualmente, para la fabricación de carbón activado. El producto obtenido es un carbón de alto contenido de carbono fijo, 80/82%. En Argentina, la producción de carbón vegetal por excelencia se realizaba en el norte del país, para uso casi exclusivo en la industria siderúrgica instalada en la provincia de Jujuy en los años 1945 (Altos Hornos Zapla), para fabricación de acero a partir del mineral de hierro. El carbón necesario para el proceso se extraía de plantaciones de eucaliptus realizadas con ese fin. Actualmente, la producción de acero es a partir de chatarra exclusivamente y en hornos eléctricos[18].

Entre las principales dificultades del sector de carbón se mencionan: una producción atomizada, con una alta informalidad del sector, insalubridad y alta emisión de contaminantes, limitaciones en las fuentes de provisión de materia prima (generalmente plantaciones no certificadas)[19].

Algunos productores argentinos de carbón y briquetas son: Carbomadera, Asociación de Productores Forestales del Chaco, Briquetas Conimex SA, Enerquen SA, entre otros.

La página de Comercio Internacional (COMEX) permite observar importaciones y exportaciones en valores FOB en dólares (FOB: ‘‘free on board’’, es el valor de los bienes puestos a bordo en el puerto de embarque) para la categoría de ‘‘madera combustible’’[20], incluyendo leña, madera en plaquitas o partículas, aserrín, desperdicios y desechos de madera, incluso aglomerados en leños, briquetas, pellets o formas similares. Las exportaciones se muestran en la Figura 3.

[17] www.exportapymes.com/documentos/productos/RA3994_eeuu_briquetas_carbon.pdf
18 Com.pers. Ing Vicente Costa.
[19] http://www.cpcfch.org.ar/descargas/panel302.pdf
[20] https://trade.nosis.com/es/Comex/Importacion-Exportacion/Argentina/madera-combustible--lena-madera-en-plaquitas-o-particulas-aserrin-desperdicios-y-desechos-de-madera-/AR/4401

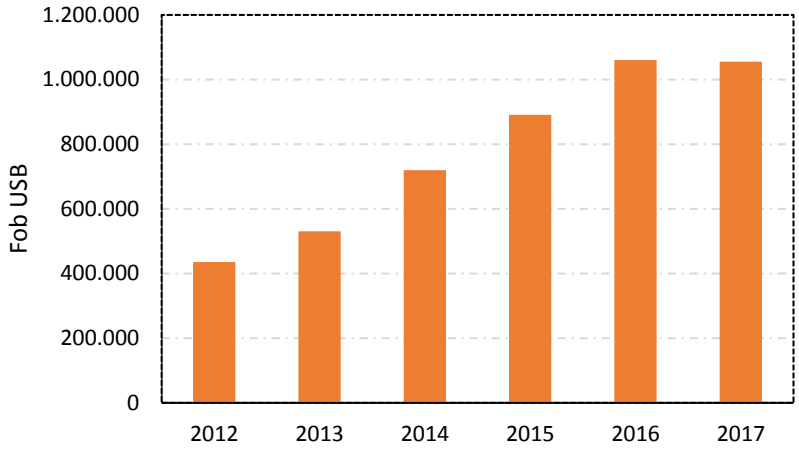


Figura 3. Comercio para "madera combustible" en Argentina

Otros aprovechamientos térmicos los constituyen[21]:

* El uso de leña a nivel doméstico en zonas rurales y semi-rurales. Se han entregado recientemente 60 cocinas multifunción, 9 estufas y 13 calefones en comunidades energéticamente vulnerables de Salta, Córdoba, Jujuy y Corrientes (año 2019).
* El uso de residuos agroindustriales (cáscara de girasol, cáscara de arroz, cáscara de maní, etc.) en calderas (térmico y eléctrico);
* El uso de residuos forestoindustriales (aserrín, costaneros y viruta) para generar energía en la industria de transformación de la madera (térmico y eléctrico).
* La utilización de LFG (gas metano capturado en rellenos sanitarios) (térmico y eléctrico);
* La generación de biogás en tambos (finalidad térmica y eléctrica).

4. Algunas experiencias de uso energético industrial de biomasa

Se mencionan algunas experiencias de bioenergía en el país, en base a diferentes recursos de biomasa, básicamente orientadas a la generación de electricidad:[22]

- Generación de vapor y electricidad con biomasa de maní y girasol en Córdoba[23]

La empresa AGD (Aceitera General Deheza) inició el reemplazo del uso de gas natural (debido a problemas de disponibilidad estacional), por el uso de biomasa (residuos de procesos propios: cáscaras de maní y girasol, que eran un problema para la industria), para la generación de energía eléctrica y vapor para sus procesos industriales. Esta planta se encuentra ubicada en la localidad de General Deheza y anualmente consume 150.000 toneladas de cáscara de maní y girasol, para la producción del vapor utilizado en la generación eléctrica (capacidad instalada de 10 MWh eléctrica), y como energía térmica para la industria. En su mayoría se abastecen con biomasa propia y en un 10% compran estos residuos a terceros. La puesta en marcha de la caldera se realizó en el año 2001 y la del sistema de generación eléctrica en 2008. Se trata de una caldera acuotubular, de combustión directa sobre grilla, equipada con sobrecalentador, sistema de control automatizado y filtrado de cenizas por precipitador electrostático. La energía del vapor de agua se utiliza en los procesos de molienda de granos mediante

[21] www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/publicaciones/libro_energia_biomasa.pdf
[22]https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta energas_renovables_las_oportunidades_de_argent.pdf _-_
[23] https://www.agd.com.ar/es

intercambiadores de calor o vapor directo; en tanto la energía eléctrica abastece una gran parte de los consumos propios de la compañía. Algunos datos de la instalación:

- Caldera de Combustión directa sobre grilla, capacidad 120 t/h vapor
- Sobrecalentador de vapor: presión 47 bar, temperatura 400 °C
- Turbina de vapor con extracción intermedia de vapor para proceso a 11,5 bar y contrapresión a 7 bar
- Generador eléctrico de 10,95 MW en 13,2 kV
- Consumo anual estimado: 183.000 Tn de biomasa
- Generación de bioenergía en ingenio azucarero de Jujuy

El Ingenio Ledesma buscó evitar restricciones en el suministro de gas que afectaran a su proceso productivo, reducir los costos energéticos y eliminar por completo la quema de los restos de la cosecha de la caña de azúcar en el campo. Con este fin se utiliza la malhoja de caña de azúcar (RAC- residuo de cosecha de este cultivo), que es recolectada en forma de megafardo (unos 7 a 8 ton/ha de este RAC), y chip de madera de plantaciones de alta densidad para tal fin, como combustible para el funcionamiento de las calderas especiales para esta materia prima que comenzaron a funcionar en el año 2011. Desde el Programa Nacional de Valor agregado de INTA se realizaron ensayos de comparación de diferentes máquinas de henificación (enfardadora, rotoenfardadora y mega-enfardadora) para evaluarlas frente a este residuo de cosecha. El vapor de alta presión generado en la central termoeléctrica es utilizado en los procesos industriales y en la generación de energía eléctrica, generando 45 MWh. En el año 2013, durante la época de zafra (mayo a noviembre) se consumieron 75.000 toneladas entre malhoja y chip de madera. Esto permitió el reemplazo del 21% del gas consumido por la empresa en este período, disminuyendo en gran medida el uso de combustibles fósiles de la empresa.

- Bioenergía desde forestoindustria en Corrientes:

En la localidad correntina de Gobernador Virasoro, se está realizando el proyecto de la Central Térmica San Alonso, que se estima que finalizará a mediados de 2019 y generará energía a partir de biomasa forestal. La capacidad de la planta permitirá abastecer de energía renovable al Sistema Interconectado Nacional, con una potencia instalada de hasta 40 MW. Cuentan con un crédito a 6 años de USD 30 millones de Banco Galicia que serán destinados al proyecto, bajo el programa RenovAr Ronda 2.0.

- Bioenergía desde cáscara de maní en Ticino:

En la provincia de Córdoba se puso en marcha en 2017 una planta de generación de energía eléctrica a base de cáscara de maní por parte la empresa Prodeman, de 9 MW, que funciona justamente con cáscara de maní proveniente de su actividad. Se trata de una instalación que acopia y vende 140 mil toneladas anuales de maní. La usina cuenta con una turbina de vapor de 10 megavatios (MW) de potencia, con capacidad para generar 78.840 MW/hora. La empresa usa el 10% de la energía para su funcionamiento; el 25%, para el proceso de industrialización del maní y el 65% restante se incorpora a la red nacional de electricidad. Esa cantidad permite abastecer a unos 8000 hogares al año. Para este proceso, la cáscara de maní se acopia en celdas y desde allí se traslada a una caldera donde se quema y se transforma en energía potencial de vapor de agua, que se traslada a la turbina de vapor donde se convierte en energía mecánica de rotación. Con el acople al generador, se termina transformando en energía eléctrica[24].

[24] https://www.enel.com.ar/es/Historias/a201802-biomasa-en-argentina-con-80-plantas.html

La planta utiliza una caldera acuotubular de 22 tn/h de vapor (a presiones de 45 bar y temperaturas de 440 °C), logrando una planta de generación de energía de más de 4 MW brutos con los últimos avances tecnológicos en automatización y control de este tipo de instalaciones para biomasa[25].

- Bioenergía desde biomasa forestal en Chaco:

En la provincia del Chaco, el gobierno nacional autorizó el ingreso como agente generador del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) a la firma Silvateam Energía Renovable SA para su Central Térmica a Biomasa La Escondida[26]. Lo hizo a través de la Resolución 10/2019 de la Secretaría de Recursos Renovables y Mercado Eléctrico. La Central dispone de una potencia nominal de 12 MW y está conectada al Sistema Argentino de Interconexión (SADI) en el nivel de 33 kilovoltios de la Estación Transformadora La Escondida, jurisdicción de Servicios Energéticos del Chaco Empresa del Estado Provincial.

- Bioenergía desde RSU (CEAMSE):

Ceamse (Coordinadora Ecológica Área Metropolitana Sociedad del Estado) inauguró una planta de biogás de 5 MW en el predio Ensenada[27] junto a la compañía de generación de energía Secco. La inversión fue de 6 millones de dólares. El proyecto consta de una planta de depuración y otra de desgasificación que extraerá el biogás del predio donde a diario llegan 1.100 toneladas de basura de La Plata, Berisso, Ensenada, Magdalena, Brandsen. La planta de biogás generará unos 5 MW que serán inyectados a la red en forma sostenida, posibilitando abastecer a unos 42.000 habitantes. Se trata del tercer proyecto de biogás en las instalaciones de la Ceamse en Buenos Aires. En el complejo Norte III ya funcionan dos plantas de biogás (una de 10 MW y otra de 5 MW) y en los próximos meses quedará lista una cuarta de 5 MW en el predio de González Catán.

Por otra parte, actualmente el IRAM en conjunto con INTI ha formado el subcomité para la **normalización de los biocombustibles sólidos** en Argentina, estableciendo un primer trabajo bajo la consigna de una norma ISO-IRAM en la cual trabajan instituciones científicas, universidades y empresas. Este trabajo se enfoca en la serie de estándares ISO 17225 la primera de su clase en todo el mundo en ofrecer un instrumento homogéneo de clasificación de los combustibles producidos a partir de biomasa[28]. A fines de 2018, estaban concluyendo el primer borrador de la Norma IRAM 17225-1 - Especificaciones y clases de combustibles. Parte 1: Requisitos generales. (Derivada de la ISO 17225-1:2014). Ésta incluye las definiciones de biocombustibles más desarrollados tecnológicamente, como el pellet de madera y las briquetas en formatos comerciales; pero hace un especial enfoque en la materia prima, para poder sumar en un futuro, un Esquema de Certificación -en distintas especificaciones técnicas, como el Poder Calorífico- para dar confiabilidad a los usuarios, tantos industriales como hogareños mediante una mayor regularización.

[25] https://biodiesel.com.ar/13853/fimaco-la-empresa-detras-de-ticino-el-pueblo-que-no-se-queda-sin-luz

[26] https://www.bioeconomia.com.ar/2019/04/10/autorizan-central-termica-a-biomasa-en-chaco-para-proveer-de-energia-al-sistema/

[27] https://www.bioeconomia.com.ar/2019/03/18/ceamse-inaugura-una-planta-de-biogas-de-5-mw-en-el-predio-ensenada/

[28] https://www.editores-srl.com.ar/revistas/ie/342/rearte_bioenergia_y_normalizacion

Por último, es importante señalar que hasta la fecha, no existían en general **normas ambientales específicas para la incorporación de biomasa o biogás como fuente de generación de energía térmica y eléctrica,** generando una fuerte incertidumbre. Asimismo, la falta de una norma de presupuestos mínimos de Evaluación de Impacto Ambiental hizo que dicho procedimiento deba ser reglado mediante las normativas locales, pudiendo provocar eventuales conflictos capaces de llegar a la instancia judicial. La ausencia de una normativa específica dificultaba conocer cuál era el camino crítico que debían recorrer los proyectos a ser evaluados por parte de las autoridades y cuáles los requisitos para habilitar una planta con biomasa o biogás en el país. En la búsqueda de comenzar a llenar este vacío normativo, ha sido recientemente lanzada la "Guía Técnica de mejores prácticas para la realización de los estudios de impacto ambiental de proyectos bioenergéticos" (FAO, 2019)[3], buscando viabilizar proyectos de bioenergía.

5. Comentarios finales

Los casos de aprovechamiento energético que se mencionan a nivel de país, básicamente están asociados a generación de energía eléctrica. Básicamente, las empresas que han podido sacar ventaja inmediata son aquellas con grandes demandas energéticas, residuos de biomasa concentrados y capacidad de inversión.

El aprovechamiento térmico de la biomasa, más allá de las formas tradicionales en sectores rurales, aún no cuenta con un mercado de tecnologías desarrollado en el país y aún resta mucho por hacer en recambio de hornos, estufas y calderas de mayor eficiencia, sobre todo en pequeñas economías domésticas. La logística es escasa, la reglamentación aún está en proceso de discusión, y las superposiciones y vacíos legislativos en relación a recursos naturales y el sector energético, aún deben ser debatidos más profundamente, a fin de que la energía de biomasa cumpla con las expectativas de ser una fuente no solo renovable sino también "alternativa" a los actuales sistemas de manejo y explotación de los recursos.

En simultáneo con el desarrollo tecnológico orientado a aplicaciones térmicas, la necesidad de difusión y concientización de este tipo energía renovable y las normativas, se requiere en paralelo un más exhaustivo monitoreo y control por parte de la administración pública, con valorización de los ecosistemas naturales que actualmente proveen leña gratuita sin manejo, con el consiguiente deterioro de los mismos. Más aún, en el caso de bosques nativos altamente diversos, sujetos a presiones de desmonte, los cuales implicarán impactos negativos aún superiores a cualquier uso energético.

6. Referencias

Balance Energético Nacional (BEN), (2016). Argentina. Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/energia/hidrocarburos/balances-energeticos.

Chidiak, M., et al. 2014. Estudio piloto indicadores GBEP de sustentabilidad de la bioenergia en Argentina. Recuperado de http://www.unsam.edu.ar/escuelas/politica/ideas/pdf/Analisis%20indicadores%20GBEP%20ARG_diciembre%20final.pdf

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC). 2010.

KPMG - "Evolución de las Energías Renovables en Argentina", KPMG Argentina, marzo de 2019. Recuperado el 16 de octubre de 2019 de https://home.kpmg/ar/es/home/Tendencias/2018/04/evolucion-de-las-energias-renovables-en-argentina.html.

Ministerio de Energía y Minería de la República Argentina (MINEM) Visor SIG. Recuperado 11 de octubre de 2019 http://sig.se.gob.ar/visor/visorsig.php?t=2

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2019). Relevamiento Nacional de Biodigestores. Relevamiento de plantas de biodigestión anaeróbica con aprovechamiento energético térmico y eléctrico. Colección Documentos Técnicos N° 6. Buenos Aires. 84 pp. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

REN21 (2018). "Renewables 2018. Global Status Report", Renewables Energy Policy Network for the 21 century (REN21).

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar II- Tecnologías, 2020: 126-141
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editores: M.L. Contreras Rodríguez y J.M. Sánchez Hervás

II. 2. Situación de tecnologías de biomasa en Chile

María Luisa Ojeda[1], Humberto Vidal[1], Cristina Segura[2], Luis E. Artega-Pérez[2,3*]

[1]*Centro de Estudio de los Recursos Energéticos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile.*

[2]*Unidad de Desarrollo Tecnológico. Universidad de Concepción. Coronel. Chile.*

[3]*Laboratorio de Procesos Térmicos y Catalíticos. Departamento Ing. en Maderas. Universidad del Bio-Bio, Concepción, Chile.*

RESUMEN. El desarrollo, establecimiento en el mercado y la investigación asociada a tecnologías de aprovechamiento energético de biomasa en Chile, están vinculados con los sectores que consumen la bioenergía. La intensidad e interés nacional por este tipo de combustibles guarda estrecha relación con la oferta disponible en la matriz energética nacional y con las políticas nacionales de descarbonización de esta matriz. En lo adelante se hace una revisión de las diferentes tecnologías existentes en Chile para el aprovechamiento, con fines energéticos, de la biomasa agroforestal.

*Correspondencia: Dr. Luis E. Arteaga-Pérez. Laboratorio de Procesos Térmicos y Catalíticos. Departamento Ing. en Maderas. Avenida Collao 1202. Concepción. Chile; E-mail: larteaga@ubiobio.cl

1. Tecnologías de biomasa. Introducción

Según un reporte publicado por la Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción (UDT, 2013), la leña y otros residuos lignocelulósicos representan el 19,7% de la energía primaria del país, de la cual el 58% se utiliza para calefacción y cocina residencial, y un 41% como combustible industrial. Con respecto a la biomasa ocupada como combustible industrial, el uso se concentra mayoritariamente en las industrias de Celulosa y Papel, básicamente para suplir las necesidades internas de calor y potencia y, con muy poco efecto sobre la red energética nacional. Otras instalaciones que usan biomasa para autoabastecerse de calor, son los aserraderos (fundamentalmente los de media y alta capacidad), en los cuales la biomasa alimenta las calderas para suplir necesidades de calor en sistemas de secado. Asimismo, la falta de regulación en referencia a la calidad y características de la biomasa que se utiliza en calefacción domiciliaria, produce anualmente contaminación atmosférica de gran envergadura, sobre todo en las regiones Centro-Sur del país. Los problemas ambientales más importantes relacionados con el uso de la leña, todavía vigentes al 2019, se concentran en los dos extremos de su cadena de comercialización: tanto en el proceso de extracción como en los procesos de conversión. El uso de la leña de manera ineficiente ha generado

explotación ilegal del bosque nativo y contaminación atmosférica. Esta última ha sido ocasionada principalmente por el alto contenido de humedad de la leña, la baja calidad y eficiencia de los artefactos de combustión, la mala operación de éstos por parte de los usuarios y la baja aislación térmica en las viviendas. Este escenario ha generado interés en el desarrollo de: (i) nuevas tecnologías para el uso descentralizado de biomasa en sistemas altamente eficientes (calefacción distrital), (ii) sistemas gasificación-CHP, (iii) pirólisis para producir combustibles líquidos, entre otros. Sin embargo, estas iniciativas aún se encuentran en etapa de investigación y NO se han establecido claramente estrategias para su uso generalizado. Los mayores avances en materia de uso eficiente de biomasa, se concentran en la introducción de nuevos diseños de calefactores domésticos, el desarrollo del mercado del pellet y, en menor medida, estrategias de co-combustión biomasa-carbón. Sobre esta última, debe destacarse que se ha perdido interés debido a la política de descarbonización trazada por la agenda nacional de energía. Sin embargo, en las siguientes secciones se mencionarán algunos aspectos técnicos relacionados con experiencias locales en esa línea.

2. Pretratamiento o Acondicionamiento de la Biomasa

Los **procesos mecánicos** ocasionan transformaciones físicas, orientadas a homogenizar y densificar la biomasa (UDT, 2013), siendo los principales, el secado, la reducción de tamaño y la densificación mecánica. Los **procesos químicos** involucran reacciones químicas, como por ejemplo la esterificación de ácidos grasos, para la transformación de grasas o aceites en un combustible líquido conocido como biodiesel. (Ver Figura 1).

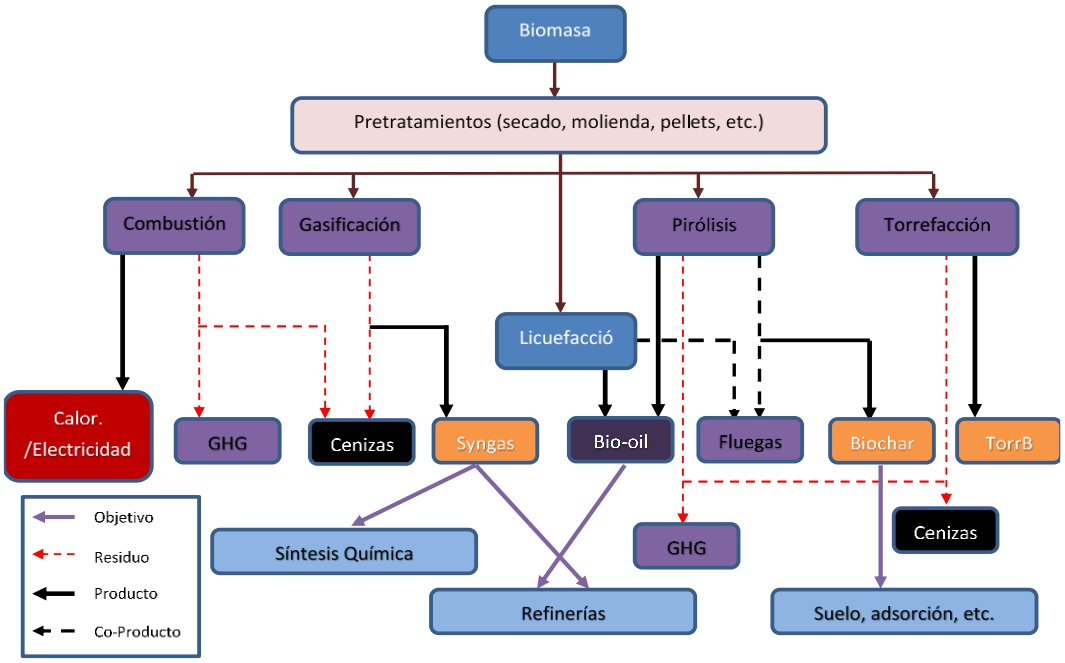


Figura 1. Procesos para el aprovechamiento termoquímico de la biomasa.
Fuente: Elaboración propia

Los **procesos termoquímicos** se basan en la descomposición térmica, en ausencia de oxígeno, o en la conversión completa de la biomasa en presencia de un agente oxidante (usualmente aire). Como resultado, se obtiene productos múltiples y complejos, los que, dependiendo las condiciones operacionales de los procesos, pueden ser líquidos, gaseosos y/o sólidos.

En las siguientes secciones se discute de manera breve, las diferentes tecnologías que mayor madurez tienen a nivel país en Chile. Asimismo, se dan algunos lineamientos estratégicos para su posible introducción en el mercado energético nacional.

Producción de astillas

En el año 2017 en Chile operaron 194 unidades astilladoras de las cuales 41 eran centrales y 153 eran astilladeros integrados a aserraderos de madera (procesa principalmente *Pinus radiata*). Las centrales de astillado concentran el 62% de la producción (app. 7.566.397 m^3) siendo las instalaciones que dominan el mercado.
El mercado de astillas en Chile, tiene dos destinos fundamentales: (i) plantas de Celulosa y Papel, (ii) Exportación (Figura 2). Es por ello que los estándares que se siguen conllevan, necesariamente a la generación de corrientes *residuales* secundarias.

Según INFOR (2018), la producción de astillas en Chile se hace a partir de *Eucalyptus globulus* y *nitens* (86.6%) y, básicamente se comercializan libres de corteza. Por esta razón, el mercado de chips produce cerca de 11% v/v de residuos por cada m^3 de biomasa procesada.

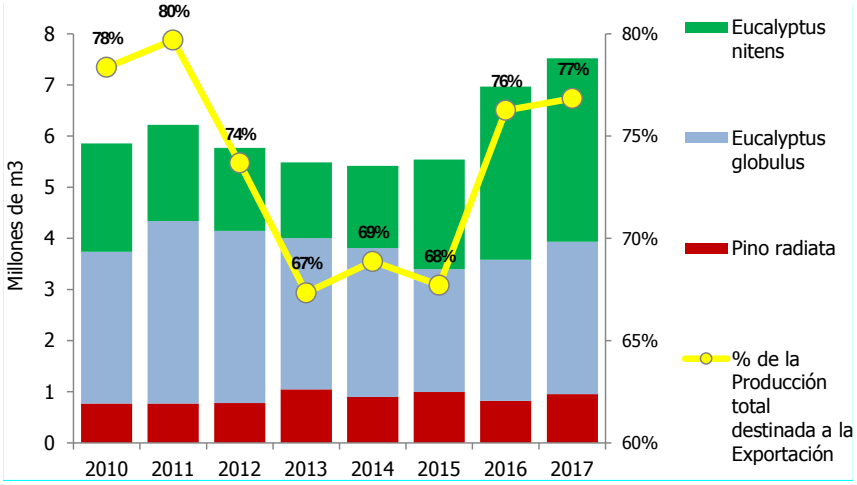


Figura 2. Destino de la producción de astillas en Chile.
Fuente: INFOR 2018

La disposición y volumen de los residuos generados por procesos de astillado depende del tipo de sistema de acopio que se utilice y de la tecnología para producir las astillas. Cuando las máquinas de recolección incluyen el descortezado en campo, los residuos quedan dispuestos a la intemperie, provocando diferentes efectos (negativos) sobre el entorno y el predio forestal, respectivamente (Figura 3).

Dado el volumen y efecto de estos residuos, el aprovechamiento de la corteza de Eucalyptus sp es un desafío para la industria forestal y encuentra asidero, actualmente, en la combustión en calderas. El mayor desafío en el procesamiento de corteza está dado por sus propiedades mecánicas (módulo de elasticidad, resistencia mecánica, etc.). Es por ello que se han buscado estrategias de pretratamiento para mejorar su grado de conminución y sus propiedades combustibles (Arteaga Pérez et al., 2015).

Figura 3. Disposición de corteza (izq) Corte manual (der) Luego de corte mecanizado.
Fuente: Visita a predios forestales, Valdivia Chile (2017). Fotos: Ing. José Trejos (UDT)

Producción de pellet

La producción de pellet comenzó significativamente con 3 proyectos el año 2006, creciendo el mercado de forma explosiva en todos los segmentos, con principales marcas europeas presentes en Chile. El Pellet aparece como una buena alternativa para los subproductos del aserrío y la remanufactura. Al año 2013, en Chile existían dos plantas de pellets, ECOMAS y ANDES BIOPELLET, con una capacidad instalada del orden de los 100 Mt/anuales; sin embargo, la producción era mucho menor, debido a un mercado pequeño y en estado de desarrollo. Se estima que la producción de pellet en el 2012 llegó a las **30 mil toneladas**, correspondiendo el 90% del mercado a ECOMAS (UDT, 2013). Según AChBIOM (2018), aparecen plantas con desconocimiento en cuanto a los costos de producción, alternativas de inversión, y normas de calidad, por lo cual muchas fracasan en sus apuestas de comercialización, generándose así un quiebre en el mercado al año 2014, y una sobre oferta al año 2015 asociado también a la baja en el precio del petróleo.

Al 2016 con la declaración de "Ciudades Saturadas" (MP10 y MP2,5)[29], el Pellet es propuesto como alternativa de recambio al uso de leña húmeda, y la demanda alcanzó el 2016 un volumen de **60.000 ton/año**, y al 2017 del orden de **78.200 ton/año** (un 23% más). En la actualidad el mercado del pellet se mueve entre las regiones del Maule y Los Lagos, siendo el mayor consumidor el sector residencial (75%), seguido del institucional (15%) y del industrial (10%) (AChBIOM, 2018). En las regiones de Aysén y Magallanes, la producción todavía es menor, llegando en Magallanes a ser del orden de las **800 ton/año**.

El **proceso de** producción de pellets es relativamente simple y consta de las siguientes etapas:

Reducción de tamaño: En esta etapa se intenta homogenizar la materia prima que llega a la planta y se realiza la clasificación para reducir la presencia de corteza y otros elementos que contribuyen al contenido de cenizas del pellet. Esta etapa es crítica para obtener un producto con las especificaciones del mercado (ENplus A1, ENplus A2 y EN-B). Generalmente, la materia prima son birutas o aserrín, los cuales deben secarse hasta 5 – 10% humedad, antes de pasar a la etapa de dosificación a la prensa.

Secado y dosificación: Para este proceso se pueden ocupar diferentes tecnologías. Los secadores rotatorios de alta temperatura (350 – 600°C) alimentados con gases de

[29] https://www.leychile.cl/Consulta/listado_n_sel?_grupo_aporte=&sub=511&agr=1020&comp=

combustión son una tecnología ampliamente difundida (ver Figura 4). Estos equipos tienen un sistema de separación de sólidos por ciclones para separar la biomasa de los gases calientes. Por lo general, el material seco se deja reposar entre 10 – 24 h para equilibrar la humedad y garantizar una operación estable durante el prensado. Este proceso permite estandarizar la alimentación a la prensa; sin embargo, en algunas unidades de producción nacional se toma el aserrín o viruta y se alimenta directamente a la peletizadora, sin secado previo. La dosificación a la prensa peletizadora se realiza con correas transportadoras y, el flujo depende de la capacidad instalada (por unidad o por batería de unidades en paralelo).

Figura 4. (izq.) Secador rotatorio para biomasa (der.) Sistema de alimentación a peletizadora sin secado previo. Fuente: Imagen propia

Prensado: Las prensas peletizadoras tienen como función densificar mecánicamente la biomasa (3 – 5 veces), a través de la producción de pellets de tamaño homogéneo. Las prensas poseen rodillos móviles y orificios que permiten conformar las partículas de aserrín, tal como se aprecia en la Figura 5.

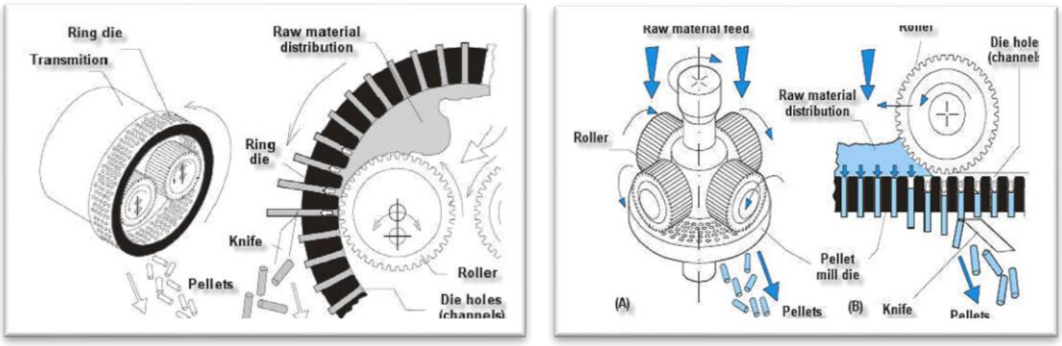


Figura 5. (izq) Prensa peletizadora de matriz anular y (der) plana.Fuente: Tomado de Protic et al (2011)

En el mercado se pueden identificar dos tipos fundamentales: Las prensas de matriz plana y las anulares. La primera consta de un disco fijo de acero perforado sobre el que giran rodillos que comprimen el aserrín. La prensa anular, tiene un anillo de acero perforado móvil dentro del cual giran los rodillos y hacen circular el aserrín hacia el ánulo exterior. Entre los parámetros a controlar en este proceso se tiene:

- ***Capacidad de la prensa***: Se calcula como la cantidad de kg de material a procesar por hora. Esta capacidad puede verse limitada por cambios en las características de la materia prima.
- ***Dimensiones del pellet (depende de la prensa)***: En chile se comercializan pellets de 1 – 3 cm de largo y 6 – 8 mm de diámetro.
- ***Consumo de energía***: Este consumo es relevante y depende del diseño de la prensa (kW).

Enfriamiento y tamizado: Los pellets salen de la prensa a una temperatura entre 80 y 100°C, básicamente por el calor generado en el rozamiento. El calor es relevante pues forma parte del proceso de fusión de los elementos de unión (en ciertos casos es necesario incorporar aditivos, ej. 1%w/w de almidón). Por esta razón, debe reducirse la temperatura hasta la condición ambiental. El enfriamiento se realiza en un enfriador a contracorriente desde donde el aire caliente se libera a la atmósfera y los pellets pasan por un tamiz rotatorio para eliminar los finos (Figura 6).

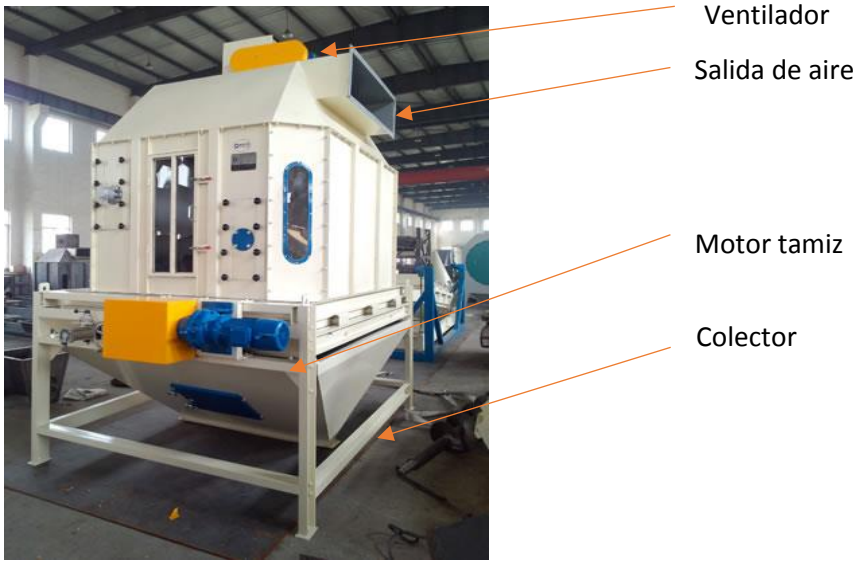


Figura 6. Enfriador de pellet[30].

Almacenamiento: Los pellets fríos se almacenan en bolsas de 15 – 20 kg y se paletizan en unidades de 72 bolsas. El desafío fundamental en el mercado de producción de pellets y en el establecimiento de la biomasa dentro de la Matriz Energética Chilena, está en encontrar iniciativas para ofrecer a los pequeños y medianos productores. En ese sentido, la Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT), ha creado un sistema de pelletización modular el cual puede transportarse al sitio donde se generan los residuos (Figura 7).

Figura 7. Planta de pelletización móvil. Fuente: UDT 2019 Foto: Nelson Zbiden

[30] http://es.fdsp-cn.com/counterflow-cooler

Este sistema cuenta con una tolva de 7 m^3, una prensa Khal de 300 kg/h de capacidad y, es capaz de procesar residuos agroindustriales de manera eficiente, rindiendo pellets que cumplen con la normativa vigente. Para mayores detalles se solicita referirse al European Pellet Council (EPC) donde aparecen las normativas actualizadas.

3. Producción de Torrefactados

La biomasa lignocelulósica contiene aproximadamente 80% de material volátil y 20% de carbono fijo, es biodegradable, higroscópica, de baja densidad (200 – 250 kg/m^3) y difícil de triturar. La torrefacción es un pretratamiento termoquímico mediante el cual la estructura original de la biomasa se destruye parcialmente por la ruptura de las moléculas de hemicelulosa, celulosa y en menor grado la lignina (Arteaga Pérez et al., 2016). El material sólido que resulta de este pre-tratamiento es generalmente hidrofóbico, bioresistente y fácil de moler (Phanphanich and Mani, 2011), mientras que la fracción volátil contiene ácidos carboxílicos, agua y gases permanentes (CO, CO_2). Con, la remoción de esta fracción orgánica, se elimina gran parte del oxígeno de la biomasa, por lo que el poder calorífico del sólido se incrementa (19 – 23 MJ/kg) a expensas de una reducción en el peso (densificación energética) (Koppejan et al., 2012; Tumuluru et al., 2011). El balance de masa del proceso se resume en la Figura 8.

Los procesos de torrefacción varían según el tipo de reactor utilizado y el grado de integración energética. La mayoría de estos han sido desarrollados sobre la base de tecnologías existentes (secado) y los retos fundamentales en relación a las tecnologías están básicamente en:

- Procesar materiales de diferentes propiedades y granulometrías
- Integrar energéticamente el proceso
- Recuperar y tratar los efluentes gaseosos y líquidos generados durante la descomposición de la biomasa

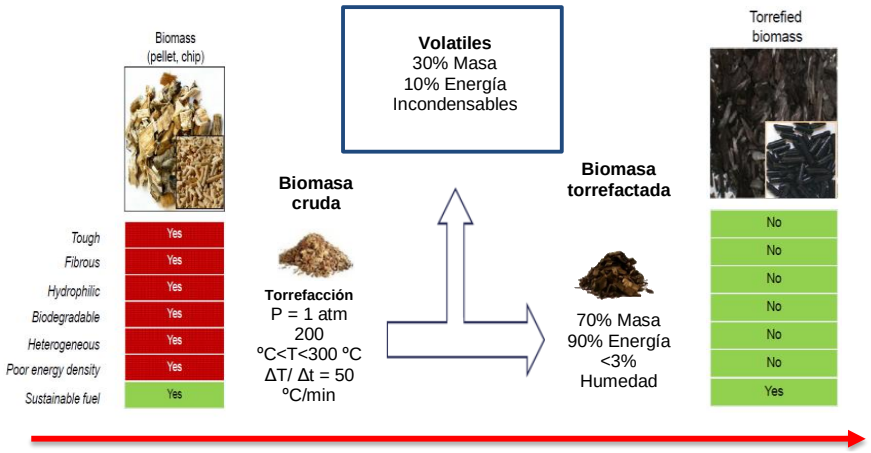


Figura 8. Esquema del balance de masa en la torrefacción.
Fuente: Elaboración propia.

Reactores y esquemas de proceso

Los reactores para torrefacción se clasifican, según el método de contacto entre el sólido y el medio de calentamiento, en reactores de contacto directo o indirecto. La fase fluida, el mecanismo de transferencia de calor y el movimiento de la biomasa, son las características que distinguen los diferentes equipos (Nhuchlen et al., 2014;

Koppejan et al., 2012; Tumuluru et al., 2011; Kiel, 2012) reportaron revisiones detalladas en cuanto a los diferentes modelos y diseños de reactores para torrefacción y las compañías que los han desarrollado.

Tabla 1. Modelos de reactores para torrefacción

Reactor	Ventajas	Limitaciones
Tambor rotatorio	• Simple • Baja caída de presión • Operación en contacto directo o indirecto	• Mala transferencia de calor • Difícil control de temperatura • Mayor tamaño/capacidad • Difícil escalado
Lecho móvil	• Simple operación y construcción • Alta densidad de lecho • Elevada transferencia de calor	• Alta caída de presión • Difícil control de temperatura
Tornillo	• Posibilidad de flujo en pistón • Tecnología madura	• Calentamiento indirecto • Baja capacidad de transferencia de calor • Difícil escalado
Hogares Múltiples	• Diseño probado • Fácil escalado • Facilidad para el control del tiempo de residencia y la temperatura	• Reactores de gran tamaño • Difícil escalado
Lecho fluidizado	• Eficiencia para transferencia de calor • Escalable	• Requiere partículas de pequeño diámetro • Requerimiento adicional de gas para fluidización

Experiencia de Torrefacción en Chile.

En el año 2014, La Unidad de Desarrollo Tecnológico de la Universidad de Concepción, Engie Energía y la empresa Forestal Calle-Calle, se vincularon en un proyecto de innovación (14IDL4-30438) para producir un combustible energéticamente densificado. Este proyecto no tenía antecedente ni tuvo precedentes a nivel país y, concluyó con la instalación, puesta en marcha y operación de una planta de torrefacción de biomasa lignificada. A continuación, se resumen los aspectos técnicos del proceso de torrefacción utilizando, como base conceptual, los avances obtenidos en el mencionado proyecto.

Experiencias a escala de laboratorio: Dado el incipiente conocimiento de la tecnología en el momento en que se comenzó el proyecto, se realizó investigación fundamental sobre el tema en cuestión. En ese ámbito se estudió, el mecanismo de reacción, la cinética y se acotó el rango operacional (temperatura, tiempo) para obtener los máximos rendimientos másico y energético.

Diseño de instalación a escala piloto: La planta piloto de torrefacción (Figura 9) está basada en un reactor de tres etapas de contacto directo sólido-gas, a contracorriente. La energía requerida para el proceso es proporcionada por vapor en contacto con la biomasa, el cual se sobrecalienta en un intercambiador tubular, por medio de resistencias eléctricas. Los gases de torrefacción son condensados a la salida del reactor en un intercambiador de tubo y carcasa, utilizando agua como refrigerante. Una vez instalada la planta se hicieron numerosos ensayos

experimentales y se pudo determinar una relación directa entre la calidad del producto y el cambio en las condiciones de operación (Tabla 2).

Tabla 2. Caracterización de la biomasa torrefactada. Fuente: Elaboración propia

Parámetro Análisis Elemental * [ASTM E870] (b.s) [p.%]	**Biomasa Cruda**	**Astillas Ensayo-Piloto**	**Corteza Ensayo-Piloto**
C	50.2	52.4	
N	<0.05	<0.5	<0.5
S	<0.05	<0.05	<0.05
Cl	BDL	0.007	BDL
O*	44.78	42.24	44.3
Cenizas	3.4	0.8	5.0
PCS (d.b.) MJ/kg	19.18	20.73	20.0

Como resultados generales del proyecto se lograron producir pellets de una densidad energética superior al pellet sin tratar y con características que permiten su uso en procesos de co-combustión. La co-combustión con carbón se validó a nivel piloto y por condiciones de confidencialidad esos datos se omiten del presente informe.

Figura 9. Planta Piloto de Torrefacción instalada en UDT (Fuente: Nelson Zbiden)

Finalmente, se estudió a través de ingeniería conceptual el escalado de la planta y se estimaron los niveles de rendimiento y eficiencia energética en el sistema.

4. Pirólisis

El estudio de los procesos de pirólisis y su implementación en Chile, se realiza a diferentes niveles en varias regiones e instituciones de investigación. Siendo las experiencias más desarrolladas aquellas reportadas por el BIOREN (Universidad de la Frontera) y la Unidad de Desarrollo Tecnológico UDT-UdeC. Ambas instituciones han enfocado sus esfuerzos en desarrollar tecnologías y aplicaciones para tratar por via pirolítica residuos agroforestales y material algal. Fundamentalmente, la pirólisis aplicada a la obtención de líquidos químicamente valiosos (plataforma de síntesis)

y/o biochar con aplicaciones ambientales (enmendador de suelos y secuestro de carbón). A continuación se entregan antecedentes del estado actual de estas tecnologías en el país.

- **Pirólisis Rápida. Experiencias en Chile**

El interés por la pirólisis rápida radica en el aprovechamiento comercial de la fracción líquida (en loa delante bio-oil). Este líquido, cuya composición varía en función de la materia prima, las condiciones del proceso y el uso de procesos de upgrading (hidrodeoxigenación, pirólisis catalítica, etc.) es la materia prima fundamental para las biorefinerías basadas en procesos de pirólisis. La UDT tiene capacidades únicas a nivel latinoamericano para el desarrollo a escala piloto de estos procesos. En ese sentido se pueden identificar instalaciones a nivel piloto con capacidad para procesar, continuamente, varios kg/h:

Planta Pirólisis Flash: La planta de pirolisis rápida utiliza tecnología propia (Figura 10) y está conformada por un sistema de tres reactores de lecho fluidizado en serie: reactor inferior de combustión de carboncillo, intermedio de pirólisis rápida y superior de precalentamiento, los que se encuentran conectados entre sí mediante un sistema neumático que permite la recirculación del material particulado que conforman los lechos. Además, un sistema de filtración de vapores en caliente, un equipo de enfriamiento rápido para vapores orgánicos y un filtro electroestático.

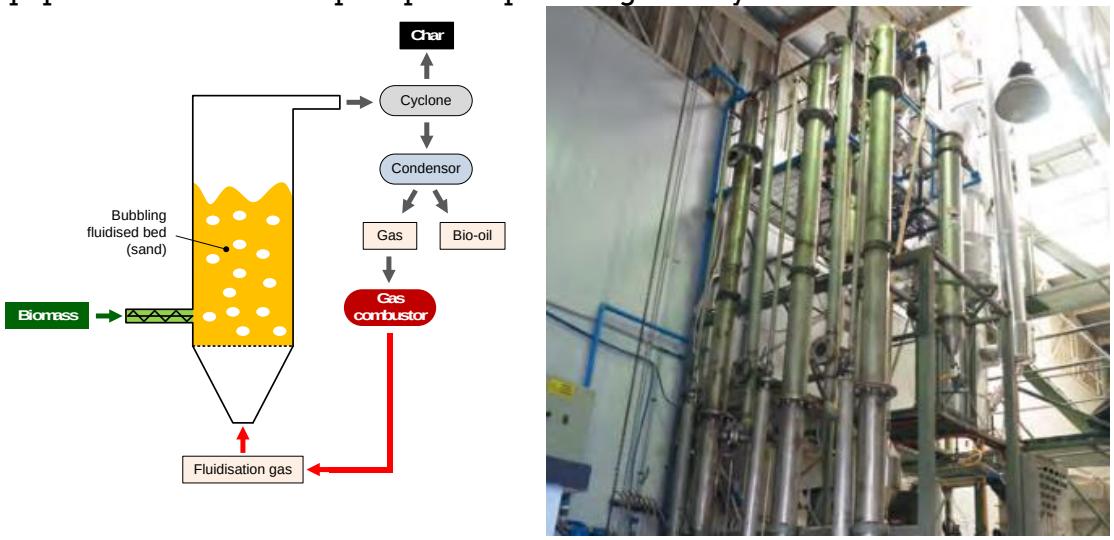


Figura 10. Instalación de pirólisis Flash. Capacidad 20 kg/h de biomasa, Tiempo de residencia 2 seg. y temperatura hasta 580 ºC (Fuente: UDT, 2019).

Las características del producto líquido pueden variar ostensiblemente. En una publicación en 2013 se reportó la composición detallada de este bio-oil, destacándose el alto contenido de oxígeno y la viscosidad del producto (Muler et al., 2013).

Planta Pirólisis intermedia: La planta de pirólisis intermedia está compuesta por un horno rotatorio de atmósfera inerte, construido en acero Nigrofer 3220H ASTM B (Figura 11). La energía necesaria para la reacción de pirólisis es entregada por diez quemadores de gas licuado. El carbón generado en el proceso es depositado en buzones a la salida del horno y los gases son conducidos a un filtro caliente de metal sinterizado (20 micrones), para separar el material particulado. Posteriormente, éstos pasan por intercambiadores de calor, donde condensan parcialmente y se recupera el bio-oil. Los incondensables son quemados en una antorcha.

Figura 11. Instalación de pirólisis intermedia. Capacidad 20 kg/h de biomasa, Tiempo de residencia (varios min) y temperatura hasta 580 ºC. (Fuente: UDT, 2019).

Esta planta entró en funcionamiento en 2019 y se prevé su uso para producir líquidos con composición controlada, así como biochar para diferentes aplicaciones. En este último punto, se deben señalar varios proyectos ejecutados con empresas de la región pero con un foco en el aprovechamiento de residuos provenientes de la producción avícola (FIC, código 30193672-0), lo que escapa del interés del presente informe.

5. Gasificación

La gasificación es un proceso de conversión termoquímica que facilita el fraccionamiento de la biomasa forestal a una corriente gaseosa, que cuando se integra a equipos de generación de energía puede alcanzar eficiencias eléctricas superiores al 25% y en ciclo combinado más del 60%. Si bien es cierto, el sistema de gasificación es importante – existe bastante trabajo avanzado en el tema, en efecto hoy en día es relativamente sencillo encontrar ofertas para gasificadores de biomasa (http://www.holz-kraft.de/,http://www.indiamart.com/). Sin embargo, la implementación comercial de estas plantas se ha visto frenada por la propia naturaleza de la biomasa, por tanto dependiendo de la calidad de ésta, el producto gaseoso variará también, lo que torna muy complejo garantizar una operación estable. En este contexto, es fundamental un pre-tratamiento de limpieza de gases que permita un mejor aprovechamiento energético de la biomasa (vía gasificación). En efecto, impurezas tales como; NH_3, H_2S, HCl, material particulado, metales y alquitranes suelen depositarse en las distintas partes del generador eléctrico provocando el colapso del equipo. Con estos antecedentes, la UDT-UdeC ha realizado varios proyectos relacionados con la eliminación catalítica de alquitranes y amoníaco presentes en gases de gasificación (Arteaga et al., 2018; Gómez et al., 2018; Casas et al., 2019). Igualmente, se ha instalado una planta BENCH de operación continua (1-5 g/min) y equipada con un reactor downdraft, sistema de recolección de alquitranes, analizador de gases en línea y sistema de reactores catalíticos. La solución propuesta en estos proyectos pasó por el uso de lechos catalíticos post-gasificador. Alegadamente, los autores mencionan que fueron capaces de desarrollar catalizadores soportados en biochar, aerogeles de carbón y monolitos, todos con capacidad para eliminar eficientemente los alquitranes a niveles que permiten el uso del gas en la generación eléctrica.

Gasificación acoplada a MCI

La iniciativa desarrollada por CERE-UMAG, implica la utilización de un equipo All Power Lab[31], de 10 kW de potencia instalada que utiliza astillas de lenga para su funcionamiento. Las astillas provenían de una planta maderera local, que empleó residuos de recortes y madera fuera de especificación, ya secada, por lo cual el equipo tuvo rendimientos del orden de 2 m^3 de gas/kg de astillas en taller del CERE y de 1,84 m^3 de gas/kg de astillas en terreno. La baja del rendimiento se debió a que las pruebas en terreno se realizaron con temperaturas ambiente menores a los 0°C.

Figura 16. Pruebas de generación eléctrica mediante gasificación a pequeña escala.
(Fuente: CERE-UMAG, 2015-b)

6.Utilización de la Biomasa

- **Calderas Residenciales**

Hasta el momento no existe una normativa chilena para la certificación de los artefactos o equipos de potencias mayores que 25 kW, que utilizan biomasa como combustible, y las restricciones establecidas apuntan a equipos residenciales que no se encuentren en los registros de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles -SEC[32]. En la Figura 13, se aprecian algunos modelos comerciales de calderas de uso residencial, por lo general con potencias menores a 25 kW, que utilizan pellet, con rendimientos que van desde los 0,9 a 3,7 kg de pellet por hora de funcionamiento[3334].

- **Calefactores**

Existen diferentes artefactos autorizados para uso en Chile, sin embargo, en los últimos años producto de las acciones implementadas en los Planes de Descontaminación Atmosféricos (Ministerio de Medio Ambiente, 2017) en varias ciudades de Chile, existen listados oficiales de artefactos autorizados y certificados por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles[35] a leña y pellet. Estos programas de recambio de calefactores, donde predominan los artefactos a pellet

[31] https://www.allpowerlabs.com/
[32] http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,4841784&_dad=portal&_schema=PORTAL
[33]https://www.amesti.cl/calefaccion-central-pellet/348-termoestufa-a-pellet-verona.html
[34] http://www.casadelclima.cl/#section-practicing-areas
[35] http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,6069695&_dad=portal&_schema=PORTAL

(Figura 16), han sido evaluados por la Dirección de Presupuesto del Estado de Chile[36], y ha sido fundamental no solamente como demanda de pellets en sí, de parte de los beneficiarios, sino que también como demostración hacia otros consumidores que se han motivado para adquirir calefactores con recursos propios. Hacia fines del 2017 se había sustituido 23.845 equipos a leña por equipos a pellets según CORFO (Escobar et al., 2018).

Figura 16. Modelos de calefactores comerciales de uso residencial a pellet[37].

- **Calderas industriales**

Proyectos innovadores, como adaptaciones de hornos de panaderías para sustituir sus sistemas de gasoil por otros de generación de calor con quemadores de pellet; instalación de calderas para la climatización de piscinas, o la transición de estufas de leña a estufas de pellet, son algunas de las innovaciones que se están llevando a cabo en Chile, mediante diversos proyectos asociados al uso de biomasa. Los temas ambientales (PDA) y medidas de mitigación al cambio climático, están motivando a industrias, establecimientos públicos y residenciales a lo largo de todo el país, a reemplazar sus actuales sistemas de generación energética o de calefacción, por otros más eficientes e innovadores. Dentro de proyectos destacados se pueden mencionar como ejemplos[38]:

- Calderas industriales, como la de 12 MW de agua sobrecalentada a 185°C para combustible con más de 50% de humedad, instaladas en Forestal Andes de Freire.
- Caldera de 5MW de agua sobrecalentada a 185°C entregada en el establecimiento de Maderas San Rafael de Curicó.
- Quemador de pellet de 300kw para la transformación de la caldera del gimnasio del Colegio Alemán de Valdivia.
- Calderas Frolling T4 110, con sistema de alimentación de tornillo sinfín instaladas en el colegio Darío Salas de Carahue.
- Caldera Froling modelo TX 250, con combustible de astilla de maderas y sistema de alimentación con brazos articulados instalada en el hospital de Quilacahuín.
- Caldera de características similares instalada en el Hospital Misión San Juan de la Costa.
- Calderas de pellet Bmax 300 y Bmax 200 instaladas en el Hospital San Carlos de Maullín de Puerto Montt.
- Bmax 300 instalada en el Hospital Seminario de Puerto Montt o la caldera marca Froling modelo T4 110 con combustible de pellet apoyada por paneles solares, Instalada en el centro de salud familiar de Río Negro.

[36] http://www.dipres.gob.cl/597/articles-187242_informe_final.pdf
[37] https://www.biomass.cl/?product=007-estufas-a-pellets-artel-piccola-6-kw
[38] http://reportesostenible.cl/masificacion-en-el-uso-de-biomasa-desde-calderas-para-desalinizacion-en-el-norte-hasta-recambio-de-estufas-en-el-sur/

7.Tecnologías de utilización de biomasa no lignificada

En cuanto al desarrollo de biogás, de los antecedentes oficiales disponibles en la actualidad, se identifican en operación proyectos clasificados por sustratos: de lodos de plantas de tratamiento, de recuperación energética de metano en rellenos sanitarios, de uso de purines y de residuos agroindustriales. Cabe destacar en este sentido, el incipiente desarrollo de una industria nacional en torno al biogás, con empresas nacionales que están comenzando a masificar la construcción de proyectos de utilización de residuos para la obtención de biogás. La UDT (2013) en su recopilación de información sobre bioenergía presenta algunos ejemplos.
La producción y uso de biocombustibles líquidos en Chile se limita a proyectos pilotos y a proyectos de investigación y desarrollo. Diversas universidades y centros de investigación en Chile se encuentran desarrollando investigación básica y aplicada en biocombustibles. A su vez, empresas privadas han liderado planes piloto, usando mezclas de biocombustibles con combustibles fósiles.

8.Conclusiones

- Existen diferencias significativas con relación a la utilización de biomasa en la matriz eléctrica o en la matriz térmica. Esta última, todavía presenta sobre un 60% de empleo de combustibles fósiles.
- Las astillas debieran ser la alternativa de recambio, tanto por costos, como por gestión de residuos, aportando a reducir la descarbonización y aumentando el desarrollo local, por medio de la generación de empleos.
- El desarrollo de Calefacción Distrital también es un interés de los productores de astillas, siendo una posibilidad futura la creación de alianzas con empresas ESCO[39].
- De acuerdo a lo expresado en estudios recientes, respecto del desarrollo que la industria del pellet ha tenido en Chile y considerando los actuales antecedentes y tendencias observadas a nivel mundial y local, el desarrollo de una cadena productiva óptima no estará dada por la cantidad de recursos potenciales de materia prima como aserrín húmedo, cultivos dendroenergéticos, mejoramiento de tecnologías tanto en producción como en combustión final, sino por lo que la institucionalidad del país permita.
- El crecimiento de la industria está influido por un subsidio del Estado a consumidores finales de leña, reemplazándoles sus calefactores por otros a pellets y, en menor medida, por parafina y gas.

9.Referencias

AChBIOM, Asociación Chilena de la Biomasa. 2018.
Altamirano., A., et al. (2015), "Disponibilidad y potencial energético de la biomasa del bosque nativo para el desarrollo de la dendroenergía en el centro-sur de Chile", publicación *Bosque* **36**(2), p. 223-237.
Arteaga-Pérez, L.; Segura, C. y Diéguez, S., (2016). Procesos de torrefacción para valorización de residuos lignocelulósicos. Análisis de posibles tecnologías de aplicación en Sudamérica. *Afinidad* **73**(573):60-68.
Arteaga-Pérez, L.E.; Delgado, A.M.; Flores, M.; Olivera, P.; Matschuk, K.; Hamel, C.; Schulzke, T.; Jiménez, R. (2018). Catalytic Conversion of Model Tars over Carbon-Supported Ni and Fe. *Catalysts* **8**, 119. (https://doi.org/10.3390/catal8030119)

[39] http://www.gestionaenergia.cl/mipymes/modelo-esco/

Casas-Ledóna, Y., Flores, M., Jiménez, R., Ronsse, F., Dewulfe, J., Arteaga-Pérez, L. (2019). On the environmental and economic issues associated with the forestry residues-to-heat and electricity route in Chile: Sawdust gasification as a case study. *Energy* **170** (1): 763-776.

CERE-UMAG (2015-a), "Informe Final Propuesta de Matriz Energética para Magallanes al 2015", Centro de Estudios de los Recursos energéticos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Magallanes, informe mandatado por el Ministerio de Energía de Chile, Punta Arenas.

CERE-UMAG (2015-b), Proyecto FONDEF N°D11R1002 "construcción, instalación y puesta en marcha de gasificadores de biomasa para comunidades aisladas", Director General del proyecto Humberto Vidal G., Universidad de Magallanes, Centro de Estudio de los Recursos Energéticos. Ejecución 2012-2015.

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

Comisión Nacional de Energía – CNE (2018), "Anuario Estadístico de Energía 2018", Ministerio de Energía-Comisión Nacional de Energía-Gobierno de Chile. Santiago.

CONAF (2016), "Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales 2017-2025.

CORFO (2016), "Transferencia Tecnológica en Chile", mandatado por la Corporación de Fomento de la Producción a iCONO UDD, Oficina de Desarrollo Tecnológico de la Universidad del Desarrollo, Santiago de Chile.

EBP Chile SpA (2018), "Manual de Desarrollo de proyectos de Energía Distrital", manual apoyados por Ministerio de Energía, Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Agencia de Cooperación Alemana GIZ, Agencia de Sostenibilidad Energética y CORFO, Santiago de Chile.

Escobar, J., Weil, P. (2018) Identificación de la cadena productiva de elaboración de pellets de madera.

Gómez-Cápiro, O.; Hinkle, A.; Delgado, A.M.; Fernández, C.; Jiménez, R.; Arteaga-Pérez, L.E. (2018). Carbon Aerogel-Supported Nickel and Iron for Gasification Gas Cleaning. Part I: Ammonia Adsorption. *Catalysts* **8,** 347.

Gutiérrez., D (2014), "Análisis de la situación actual y futura del consumo de biomasa forestal para generación en Chile", Tesis de Grado presentada como parte de los requisitos para optar al Título de Ingeniero Forestal, Universidad Austral de Chile – UACH, Valdivia, Chile.

Ministerio de Energía, CONAF y UACH (2013), "Informe Final de Evaluación de mercado de biomasa forestal y su potencial", Santiago de Chile.

Ministerio de Energía de Chile (2015-a), "Guía Metodológica para el desarrollo de estrategias energéticas locales", Ernst Basler + Partner y Fundación Chile, Santiago de Chile.

Ministerio de Energía (2015-b), "Política de uso de la leña y sus derivados para calefacción", documento participativo del Ministerio de Energía, en conjunto con los ministerios de Medioambiente, Agricultura, Educación, Vivienda y Obras Públicas de Chile, y la Corporación de Fomento de la Producción. Santiago de Chile.

Ministerio de Energía (2017), "Plan de Mitigación de Gases de Efecto Invernadero para el Sector Energía", mandatado por Ministerio de Energía a Banco Mundial - Consorcio Carbon Counts (Reino Unido) y E2BIZ (Chile).

Ministerio de Medio Ambiente (2013-a), Decreto N°40 que aprueba el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Ministerio de Medio Ambiente (2013-b), Decreto N°39, que aprueba el Reglamento para la dictación de Planes de Prevención y de Descontaminación.

Ministerio de Medio Ambiente (2017), "Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022".

Nhuchhen, D. (2014). Una revisión completa sobre la torrefacción de biomasa

Phanphanich, M. (2013). Impacto de la torrefacción en las características de molienda y combustible de la biomasa forestal.

Kiel, J., (2012). Centro de Investigación de Energía de Torrefaction, Países Bajos (ECN).

Koppejan, J. (2012). Descripción general del estado de las tecnologías de torrefacción.

Tumuluru, J. (2011). Revisión sobre el proceso de torrefacción de biomasa y las propiedades del producto y el diseño del desarrollo del modelo del sistema de torrefacción de lecho móvil.

Unidad de Desarrollo Tecnológico – UDT (2013), "Informe Final Estudio "Recomendaciones para la elaboración de una Estrategia Nacional de Bioenergía", UDT – Universidad de Concepción a solicitud del Ministerio de Energía de Chile, Concepción.

Universidad de Chile (2009), Proyecto FONDEF N°D04I1083 "Desarrollo de un reactor molecular para la generación de energía a partir de biomasa a pequeña y mediana escala", Director General del proyecto Misael Gutiérrez D., Universidad de Chile, ejecución 2006-2009.

UTFSM (2008), "Informe final Estudio de contribución de las ERNC al SIC al 2025, Informe Sectorial de Potencial de Biomasa en Chile", Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar II- Tecnologías, 2020: 142-162
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editores: M.L. Contreras Rodríguez y J.M. Sánchez Hervás

II. 3. Tecnologías de biomasa en Colombia y Latinoamérica

José María Rincón Martínez[1], Diana M. Durán Hernández[1]

[1]*Centro de Desarrollo Industrial – Tecsol. Bogotá – Colombia*

RESUMEN. Debido a los problemas ambientales causados por la utilización de combustibles fósiles, en especial las emisiones de gases de efecto invernadero, la utilización de la biomasa como fuente de energía renovable ha tomado importancia en los países iberoamericanos. El uso de los residuos biodegradables de la biomasa en la producción de biogás y biometano como sustituto de gas natural es una de las soluciones evaluadas a nivel mundial. Se estima que la demanda en Europa de aglomerados de madera, pellets y briquetas, alcanzarán 29 millones de toneladas en 2030. En Colombia los principales sectores que han implementado procesos de digestión anaerobia son el porcícola, avícola, lechero, la industria de palma y algunos pequeños agricultores. La producción y distribución local de pellets puede producir un combustible asequible, al tiempo que crea empleos locales y mantiene la huella de carbono al mínimo. Igualmente se presenta una descripción de las tecnologías más utilizadas: el biogás, pellets y briquetas.

*Correspondencia: M Sc J.M. Rincón Martínez. E-mail: joserinconmartinez@gmail.com.

1. Importancia de la biomasa como fuente de energía en Iberoamérica

La ley 1715 en su artículo 5, define la energía de la biomasa (bioenergía) como *"energía obtenida a partir de aquella fuente no convencional de energía renovable que se basa en la degradación espontanea o inducida de cualquier tipo de materia orgánica que ha tenido su origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico y toda materia vegetal originada por el proceso de fotosíntesis, así como de los procesos metabólicos de los organismos heterótrofos, y que no contiene o hayan estado en contacto con trazas de elementos que le confieren algún grado de peligrosidad". (Congreso de Colombia, 2014)*

El uso de la biomasa ha crecido a nivel mundial debido a los problemas ambientales causados por la utilización de combustibles fósiles, como la emisión de gases de efecto invernadero y a la alta producción de residuos orgánicos, los cuales se utilizan para la producción de biogás y biometano como sustituto de gas natural y leña en el sector doméstico e industrial. En la Figura 1 se presenta los usos tradicionales y actuales de la biomasa.

La leña y los residuos forestales están constituidos por ramas, cortezas, virutas, aserrín, hojas, tocones y raíces, que fueron durante siglos la fuente energética más

importante de la humanidad. Estos se utilizan en la producción de calor para la cocción de alimentos, calefacción de los hogares, y aplicaciones en pequeñas industrias, en especial en la de alimentos (Rincón y Silva, 2014).

Los combustibles domésticos incluyen la leña y sus derivados, carbón de leña, pellets y briquetas de carbón vegetal y se dividen en dos grandes grupos:

- Residuos de corte y transformación de madera
- Residuos de procedimientos silvícolas

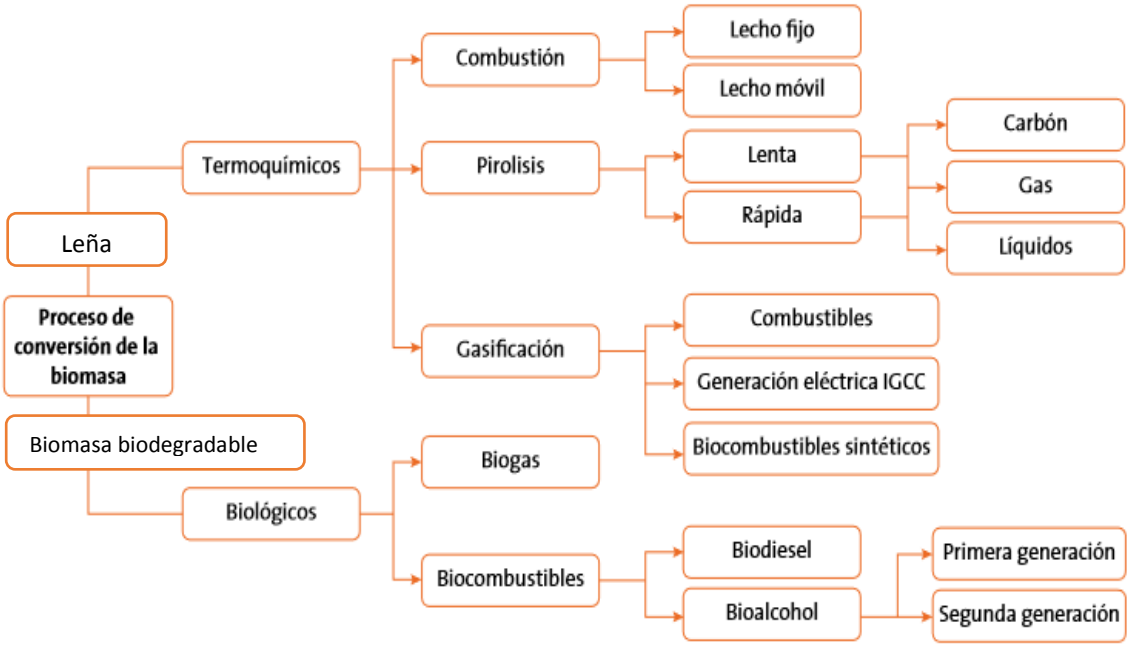


Figura 1. Esquema general de la conversión de la biomasa
Fuente: Adaptado de (Rincón y Silva, 2014)

Respecto al primer grupo, hay que destacar la producción de ramas, teniendo en cuenta que aquéllas de diámetro inferior a 5 cm no reportan ninguna utilidad industrial en la actualidad y representan un residuo que se debe eliminar del bosque para evitar la propagación de incendios y plagas. Es considerable también la producción de corteza, aserrín y viruta, originados en la elaboración de otros productos.

En el segundo grupo, las hojas, tocones y raíces también representan una cantidad apreciable de biomasa residual, susceptible de aprovechamiento como leña. En este grupo también se incluyen los considerables residuos que se producen en los tratamientos silvícolas, cuya cantidad y frecuencia de recolección están relacionados con las especies y regiones donde se desarrollen las plantaciones, éstos son: limpiezas y podas, que se realizan para aumentar el rendimiento de la plantación y los clareos que se efectúan para distribuir correctamente la población de árboles en los terrenos de acuerdo con su diámetro y/o apariencia (Rincón et al., 2017).

Dada la heterogeneidad de la biomasa utilizada para la obtención de la leña y sus derivados y que de ellas depende su comportamiento durante su utilización, a continuación, se hace un resumen de sus principales características que deben ser tenidas en cuenta para su aplicación y comercialización.

- Tipo de biomasa: Condiciona en gran medida los procesos para liberar la energía térmica, y las etapas de preparación como tamaño de corte de la leña, astillado, sistema de carbonización para la obtención de carbón vegetal, tamaño de pellets y briquetas.
- Composición química: La composición química muestra las sustancias o elementos que la componen, (celulosa, hemicelulosa, lignina) así como su cantidad, permite identificar y validar la posibilidad de utilización de una biomasa. Los métodos empleados para esta determinación son el denominado análisis próximo y el análisis elemental.

El análisis próximo (norma ASTM D3172 para carbón) establece la metodología para la caracterización de combustibles sólidos por medio del contenido de humedad, cenizas, materia volátil y carbono fijo. Las características de la calidad y uso de la leña son importantes y de nada sirve tener la mejor estufa del mundo en cuanto a su eficiencia, si esta no cuenta con un combustible adecuado. La humedad es quizás la propiedad más importante y de ella va a depender propiedades como facilidad de encendido, emisión de humos blancos inicialmente, y la calidad de la combustión en general. La densidad determinará, en buena parte, el poder calorífico y en consecuencia la velocidad de cocción de los alimentos.

La gran variedad de la calidad de la leña impide tener procesos estandarizados de cocción de alimentos, y el control de las emisiones como monóxido de carbono, inquemados en especial material particulado y productos aromáticos generados. Por este motivo, se ha trabajado en desarrollar procesos para tener combustibles derivados más amigables como en el carbón de leña y recientemente, la leña torrefactada, leña aglomerada en pellets y briquetas; los cuales son combustibles modernos y permiten un uso doméstico e industrial estandarizado en estufas y hornos, y se puede establecer un control estándar de emisiones. Se estima que la demanda de aglomerados de madera, pellets y briquetas, en Europa alcanzarán 29 millones de toneladas en 2030, frente a 8 millones reportados en 2010, pero la mayoría de lo que necesita Europa deberá importarse desde América del Norte, Rusia y Brasil (Murcia et al., 2010).

A continuación, se hace una descripción y análisis de los procesos modernos de adecuación de la biomasa para su aplicación como biocombustibles sustitutos de la leña, en especial biogás, pellets y briquetas, dada la importancia de estos a nivel ambiental.

2. Tecnologías de biomasa en Iberoamérica

2.1. Biogás

La descomposición microbiológica de la biomasa biodegradable en ausencia de oxígeno se lleva a cabo de forma natural en lagunas, pantanos, vertederos, fondo de ríos y océanos, y en el tracto digestivo de animales, principalmente de bovinos (Chynoweth et al., 2001). Durante el siglo XVII, Jan Baptita Van Helmont determinó que los gases inflamables podían originarse a partir de la descomposición de la materia orgánica. Por su parte, Alessandro Volta concluyó que existía una correlación directa entre la cantidad de materia orgánica en descomposición y el volumen producido de gas inflamable (Lusk, 1998). Este proceso se conoce como Digestión Anaeróbica (DA) y el gas obtenido como Biogás.

El aprovechamiento energético de los residuos biodegradables alcanzó para el año 2017 la construcción de 17.783 plantas en Europa, 64% superior a las existentes en

el año 2009 (European Biogas Association, 2019). En Colombia los principales sectores que han implementado procesos de digestión anaerobia son el porcícola, avícola, lechero, la industria de palma y algunos pequeños agricultores. Estos utilizan parte del biogás para la generación de energía térmica, teniendo que quemar el restante en muchos casos debido a la falta de sistemas de purificación (refinación) (Rincón Martínez et al., 2018; Velásquez Lozano et al., 2017).

La digestión anaerobia es un proceso de fermentación en ausencia de oxígeno, durante el cual los microorganismos presentes en la biomasa actuan en sintrofía (se colaboran entre sí para tener mayor asimiliacion de energía) para transformar el material orgánico en biogás. El biogás se ha convertido en una fuente de generación de energía renovable y sostenible, considerándolo como biocombustible de segunda generación (Ruane et al., 2010). La composición del biogás es 60-70% de metano (CH_4), 30-45% de dióxido de carbono (CO_2), 1-2% de gas sulfhídrico (H_2S) y trazas de amoniaco, monóxido de carbono, nitrógeno y oxígeno dependiendo del sustrato en digestión (Al Seadi et al., 2008) y que limita el uso final del biogás (SGC, 2012).

El biogás normalmente se somete a procesos de refinación para eliminar el H_2S y el CO_2 presente con fines de obtener básicamente biometano, cuyo uso es igual al del gas natural tanto en el sector transporte como en el residencial. Como producto secundario del proceso se obtiene el digerido o biol, el cual es una fuente alta en nutrientes agrícola, pudiendo usarse como biofertilizante y enmienda orgánica en suelos (Rincón et al., 2019).

En el medio rural las estufas domésticas se consideran como el mejor medio para aprovechar el biogás (ISAT / GTZ, 1999b). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), más de tres mil millones de personas en todo el mundo continúan utilizando combustibles sólidos, incluyendo madera, estiércol, residuos agrícolas y carbón mineral, para satisfacer sus necesidades energéticas (OMS, 2011) utilizando estufas tradicionales que generan altos niveles de contaminación atmosférica y problemas respiratorios, debido a contaminantes como material particulado, monóxido de carbono y poliaromáticos que pueden ocasionar cáncer. Se cree que esta contaminación es responsable del 2,7% de la carga mundial total de morbilidad (OMS, 2011), los programas de producción de biogás y su utilización como combustible doméstico, pueden solucionar este problema.

Cuando el biogás se produce, se evitan emisiones de metano al ambiente causadas por la mala disposición de los residuos. Si estos residuos se procesan en una planta de biogás, los nutrientes y minerales no se degradan y estos se pueden utilizar en el campo como biofertilizante, evitando la utilización de fertilizantes químicos y en este caso, se logra ofrecer productos orgánicos certificados al mercado internacional, en especial al mercado europeo (Rincón et al., 2018) Al reemplazar un kilogramo de fertilizante de nitrógeno mineral se ahorra más de seis kilogramos de CO_2 que se liberaría en la producción del fertilizante químico. El CONPES 3577 "Política Nacional para la Racionalización del Componente de Costos de Producción Asociado a los Fertilizantes en el Sector Agropecuario" comenta que, "*Como consecuencia de la alta dependencia de materias primas importadas para la elaboración y comercialización de fertilizantes en Colombia, existe una alta vulnerabilidad frente a las fluctuaciones en las variables externas que determinan el precio y la disponibilidad de los fertilizantes en el país, lo que implica que la competitividad del sector agropecuario y el ingreso de los productores pueden verse afectados". Al tener una política de aprovechamiento masivo de los biofertilizantes provenientes de los residuos*

agrícolas, se establece una recirculación que ayuda a evitar la vulnerabilidad del país en este tema estratégico.

2.2. Pellets

En la Tabla 1 se exponen los posibles procesos realizados a la biomasa.

Tabla 6: Principales pre-tratamientos de la biomasa.

Pre-tratamiento	Principales ventajas
Reducción de tamaño	• Incrementa el área superficial y se promueve la unión entre partículas • Impacta positivamente el peletizado
Torrefacción	• Incrementa la densidad energética • Incrementa el poder calorífico • Reduce contenido de humedad
Explosión con vapor	• Mejora la densidad aparente del pellet • Reduce la energía específica requerida en el peletizado
Carbonización hidrotérmica	• Aumenta la resistencia mecánica del pellet • Aumenta el poder calorífico del pellet
Pretratamiento biológico	• Bajo costo energético • Mejora el rendimiento en la combustión de los pellets

Fuente: Adaptado de Pradhan et al. (2018a)

Durante la última década han existido dos factores principales que han impulsado el crecimiento del mercado de combustible de pellets. El primero es el aumento constante en el costo de los combustibles fósiles y la inestabilidad de precios, y el segundo es la mayor atención prestada a los efectos ambientales causados por el uso de combustibles fósiles en especial el calentamiento global. Otros factores que respaldan el uso de pellets es que son un combustible que puede ser producido localmente, a partir de madera local y materiales de biomasa residual. La producción y distribución local de pellets puede producir un combustible asequible, al tiempo que crea empleos locales y mantiene la huella de carbono al mínimo.

Los pellets se diferencian de la leña debido a que esta última solo proviene de árboles que en general crecen muy lentamente. Los pellets están hechos de prácticamente cualquier material de biomasa incluyendo pajas, pastos, cultivos energéticos, entre otros. Los pellets, además se queman más eficientemente. Esto significa que producen menos cenizas, menos humo y más calor. También los pellets tienen un tamaño uniforme, forma, densidad y contenido de humedad. Estas cualidades consistentes hacen posible diseñar sistemas de combustión altamente automatizados, como las modernas estufas y calderas de pellets.

El precio por peso de los pellets puede ser más alto que el de la leña, pero el precio de la energía utilizada en los pellets es más económico ya que el contenido de humedad es inferior al 10%, mientras el contenido de humedad de la leña es superior al 30%. Esto permite a los pellets su queman de manera muy eficiente y prácticamente no producen humo durante la combustión.

Se debe tener en cuenta que los árboles maderables tienen un tiempo de crecimiento de mínimo dos años mientras que en la producción de pellets se puede utilizar otras fuentes de biomasa con tiempo de crecimiento más rápido, como residuos agrícolas, gramíneas y paja, por lo tanto, la eficiencia energética por área de cultivo es mayor cuando se utiliza pellets de estos cultivos.

El proceso de producción de pellets a partir de biomasa inicia con su recolección, la cual puede tener su procedencia como residuo de procesos de la industria forestal,

la industria agrícola o cultivos energéticos. Posteriormente, la humedad de la biomasa debe ser retirada mediante un proceso de secado y su tamaño reducido, con el fin de facilitar un posterior proceso de compactación (Rincón y Silva, 2014; Rincón et al., 2017). Sin embargo, algunos autores exponen la pertinencia de un proceso térmico para transformar la biomasa en un combustible (Pradhan et al., 2018a). Finalmente, la biomasa tratada se pelletiza y se acondiciona para ser almacenada y distribuida como fuente energética (Rincón y Silva, 2014; Rincón et al., 2017; Murcia et al., 2010). La Figura 5 presenta de forma resumida el diagrama de proceso de producción de pellets.

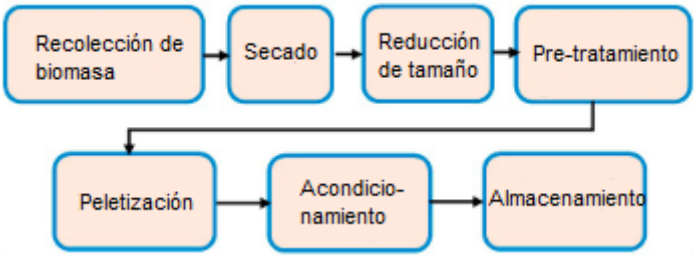


Figura 5. Diagrama del proceso de producción de pellets.
(Fuente: Adaptado de Pradhan et al., 2018a)

La biomasa luego de ser tratada, se somete al proceso de peletizado tal y como se muestra en la Figura 6. Esta etapa es afectada principalmente por la humedad de la biomasa (ya que afecta directamente el poder calorífico del pellet), el tamaño de partícula y la presencia de agentes de unión entre las partículas, que afectan la presión de peletización y el gasto energético (kirsten et al., 2016), al igual que parámetros del equipo como la presión al compactar o las dimensiones de la matriz comformadora (Pradhan et al., 2018b).

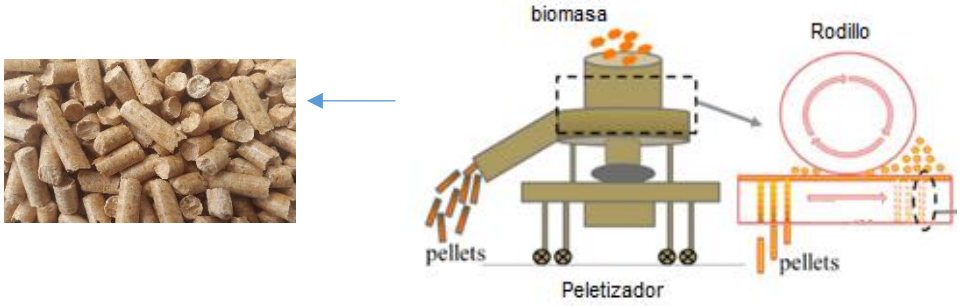


Figura 6. Proceso de pelletización de la biomasa.
Fuente: Adaptado de (Pradhan et al 2018a)

2.3. Briquetas

Las briquetas como lo pellets son comprimidos de biomasa utilizados como biocombustible. A diferencia de los pellets, su tamaño es más grande, por lo que pueden ser utilizadas con otros fines o en maquinaria diferente, para la producción de energía (Nunes et al., 2014). El proceso de producción es similar al de los pellets, sin embargo, puede variar en ciertas características como el tamaño de los equipos utilizados, así como los agentes químicos empleados en la unión de las partículas. La Figura 7 muestra un esquema de producción de briquetas producidas a partir de carbón vegetal y aserrín (Taulbee et al., 2009).

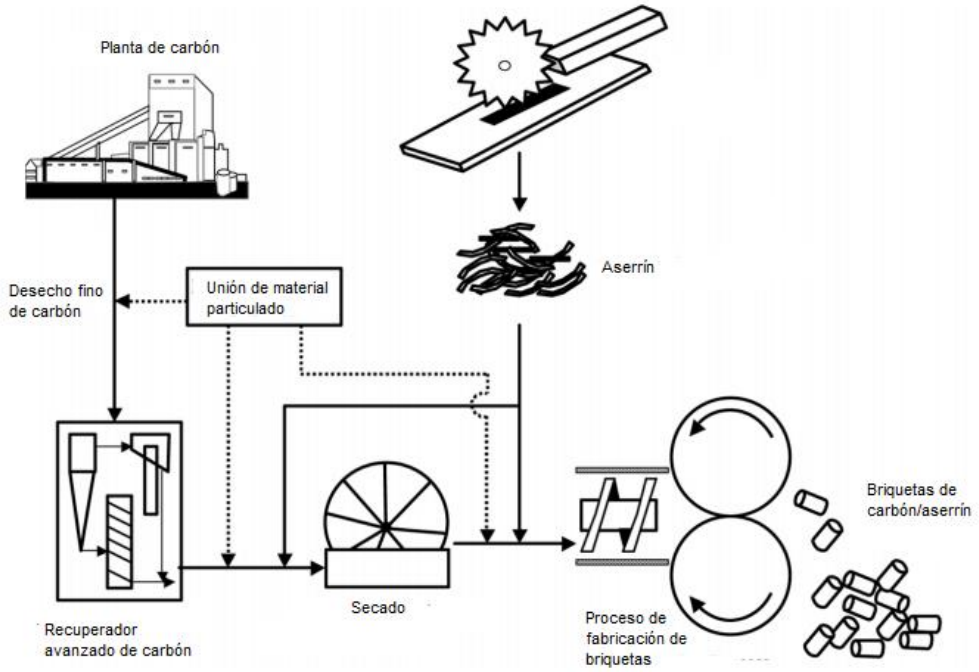
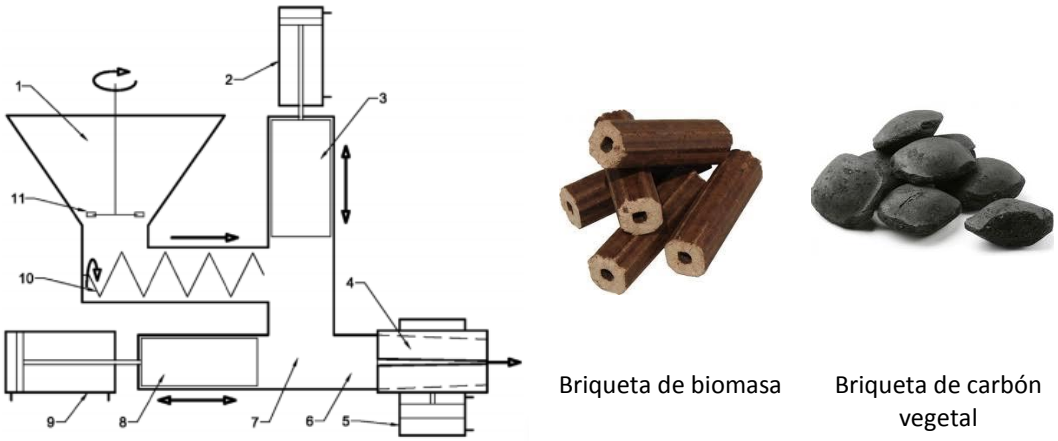


Figura 7. Proceso de producción de briquetas de carbón/ aserrín.
Fuente: Adaptado de[(Taulbee et al., 2009)

Algunos factores deben ser tomados en consideración a la hora de producir briquetas. Entre los más importantes se encuentran la humedad del material (la cual debe encontrarse entre 8 y 12%) (Gendek et al., 2018), con el fin de obtener un material con una mayor densidad y mejor poder calorífico. Adicionalmente, el tamaño de partícula es también importante, ya que entre más bajo sea, la briqueta presentará características más favorables respecto a su firmeza (Taulbee et al., 2009). La Figura 8, enseña una máquina para producir briquetas.



Briqueta de biomasa

Briqueta de carbón vegetal

Figura 8. Equipo de producción de briquetas.
(Fuente: Adaptado de Gendek et al., 2018)

1. Tolva
2. Cilindro hidráulico
3. Pistón de pre-compactación
4. Mecanismo de regulación de resistencia
5. Cilindro hidráulico
6. Cámara de prensado
7. Cámara de pre-compactación
8. Pistón principal

9. Cilindro hidráulico
10. Tornillo de alimentación
11. Mezclador

2.4. Carbón de leña

El carbón de leña o vegetal es una de las fuentes de energía renovable más importantes alrededor del mundo, es un material combustible sólido, frágil y poroso con un alto contenido en carbono, alrededor del 98 %. Se produce por carbonización de madera y residuos vegetales, a temperaturas que oscilan entre 400 y 700 °C, en ausencia de aire. El poder calorífico del carbón vegetal oscila entre 29 y 35 MJ/kg, y es superior al de la madera, que oscila entre 12 y 21 MJ/kg (FAO, 1983; Rodrigues y Braghini, 2019a). La Figura 9 muestra un proceso básico de producción de carbón de leña.

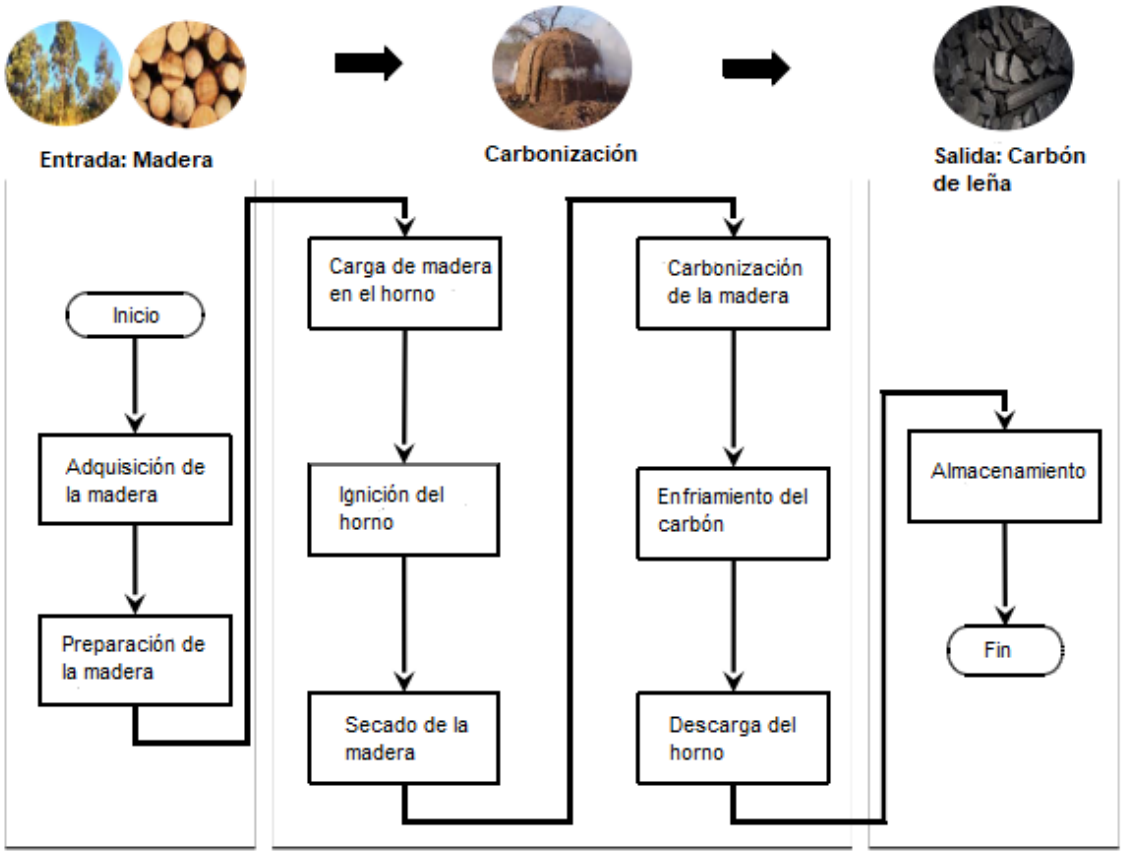


Figura 9. Proceso de producción de carbón de leña.
Fuente: Adaptado de Rodrigues y Braghini (2019a)

Estos procesos a nivel nacional son rudimentarios, este necesita una capa de suelo profundo a lo largo de los bancos de un arroyo. Pueden hacerse fosas muy grandes. La inversión de capital es mínima, se requiere una pala, un hacha y una caja de fósforos, pero es un método que desperdicia mucho los recursos. Gran parte de la madera se quema quedando en cenizas debido al ingreso incontrolado de aire. Otra parte queda sólo parcialmente carbonizada. A parte de las grandes variaciones en calidad, varían la materia volátil, según el grado de carbonización. La carbonización en una fosa comienza en una extremidad y progresa hacia la otra, de allí que el carbón del comienzo de la quema, es calentado por más tiempo, y por ende tiene mucho menos materia volátil que el carbón del otro extremo. Para fines domésticos, no resulta ser un problema serio, si bien reduce el rendimiento global, puesto que

el carbón vegetal "duro", o sobrequemado en la punta de la ignición, con menos materia volátil, eleva el contenido final de carbono, implica un rendimiento bajo, teóricamente alrededor del 30% (Taulbee et al., 2009).

La carbonización consiste en un calentamiento lento de la biomasa, generalmente en un ambiente libre de oxígeno, con el fin de evitar la combustión u oxidación completa del material, con altos tiempos de residencia del vapor de calentamiento. Este proceso resulta en la degradación parcial de los tres componentes principales de la biomasa, los cuales son celulosa, hemicelulosa y lignina. En la mayoría de los materiales vegetales, la celulosa puede alcanzar hasta un 40% de la totalidad, mientras que la hemicelulosa un 25% y la lignina hasta un 30% (Rodrigues y Braghini, 2019b).

Dentro del proceso de carbonización se muestran cuatro etapas fundamentales: En un principio, se da el secado de la madera a una temperatura que puede variar entre 100 y 200°C. Luego, la madera se pre-carboniza (torrefacción) a una temperatura que puede estar entre 200 y 275°C, para ser carbonizada (400-700°C). Una temperatura de 500°C da un contenido típico de carbono fijo de alrededor del 85% y un contenido de materia volátil de cerca del 10%. A esta temperatura, el rendimiento del carbón es de aproximadamente el 33% del peso de la madera. La fase de la carbonización puede ser decisiva en la fabricación de carbón vegetal. A menos que se complete lo más eficientemente posible, puede crear un riesgo para la operación global de la producción de carbón, puesto que los bajos rendimientos en la carbonización repercuten a lo largo de toda la cadena de producción, en la forma de mayores costos y desperdicios de los recursos. Finalmente se da una fijación del carbón entre 400 y 500°C (Ruane et al., 2010; Al Seadi et al., 2008).

El mercado para el carbón vegetal de menor calidad es el sector doméstico, ya que este es el de menor precio, otorgando una cierta compensación entre el precio y la calidad que el consumidor familiar usa para tener resultados satisfactorios. Sin embargo, las grandes industrias como las siderúrgicas exigen carbón vegetal con propiedades especiales como alta dureza, y bajo contenido de materia volátil.

El carbón vegetal reacciona con el oxígeno del aire produciendo un calor rojo, formando el gas incoloro de monóxido de carbono, que luego quema con una llama azul con más oxígeno del aire para producir dióxido de carbono. Debido al calor liberado por ambas reacciones, el carbón vegetal alcanza un rojo esplendente e irradia energía calorífica, y el gas caliente o bióxido de carbono deja la zona de combustión, liberando, con buena suerte por convección, la mayor parte de su calor por contacto físico directo con la vasija de cocinar. La temperatura del gas decae a medida que transfiere el calor y se dispersa en el cuarto. Con el carbón vegetal generalmente no se usan conductos, puesto que su combustión es relativamente inodora y sin humos, si se la compara con la de la leña (FAO, 1983).

El hecho que el carbón vegetal se puede quemar en una hornilla compacta y portátil, sin la necesidad de un conducto, es uno de sus atributos más importantes y explica su amplia popularidad, especialmente en las ciudades y áreas construidas. En términos globales de energía, es más eficiente para un país tratar de usar la leña con eficiente combustión para cocinar, en lugar de convertirla antes en carbón vegetal. Un hornillo con chimenea que consume leña es costoso. El horno mismo puede ser de tierra apisonada y no costar nada, pero un tubo de metal puede costar $US 10 o más. Para los que viven en viviendas urbanas congestionadas, podría ser imposible

instalar chimeneas, y en estos casos se imponen las características del carbón vegetal, que es un combustible no contaminante (FAO, 2011).

3. Experiencias en Colombia y Latinoamérica en el uso de biomasa como biogás

A continuación, se describen a nivel internacional, Latino América y el caso colombiano las experiencias relacionadas con la incorporación de la tecnología de biodigestores y los avances realizados para sustituir de manera progresiva la leña por biogás en el sector residencial.

Caso específico: Colombia

En Colombia los principales sectores que han implementado procesos de digestión anaerobia son el porcícola, avícola, lechero, la industria de palma y algunos pequeños agricultores. Estos utilizan parte del biogás para la generación de energía térmica, teniendo que quemar el restante en muchos casos debido a la falta de sistemas de refinación (Velásquez Lozano et al., 2017).

El biogás en Colombia no es un tema nuevo, las primeras plantas se construyeron como parte de las plantas de tratamiento de aguas en Cali, Medellín y Bogotá. En las dos primeras ciudades, el biogás se utiliza en la generación de energía, mientras que en Bogotá se quema en una chimenea. También en algunos rellenos sanitarios de sólidos urbanos han hecho estudios de recuperación y aprovechamiento, como en el de Doña Juana en Bogotá (Serrano Camacho, 2006) y el de Curva de Rodas en Medellín. En el sector agropecuario el tema del biogás se ha visto más desde el punto de vista ambiental y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) tiene alguna reglamentación en este sentido, en especial para las granjas porcícolas.

Colombia se ha unido a diferentes estrategias mundiales relacionadas con el fortalecimiento del medio ambiente, como "Tropical Forest Alliance 2020 (TFA)", una alianza público-privada que tiene como fin hacer frente a la deforestación, contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, mejorar la calidad de vida, y conservar la biodiversidad, entre otros factores. En los compromisos internos, el país, ha establecido en su Plan Nacional Desarrollo (PND), dos líneas de trabajo importantes como lo son la adaptación a los impactos de cambio climático y mitigación de gases de efecto invernadero, que se logran a través de 3 objetivos fundamentales los cuales son: Objetivo 1 *"Avanzar hacia un crecimiento sostenible y bajo en carbono"*; Objetivo 2 *"Proteger y asegurar el uso sostenible del capital natural y mejorar la calidad y la gobernanza ambiental"* y Objetivo 3 *"lograr un crecimiento resiliente y reducir la vulnerabilidad frente a los riesgos de desastres y al cambio climático"*; (Departamento Nacional de Planeación, 2014), el biogás es una tecnología ideal que ayuda al cumplimento de estos objetivos.

Hace un año Colombia inauguró una planta de regasificación en la ciudad de Cartagena, la primera planta de importación de gas natural licuado que se encuentra ubicada en la sociedad portuaria de El Cayao. Al convertirse Colombia en importador de Gas Natural, los planes de cumplimiento de los compromisos adquiridos, mencionados anteriormente, pueden fallar; por tanto se deben hacer ajustes como el cambio de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y Gas Natural) por el Biogás o Biometano que son clasificados como combustibles renovables, son más eficientes en términos de ahorro de CO_2 al ambiente (UPME, 2019).

Colombia es un país histórico en el desarrollo y difusión de biodigestores entre los pequeños y medianos productores agropecuarios. En 1986 se publicó el primer manual de instalación de biodigestores plásticos a partir de pequeñas experiencias previas en Etiopia y Australia por parte del doctor Thomas Preston (UPME, 2019). Este manual inició la difusión de esta tecnología apropiada por todo el conteniente. El Centro para la Investigación CIPAV en los 90 impulsó la democratización de los biodigestores tubulares plásticos, pero a principios del nuevo milenio fue la Fundación para la producción Agropecuaria Tropical sostenible (Fundación UTA) la que tomó la iniciativa en la implementación, capacitación de instaladores y desarrolló investigaciones sobre los biodigestores tubulares plásticos. Olade comenta que esta fundación convocó en 2012 el encuentro entre actores para la formación de la Red Colombiana de energía de la Biomasa de Colombia (REDBIOCOL), conformada hoy por 55 organizaciones de diferentes tipos, ONGs, organizaciones de base, universidades, movimientos sociales, asociaciones de campesinos e indígenas, colectivos urbanos. La ventaja del biodigestor tubular de plástico es su bajo coste y la fácil capacitación de técnicos locales que puedan instalarlos. Es por esto que esta tecnología se difundió con tanta rapidez por todo el país (y Latinoamérica). Es de destacar la experiencia de ASPROINCA que cuenta con más de 300 sistema instalados en un proceso propio y original, por el que sus asociados pueden acceder a biodigestores tubulares de plástico y al financiamiento necesario mediante un fondo rotatorio y disponen de instaladores propios. Otro ejemplo es EL COMUN, asociación de organizaciones campesinas y populares de Colombia, quienes en los últimos dos años han formado promotores a través de escuelas campesinas difundiendo la tecnología y logrando apoyo del ministerio de agricultura y organizaciones internacionales para la instalación de más de 100 biodigestores en el departamento de Santander (UPME, 2019).

Para la adaptación de la tecnología Nicaragua, Costa Rica, Honduras y México son países tropicales que sirven como referencia para Colombia debido a que sus zonas tropicales de alta temperatura tienen condiciones sociales y climáticas similares. La base de la información presentada es la descrita por Olade (UPME, 2019).

Argentina

El gobierno argentino a través de su programa RenovAr impulsó el desarrollo y la implementación de energías renovables. El programa se lleva a cabo desde 2016 y se espera que finalice en el año 2025. Por medio de una convocatoria, la cual se realizó a través de CAMMESA, quien entró en representación del gobierno argentino y los implicados en el mercado eléctrico mayorista, se espera que empresas del sector energético entren en el mercado y cubran la asignación de potencia total requerida (15 MW para Biogás). Aunque Argentina tiene una cobertura amplia del sistema energético en las principales ciudades y provincias, varias áreas rurales aún dependen de tecnologías como la quema de leña y kerosene. Por este motivo, Argentina fue uno de los primeros países interesados en américa latina en implementar políticas que fomentaran el desarrollo de tecnologías de producción de energías renovables. Esto se puede observar por medio de la aplicación de la ley 26190 de 2006 donde se establece que el 8% de la producción energética debe hacerse por medio de energías renovables en 2016. En adición, la ley 27191 de 2016 (la cual sustituye a la anterior), bajo condiciones reguladas apunta a un 20% en 2020. Cabe resaltar que dichas leyes e incentivos recibieron críticas al mostrar requerimientos bajos en comparación a políticas empleadas en otros países (Schaube et al., 2018).

A la par de la ejecución del programa RenovAr, la creación del fondo para el desarrollo de las energías renovables, el aval del banco mundial y los principales incentivos previstos en la ley 27191 de 2015 posicionan a Argentina como un país líder en la transición de energías convencionales a energías renovables. Entre dichos beneficios se encuentra: Recuperar de manera anticipada el IVA y La opción de amortizar de forma acelerada los bienes, en adición a que los bienes no se tendrán en cuenta a la hora de pagar el impuesto a la ganancia. Además, Los productores de biocombustibles no tendrán que aportar al fondo hídrico de infraestructura ni el impuesto al gas oil, dependiendo si los biocombustibles son puros o una mezcla. A lo largo del país argentino, el proyecto renovar ha adjudicado 37 proyectos de generación de Biogás (64,9 MW totales), los cuales tienen un precio promedio ponderado de 159,7 USD/MWh. Dichos proyectos tienen una capacidad que oscila entre 0,72 y 3,00 mW.

Chile

El gobierno chileno a través de su política energía 2050 ha fomentado el desarrollo de energías renovables, con cooperación alemana. La hoja de ruta se presentó en el año 2014 y se espera que para el año 2035 un 60% de la energía chilena se produzca mediante fuentes renovables, mientras que en el 2050 se produzca un 70%. Para este año se busca que las normas y los estándares ambientales de los proyectos energéticos sean coherentes con los lineamientos internacionales y con los intereses de la sociedad (Ministerio de Energía, 2018). También se desarrolló el programa 4e, el cual por medio del proyecto NAMA busca impulsar la aplicación de tecnologías para producción de energía mediante recursos renovables, en este caso de autoconsumo (Entre estos, biogás). Estas políticas de avance energético son principalmente importantes en el desarrollo de comunidades que quieran mejorar el aprovechamiento de recursos propios (Ministerio de Energía, 2018; NAMA, 2018). Algunos programas de iniciativa y fomento presentados por GEF otorgaron aproximadamente USD$ 1.7 millones al gobierno, para que este implementara tecnologías de producción de biogás en el sector lácteo.

A través de los programas anteriores se busca fortalecer el sector productivo de biogás en el país. Dentro de algunos de los proyectos más importantes se encuentran aquellos llevados a cabo en lugares como Valparaíso, Maule, Metropolitana, O'Higgins, Los Lagos y Bio Bio, los cuales son de mediana capacidad (1 MW en promedio). Actualmente solo el 4% de la energía generada proviene de biomasa. Dentro del territorio, se han contabilizado 104 plantas de biogás, dentro de las cuales el 60% están en funcionamiento (Ministerio de Energía, 2018).

Brasil

Brasil es el país que más ha avanzado en la producción de Biogás y sus aplicaciones a nivel Latinoamericano. La Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL) en 2014, informa que la producción de electricidad a partir de biomasa correspondió al 8.75% de la producción eléctrica brasileña que corresponde a una capacidad instalada de 12.303 MW e incluye generación térmica con biomasa y con biogás. Se instalaron 3 nuevas plantas de biogás en 2014 para un total de 25 plantas de biogás conectadas a la red eléctrica, en este año se presentó una reducción del 12% en la generación con biogás atribuida a la curva de decaimiento del biogás de los vertederos. La mayoría de las plantas de biogás están ubicadas en propiedades agrícolas para procesar residuos y en rellenos sanitarios (Velásquez Lozano et al., 2017).

En Brasil la mayor parte del biogás se utiliza para producir electricidad y calor (cogeneración), mientras que el uso de biogás como combustible para vehículos es poco frecuente. Sin embargo, un proyecto desarrollado en ITAIPU Binacional, la Fundación del Parque Tecnológico de Itaipú, Scania, Haacke Farm y el Centro Internacional de Energías Renovables-Biogás/CIBiogás-ER demostró la viabilidad de usar biometano como combustible vehicular, generado a partir de RSU, aguas residuales y podas del centro educativo e industrial de ITAIPU. Los sistemas de apoyo financiero que se muestran a continuación se usaron para estimular el biogás en Brasil:

- El programa se financia con fondos del BNDES, Folleto de ahorros rurales (MCR 6-4) y fondos Constitucionales, que se obtienen mediante impuestos a los recursos públicos. El grupo objetivo son los agricultores y sus cooperativas, incluida la transferencia a los asociados, con un límite de crédito de un millón de dólares estadounidenses por beneficiario por cultivo por año. Esta figura puede ser recibido independiente de otros créditos a los que el productor o la cooperativa tiene derecho y se basa en recursos controlados de crédito rural. La tasa de interés es 5.5% por año.

- PRONAF ECO: Crédito a proyectos con tecnología de energía renovable en plantas de tratamiento de residuos y tratamiento de efluentes. El grupo objetivo son los agricultores bajo PRONAF. El límite de crédito es R $ 50,000 por beneficiario. La tasa de interés es del 2% anual. Fecha límite: 10 años con hasta 5 años de gracia.

4. Biomasa moderna: pellets, briquetas y carbón de leña

La leña fue el único combustible sólido utilizado por la humanidad hasta antes de desarrollo industrial. En 1981 el 6.2% de la energía total mundial provenía de la leña y el carbón de vegetal, gran parte de la madera de origen forestal fue utilizada como fuente de energía, siendo, en la actualidad utilizada por el 85% de los países en desarrollo, en estos últimos cada persona consumió en promedio 0.45m^3 de madera ya forma de leña o carbón vegetal, esta cantidad de energía equivale a 4.2 gigajulios o 1.200 kilovatios/hora/año. Alrededor de 220 millones de latinoamericanos dependían de la leña y del carbón vegetal para sus necesidades domesticas de energía (de la Torre, 2000).

En Colombia, el Departamento Nacional de Planeación, a través de su director, Gaviria Muñoz, comentó que a la contaminación del aire interior se atribuyen 2.286 muertes y 1,2 millones de enfermedades con costos por mortalidad prematura y atención de enfermedades que superan los $3 billones de pesos, equivalentes al 0,38% del PIB del 2015. El mayor número de casos de mortalidad atribuida a la contaminación del aire interior, se presenta en la región Oriental del país con una proporción de casos ajustados por edad de 2,9 muertes por cada 10 mil habitantes. En segundo lugar, se presentan 2,3 casos de muerte por cada 10 mil habitantes en la región Central.

El principal contaminante del aire urbano en Colombia es el material particulado que es producido por la combustión de fósiles y al emitirse se mezcla en el aire por acción de la meteorología y la topografía. Es el contaminante del aire que más se ha asociado con efectos adversos en la salud, por ser la fracción respirable y puede dispersarse en el torrente sanguíneo. La contaminación del aire en los espacios

cerrados se presenta principalmente por el uso de combustibles sólidos como leña o carbón para cocinar (DNP, 2019).

De acuerdo con los datos del estudio sobre efectos en la salud y costos asociados con la contaminación de aire, realizado por el Banco Mundial en el 2012, se estima que el costo anual promedio de impactos en la salud por la contaminación del aire en locales cerrados asociada a la utilización de combustibles tradicionales (principalmente leña) en las zonas rurales de Colombia es de 1.129 millones de pesos (0.22 % del PIB en 2009). La mortalidad infantil representa el 6 % de los costos; la mortalidad femenina representa alrededor del 78% del costo. Enfermedad respiratoria aguda (IRA) en niños y mujeres adultas y EPOC morbilidad de las mujeres adultas representan el 16% del costo (Concha et al., 2015). Como solución a contribuir con la disminución de enfermedades respiratorias y la lucha por el cambio climático, la biomasa moderna que hace referencia a pellets, briquetas y carbón de leña tienen un papel importante. En este capítulo se expone las experiencias adquiridas con el uso de biomasa moderna.

5. Casos específicos por países

Colombia

En Colombia, de acuerdo a la ley 1715 de 2014, se incluyeron los sistemas de producción de energías renovables no convencionales, dentro de los cuales, se encuentran aquellos que funcionan por medio del aprovechamiento de biomasa (pellets, briquetas, entre otros). Esta política se consideró de interés social y un pilar para el desarrollo del país (Congreso de Colombia, 2014). Por otra parte, la presidencia de la república también ha iniciado programas como aquel denominado "Colombia E2", el cual busca que a través de empresas emprendedoras se puedan sustituir sistemas de energías convencionales por aquellos que emplean fuentes renovables. Este programa subsidia a las empresas con dos mil millones de pesos[40].

En el año 2015, el gobierno colombiano lanzó un programa que buscó realizar la sustitución (totalmente subsidiada) de sistemas de calefacción de leña mediante unos más eficientes (Concha et al., 2015). En el pliego de lineamientos se definió una estufa limpia y eficiente como aquella que cumpliera tres condiciones: Tener una eficiencia térmica mayor o igual a 25%, que produzcan menos de 0,49 g/min de CO y menos de 8 g/min de material particulado (para emisiones intradomiciliarias) y ≤ 9 g/MJ de CO y ≤ 168 mg/MJ de material particulado PM 2,5 (para emisiones globales). De acuerdo a esto, se implementaron los nuevos sistemas de calefacción, teniendo en cuenta que muchos trabajaban el mismo tipo de biomasa que las anteriores (leña), pero de una manera más eficiente. De hecho, dentro de los lineamientos del programa se expone que la contaminación se puede reducir hasta en un 94,2%, partiendo del hecho de que solo se ha mejorado el diseño, pero no se ha trabajado con materias primas más eficientes como pellets o chips de biomasa.

El anterior proyecto muestra como lecciones aprendidas el hecho de que es importante cambiar hábitos culturales en las poblaciones hacia las cuales va dirigido el proyecto y el hecho de que para lograr esto se necesita tiempo (un plazo prudente entre 5 y 10 años). También se resalta la necesidad de evaluar las mejoras en la eficiencia, la reducción en la contaminación y la mejoría en la calidad de vida de las personas, ya que son estándares básicos para el cumplimiento del proyecto.

[40] https://id.presidencia.gov.co/Paginas/prensa/2019/190311-Presidente-Duque-presento-programa-Colombia-E2-Emprendimiento-x-Energia-fortalecer-industria-energias-renovables.aspx (16 03 2020)

En Latinoamérica, los principales productores de pellets son Argentina, Chile y Brasil. A continuación, se presenta las experiencias en la utilización de biomasa de estos países.

Argentina

Por medio del programa RenovAr, el país argentino promovió la implementación de energías renovables. El periodo de ejecución del programa va desde 2016 hasta 2025. Gracias a una convocatoria realizada por CAMMESA, se espera que empresas del sector energético entren en el mercado y cubran la asignación de potencia total requerida, entre 1 y 65 MW para biomasa, pellets y/o briquetas (MEMyM, 2016).

Adicionalmente, a través de la puesta en marcha de la ley 26190 de 2006, se fijó un plan de trabajo para que el 8% de la producción energética debiera hacerse mediante energías renovables en 2016. Posteriormente, la ley 27191 de 2016 establece que se debe producir un 20% en 2020 (Schaube et al., 2018). Estas leyes fijan ciertos beneficios para el productor de energías renovables como recuperar de manera anticipada el IVA y la opción de amortizar de forma acelerada los bienes, además de que estos no entran dentro de los conceptos a tener en cuenta a la hora de pagar el impuesto a la ganancia.

El programa Renovar ha adjudicado 18 proyectos de producción energética por medio de biomasa (pellets y briquetas) con una capacidad instalada de 157,7 MW, los cuales tienen un precio promedio ponderado de 116,5 USD/MWh. Dichos proyectos tienen una capacidad que oscila entre 2,00 y 37,00 MW (MEyM, 2019). Dentro de estos proyectos, uno de los más importantes denominado Central Térmica San Alonso, ubicado en la provincia de corrientes, tiene una capacidad instalada de 37 MW. Dicha energía es producida a partir de chips provenientes de residuos de biomasa forestal.

En adición, durante los últimos años se ha notado un crecimiento en el interés de producir energía renovable proveniente de biomasa, por parte de entidades no gubernamentales. Por ejemplo, la empresa PetroChubut implementó la producción de pellets para su uso y comercialización en la provincia de Chubut, con el fin de incentivar el uso de este tipo de combustible por parte de la población. Además, se instalaron estufas de 8.000 calorías, las cuales consumían entre 10 y 12 kilogramos de pellets, en varias estaciones de las localidades de la provincia, con el fin de disminuir la demanda energética local[41] .

Otro caso es el que se presenta con el **"**Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa", presentado por la entidad argentina PROBIOMASA (2018), donde se pretende realizar una transición de energías convencionales al uso de biomasa. Se busca realizar una conversión de calderas, secadores y hornos industriales, para que puedan utilizar briquetas como combustible. Así mismo, estufas y calderas del sector residencial a pellets. También se pretende incentivar la comercialización de este tipo de biocombustibles.

Chile

[41] https://www.elchubut.com.ar/nota/2018-7-28-16-57-0-petrochubut-promueve-el-uso-de-pellets-como-combustible-para-calefaccion#.

Chile, por medio de la política "energía 2050" ha impulsado el crecimiento de tecnologías de producción de energía con origen renovable. El plan a seguir, el cual se presentó en el año 2014, visualiza que para el año 2035 un 60% de la energía chilena se produzca mediante fuentes renovables. Así mismo, se espera que en el 2050 se produzca un 70% (MEyM, 2018). También se fomentó la producción de energías renovables a través del programa 4e, el cual por medio del proyecto NAMA busca propiciar la aplicación de tecnologías para producción de energía mediante autoconsumo (biomasa, entre otras). Este tipo de políticas de avance energético son principalmente importantes en el crecimiento económico, social e industrial de comunidades que quieran mitigar el gasto público (Congreso de Colombia, 2014; Rincón y Silva, 2014).

Durante los últimos años, han surgido varios programas enfocados a aumentar el uso de biomasa como biocombustible en pro de reemplazar las tecnologías convencionales de producción de energía como las estufas de leña. En 2012, el gobierno chileno a través del ministerio de medio ambiente lanzó un programa denominado: "Programa de reemplazo de estufas en el sector residencial e industrial". Se demostró que la contaminación atmosférica en el país chileno era producida en gran parte por el uso de estufas de leña. El PM2.5 en una concentración de 20 $\mu g/m^3$ estaba presente en el ambiente, dentro del cual convivían aproximadamente diez millones de personas. Para el año 2012, hasta 4.000 estufas del sector residencial fueron reemplazadas. Mientras tanto, para 2017, este número se elevó hasta en tres veces gracias a la interacción con fabricantes locales. En el año 2013 la producción de pellets era de 29.000 toneladas al año, mientras que para 2020 se espera que la producción sea de 190.000 (BI, 2017). El programa de recambio de calefactores de leña planteado por el gobierno chileno a través del ministerio de medio ambiente logró hasta el año 2017 un número de 23.795 (Universidad de Chile, 2019).

Brasil

De acuerdo con lo publicado por García et al (2016), para 2014 Brasil producía 62.000 toneladas de pellets. Esto no lo posiciona como un fuerte competidor en este tipo de mercado energético si se compara con otros países como Estados Unidos o Canadá, que producen del orden de dos millones o más de toneladas por año. Sin embargo, bajo un estudio hecho por los mismos autores se llegó a la conclusión de que Brasil está en capacidad de producir hasta 200.000 toneladas al año, con base en la agroindustria del pino, y los residuos como el bagazo de caña. Lo anterior implica que el país brasileño posee un alto potencial de expansión en la producción de pellets.

Además, en la hoja de ruta implementada por el gobierno brasileño el plan decenal de energía (PDE) a 2026, se muestra que para 2017 hubo una capacidad de producción energética de hasta 9,4 GW solo a partir de biomasa generada en procesos de producción de etanol. Dentro de este mercado se encuentra la oportunidad de entrar con otro tipo de residuos vegetales (MMyE, 2018). De las políticas de crecimiento en energías renovables se han otorgado facilidades para aquellas empresas que quieran incursionar en dicho mercado. Aunque a nivel regional o domiciliario se ha implementado más el mejoramiento de la eficiencia de estufas de leña, que el reemplazo por sistemas con alimentación biomásica[42], el crecimiento a nivel industrial de la utilización de biomasa es notable. Por ejemplo,

[42] https://ecofogao.com/

FEPAM, quien constituye una entidad regulatoria y de protección del medio ambiente en el estado de Rio Grande del sur, otorgó una licencia de funcionamiento para una planta de 50 MW que funciona a partir de pellets de madera producidos por la compañía Pellco Brasil, quien además de producir electricidad, estará en la capacidad de exportar pellets de madera para su aprovechamiento a países como Japón (FEPAM, 2019).

6. Futuro de la biomasa considerando las experiencias anteriores

Teniendo en cuenta las experiencias en la instalación de biodigestores, principalmente de Georgia (Karanja y Kiruiro, 2003), se presentan puntos importantes para el futuro de la biomasa biodegradable.

- El uso de biodigestores mejora las condiciones de vida de los hogares. Las personas en las zonas rurales, particularmente las mujeres, dedican una gran cantidad de tiempo a la recolección y el almacenamiento de leña. El uso de biogás libera mucho tiempo y reduce la necesidad de trabajo físico duro (tala y almacenamiento de leña).
- Los biodigestores proporcionan la producción de biogás esperada en condiciones reales.
- Los costos de los biorreactores de todo tipo, especialmente de los termofílicos, siguen siendo altos.
- La cantidad de biogás gastada para mantener la temperatura del sustrato dentro de los límites de 50-55 °C (biorreactores termofílicos), en la mayoría de los casos no supera el 25% del biogás producido, Georgia es un claro ejemplo.
- Las ayudas visuales (folletos, transmisiones de televisión) juegan un papel importante en la promoción de las tecnologías de biogás.
- El interés en las tecnologías de biogás desarrolladas y adaptadas se está extendiendo.
- El conocimiento sobre biogás y el acceso a esta información por parte de los agricultores es muy limitado. Por lo general, muestran poco interés en las etapas iniciales del desarrollo del biogás.
- Mientras más agricultores participen en el proyecto, más tiempo mantendrán los biodigestores en condiciones de trabajo.
- El interés de los agricultores en el biogás está creciendo, como resultado de la implementación piloto y las campañas de información.
- A pesar de un mayor interés, la mayoría de los agricultores no tienen la capacidad financiera para instalar plantas de producción de biogás. Los subsidios son fundamentales.
- La falta de una estrategia para financiar proyectos de biogás y la ausencia de líneas de crédito para los agricultores impiden el despegue de la producción de biogás.
- Las tecnologías del biodigestor deben ajustarse a las condiciones climáticas locales, en todo caso es posible implementar plantas de producción de biogás en climas calientes y fríos.
- Es importante contar con una cantidad mínima de estiércol de al menos de 20-30 kg/día, equivale aproximadamente a 3 bovinos.
- Es importante contar con un establo que asegure la recolección de estiércol.
- Se necesita asegurar que exista materiales de construcción local para la instalación de biodigestores.
- Bajos ingresos de los agricultores dificultan la auto construcción de biodigestores.

- Altos costos de construcción exigen el apoyo con subsidios sobre todo en las primeras fases de un programa nacional de biodigestores para la sustitución de leña a nivel rural.
- Un factor que facilita la instalación de biodigestores es una temperatura media anual por encima de 20C.
- La necesidad de fertilizantes libres de químicos promueve el uso del subproducto del proceso de digestión anaerobia el cual puede usarse como biofertilizante.
- Dentro del interés de los agricultores por la eficiencia energética y la protección del medio ambiente, la digestión anaerobia es un proceso que contribuye a los dos sectores, energético y ambiental.

Asimismo, con base en las experiencias en el uso de pellets, briquetas y carbón de leña (biomasa moderna), a continuación, se resaltan puntos importantes para el futuro de la biomasa moderna.

- Los pellets y las briquetas son combustibles de biomasa moderna que por sus características de baja humedad y alto poder calorífico tienen una buena combustión y bajas emisiones de gases de efecto invernadero.
- Los pellets por su tamaño se pueden controlar fácilmente en la alimentación al hogar de combustión y en esta forma evitar quema innecesaria del combustible y por lo tanto hay un uso eficiente que no ocurre con la leña.
- La producción de pellets facilita la utilización de residuos agrícolas y pastos cercanos al hogar campesino.
- La mayoría de los países están implementando plantas de pelletización para la producción de combustible doméstico y la generación de energía eléctrica en sustitución de combustibles fósiles.
- La mayor parte de los países en desarrollo subsidian la implementación de plantas de producción de pellets para uso doméstico y sustitución de leña.
- El carbón de leña tiene ventajas ambientales y se puede usar en apartamentos sin necesidad de tener campanas de extracción en la chimenea, pero la eficiencia energética en su producción es baja, por lo cual, solo se utiliza en usos para aumentar la comodidad del usuario como por ejemplo en asados tradicionales y en calefacción.

7. Referencias

Al Seadi, D. Rutz, H. Prassl, M. Köttner, T. Finsterwalder, S. Volk, R. Janssen, T. (2008). Biogas Handbook. Denmark, Published by University of Southern Denmark.

Bioenergy International, "Chile aumenta el uso de pellet," 2017. Recuperado de https://bioenergyinternational.es/chile-aumenta-el-uso-de-pellet/.

Chynoweth, D.P., Owens,J.M., Legrand, R. (2001). Renewable methane from anaerobic digestion of biomass. *Renewable Energy*. Doi: 10.1016/S0960-1481(00)00019-7

Chubut, R. (2018). PetroChubut promueve el uso de pellets como combustible para calefacción Argentina. EL CHUBUT. Recuperado de https://www.elchubut.com.ar/nota/2018-7-28-16-57-0-petrochubut-promueve-el-uso-de-pellets-como-combustible-para-calefaccion

Concha, D.C., Pabón, G., Cerón, V. (2015). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Lineamientos Para Un Programa Nacional De Estufas Eficientes Para Cocción Con Leña. Bogotá.

Congreso Argentino, "Ley 27191 de 2016," no. 67, p. 1235213, 2015.

Congreso de Colombia, "LEY 1715 DE 2014," law, vol. 151, no. 4. pp. 1–46, 2014.

De la Torre, L.S. (2000) "Estado actual de la información sobre madera para energía." Recuperado de http://www.fao.org/3/AD392S/AD392s07.htm

Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2017) "Los costos en la salud asociados a la degradación ambiental en Colombia ascienden a $20,7 billones," Recuperado el 01 de setiembre de 2019 de: https://www.dnp.gov.co/Paginas/Los-costos-en-la-salud-asociados-a-la-degradación-ambiental-en-Colombia-ascienden-a-$20,7-billones-.aspx.

Ecofogão. (n.d.). Fogão a lenha ecológico Ecofogão. Recuperado de https://ecofogao.com/

European Biogas Association. (2019), Recuperado el 8 de mayo de 2019 de http://european-biogas.eu/wp-content/uploads/2019/03/EBA-Annual-Report-2018.pdf

FEPAM, "FEPAM," 2019. Recuperado de: http://www.fepam.rs.gov.br/.

Garcia, D.P., Caraschi, J.C., Ventorim, G., Vieira, F.H.A (2016). "Trends and challenges of Brazilian pellets industry originated from agroforestry," *Cerne*, **22**(3), 233–240.

Gendek A., Aniszewska M., Malaťák J., and Velebil J. (2018). Evaluation of selected physical and mechanical properties of briquettes produced from cones of three coniferous tree species. *Biomass and Bioenergy*, **117** (1), 173–179.

ISAT/GTZ. (1999b). Biogas Digest Volume II. Biogas - Application and Product Development, Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT), Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ).

Karanja, G.M. and Kiruiro, E. M. (2003). Biogas production 107. *Statistics (Ber)*, pp. 107–208.

Kirsten, C., Lenz, V., Schröder, H. W., and Repke, J. U. (2016). "Hay pellets - The influence of particle size reduction on their physical-mechanical quality and energy demand during production. *Fuel Process. Technol.*, **148**, 163–174.

Konrád, K., Viharos, Z. J., and Németh, G. (2018). Evaluation, ranking and positioning of measurement methods for pellet production. *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, **124**, 568–574.

De la Torre, L.S. (n.d.). Estado actual de la información sobre madera para energía. Recuperado el 30 de Agosto de 2019 de http://www.fao.org/3/ad392s/AD392s07.htm#TopOfPage

Lusk, P. (1998). Methane Recovery from Animal Manures The Current Opportunities Casebook. Midwest Research Institute for the U.S. Department of Energy, September, 150.

Martínez, J. M. R., y Silva, E. (2014). Bioenergía. Recuperado de: chrome-extension://oemmndcbldboiebfnladdacbdfmadadm/http://www.ianas.com/docs/books/ebp01.pdf

Mediavilla I., Esteban L. S., and Fernández M. J. (2012). Optimisation of pelletisation conditions for poplar energy crop. *Fuel Process. Technol.*, **104**, 7–15.

MEMyM (2016). Abastecimiento de energía eléctrica a partir de fuentes renovables a través de Cammesa en representación de los agentes distribuidores y grandes usuarios del mercado eléctrico mayorista.

Ministerio de Energía y Minería (2019), Proyectos adjudicados. Recuperado de https://www.minem.gob.ar/www/833/25897/proyectos-adjudicados-del-programa-renovar

Ministerio de Energía de Chile (2018). Descripción del proceso Energía 2050. Recuperado de: https://www.opia.cl/static/website/601/articles-76887_archivo_01.pdf

Ministério de minas e energía Brasil, "PDE BRASIL 2026." 2018.

Murcia HR et al. (2010). Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia (pdfnce).

NAMA-Energías Renovables para Autoconsumo. (2018). Recuperado de: http://4echile.cl/4echile/wp-content/uploads/2018/05/NAMA-Chile-Factsheet-esp-2018.pdf.

Noumi E.S., Rousset P., De Cassia Oliveira Carneiro A., and Blin J. (2016). Upgrading of carbon-based reductants from biomass pyrolysis under pressure. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, **118**, 278–285.

Nunes L., Matias J. C. O., and Catalão J. P. S. (2014). Mixed biomass pellets for thermal energy production: A review of combustion models. *Appl. Energy*, **127**, 135–140.

OLADE (1981). Tecnologías disponibles para implementar programas rurales de biogás en América Latina, No. 11. Recuperado de http://biblioteca.olade.org/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=3680&shelfbrowse_itemnumber=3702.

OMS. Organización Mundial de la Salud. (2011).

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2011). Manual de biogás. Recuperado de: http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (1983). Métodos simples para fabricar carbón vegetal. Recuperado de: http://www.fao.org/3/X5328s/X5328s00.htm Departamento de Montes.

Oxford (2017). Biogas Contribution decarbonising gas markets. No. June 2017.

Pradhan P., Arora A., and Mahajani S. M. (2018b).Pilot scale evaluation of fuel pellets production from garden waste biomass. *Energy Sustain. Dev.*, **43**, 1–14.

Pradhan P, Mahajani S. M., and Arora A. (2018). Production and utilization of fuel pellets from biomass: A review. *Fuel Process. Technol.*, **181**, 215–232,

Presidencia de la República de Colombia. (2019). Programa 'Colombia E2_ Emprendimiento x Energía', para fortalecer industria de energías renovables.

PROBIOMASA. (2018). Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa. Recuperado de http://www.probiomasa.gob.ar

Programa 4e Chile. (2018). NAMA-Energías Renovables para Autoconsumo. http://4echile.cl/4echile/wp-content/uploads/2018/05/NAMA-Chile-Factsheet-esp-2018.pdf

Rincón, J. M., Durán, D. M., y Agressot, J. A. (2019). Sugarcane bioenergy for sustainable development : expanding production in Latin America and Africa (Cortez Luis, Regis Manoel, Horta Luiz, y Leal L.V. (Eds.)). Routledge. Recuperado de https://www.routledge.com/Sugarcane-Bioenergy-for-Sustainable-Development-Expanding-Production-in/Cortez-Leal-Nogueira/p/book/9781138312944

Rincón, J. M., Guevara, P., Castañeda, M., Duarte, S., Quintero, Q., López, G., Mora, J., Ramírez, C., y Baracaldo, D. (n.d.). Formulación de instrumentos técnicos que estimulen el aprovechamiento de la biomasa en la generación de energía a partir de fuentes no convencionales de energía – Fnce. UPME, Unidad de Planeación Minero Energética.

Rincón Martínez, J. M., Durán Hernández, D. M., Quintero Montoya, O., Duarte González, C. S., Guevara Patiño, P. O., y Velásquez Lozano, M. E. (2018). Disponibilidad de biomasa residual y su potencial para la producción de biogás en *Colombia. 16–25*. Recuperado de: http://revista.cidet.org.co/

Rodrigues, T., and Braghini Junior, A. (2019a). Technological prospecting in the production of charcoal: A patent study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Doi: 10.1016/j.rser.2019.04.080

Rodrigues, T. y Braghini Junior, A. (2019b). Charcoal: a discussion on carbonization kilns. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. Doi: 10.1016/j.jaap.2019.104670

Ruane, J., Sonnino, A., y Agostini, A. (2010). Bioenergy and the potential contribution of agricultural biotechnologies in developing countries. *Biomass and bioenergy*. Doi:10.1016/j.biombioe.2010.04.011

Schaube, P., Ortiz, W., y Recalde, M. (2018). Status and future dynamics of decentralised renewable energy niche building processes in Argentina. *Energy Research and Social Science*. Doi: 10.1016/j.erss.2017.10.037

Serrano Camacho, C. (2006). Alternativas de Utilización de Biogás en Rellenos Sanitarios en Colombia. Rds.Org.Co, 93. Recuperado de: http://www.rds.org.co/apc-aa-files/c1a230c6696a0e3d3ded4cbdbe1edfd7/Alternativas_Utiliza_Biogas_Rellenos.pdf

SGC (Swedish Gas Technology Centre Ltd) (2012). Basic data on biogas. Recuperado de: http://www.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/BasicDataonBiogas2012.pdf

Taulbee, D., Patil, D. P., Honaker, R. Q., y Parekh, B. K. (2009). Briquetting of coal fines and sawdust part I: Binder and briquetting-parameters evaluations. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*. Doi: 10.1080/19392690802628705

Universidad de Chile. (2019). Evaluación Programa de Recambio de Calefactores a Leña del Ministerio del Medio Ambiente. Informe final.

UPME. Plan de sustitución progresiva de leña. (2019). Recuperado de https://www1.upme.gov.co/Hidrocarburos/Plan_sustitucion_progresiva_Lena.pdf

Velásquez Lozano M.E. et al. (2017). Estimación del potencial de conversión a biogás de la biomasa en Colombia y su aprovechamiento informe final equipo interdisciplinario conformado por los grupos de investigación Colciencias. Bogotá. Recuperado de: https://bdigital.upme.gov.co/jspui/bitstream/001/1317/1/Informe final.pdf

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar II- Tecnologías, 2020: 163-165
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editores: M.L. Contreras Rodríguez y J.M. Sánchez Hervás

II. 4. Tecnologías de biomasa en Cuba

Alfredo Curbelo Alonso[1*], Ariel Rodríguez Rosales[1], Yoel Suarez Sánchez[1]

1Grupo Bioenergía. CUBAENERGÍA. Cuba.

RESUMEN. Cuba posee un importante potencial de biomasa para ser aprovechado con fines energéticos, este está relacionado ante todo con la industria azucarera, la actividad forestal y los residuos agroindustriales. Sin embargo, su aprovechamiento se concentra en la industria de producción de azúcar de caña en la que se utiliza el ciclo de vapor tradicional con fines de cogeneración. En actividades como la producción de vapor para proceso y os hornos industriales y de secado, su uso es prácticamente inexistente.

*Correspondencia: Dr. Alfredo Curbelo Alonso, Calle 20 entre 41 y 47 Nro. 4112. Playa, Habana. Cuba. Email: acurbelo@cubaenergia.cu

1. Potenciales para el desarrollo de los biocombustibles sólidos en Cuba.

El principal potencial en Cuba para la producción de biomasa se encuentra vinculado con la industria azucarera. El procesamiento de la caña de azúcar para la producción de azúcar está acompañado de la obtención de diferentes tipos de biomasa.

Durante la cosecha de la caña, parte de las hojas y la parte superior de la planta, llamada cogollo, son separadas de la misma y quedan en el campo de caña. Al llegar la caña a la fábrica de azúcar en muchos casos pasa por unos centros de limpieza donde se separan las hojas restantes. Finalmente, como resultado del proceso de extracción del jugo de la caña queda el bagazo, que es el contenido fibroso de la caña de azúcar.

De esta biomasa hoy se utiliza fundamentalmente el bagazo como combustible en las fábricas de azúcar por medio de ciclos de cogeneración de baja eficiencia. De acuerdo a los niveles actuales de producción de azúcar, se puede estimar que este potencial asciende a 560 000 TEP. La política para el desarrollo de las fuentes renovables de energia y la eficiencia energética indica un cambio sustancial en el aprovechamiento de la biomasa cañera como fuente de energia. Se prevé que en el 2030 el 14% de la ele3ctrcidad en el país sea producido utilizando esta biomasa. Con este fin se instalarán plantas eléctricas con presiones de vapor entre 60 y 80 atm y capacidades de generación entre los 25 y 60 MWe anexas a las principales fábricas de azúcar del país.

La segunda biomasa disponible en Cuba para energia es la biomasa forestal, con tres componentes principales, los residuos de la tala y el manejo de las plantaciones, los residuos de la industria de la madera y la leña. Se estima que los residuos forestales equivalen a 36 000 TEP y la leña producida a 175 000 TEP anuales. El aprovechamiento energetico de los residuos es muy bajo y el de la leña se realiza en instalaciones de baja eficiencia energética.

La tercera fuente es la cascara de arroz como residuo de la industria de procesamiento de este grano. Su equivalencia energética es del orden de las 5500 TEP anuales. Su aprovechamiento energético es incipiente.

2. Tecnologías Energéticas para el aprovechamiento de la biomasa en Cuba.

Calderas de biomasa.

Las calderas de biomasa en Cuba están concentradas en la industria azucarera. En esta industria son parte de un esquema de cogeneración eléctrica para el suministro de vapor al proceso de fabricación de azúcar y la generación y entrega de electricidad al sistema eléctrico nacional.

Se estima que están en funcionamiento alrededor de 150 calderas para la quema de bagazo de caña como combustible. Estas calderas tienen capacidades de producción de vapor entre 15 y 60 t/h, a presiones entre 18 y 28 atm y temperaturas de vapor sobrecalentado entre 320 °C y 400 °C.

Se introducen actualmente calderas para la quema de residuos agroforestales para ser utilizadas en los procesos de secado del tabaco.

Gasificadores de biomasa.

En el país se encuentran instalados los siguientes equipos downdraft de gasificación de biomasa:

Instalación: Planta Eléctrica de Gasificación de Biomasa en Cocodrilo.
Lugar: Comunidad Cocodrilo. Isla de la Juventud
Propósito: Generación de electricidad con biomasa forestal en comunidad aislada
Suministrador: Instituto de Investigaciones científicas de la India (IISc). Bangalore. India
Potencia eléctrica: 60 kW. Motor diésel
Año de puesta en marcha: 2010

Instalación: Planta Eléctrica de gasificación de biomasa en el aserradero "El Brujo".
Lugar: Aserradero de madera "El Brujo". Santiago de Cuba
Propósito: Entrega a la red de electricidad con residuos de aserradero
Suministrador: ANKUR Scientific Energy Technologies, Ltd. Vadodara. India
Potencia eléctrica: 40 kW Motor a gas.
Año de puesta en marcha: 2012

Instalación: Planta Eléctrica de gasificación de biomasa en "Estación Experimental Indio Hatuey
Lugar: Estación Experimental Indio Hatuey. Matanzas
Propósito: demostrativa
Suministrador: ANKUR Scientific Energy Technologies, Ltd. Vadodara. India
Potencia eléctrica: 22 kW. Motor a gas

Año de puesta en marcha: 2012

Instalación: Planta Eléctrica de gasificación de biomasa "La Melvis".
Lugar: Isla de la Juventud
Propósito: Entrega a la red de electricidad con biomasa forestal
Suministrador: ANKUR Scientific Energy Technologies, Ltd. Vadodara. India
Potencia eléctrica: 500 kW
Año de puesta en marcha: 2014

Instalación: Planta gasificación de cascara de arroz "Los Palacios"
Lugar: Municipio Los Palacios. Pinar del Rio.
Propósito: Producir el gas para el secado del arroz y entregar electricidad a la red eléctrica
Suministrador: ANKUR Scientific Energy Technologies, Ltd. Vadodara. India
Potencia eléctrica: 200 kW
Año de puesta en marcha: 2019

Otros dispositivos.

Hornos de productos cerámicos.
Los hornos para la fabricación de productos de barro destinados a la construcción que utilizan biomasa forestar como combustible son artesanales y no están cuantificados. La industria utiliza combustibles derivados del petróleo como combustible.

Hornos de secado.
No se reporta la existencia de hornos de secado de productos alimenticios o de otro tipo que utilicen biomasa forestal como combustible.

3. Conclusiones

El potencial energético de la biomasa en Cuba es importante, teniendo en cuenta la escala de su economía, sin embargo, su aprovechamiento es aún bajo e ineficiente energéticamente.

Desde el punto de vista tecnológico, si bien es cierto que se producen avances en la introducción de la tecnología de gasificación de biomasa, la introducción de calderas de biomasa fuera de la industria azucarera aún no se produce. Esto está relacionado con la ausencia de un mercado de biocombustibles sólidos que le asegure el suministro seguro y confiable de combustible.

4. Referencias Bibliográficas

Almazán O., et al. (2012). Apuntas para una estrategia de desarrollo de la energética azucarera. *Revista Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, **2**(2).

Curbelo A (2010). Informe Final Proyecto Investigación Desarrollo No. 006-13473 "Evaluación del potencial tecnológico de la biomasa no cañera al balance energético nacional". Cuba.

Curbelo A (2018). Atlas de bioenergía. Cuba. Sector agropecuario y forestal.

Rodríguez A (2017). Tecnologías de Combustión de Biomasa. Oportunidades en Cuba. XV Seminario Nacional de Energía en Apoyo a la Toma de decisiones.

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar II- Tecnologías, 2020: 166-175
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editores: M.L. Contreras Rodríguez y J.M. Sánchez Hervás

II. 5. Tecnologías de biomasa en España

Mª Luisa Contreras Rodríguez[1*], Alberto Bahillo Ruíz[1], José María Sánchez Hervás[1]

[1]*Departamento de Energía, Unidad de Valorización Termoquímica Sostenible, CIEMAT, Madrid, 28040, España.*

RESUMEN. Las vías termoquímicas, ofrecen una inigualable versatilidad hacia la obtención de una enorme serie de productos valiosos y combustibles a partir de biomasa. España cuenta con un enorme potencial para el desarrollo de recursos biomásicos. La energía térmica es la base fundamental de desarrollo del sector de la biomasa, debido al aumento de sistemas de generación de calefacción y agua caliente sanitaria en el ámbito doméstico, debido a la estabilidad y competitividad de los precios, observándose un significativo incremento en el número de instalaciones y de potencia instalados en la última década. Uno de los puntos claves del desarrollo de la biomasa térmica es la impulsión de las instalaciones de redes de distrito empleando biomasa sólida como combustible, lo cual implica además la generación de numerosos puestos de trabajo estables asociados a mano de obra en las instalaciones y el mantenimiento de las mismas, y en zonas rurales para la extracción, suministro y procesado de la biomasa.

*Correspondencia: Dra. Mª Luisa Contreras. Dirección postal: CIEMAT Avda. Complutense, 40.28040, Madrid. E-mail: mluisa.contreras@ciemat.es

1. Potenciales para el desarrollo de los biocombustibles sólidos en España.

Se considera biocombustible sólido aquel combustible sólido, no fósil, compuesto por materia orgánica de origen vegetal, animal, o producido a partir de la misma mediante procesos físicos, susceptible de ser utilizado en aplicaciones energéticas. Su origen se encuentra en diferentes sectores productivos: desde los cultivos agrícolas o los aprovechamientos forestales, hasta los residuos producidos en industrias agroalimentarias o forestales (De Lucas et al., 2012).

Aunque por lo general este combustible sólido se utiliza directamente, también existen otras formas de uso con fin energético que requieren de algún tipo de acondicionamiento especial. Las más generalizadas son las astillas, el serrín, el carbón vegetal, los pellets y las briquetas.

España es el tercer país europeo por recursos absolutos de biomasa forestal (sólo por detrás de Suecia y Finlandia) y el séptimo en términos per cápita. Cuenta con una superficie forestal de 27.664.674 hectáreas (57 % del total), y es el país de Europa con mayor incremento de bosques, con un ritmo de crecimiento anual del 2,2%, muy superior a la media de la UE (0,51 %). Por otro lado, España es el principal productor de aceite de oliva del mundo con 1.282.028 toneladas en la campaña 2017-2018, (82 % de la producción en Andalucía) muy por delante de Italia y Grecia que producen

cantidades cercanas a las 300.000 t (Unión por la Biomasa, 2018). Los potenciales de biomasa según sus orígenes se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Potencial disponible de biomasa en España

PROCEDENCIA DE LA BIOMASA		BIOMASA (tep/año)
Masa forestal existente	Restos de aprovechamientos madereros	636.273
	Aprovechamiento del árbol completo	3.414.158
Restos agrícolas	Herbáceos o leñosos	6.751.738
Masa Herbácea		3.216.819
Masa leñosa agrícola		1.214.767
Masa leñosa forestal		1.782.467

En España, los principales combustibles obtenidos a partir de la biomasa son leñas, astillas, pellets, huesos de aceituna y cáscaras de frutos. Entre estos cinco, el producto menos elaborado es la leña de madera cortada y troceada, lista para utilizarse en los aparatos domésticos de combustión como estufas o chimeneas y tradicionalmente se han empleado en viviendas unifamiliares. Por lo general, sus dimensiones se encuentran entre los 15 y los 100 cms. Las astillas son el producto resultante de la trituración de la biomasa de origen leñoso, tanto agrícola como forestal, y tienen un tamaño variable en función del grado de trituración al que se hayan visto sometidas. Los pellets son el producto más elaborado, y son pequeños cilindros de 6 a 12 mm de diámetro y de 10 a 30 mm de longitud hechos con serrín, astillas u otros residuos comprimidos que pueden utilizarse como combustibles. Los huesos de aceituna y las cáscaras de frutos, si bien usados en menores cantidades que las leñas, astillas y pellets, también suponen un combustible cada vez más empleado.

A medida que ha ido creciendo la explotación del inmenso potencial disponible, en los últimos años, y se ha ido consolidando un mercado para la biomasa, aumentando los agentes implicados y los volúmenes comercializados, se han incrementado los esfuerzos por estandarizar y certificar la calidad de este tipo de combustibles, principalmente las astillas y los pellets (normas ISO 17225), habiendo incluso estudios recientes (BIOMASUD) y normas específicas que también se dirigen a residuos como los huesos de aceituna y las cáscaras de frutos (normas UNE-164003 y UNE-164004, respectivamente). (IDAE, 2019)

El mapa de los biocombustibles sólidos de España en 2019 (AVEBIOM, 2019), recoge 82 fábricas de pellets. La capacidad de fabricación ha aumentado y situándose en, al menos, 2.152.800 toneladas anuales, como consecuencia, en parte a las ampliaciones de capacidad de 16 plantas. Las mayores capacidades se sitúan en las comunidades más grandes y con más plantas: Castilla y León, donde se podrían producir alrededor de 460.000 toneladas al año, y Andalucía, con más de 310.000 toneladas. Tanto AVEBIOM (Asociación Española de Valorización Energética de la Biomasa) como Apropellets (Asociación Española de Empresas Productoras de Pellets) estiman que "la producción nacional de pellets, se situará previsiblemente en torno al millón de toneladas en 2021. De confirmarse dicho pronóstico, la producción subiría casi un veinticinco por ciento con respecto a 2018.

Sin embargo, se ha demostrado que existen ciertas variables que pueden alterar esos pronósticos, como las condiciones climáticas (inviernos poco fríos), precios anormalmente bajos de los combustibles fósiles y paradas por averías de las líneas de peletizado de algunas plantas hacen descender a veces las producciones. De

hecho, en España están muy por debajo de la capacidad real de las plantas, que supera los 1,6 millones de toneladas.

En relación a las plantas de producción de astilla, AVEBIOM ha inventariado 57 plantas, 3 menos que al año pasado, la mayoría con producciones inferiores a 30.000 toneladas al año (la mitad de ellas tienen capacidad para producir hasta 10.000 toneladas). Tan solo 3 instalaciones producen más de 30.000 toneladas, y cuatro, en Asturias, Barcelona, Gerona y Valencia, son capaces de superar las 60.000 t/año.

En el último inventario de productores de hueso de aceituna, se reduce en 3 y su número total se queda en 23. Las producciones por fábrica son generalmente inferiores a las 10.000 t/año, aunque esto varía con la campaña anual de la aceituna.

2. Procesos de conversión de la biomasa y aplicaciones energéticas.

Puesto que el término biomasa abarca una gran variedad de materiales y procesos, podemos encontrar diferentes tecnologías de conversión de biomasa que abarcan desde los procesos más simples y tradicionales hasta métodos complejos y de alta eficiencia. La Figura 1 resume los métodos de tratamiento a partir de biomasas primarias o residuales, que abarcan la recogida y pre-tratamiento de las materias primas, así como los procesos de conversión por vía seca y por vía húmeda.

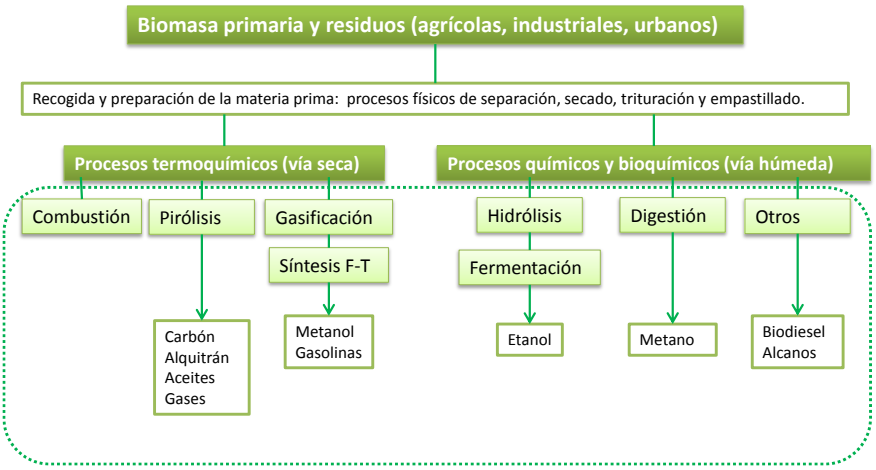


Figura 1. Procesos de transformación de la biomasa (CIEMAT, 2019)

En relación al avance desarrollo tecnológico en España, podemos dividir las tecnologías existentes en los siguientes grupos (Fernández González et al., 2015):

- ✓ Tecnologías maduras:

Combustión de leña, briquetas y pellets para uso doméstico e industrial.
Biogás de vertederos urbanos y digestión de lodos de depuración.
Fermentación alcohólica y destilación con productos agrícolas.
Esterificación de aceites vegetales para vehículos diésel.

- ✓ Tecnologías en desarrollo:

Combustión de madera en centrales eléctricas y redes de calefacción.
Gasificación de madera y paja para generación de electricidad.
Cogeneración con biomasa tradicional o gases.
Metanización de residuos para biogás.

- ✓ Tecnologías emergentes:

Hidrólisis de lignocelulosas (sacarificación, fermentación y destilación).
Pirólisis, gasificación y conversión a hidrocarburos e hidrógeno.

En lo que a los recursos se refiere, la Tabla 2 muestra el estatus comercial y empleo de los mismos.

Tabla 2. Estatus comercial y uso de recursos biomásicos: en aplicación (a) y desarrollo (d)

	Calor	Electricidad	Biocarburantes	Biogás
Forestales	A	A	d	
Cultivos energéticos	A	A	a	d
Residuos industriales	A	A		a
Residuos agrícolas	A	A	d	a
Residuos urbanos	A	A	d	a

Puede decirse que la madera resulta en general competitiva en aplicaciones como calderas, aunque no ofrecen las mismas economías de escala que los combustibles fósiles por la dispersión de los recursos y costes de transporte. El objetivo para los biocarburantes es hacerlos cada vez más competitivos vía productividad de los procesos y comercialización de los sub-productos, junto a la consideración de las externalidades medioambientales. La digestión de los residuos a biogás puede competir con el gas natural si se compensa con subsidios adecuados para reducir la contaminación y las emisiones de CO2. La Tabla 3 muestra la eficiencia de diferentes procesos de conversión.

Tabla 3. Eficiencia de procesos (contenido energético respecto a la biomasa de partida)

Proceso	Calor	Combustible intermedio	Trabajo mecánico/ eléctrico
Combustión	65-95%		20-30%
Pirólisis		30-90%	20-25%
Gasificación		65-75%	20-22%
Fermentación alcohólica		20-25%	5-7%
Digestión anaerobia		20-35%	5-12%

En este documento nos vamos a centrar en la generación de energía térmica, donde el sistema más extendido para este tipo de aprovechamiento está basado en la combustión de biomasa sólida, aunque también es posible quemar el biogás procedente de la digestión anaerobia de un residuo líquido o el gas de síntesis generado en la gasificación de uno sólido.

Los procesos termoquímicos son procesos de conversión a elevadas temperaturas que se aplican fundamentalmente a la biomasa lignocelulósica seca primaria o residual. El objetivo básico de este proceso es la generación térmica. Dentro del sector de la biomasa, las aplicaciones térmicas para producción de calefacción y agua caliente sanitaria son las más comunes. Estos usos térmicos pueden ser: a pequeña escala, en calderas o estufas individuales utilizadas tradicionalmente en los hogares; a mediana escala, en calderas para edificios públicos u otros usos; o a gran escala, en redes de climatización.

En relación a generación térmica, los combustibles fósiles han sido ampliamente utilizados en detrimento de otras fuentes de generación sostenible, como la biomasa. En concreto en España, a pesar de su abundancia de recursos, consume menos que la media UE-28. En cuanto a la generación térmica para uso industrial y residencial (también edificios públicos, centros deportivos, complejos comerciales e incluso

industrias) la biomasa también tiene una presencia muy modesta frente a los combustibles fósiles.

De acuerdo con el informe EurObser'ER (2018), España ocupa la posición 22 de la UE-28 en consumo de energía procedente de biomasa sólida per cápita (0,114 tep/hab). Mientras en el norte de Europa la producción térmica de calderas o estufas individuales utilizadas en los hogares, edificios de viviendas o en distritos (district heating) está muy extendida – por ser equiparables en su funcionamiento a las calderas habituales de gasóleo C o gas natural- en España su presencia es mucho más limitada y muy por debajo de la media (De Gregorio, 2020).

Así, a pesar de que el uso ha sido creciente en los últimos años, como consecuencia del abaratamiento prolongado en el precio de los combustibles fósiles, la evolución del consumo ha repuntado a la baja, situándose por debajo de los objetivos marcados por el Plan de Acción Nacional de Energías Renovables 2011-2020 (PANER) (Unión por la Biomasa, 2018; INTERREG, 2018).

2.1. Aplicaciones domésticas.

Los equipos de combustión para aplicaciones domésticas van desde chimeneas, estufas, quemadores y calderas, de leños, astillas de madera, diversas virutas y pellets. Las calderas son los únicos equipos capaces de dar al mismo tiempo calefacción y agua caliente sanitaria, mientras que las estufas y chimeneas permiten calentar la estancia en la que se encuentran ubicadas.

Las estufas y chimeneas suelen instalarse en viviendas unifamiliares o locales comerciales, siendo las potencias más habituales de las estufas entre 8 y 15 kW. Las calderas pueden instalarse tanto en viviendas unifamiliares como en comunidades de vecinos de cualquier tamaño, ya que se pueden encontrar calderas desde 20 kW hasta más de 1 MW (y tamaños mucho mayores para las redes de calor y las aplicaciones industriales o de generación eléctrica) (IDAE, 2019).

En el sector doméstico, la biomasa densificada en forma de pellets tiene ventajas frente a otros combustibles al ser más densos, más fáciles de transportar, de humedad controlada y con formatos limpios de sencillo manejo que permiten automatización en su uso.

Los diseños actuales de equipos de combustión de pequeña potencia buscan el máximo en eficiencia energética y el mínimo en las emisiones que se pueden generar. La combustión por etapas permite mayor eficiencia, reduciendo la concentración de monóxido de carbono e inquemados. La mayoría de las tecnologías existentes en calderas de combustión de biomasa, dispone de dos entradas de aire (primario y secundario) que originan dos zonas de combustión diferenciadas: una a más elevada temperatura, en el lecho y otra en la cámara, donde tiene lugar la combustión en fase gas de los volátiles con el aire secundario. La reacción en esta última zona debe ser lo más completa posible con el fin de conseguir bajas emisiones, adecuando los diseños de las cámaras y a veces obligando el recorrido del flujo de los gases (Fernández González et al., 2015).

El desarrollo tecnológico en los últimos años de calderas y estufas hace que se puedan encontrar en el mercado equipos con un alto grado de automatización (por ejemplo, para la alimentación del combustible o la retirada de las cenizas) y unos niveles de emisiones muy inferiores a los equipos existentes hace unos años.

La Figura 2 refleja la evolución en España en los últimos años de las instalaciones de combustión para generación térmica a pequeña escala. Se observa un incremento del 97.5% en el número de estufas instaladas en los últimos 10 años, que suponen un incremento de 3057 MW de la potencia total generada en estufas de biomasa respecto a 2008.

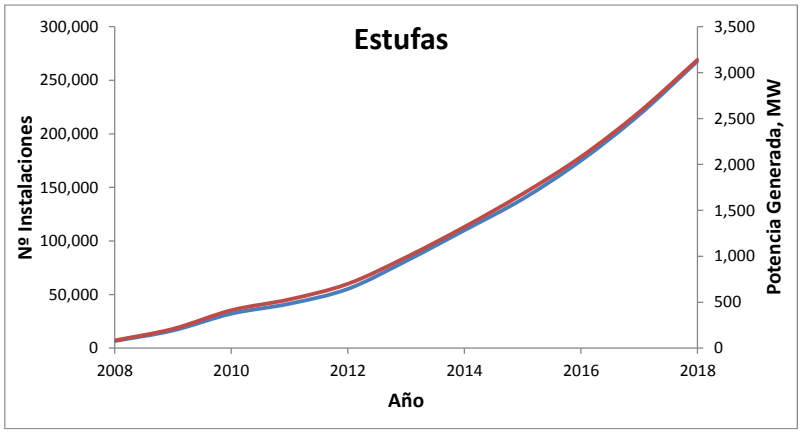


Figura 2. Evolución del incremento de estufas instaladas en España en los últimos años.

2.2 Calefacción centralizada.

Una opción especialmente interesante son las redes de calor, que por su mayor eficiencia energética y el aprovechamiento de las economías de escala, permiten llegar a un mayor número de usuarios. El concepto de red de calefacción de distrito surge cuando una central de calor produce agua caliente que se distribuye por una red de tuberías convenientemente aisladas, pudiendo abastecer a edificios residenciales, públicos, comerciales, cumpliendo con los requisitos industriales de calor a baja temperatura. La producción de calor a partir de biomasa se encuentra así centralizada en una instalación de gran tamaño, por tanto más eficiente que utilizará combustible con precios competitivos (Fernández González et al., 2015). Estas instalaciones suelen ir acompañadas de depósitos de inercia que permiten compaginar un funcionamiento estable de la caldera y una demanda de calor que varía a lo largo del día.

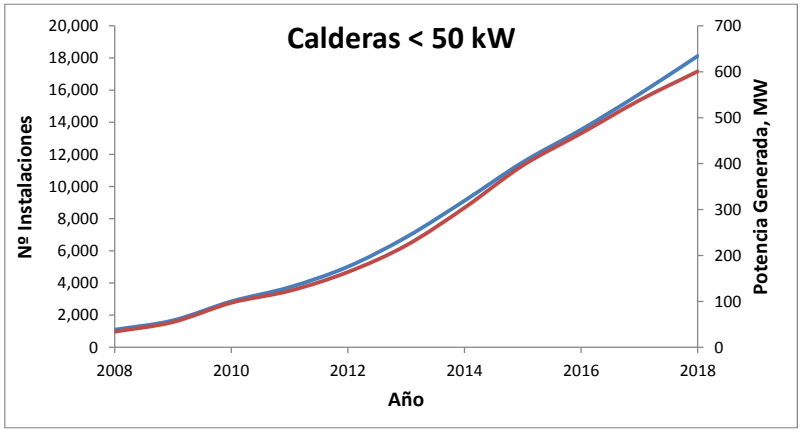


Figura 3. Evolución del incremento de calderas de potencia inferior a 50kW instaladas en España en los últimos años. Fuente: Elaboración propia.

Existen ejemplos ya de estas redes de calor en España, desde instalaciones de 400 kW de potencia y varios cientos de metros de tuberías que dan servicio a varios edificios municipales y particulares (como la red del ayuntamiento de El Atazar, en Madrid), hasta instalaciones de alrededor de 15 MW y más de 10 kms de red, como

las que ya están en funcionamiento en las ciudades de Soria y Móstoles o en la Universidad de Valladolid (IDEA, 2019).

La Figura 3, muestra una visión de la evolución en España de este tipo de instalaciones, desde 2008 hasta la actualidad. El gráfico muestra un aumento del 94%, en el número de calderas de potencia inferior a 50kW instaladas en la última década.

2.3. Aplicaciones industriales.

Las calderas se pueden usar también en el sector industrial, bien para la producción de agua caliente o de vapor de proceso (IDEA, 2019). Para potencias superiores a 100 kW se emplean hornos de diferentes tecnologías: lecho fijo, lecho fluidizado y biomasa pulverizada.

Entre los equipos de combustión en lecho fijo, se incluyen los sistemas de horno de parrilla y hornos de alimentación inferior o afloración. Las parrillas son los sistemas más usados para aplicaciones térmicas comerciales o industriales de potencias comprendidas entre algunos cientos de MW de potencia.

La tecnología de lecho fluidizado presenta características destacables en comparación con otros sistemas de combustión, que están relacionadas con el elevado grado de turbulencia, como consecuencia del movimiento de los sólidos, que facilita la mezcla aire/combustible resultando en mayores eficiencias de combustión. La eficiencia de combustión en lechos fluidizados burbujeantes se encuentra entre el 90-98% y puede llegar al 99,5% en lechos fluidizados circulantes. Las bajas temperaturas de operación (850°C) y la distribución uniforme de temperatura, limita la formación de óxidos de nitrógeno y la volatilización de las sales de álcalis. Además trabaja por debajo del punto de fusión de cenizas de muchas biomasas, permitiendo una alta flexibilidad en el uso de combustibles. Por otro lado, los lechos fluidizados son interesantes en aplicaciones de escala superior (por encima de algunos MWt) debido a los altos costes asociados de inversión y operación, respecto a los sistemas de lecho fijo.

La combustión en polvo es posible para combustibles disponibles en pequeñas partículas (diámetro medio <1.5mm). En este sistema se inyecta una mezcla de aire y combustible en la cámara de combustión, donde tiene lugar la combustión del sólido en suspensión.

El modelo de central térmica de combustión de biomasa que se encuadra dentro de la gran potencia (>2 MWe), normalmente no alcanza los 100 MWe; concretamente en España la mayor central de biomasa funcionando en la actualidad es de 46 MW a partir de subproductos agrícolas y forestales originarios de zonas cercanas a la instalación, situada en Huelva. Esta central de biomasa está considerada como una de las mayores plantas de biomasa en Europa. Esta es una consecuencia del coste asociado al aprovisionamiento necesario de combustible en centrales de gran tamaño. La biomasa es un combustible que por su naturaleza se encuentra disperso en el territorio, siendo además en general un producto de baja densidad, por lo que el acopio de material combustible de biomasa hasta la central supone un coste muy importante en los gastos de explotación de la instalación (que pueden alcanzar el 70%). En este sentido podemos diferenciar entre proyectos de centrales térmicas unidos a un proceso productivo y aquellas instaladas de forma aislada con el fin último de producir electricidad. En procesos de producción relacionados con materiales de origen agrícola y forestal, es habitual que se disponga de residuos de

carácter biomásico procedentes del propio proceso. La instalación de una central de biomasa anexa al proceso de fabricación permite intercambiar excedentes; es una configuración habitual la central que se alimenta de residuos de la fábrica y a su vez le proporciona vapor o condensados con lo que se completa el ciclo de cogeneración. Los costes asociados al transporte de materias primas se reducen por ser compartidos (Fernández González et al., 2015).

Las Figuras 4 y 5 representan el incremento producido en los últimos años en calderas de potencias comprendidas entre 50kW-1MW (Figura 4) y superiores a 1MW (Figura 5), según los datos de AVEBIOM. En ambos casos, el número de calderas instaladas se ha incrementado del orden de un 85% desde 2008, suponiendo un aumento en la potencia total generada en este tipo de instalaciones de 1990MW, en el primer caso y de 3342MW en el segundo caso.

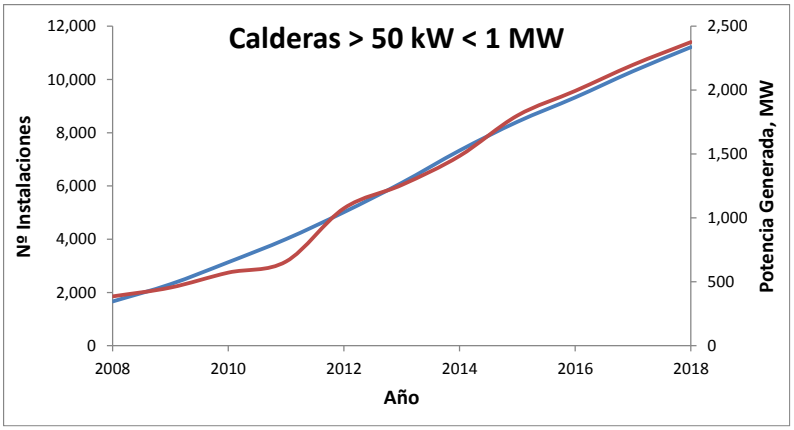


Figura 4. Evolución del incremento de calderas de potencia comprendida entre 50kW- 1MW instaladas en España en los últimos años. Fuente: Elaboración propia.

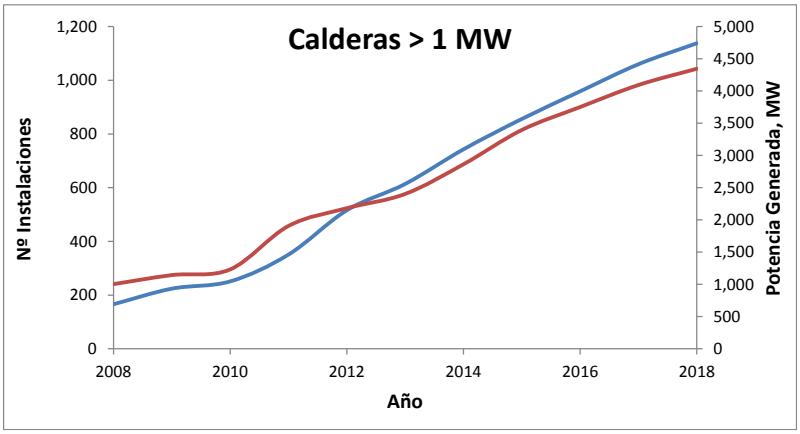


Figura 5. Evolución del incremento de calderas de potencia superior a 1MW instaladas en España en los últimos años. Fuente: Elaboración propia.

3. Conclusiones

El uso de recursos biomásicos para producción energética (eléctrica y térmica, en particular) puede convertirse en una alternativa complementaria a las fuentes convencionales. España cuenta con un enorme potencial para su desarrollo (es el tercer país de Europa por recursos aprovechables). El contexto actual es además propicio puesto que el cambio climático es una realidad que exige el planteamiento de nuevas directrices para acelerar la transición energética y fomentar la economía circular y la bioeconomía.

La energía térmica es la base fundamental de desarrollo del sector de la biomasa, debido al aumento de sistemas de generación de calefacción y ACS (agua caliente sanitaria) en el ámbito doméstico, debido a la estabilidad y competitividad de los precios. Concretamente en España podemos observar que ha existido un significativo incremento en el número de instalaciones y de potencia instalados en la última década.

Otro de los puntos claves del desarrollo de la biomasa térmica es la impulsión de las instalaciones de redes de distrito empleando biomasa sólida como combustible. Además este tipo de energía puede generar numerosos puestos de trabajo estables asociados a mano de obra en las instalaciones y el mantenimiento de las mismas, y en zonas rurales para la extracción, suministro y procesado de la biomasa.

Puede afirmarse que las diversas tecnologías existentes para el aprovechamiento de la biomasa, y en especial las vías termoquímicas, ofrecen una inigualable versatilidad hacia la obtención de una enorme serie de productos valiosos y combustibles a partir de una materia prima renovable y ubicua como es la biomasa. También es posible la obtención de energía térmica mediante biogás, aunque supone un porcentaje muy bajo, por lo que no se ha considerado su prioridad en este informe.

Respecto al sector industrial, dada la diversidad de situaciones y tipologías de los proyectos de biomasa, en la promoción de los mismos se deben ver implicados una gran variedad de agentes. Para que el sector de la biomasa se desarrolle en todas sus posibilidades, deben implicarse suficientemente empresas de suministro de combustible, empresas de servicios energéticos, industriales de los diversos sectores, administraciones, particulares, etc.

En España existen suministradores de equipos principales específicos con presencia en todas las tipologías; desde grandes calderas acuotubulares hasta chimeneas y estufas eficientes para el uso de leñas o las estufas de pellets. La presencia internacional de estas empresas es alta, en ocasiones, debido al bajo nivel de demanda del mercado interior. Sería deseable que el sector industrial español, vea crecer su dimensión en número y en volumen de actividad de las mismas.

La puesta en valor de los beneficios añadidos que induce el sector de la biomasa en diversos ámbitos de nuestra bioeconomía ha de realizarse implementando unas medidas de apoyo y fomento coherentes tanto en los ámbitos regulatorios, como económicos e institucionales, para activar un sector cuya viabilidad es incuestionable dado que ya existen tanto los recursos biomásicos como los agentes científico-tecnológicos y empresariales con la suficiente solvencia para que pueda ser desarrollado.

La valorización energética de la biomasa es una alternativa eficiente y sostenible a la urgente necesidad de reorientar el modelo productivo hacia un modelo circular basado en la bioeconomía. El tratamiento de todo tipo de residuos permite mitigar emisiones de gases contaminantes, evitar el deterioro de ecosistemas y reducir el riesgo de incendios. Por otra parte, la movilización de biomasa no supone únicamente la obtención de un combustible renovable, neutro en cuanto a emisiones de CO2 y competitivo en precio con los combustibles fósiles que se importan desde fuera de España, sino que también juega un papel fundamental en la mejora de la gestión de los montes y en el desarrollo socio-económico de las áreas rurales españolas.

4.Referencias

AVEBIOM. (2019). Mapa de los biocombustibles sólidos 2019. España, Portugal, Chile, Argentina y Uruguay. Recuperado de: http://www.avebiom.org/es/.

De Gregorio, M. (2020). Estudios sobre la Economía Española - 2020/01, Biomasa en España. Generación de valor añadido y análisis prospectivo. APPA Renovables y BIOPLAT.

De Lucas Herguedas, A.I., Del Peso Taranco, C., Rodríguez García E., Prieto Paniagua, P. (2012). Biomasa, biocombustibles y sostenibilidad. Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. ITAGRA.CT.

Fernández González, J., Gutiérrez Martín, F., Del Río González, P., San Miguel Alfaro, G., Bahillo Ruíz, A., Sánchez Hervás, J.M., Ballesteros Perdices, M., Vázquez Minguela, J.A., Aracil Mira, J. y Rodríguez Antón, L.M. (2015). Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética. Ediciones Mundi- Prensa. España.

Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía (IDAE). (2019). Recuperado de: www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/biomasa

INTERREG España-Portugal. (2018). Informe de conclusiones del estado del sector de empresas generadoras de biomasa para uso térmico. Proyecto BIOMASSTEP. Fondo Europeo de desarrollo regional.

Unión por la Biomasa (2018). Balance socioeconómico de las Biomasas en España 2017-2021.

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar II- Tecnologías, 2020: 176-181
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editores: M.L. Contreras Rodríguez y J.M. Sánchez Hervás

II. 6. Tecnologías de biomasa en Paraguay

Roberto Lima Morra[1*], Diego Centurión[1]

1 Centro de Tecnología Apropiada, Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción, Asunción, Paraguay.

RESUMEN. La matriz energética del Paraguay se caracteriza por una elevada oferta de energía primaria de origen renovable y local, siendo el mayor productor de energía hidroeléctrica del mundo, sin embargo, la biomasa es la fuente de energía más utilizada para el consumo. Los mayores consumos de biomasa se registran a nivel residencial, especialmente en los hogares rurales que la utilizan como principal combustible para cocinar, en la industria donde se utiliza leña como el principal combustible para calderas, en la Agroindustria para el secado de granos y en las fábricas de cerámica y olerías para generación de calor. A nivel residencial el consumo de biomasa se encuentra fuertemente arraigada en la sociedad debido a sus costumbres; a pesar de que la gran mayoría cuenta con acceso a energía eléctrica prefieren el uso de leña para la cocción de sus alimentos. En el país se generan grandes cantidades de recursos biomásicos cada año debido a sus actividades económicas, principalmente debido al sector de producción primaria.

*Correspondencia: Ing. Roberto A. Lima Morra, Master, E-mail: roberto.lima@uc.edu.py / Diego Ismael Centurión Troche, E-mail: diego.centurion@uc.edu.py

1. Potenciales para el desarrollo de los biocombustibles sólidos en Paraguay.

Paraguay es un país en vías de desarrollo cuya economía se basa principalmente en actividades de producción primaria. El sector agropecuario aporta el 30,4% del producto interno bruto (PIB) del país, divididos en 22,2% agricultura, 6,6% ganadería, 1,5% forestal y 0,1% pesca; así como también, representa el 40% de las exportaciones nacionales y más del 40% de la fuerza laboral del país. La mayor parte de la producción agrícola está centrada en el cultivo de la soja, el maíz y el trigo, representado el valor bruto de la producción de estos tres rubros, el 76% del total de la agricultura en el país (FAO, 2017).

La soja y la carne de vaca representan casi el 53% del valor de la producción de los commodities en Paraguay, y si se considera solo la producción de soja se alcanza el 40% de la producción de dichos commodities. Tal cual, Paraguay se ha mantenido como uno de los mayores exportadores de carne roja en los últimos años, llegando a ser el 7mo mayor exportador en el año 2018 con 400.000 toneladas (USDA, 2018), así como también, se mantiene como uno de los principales productores (9,20 millones de toneladas) y exportadores (5,80 millones de toneladas) de soja en el mundo (CAPECO, 2018).

Como es de esperarse, la gran extensión de prácticas agropecuarias y agroindustriales conlleva la generación de grandes cantidades de residuos orgánicos con alto potencial de ser valorizados mediante técnicas de aprovechamiento de biomasa para la generación de energía. Valiéndose de la experiencia y observaciones de expertos, en conjunto con los datos de población de ganado vacuno, se estima, que las 13.801.993 cabezas de ganado generaron un total de 131.484.686,3 toneladas de residuo en el 2019.

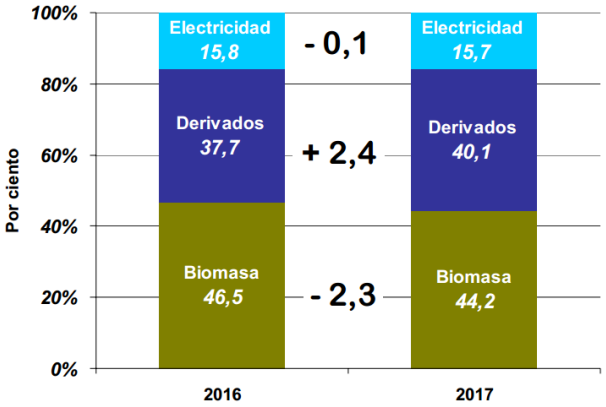


Figura 2 Estructura por energético en el consumo final de energía (VMME, 2017).

Paraguay se mantiene como el mayor productor de energía hidroeléctrica del mundo, sin embargo, una gran parte de la energía final consumida corresponde a biomasa, siendo incluso mayor al porcentaje de energía hidroeléctrica consumida.

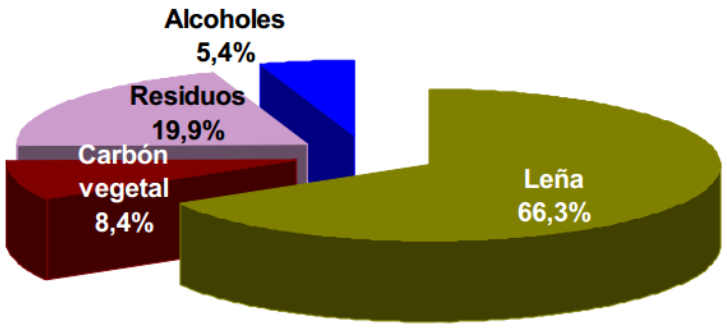


Figura 3 Estructura del consumo final de productos de la biomasa, 2017. (VMME, 2017).

En la Figura 2 se observa que los principales recursos biomásicos utilizados para la generación de energía son la leña, residuos vegetales y carbón vegetal. No obstante, la producción de estos recursos se encuentra altamente asociada a la explotación no sustentable de bosques y a un mercado con alto nivel de informalidad.

Oferta total de biomasa maderera de bosques nativos y plantaciones forestales manejados

La cantidad de oferta de recurso maderero sostenible es de 2.526.129 ~ 3.110.481 t/año en la región oriental y 42.433 ~ 75.651 t/año en la región occidental. La producción total de biomasa proveniente de bosque nativo manejado en el país varía entre 272.587 ~ 430.962 t/año y la producción total de biomasa proveniente de plantaciones forestales varía entre 2.295.975 ~ 2755.170 t/año. Obteniendo una oferta total de biomasa maderera de alrededor de 2.568.562 ~ 3.186.132 t/año.

Tabla 7 Oferta total de biomasa maderera (madera de rollos y biomasa para energía) de bosques nativos y plantaciones forestales manejadas en Paraguay

Origen de biomasa	Producción (t/año)	Incremento medio anual (m3/año)	Producción (t/año)	Incremento medio anual (m3/año)	Producción (t/año)
Bosque nativos manejados	63.754~395.631	2~3	8.833~35.331	0,5~2	272.587~430.962
Plantaciones forestales	2.262.375~2.714.850	25~30	33.600~40.320	25~30	2.295.975~2.755.170
Total	2.526.129~3.110.481		42.433~75.651		2.568.562~3.186.132

Fuente: Sostenibilidad de la biomasa forestal para energía y del etanol y caña de azúcar en Paraguay, FAO (2018).

2. Procesos de conversión de la biomasa y aplicaciones energéticas.

2.1 Procesos termoquímicos

Los biocombustibles sólidos más importantes, combustibles de tipo primario, son los constituidos por materiales lignocelulósicos procedentes del sector agrícola o forestal y de las industrias de transformación que producen este tipo de residuos. La paja, los restos de poda de vid, olivo o frutales, la leña, las cortezas y los restos de podas y aclareos de las masas forestales son materia empleada en la elaboración de biocombustibles sólidos de origen agrario. Cáscaras de frutos secos, huesos de aceitunas y de otros frutos, residuos procedentes de la extracción del aceite de orujo en las almazaras, restos de las industrias del corcho, la madera y el mueble, constituyen una materia prima de calidad para utilizarla como biocombustibles sólidos. Mediante la combustión de esta biomasa se obtiene energía que se aprovecha directamente como energía térmica o se transforma en energía eléctrica. En Paraguay el método de aprovechamiento más utilizado es el de combustión de biomasa sólida para la generación de energía térmica.

2.1.1 Aplicaciones domésticas

El mayor consumo de biomasa se registra a nivel residencial, debido principalmente a la gran cantidad de hogares rurales que utilizan leña como principal combustible para cocinar. Según la Dirección General de Estadísticas, Encuestas y Censos (DGEEC), el 93% de los hogares rurales tiene acceso a energía eléctrica, sin embargo, el 69% de los mismos utilizan leña como principal combustible para cocinar.

Tabla 2. Población que utiliza combustibles sólidos para cocinar. Periodo 2008 - 2017

Año	**Total**		**Área**			
			Urbana		Rural	
	Número	%	Número	%	Número	%
2008	3.011.101	50,1	979.946	28,3	2.031.155	79,8
2009	3.027.313	49,6	1.019.901	28,8	2.007.412	78,5
2010	3.015.477	48,7	957.122	26,4	2.058.355	80,1
2011	2.696.005	42,8	791.875	21,3	1.904.130	73,8
2012	2.747.001	43,0	783.806	20,6	1.963.195	75,8
2013	2.345.625	36,2	727.334	18,7	1.618.291	62,2
2014	2.410.878	36,6	653.074	16,5	1.757.804	67,3
2015	2.240.395	33,5	620.804	15,3	1.619.591	61,7
2016	2.387.570	35,2	661.899	16	1.725.671	65,6
2017	2.432.670	35,4	733.285	17,3	1.699.385	64,4

Nota: Combustibles sólidos: (madera, residuos de cosecha y estiércol) y carbón vegetal.
Fuente: DGEEC, Compendio Estadístico Ambiental 2017

La utilización de leña en el sector rural va más allá del acceso o no a la electricidad, está muy relacionada a la cultura; "la gente prefiere utilizar leña porque la comida sabe mejor". También en ocasiones, como el mercado es altamente informal, el costo de acceder a estas fuentes de energía es muy bajo e incluso nulo.

Se estima que todos los hogares (sean urbanos o rurales) cuentan con al menos una estufa para el aprovechamiento de energía térmica a partir de biomasa; ya sean parrillas utilizadas para el tan tradicional asado paraguayo o dispositivos de calefacción y cocinas que como se observa en la Tabla 2 predominan en zonas rurales. Con una población actual estimada en 7.000.000 de habitantes y adoptando una media de 5 personas por familia se estima una existencia de 1.400.000 estufas para el aprovechamiento térmico de biomasa en el país.

2.1.2 Aplicaciones industriales

En la agroindustria se registran grandes cantidades de consumo de biomasa sólidos para la generación y aprovechamiento de energía térmica, principalmente para el secado de granos de soja, maíz, trigo y girasol, así como también en las fábricas de cerámicas y olerías.

Una gran cantidad de leña es consumida a nivel industrial, por la necesidad de secar granos (soja, trigo, maíz, entre otros) antes de almacenarlos en los silos. Se estima que, cada año, más de 500.000 toneladas de leña son requeridas para secar soja y cantidades similares para trigo, maíz y otros granos (Global Forest Coalition, 2014). De acuerdo a un proyecto realizado en conjunto entre el MOPC, VMME y la GIZ, mediante el cual se pretendía mejorar la b ase de datos en el área de energía con énfasis en biomasa, se llegaron a los siguientes resultados para el período 2011 ~ 2012:

Tabla 3. Producción de granos y consumo de leña para el secado de granos años 2011 ~ 2012

Rubro agrícola	Producción total (t/año)	Año	% a ser secado por año	Cantidad secada (t/año)	t de leña por t de cultivo	Cantidad de leña utilizada (t)
Soja	8.309.793	2011	50	4.154.897	0,08	332.392
Trigo	1.401.987	2010	80	1.121.590	0,6	672.954
Maíz	3.108.821	2010	100	3.108.821	0,6	1.865.293
Girasol	262.293	2010	75	196.720	0,6	118.032
Total						2.988.671

Fuente: MOPC, VMME y GIZ (2013)

La industria del carbón vegetal registra grandes cantidades de consumo de madera. La producción de una tonelada de carbón requiere de entre 6 a 15 toneladas de madera. El Atlas Mundial (2016) establece que Paraguay pierde 40.000 hectáreas de bosque cada año debido la exportación ilegal de carbón, y otras 12.000 hectáreas para la producción de carbón para barbacoa para exportar a Europa. El carbón es producido para consumo doméstico; mientras que el carbón de alta calidad para las barbacoas que se producen para ser exportadas.

Las agroindustrias, las industrias madereras, alcoholeras y azucareras, industrias de acero y las aceiteras son los mayores consumidores de biomasa para energía en forma de leña y carbón vegetal. El consumo a nivel industrial oscila entre 4.415.000 ~ 6.047.000 t/año (MOPC, VMME y GIZ, 2013). La necesidad de madera con fines energéticos en las industrias alcanza los 6 ~ 8 millones de metros cúbicos por año. Así, las estimaciones oscilan cerca de 2000.000 a 320.000 ha de plantaciones con un

crecimiento de 25 a 30 m/ha por año para abastecer la necesidad de biomasa *(FAO, 2018)*.

2.2 Producción de etanol

El etanol producido a partir de caña de azúcar es una de las principales formas de biocombustibles producidos en Paraguay; sólo en 2014, 118 hectáreas de tierra fueron utilizadas para el cultivo de caña de azúcar, produciéndose más de 6,3 millones de toneladas (FAO, 2018). De acuerdo con el MIC, el 44% del etanol producido en Paraguay en el 2016 fue de caña de azúcar, mientras que el resto fue producido a partir de granos (principalmente de maíz y algo de sorgo).

En el caso del etanol de maíz se producen; además, otros coproductos como el Aceite Crudo de Maíz (CMO) y los Granos Destilados Secos Solubles (DDGS, por su sigla en inglés), ambos utilizados como base para alimentación animal y fuente de proteínas. En el caso del etanol de caña de azúcar, los principales coproductos son el azúcar, cuando la destilería es anexa; y el bagazo que se utiliza principalmente, como combustible en la caldera para la producción de para para calor y potencia. En algunas plantas de etanol, se procesa la vinaza y se obtienen otros coproductos como biogás o compost orgánico.

3. Conclusión

A pesar de que Paraguay es un país altamente dependiente de sus recursos biomásicos, tanto en el ámbito doméstico como en el económico, llegando a ser fundamentales para que las principales actividades económicas puedan desarrollarse, así como también para mantener la calidad de vida de una gran parte de población; el mercado de biomasa presente altos niveles de informalidad, por lo cual la cuantificar el consumo de los mismos se dificulta, lo que impacta directamente en la elaboración de políticas para la gestión relacionados de estos recursos.

En Paraguay un alto grado del consumo de biomasa está relacionada a la costumbre y la cultura, tal cual, aún cuando la gran mayoría de los hogares rurales tienen acceso a energía eléctrica, el 64,4% de los mismos utilizan leña como principal combustible para cocinar. Por lo tanto, la implementación de proyectos que divulguen e incentiven la utilización de dispositivos de cocción que mejoren el rendimiento y reduzcan el consumo de estos recursos presentaría beneficios que impactaran tanto en la calidad vida de los habitantes como en la interacción de los agentes económicos para con estas fuentes de energía.

Se generan grandes cantidades de recursos de biomasa debido a las actividades de recolección, extracción y transformación de recursos naturales, y considerando que el país centra su economía en el sector primario es inevitable la generación de grandes cantidades de biomasa como residuo. Así, el Paraguay posee un techo bastante amplio para crecer y mejorar en el manejo de sus recursos de biomasa, teniendo el potencial de generar impactos positivos considerables en el ambiente, en la formalización del mercado, en la calidad de vida de los habitantes; especialmente en los que habitan en zonas rurales. Para lo cual, es indispensable rellenar el vacío de información que existe acerca del manejo, uso y circulación de la biomasa en el país.

4.Referencias

Almirón Espínola, P.C. (2018). Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero del sector agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra del Paraguay. Fecha de consulta: Junio, 2019. Disponible en la facultad de Ciencias Agracias de la Universidad Nacional de Asunción.

Atlas Mundial (2016). Top wood charcoal exporting and importing countries. Recuperado de: http://www.worldatlas.com/articles/top-wood-charcoal-exporting-and-importing-countries.html

GIZ (2011). Situación Energías Renovables en el Paraguay". Bell, C., Puentes, D., Candia, R., Domaniczky, P., Estigarribia, S., Pulfer, J,C., Viedma, E., Domaniczky, J., Levin, A., Gill Mairhofer, L., Balsevich P., J.L. págs..15-18, 20-28. Recuperado en junio, 2019 de: https://www.ssme.gov.py/vmme/pdf/libroenergia.pdf

Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas (CAPECO) (2019). Recuperado de: http://capeco.org.py/.

Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos (DGEEC). (2017). Compendio Estadístico Ambiental. Pág 115. Recuperado de: https://www.dgeec.gov.py/Publicaciones/Biblioteca/compendio_ambiental2017/compendio_estadistico_ambiental_2017.pdf

Global Forest Coalition, (2014). A Global Overview of Wood Based Bioenergy: Production, Consumption, Trends and Impacts. Recuperado de: (https://globalforestcoalition.org/wp-content/uploads/2010/06/REPORT-WOOD-BASED-BIOENERGY-FINAL.pdf)

MOPC, VMME y GIZ (2013) - Producción y consumo de biomasa sólida en Paraguay. Proyecto de mejoramiento de la base de datos para un apolítica energética más sustentable en Paraguay. Recuperado en junio, 2019 de: https://www.ssme.gov.py/vmme/pdf/biomasa/base/37.%20Produccion%20y%20Consumo%20Biomasa%20(1).pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (2017). Análisis de capacidades técnicas e institucionales – Paraguay, pág. 3. Recuperado en junio, 2019 de: http://www.fao.org/3/I8208ES/i8208es.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Capítulo 2; Guillermo Parra, Tiziana Pirelli, Constance Miller. (2018a). Sostenibilidad de la biomasa forestal para energía y del etanol de maíz y caña de azúcar en Paraguay Capítulo 2, págs. 13 – 31. Recuperado en junio, 2019 de: http://www.ceamso.org.py/upload/publicaciones/1528296860.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Capítulo 4; Delia Ramírez Haedo, Mirtha Vera de Ortiz, Larissa Rejalga Noguera. (2018b). Sostenibilidad de la biomasa forestal para energía y del etanol de maíz y caña de azúcar en Paraguay, Capítulo 4, págs. 86 – 93. Recuperado en junio, 2019 de: http://www.ceamso.org.py/upload/publicaciones/1528296860.pdf

United States Department of Agriculture (USDA) – National Agricultural Statistics Service, 2018.

Viceministerio de Minas y Energías (2017). Balance Energético Nacional 2017.

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar II- Tecnologías, 2020: 182-187
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editores: M.L. Contreras Rodríguez y J.M. Sánchez Hervás

II. 7. Tecnologías de biomasa en Perú

Mary Flor Césare[1,2*], Roxana Guillen[1], José Luis Calle[2]

[1]*Departamento de Química, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Agraria La Molina, La Molina, Lima 12, Perú*

[2]*Laboratorio de Energía Renovables, Facultad de Ingeniería Agrícola, (LER), Universidad Nacional Agraria La Molina, La Molina, Lima 12, Perú*

RESUMEN. La alta dependencia que tiene el Perú de los combustibles fósiles y sus derivados, sobre todo en el sector transporte, ha llevado al Perú, a buscar nuevas alternativas de sustitución del petróleo y sus derivados por fuentes de energía menos contaminante (energías renovables) y más económicas para asegurar el abastecimiento de energía a la población. Así el Perú posee una alta disponibilidad de biomasa, con un valor cercano a los 272 millones de toneladas, donde 16 millones de toneladas provienen de desechos de la industria agrícola y forestal y 256 millones de toneladas pertenecen a la biomasa leñosa proveniente de los bosques peruanos. Así mismo el país produce cerca de 23 mil toneladas/día de residuos sólidos municipales cuya composición orgánica es cercana al 54%, lo cual constituye también una fuente para la generación de energía sostenible. Dentro de la oferta energética en el país la biomasa como fuente de combustible solo representa alrededor de 0.29%. Es necesario aprovechar el potencial de biomasa disponible y fomentar el desarrollo de nuevas fuentes de energía renovables.

*Correspondencia: Mg. Quím. Mary Flor Césare C., Lima 41. Email: mcesare@lamolina.edu.pe

1. Introducción

El incremento del consumo energético mundial, debido al desarrollo de un país o al aumento poblacional lleva al crecimiento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) amenazando la vida humana y silvestre. Hay una tendencia mundial a buscar alternativas de energía sostenible y menos contaminante lo cual ha impulsado el desarrollo de tecnologías limpias. En el Perú, de acuerdo con las cifras del Balance Nacional de Energía, se liberan alrededor de 2.550 ton/hora de CO2 debido al consumo de energía de combustibles fósiles Ministerio del Ambiente (MINAN, 2019). Esto contribuye a la contaminación de nuestro ambiente trayendo consecuencias desfavorables en la salud de la población. Nuestra matriz energética está constituida principalmente por dos fuentes principales: hidroeléctricas y gas natural que representan cerca del 97% de la oferta energética, siendo la biomasa solo el 0.29% Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN, 2016). Desde el año 2008 se realizaron cambios en las políticas gubernamentales colocando un incremento del uso de las energías renovables dentro de la matriz energética hasta 5%, a pesar de esta política promotora los

cambios son muy lentos y poco significativos para tener una matriz desconcentrada (Gamio, 2017).

2. Potencial para el desarrollo de los biocombustibles

Adecuación

En la actualidad en el Perú el uso de las energías renovables constituye una gran alternativa a la dependencia del petróleo extranjero y sus derivados, estos constituyen el 80% de la energía primaria de la matriz energética García (2013), y solo entre un 10-12% de toda la energía consumida es producida por biomasa sólida, calculándose la disponibilidad de biomasa en 272 millones de toneladas, lo cual hace atractivo crear planes y programas de co-combustión en el país (Klug et al., 2013; Roni et al., 2017). La dependencia al petróleo extranjero es una situación que, con el pasar de los años no será sostenible dado que la demanda de combustibles va a seguir incrementado por el crecimiento tanto demográfico y económico, esto se ve reflejado en las grandes ciudades, lo cual no pasa con la población rural, así el Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI, 2017) basado en el último censo reportó que el 70.1% (cerca de 1 millón 800 mil familias) de la población rural, conformada por un 59.3% pobladores de la sierra, se ven obligados a emplear para la cocción de sus alimentos cocinas tradicionales cuyo combustibles son: leña, carbón, bosta, estiércol o residuos agrícolas Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2019), estos combustibles son catalogados como altamente contaminante por sus emisiones. Al respecto, la Comisión Económica para América Latina (CEPAL, 2011), informa que el humo de la leña tiene incidencia en enfermedades respiratorias (tuberculosis) y cataratas, entre otras, vinculadas a la contaminación de interiores por la quema de combustibles de biomasa dentro de las viviendas, siendo esta situación no ajena a otras latitudes pobres del planeta.

Por ello la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2017) publicó "El Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2017" donde menciona en el objetivo 7: "Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos", donde se pone como énfasis el acceso de la población mundial a combustible no contaminante, energía eléctrica, tecnologías limpias y al uso de energías renovables para cocinar. Debo recalcar, que estas zonas rurales cuentan con gran cantidad de biomasa residual disponible, dado que esta biomasa proviene de las actividades agrícolas, las cuales son abandonada en los campos después de las cosechas (pilado de arroz, corontas y hojas secas de maíz, bagazo de caña de azúcar), actividades forestales (poda de árboles, ramas, hojas secas), y las actividades de la industria forestal como los aserradero y la producción de muebles, generan grandes volúmenes de material de descarte (aserrín, trozas, astillas, virutas) las cuales en la mayoría de casos son abandonadas en las partes aledañas de los centros de producción, generando contaminación visual y emisiones líquidas y gaseosas, que disminuyen el valor comercial de la zona. Como se puede observar, los residuos forestales y agrícolas no se explotan comercialmente, en el Perú existen algunos emprendimientos que están usando estos residuos para la producción de briquetas, sin embargo, a pesar que estos residuos presentan un gran potencial energético no son contabilizados como fuente de energía primaria comercial en el Balance Nacional de Energía. Por ello las acciones a nivel público y privado orientados a promover el desarrollo de la bioenergía requieren mejorar la capacidad del país en el conocimiento de aspectos relacionados con la oferta, composición y las tecnologías de aprovechamiento que actualmente existe sobre la biomasa con fines energéticos.

La alta disponibilidad de biomasa en zonas rurales, constituye una gran oportunidad para la producción de energía no convencional lo que permitirá el acceso de energías limpias para estas poblaciones. Por ello la Política Energética 2010 - 2040, aprobada con el Decreto Supremo N° 064-2010-EM Machicado, Olazabal (2013) contempla los siguientes lineamientos: diversificar la matriz energética para asegurar el abastecimiento confiable y oportuno a la demanda de energía, con énfasis en el uso de energías renovables y la eficiencia energética a fin de garantizar el desarrollo sostenible del país, promover la inversión privada en el sector energético con reglas claras y estables, fomentar y ejecutar las obras de energización en las zonas rurales y aisladas del país para ampliar la cobertura de la demanda y mejorar la calidad de vida de la población, fomentar el uso eficiente de la energía, promover la integración energética regional Ministerio de Energía y Minas (MINEN, 2010).

Transformación

Se consideran técnicas variadas para la transformación de la biomasa para fines energéticos, siendo estas la producción de combustibles sólidos como la briquetas y pellets de la biomasa residual de la industria de muebles, la cogeneración de residuos agroindustriales (como cascarilla de arroz, bagazo), la gasificación y la combustión en calderas de lecho fluidizado ya sea de residuos madereros o agrícolas; así también el uso de biodigestores para la fermentación anaeróbica de residuos provenientes de granjas de aves, haciendas ganaderas y rellenos sanitarios (como Huaycoloro en Lima) la cual es posteriormente quemada en turbinas de gas o calderas de vapor; también consideraré la producción de biocombustibles líquidos, como la producción de alcohol anhidro o hidratado por reacciones de fermentación alcohólica de la caña de azúcar y del sorgo (Empresa Caña Brava), otra reacción a considerar para la obtención de biocombustibles líquidos es la reacción de transesterificación ya sea de aceites usados o vírgenes para la producción de biodiesel (Palma del Espino); utilización de aceite combustible para generación mediante grupos electrógenos acondicionados, entre otros (García, 2013).

Así las pocas centrales de cogeneración de energía, en el Perú mayormente funcionan en las empresas que pertenecen al sector industrial, siendo Sudamericana de Fibras la más antigua, y Refinería de Talara las más nueva, así el último estudio oficial del potencial de cogeneración en Perú (del año 2000) a determinado un potencial técnico de 500 MW, del cual solo 200 MW contaban con viabilidad económica, lo cual se explica por la poca disponibilidad del gas natural para usos industriales (Ramos-Saravia, 2019).

Suministro de la biomasa como combustible

El suministro de biomasa sólida para la generación de energía eléctrica, está constituida por los desechos de plantas y animales, siendo los residuos usados para esto el bagazo, cáscara de arroz, desechos forestales, paja de grano y restos de aves de corral, ganado vacuno y cerdos, los cuales por descomposición producen biogás para la generación eléctrica. Así desde enero de 2012 hasta septiembre de 2012, el biogás obtenido produjo 114,9 GWh de electricidad, siendo casi el doble en comparación con la producción en el mismo período en el año 2011 (OSINERGMIN, 2012).

Así Félix y Rosell (2010) indican en el informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO del año 2010, la oferta total de

biomasa disponible en el Perú para la producción de energía es de 272 millones de toneladas métricas, donde se incluye 16 millones de toneladas de desechos orgánicos al año disponibles provenientes de la producción agrícola y de la industria forestal. Los restantes 256 millones de toneladas representan el potencial de biomasa leñosa de la naturaleza, así los bosques en el Perú sobre todo la zona de bosque tropical es la que presenta mayor cantidad de biomasa forestal disponible, mientras que la zona árida de la costa y la región sur de la Sierra tienen un escaso suministro de biomasa así muchas regiones del país tienen volúmenes significativos de biomasa que podrían potencialmente ser utilizados para proporcionar energía local, como por ejemplo, la biomasa leñosa y los residuos de la industria forestal podrían no solo ser utilizará para la generación directa o indirecta de energía local, sino que también podría ser transportada largas distancias convertidas en briquetas, carbón, gas, etc. (Felix y Rosell, 2010).

Con respecto a las grandes ciudades en el Perú el suministro de biomasa para fines energéticos se encontrará en los residuos urbanos. Según datos del Ministerio del Ambiente, nuestro país produce cerca de 23000 toneladas por día de residuos sólidos municipales y los estudios de caracterización de éstos residuos sólidos reporta en su composición 54% de materia orgánica, Vidal (2019), siendo PETRAMAS, la empresa que ha incursionado en el aprovechamiento del biogás generado en el relleno sanitario Huaycoloro, para cogenerar energía y venderlo a la red de interconexión eléctrica, así el tratamiento con biodigestores de los lodos de las aguas residuales, también sería una importante fuente generación de energía. Con respecto a la biomasa generada en el interior del país, este deberá aprovecharse en la zona ya que para asegurar el suministro éste dependerá de la disponibilidad del recurso, dado que no se cuenta con una infraestructura de transporte adecuada, los costos de inversión inicial, entre otros aspectos.

3. Tecnologías de generación térmica

La producción de la energía en el Perú se basa en las siguientes tecnologías, dentro de las cuales también se encuentra la conversión de la biomasa.

- *Centrales Hidroeléctricas*
- Centrales termoeléctricas convencionales (centrales de carbón, centrales diésel, centrales de gas natural, centrales mixtas).
- Central termoeléctrica de ciclo combinado, para la cogeneración se usa la siguiente tecnología Ciclo de Brayton (turbina de gas) y Ciclo de Rankine (turbina de vapor).
- Centrales de Generación Biomasa: Métodos termoquímicos para generar energía uso de metano obtenido por la descomposición de biomasa (Combustión, pirolisis y gasificación).
- Uso de la biomasa residual para la producción de briquetas con equipos automáticos

- *Aplicaciones domésticas.*
- Sistema de calentamiento de agua
- Sistema de alumbrado
- Sistema de calefacción (crianza de animales menores)
- Preparación de alimentos (sistema de cocción adaptado mediante tubos refractarios)

- *Aplicaciones comerciales:*
- Preparación de alimentos en restaurantes (sistema de cocción adaptado mediante tubos refractarios)

- Lavandería de ropa (Sistema de calentamiento de agua y secado)
- Gimnasios (sistema de calentamiento de agua)

o *Aplicaciones industriales:*

- Empresas mineras (sistema de calefacción, calentamiento de agua y secado de ropa)
- Preparación de alimentos en comedores (sistema de cocción adaptado mediante tubos refractarios)
- Industria de curtiembre (sistema de secado)
- Industria hotelera (Sistema de calentamiento de agua)
- Gimnasios (sistema de calentamiento de agua)
- Granjas de crianza de animales menores (sistema de calefacción)

4. Conclusión

El desarrollo de las energías renovables en este caso proveniente de la biomasa, constituye una buena alternativa para abastecer de energía a las poblaciones vulnerables en zonas donde no se tiene acceso a los combustibles fósiles y donde la biomasa se encuentra desaprovechada. Fomentar tecnologías para uso de energía sostenible reducirá la alta dependencia del petróleo extranjero y asegurará el abastecimiento de forma barata y segura a la población.

5. Referencias

CEPAL. (2011). Panorama social de América Latina. Recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/1241/1/S1100927_es.pdf

INEI. (2019). Hogares en los que cocinan con combustibles contaminantes. Recuperado de: file:///C:/Users/Usuario/Documents/BIOMASA%20RED/libro%20hogares%20que%20consumen%20le%C3%B1a%20carbon%20para%20cocinar.pdf

Felix, E., y Rosell, C. (2010). Bioenergía y seguridad alimentaria ‘‘BEFS’’- El análisis de BEFS para el Perú. Recuperado de: http://www.fao.org/3/i1712s/i1712s.pdf

Gamio, P. (2017). Energía: Un cambio de necesario en el Perú. *Revista Kawsaypacha*, **1**, 93-135

García, H. (2013). Barreras para el desarrollo de la bioenergía. *Matriz energética en el Perú y energías renovables*, **8**, 1-40.

INEI (2019). Hogares en los que cocinan con combustibles contaminantes. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1664/libro.pdf

Klug, M., Gamboa, N., Lorber, K. (2013). Sustainable development and renewable energy from biomass in Perú – overview of the current situation and research with a bench scale pyrolysis reactor to use organic waste for energy production. *Journal of Sustainable Development,* **6**(8), 130–9.

Machicado, JC. y Olazabal, J. (2013). Balance y perspectivas del aporte de la energía al desarrollo sostenible en el Perú. *Matriz energética en el Perú y energías renovables*, **7**, 1-45.

MINAN (2019). Diez claves para conocer más sobre Energía Renovable. Recuperado de http://www.minam.gob.pe/energia/diez-claves-para-conocer-mas-sobre-energia-renovable/

MINEN (2010). Ministerio de Energía y Minas.

ONU. (2017). Informe de los objetivos del desarrollo sustentable. Recuperado de http://ggim.un.org/documents/TheSustainableDevelopmentGoalsReport2017_Spanish.pdf

OSINERGMIN. (2012). Reporte Operación del Sector Eléctrico. Recuperado de http://www2.osinerg.gob.pe/Publicaciones/pdf/OperSecElectrico/OSENOV2012.pdf

Quintanilla, E. (2016). Perú: Soluciones para un mercado eléctrico de alto crecimiento - Promoción de energías renovables y competitivas. Recuperado de https://www.osinergmin.gob.pe/Paginas/ARIAE-XX/uploads/Energias-renovables-competitivas-ARIAE.pdf

Ramos-Saravia, J. (2019). La cogeneración: una tecnología que ahorra combustible, disminuye la factura energética y evita emisiones de gases de efecto invernadero. Recuperado de https://www.utec.edu.pe/noticias/la-cogeneracion-una-tecnologia-que-ahorra-combustible-disminuye-la-factura-energetica-y-evita-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero

Roni, M. S., Chowdhury, S., Mamun, S., Marufuzzaman, M., Lein, W., and Johnson, S. (2017). Biomass co-firing technology with policies, challenges, and opportunities: A global review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* **78**, 1089-1101.

Sondreal, E.A., Benson, S.A., Hurley, J.P., Mann, M.D., Pavlish, J.H., Swanson, M.L., Zygarlicke, C.J. (2001). Review of advances in combustion technology and biomass cofiring. *Fuel Processing Technology*, **71**, 17–38.

Strehler, A. (2000). Technologies of wood combustion. *Ecological Engineering*, **16**, 25–40.

Utlu, Z. (2007). Evaluation of biodiesel fuel obtained from waste cooking oil. *Energy Sources*, **9**, 295–304.

Vidal, YD. (Setiembre, 2019). La gestión de los residuos sólidos y el cambio climático. Césare (Presidencia). II Congreso Internacional de Residuos Sólidos en el Perú llevado a cabo en la UNALM, Lima, Perú.

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar III- Participación y Transferencia, 2020: 188-197
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editor: S. Garrido

Sección III: Mecanismos de participación y transferencia

Santiago Garrido[1]*, Gabriela Bortz[1], María Luisa Ojeda[2], Humberto Vidal[2], José María Rincón Martínez[3], Diana Marcela Durán Hernández[3], Pedro Chévez[4], Lucía Sánchez Deicas[1], Emilia Ruggeri[1], Anabella Denuncio[1]

1 Instituto de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología (IESCT) – Universidad Nacional de Quilmes / Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) – Argentina

2 Centro de Estudio de los Recursos Energéticos (CERE) – Facultad de Ingeniería – Universidad de Magallanes – Chile

3 Centro de Desarrollo Industrial – Tecsol – Bogotá – Colombia

4 Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC) – Universidad Nacional de La Plata – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) – Argentina

RESUMEN. Desarrollar el potencial que ofrece el uso y manejo eficiente de la biomasa sólida y su valorización energética térmica presenta múltiples desafíos asociados a diferentes cambios en las prácticas cotidianas en términos sociales, económicos y culturales. Por este motivo, es necesario desarrollar técnicas y estrategias participativas utilizadas para la aplicación de puesta en marcha de Sistemas Bioenergéticos (SB) rurales. En los últimos años, se ha extendido un amplio consenso sobre la necesidad de fomentar el involucramiento de usuarios en los procesos de adopción de soluciones tecnológicas para problemas sociales y ambientales. Este involucramiento de usuarios activos es definido como una "buena práctica" inclusiva, pero ¿qué implica esta participación y cuál es su alcance en la práctica? En este capítulo, se propone analizar algunas de las variables a tener en cuenta en los procesos de participativos en términos de alcance, escala y duración de los mismos, y realizar una caracterización de los diferentes mecanismos de transferencia tecnológica y las diferentes metodologías de participación desarrolladas en Iberoamérica. Finalmente, se presentan algunas conclusiones generales sobre los problemas y desafíos que presentan los procesos de transferencia y participación relacionados el desarrollo de SB en Iberoamérica y su potencialidad para generar procesos de adecuación socio-técnica. Asimismo, en los apartados III.1 y III.2 se presentan algunos ejemplos concretos de mecanismos de transferencia y participación desarrollados en Chile y Colombia.

*Correspondencia: Dr Santiago Garrido. Dirección postal: Roque Sáenz Peña 352, B1876 Bernal, Buenos Aires. E-mail: santiagomgarrido@gmail.com

1. Introducción

El uso y manejo eficiente de la biomasa sólida y su valorización energética térmica, representa una alternativa de acceso a energía renovable, localmente disponible, socialmente adaptable y contribuye a la reducción de emisiones de GEI y minimización

de impactos ambientales sobre el territorio. Desarrollar este potencial, sin embargo, presenta múltiples desafíos asociados a diferentes cambios en las prácticas cotidianas en términos sociales, económicos y culturales.

Por este motivo, es necesario desarrollar técnicas y estrategias participativas utilizadas para la aplicación de puesta en marcha de Sistemas Bioenergéticos (SB) rurales; esquemas de inclusión; enfoques de equidad de género; mecanismos de accesibilidad y apropiación; experiencias de adaptabilidad al usuario y contexto territorial.

Los procesos de participación por parte de los actores sociales beneficiarios de este tipo de tecnologías, suele ser el foco central de las críticas que reciben los modelos tradicionales de transferencia tecnológica, a la que proponen reemplazar por metodologías participativas. Estas metodologías surgieron como alternativas que permiten incorporar la visión y opinión de los usuarios, la singularidad de las comunidades, y la necesidad de generar espacios de trabajo conjunto entre técnicos y comunidades, planteando colectivamente tanto la necesidad a resolver como las soluciones o alternativas posibles a adoptar.

En el desarrollo de estas metodologías participativas, se destaca la relevancia que tienen los usuarios en el proceso de diseño, desarrollo e implementación de los proyectos orientados a la resolución de problemas sociales locales como lo es el acceso a recursos energéticos. Los procesos de adopción de tecnologías están usualmente atravesados por diversas tensiones entre los generadores y promotores de las tecnologías y los potenciales usuarios. De este modo, contrariamente a la noción de transferencia, que presume la identidad permanente de un artefacto o una tecnología, independientemente del escenario socio-histórico concreto en el que se lo inserta, la adopción de tecnologías implica necesariamente procesos de producción y de construcción social de la utilidad y funcionamiento de las tecnologías donde participan diferentes actores involucrados (usuarios, beneficiarios, funcionarios públicos, integrantes de ONG, etc.) (Thomas et al., 2017).

En el proceso de diseño y adopción de SB rurales pueden emerger múltiples antagonismos de tipo social o cultural. Para superar este tipo de problemas que pueden provocar el rechazo o la no adopción de determinadas alternativas tecnológicas, se suele proponer el reconocimiento de la red de actores que operan, cuáles serán sus intereses y roles; y principalmente trabajar bajo el concepto de participación. La misma implica el trabajo colectivo de varias personas tanto en la determinación de los objetivos como en la definición de los caminos para llegar a ellos.

En el marco de estos procesos participativos se articulan, al menos, dos tipos de conocimiento (por un lado, la visión del técnico y por otro la del usuario), implicando la aceptación y el reconocimiento del "otro" como portador de saberes y no como alguien a consultar solamente. En este sentido, es clave definir la participación de los usuarios o beneficiarios en las diferentes etapas del proceso de conceptualización, planificación, desarrollo e instrumentación de los proyectos que buscan promover la apropiación y uso de estas tecnologías. Los conocimientos que pueden aportar los potenciales usuarios o beneficiarios pueden ser técnicos, pero sobre todo pueden responder a cuestiones de organización, relacionados principalmente a las prácticas culturales, sociales y políticas.

En los últimos años, se ha extendido un amplio consenso sobre la necesidad de fomentar el involucramiento de usuarios en los procesos de adopción de soluciones tecnológicas para problemas sociales y ambientales. Este involucramiento de usuarios activos es

definido como una "buena práctica" inclusiva, pero ¿qué implica esta participación y cuál es su alcance en la práctica? A grandes rasgos se puede realizar una clasificación en tres modelos estilizados de formas de participación (Bortz y Garrido, en prensa):

1) Los usuarios como meros consumidores y concentración de las decisiones tecnológicas en empresas, instituciones de I+D, técnicos u organismos gubernamentales;
2) Involucramiento de usuarios intermedios en la generación de adaptaciones tecnológicas (mediadores), participación en redes de comercialización a baja escala a través de redes locales, instancias de consulta, aunque empresas, técnicos u otros organismos retengan la capacidad de tomar las principales decisiones;
3) Involucramiento en la selección de materiales y tecnologías, y el co-diseño por parte de los propios usuarios.

Estas formas de participación pueden ser analizadas a partir de cuatro ejes-pregunta:

a) *Dificultades para definir qué actores participan (quiénes);*

El análisis participativo no logra dar cuenta de la pluralidad de partes interesadas involucradas en proyectos de desarrollo comunitario. Conceptualizaciones binarias de uso frecuente tales como expertos-públicos, expertos-laicos, gobiernos-ciudadanos, tecnólogos-usuarios, profesionales-la comunidad, tienden a pasar por alto la agencia de los actores y tratan estas categorías como monolíticas y no problemáticas, lo que dificulta un análisis empírico más profundo. Entender quién participa requiere, primero, cuestionar la noción de público, considerando que las personas locales involucradas no son una audiencia indefinida, sino usuarios / beneficiarios / no usuarios / rechazadores definidos con conocimiento preexistente de su configuración y problemas. En segundo lugar, cuestionar quiénes son los expertos, ya que el diseño y la implementación de estas iniciativas de desarrollo local y la construcción de su adecuación en entornos definidos requieren una gama de conocimientos heterogéneos (sociales, políticos, logísticos, productivos, etc.) que van más allá de las competencias tecno-científicas.

b) *Las modalidades de participación y en qué medida implican una participación significativa (cómo);*

Existen diferentes tipologías para distinguir entre las formas de participación, lo que representa un continuo para la participación ciudadana que va desde la no participación hasta las modalidades simbólicas (información, consulta) y el poder ciudadano (asociación, poder delegado, control ciudadano). Los primeros son aquellos mecanismos de participación creados por tecnólogos, agencias de políticas o profesionales de desarrollo comunitario con una agenda predeterminada. Las últimas, se definen como aquellas en las que los actores crean espacios de participación para sí mismos, independientemente de la formulación de políticas institucionales.

c) *El propósito de la participación (para qué);*

Pueden abarcar desde interacciones adversas limitadas donde los diferentes grupos intentan gobernar el desarrollo tecnológico hasta un compromiso más constructivo entre los expertos que interactúan y están de acuerdo con objetivos comunes. La participación se ha considerado una forma de abordar la exclusión social y las desigualdades, fortaleciendo la agencia y la voz de los grupos desfavorecidos. A medida que las desigualdades socioeconómicas se articulan invariablemente con las

desigualdades de conocimiento, se considera que el fomento de esquemas participativos capacita a los actores para configurar su entorno y los procesos de toma de decisiones que son importantes para su propio bienestar.

d) *El momento para la participación, entendiendo la participación como un proceso dinámico y cambiante (cuándo).*

El momento en el que se lleva a cabo la participación es importante: ¿se incluyeron actores desde las primeras etapas del proceso tecnológico (por ejemplo, en el encuadre de problemas) o después de que se hayan tomado decisiones? ¿Participaron en el diseño de la tecnología o solo en las últimas etapas del desarrollo de la tecnología (pruebas, adaptación, uso)? ¿Hubo alguna evaluación colectiva de los resultados?

Para entender las dinámicas participativas, la temporalidad de las interacciones es crucial de dos maneras. En primer lugar, afecta la capacidad de los actores locales para influir en la toma de decisiones. En segundo lugar, solo la interacción que se mantiene a lo largo del tiempo permite generar confianza entre partes heterogéneas y fomentar procesos de aprendizaje informal acumulativos mediante dinámicas participativas. En el caso de Iberoamérica, en términos generales, se pueden identificar diferentes formas en las que los procesos de transferencia y participación se desarrollan.

2. Presente de la participación y transferencia en Iberoamérica

Los procesos de transferencia y participación relacionados el desarrollo de SB en Iberoamérica se puede clasificar a partir de diferentes variables. Por un lado, se pueden identificar procesos basados en la implementación de políticas públicas impulsadas por diferentes organismos del estado y orientadas a promover instancias de participación ciudadana. Como contrapartida, se pueden identificar otros procesos que surgen a partir de demandas sociales específicas promovidas por organizaciones y movimientos sociales o determinados grupos de interés informales. Asimismo, estos mecanismos aparecen cruzados por otras variables según el tipo de objetivo y el alcance desde procesos de transferencia orientada a favorecer la adopción de cierto tipo de tecnología por parte de empresas o usuarios finales, hasta instancias de participación ciudadana sobre políticas ambientales o la implementación de proyectos productivos. En este sentido, se ha puesto mucho énfasis en los últimos años en generar espacios de participación que contemplen la voz y los intereses de pueblos originarios (en América Latina es un tema crucial) y la incorporación de problemáticas y perspectiva de género.

A continuación se propone una caracterización de este tipo de procesos:

a) Mecanismos de Transferencia tecnológica

El concepto de transferencia tecnológica se impuso en los debates acerca del desarrollo económico de la mano del llamando modelo lineal de innovación basado en una separación clara de los espacios de producción y de adopción de innovaciones tecnológicas. Según este modelo, el conocimiento científico (desarrollado en laboratorios y centros de investigación) es transferido luego al sector productivo para convertirse en nuevos bienes y servicios y luego a los usuarios finales a través del mercado (Gardner, Fong y Huang, 2010; Seppo y Lilles, 2012).

El concepto de transferencia, está tan arraigado en el sentido común de quienes toman decisiones en universidades y otras instituciones científico-tecnológicas, que en casi todas estas existen direcciones, secretarías u oficinas de transferencia tecnológica. Son

justamente estas dependencias especializadas que suelen adoptar diferentes mecanismos de transferencia tecnológica expresados en una multiplicidad de actividades e iniciativas que tienen como objetivo conectar el mundo académico con los negocios y la sociedad (Britto, 2017):

1. Licenciamiento de propiedad intelectual
2. Desarrollo de spin off
3. Desarrollo de start ups
4. Contratos de I+D
5. Servicios y consultorías
6. Investigación conjunta con empresas
7. Investigación conjunta con instituciones públicas
8. Formación de recursos humanos para el sector productivo
9. Formación de recursos humanos para el sector gubernamental
10. Publicaciones conjuntas (público-privado)
11. Co-Dirección de tesis en empresas
12. Infraestructura para transferencia de tecnología
13. Prácticas profesionales
14. Investigadores/becarios en empresas
15. Conferencias conjuntas
16. Redes público-privadas

Como se puede observar en este listado, los niveles de participación que presentan son muy limitados. Se reducen al vínculo entre los centros de investigación y desarrollo y empresas, que puede definirse en una relación entre diferentes grupos de expertos. No se percibe la incorporación de usuarios finales de las tecnologías y otros grupos sociales interesados por el desarrollo y uso de esas tecnologías (posibles afectados por sus efectos en términos laborales, ambientales o económicos).

Por otro lado, este tipo de procesos no son significativos todavía para el desarrollo de sistemas bioenergéticos. Sólo se pueden identificar experiencias orientadas al desarrollo de cultivos energéticos y algunos proyectos de mejora de los procesos post-cosecha para recuperar un mayor volumen de biomasa aprovechable para su uso energético (más vinculados a la actividad agrícola).

Los procesos de transferencia que si han tenido gran relevancia en los países iberoamericanos es la que desarrollan las empresas proveedoras de equipos de generación de energía a partir de biomasa. Estas empresas desarrollan diferentes mecanismos de transferencia que pueden incluir capacitaciones, licenciamiento, contratos de operación y mantenimiento y acuerdos de desarrollo tecnológico conjunto. Al igual que los mecanismos de transferencias desarrollados por universidades y centros de investigación, las experiencias de transferencia impulsadas por empresas no presentan grandes espacios de participación.

Otro tipo de transferencia tecnológica que se desarrolla en el campo de la bioenergía es la asociada al desarrollo e implementación de tecnologías orientadas a resolver problemas sociales y ambientales. Este tipo de tecnologías suelen vincularse a temas como la producción de alimentos, energía, hábitat o salud. En estos casos, se utiliza la misma terminología asociada a la transferencia de conocimientos reproduciendo el modelo lineal. Estos proyectos y experiencias forman parte de las actividades que en algunos países se denominan de extensión que se asocian a la vinculación de las universidades e instituciones de ciencia y tecnología con la sociedad.

En la mayoría de los casos, los procesos de adopción y apropiación de tecnologías están atravesados por diversas tensiones entre los generadores y promotores de las tecnologías y los potenciales usuarios/adoptantes. La noción de transferencia imperante en estos proyectos no contempla las particularidades de los escenarios socio-históricos concretos en los que se insertan las tecnologías, ni la participación de usuarios, beneficiarios o funcionarios públicos locales. Sin embargo, en los últimos años se fueron desarrollando proyectos y experiencias críticas frente al modelo tradicional de transferencia, que exploran el potencial de metodologías alternativas como la de investigación acción participativa. Los mismos parten de la incorporación de la visión y opinión de los usuarios, la singularidad de las comunidades, y la necesidad de generar espacios de trabajo conjunto entre técnicos y comunidad, planteando colectivamente tanto la necesidad a resolver como la solución o alternativas posibles de adoptar.

b) Mecanismos de Participación

Los proyectos de aprovechamiento energético de recursos biomásicos entre pobladores rurales y urbanos-marginales, son promovidos, en la mayoría de los casos, por parte de diferentes tipos de organismos públicos y en menor medida por organizaciones no gubernamentales. Los proyectos impulsados por organismos públicos son llevados a cabo por técnicos e investigadores que promueven mecanismos participativos limitados a procesos capacitación en el uso de las tecnologías a ser transferidas.

Talleres participativos o mesas de trabajo

En algunos casos se han impulsado procesos participativos orientados al fortalecimiento de formas de organización socio-comunitarias a través de herramientas como los talleres participativos. Este tipo de mecanismo suele implementarse a través de diferentes técnicas de trabajo grupal dirigidas a diferentes objetivos: diagnóstico, planificación, evaluación, sistematización de información, monitoreo de proyectos y capacitación. Esta tecnología organizacional es ampliamente utilizada para la implementación de proyectos de desarrollo local promovidos por movimientos sociales y ONG. Sin embargo, también fueron incorporados como herramientas de política pública por los gobiernos locales y otras instituciones estatales en la mayoría de los países iberoamericanos.

En el caso de proyectos y experiencias relacionados al desarrollo de SB, los talleres participativos suelen desarrollarse en términos de concientización ambiental y capacitación en el uso de nuevas tecnologías para el aprovechamiento de biomasa. En otros casos, este tipo de mecanismo se utiliza como herramienta de planificación en términos de gestión ambiental o territorial. Sin embargo, en todos los casos, los talleres participativos son herramientas que se utilizan en un momento determinado (en general al comienzo de un proyecto) y no perduran en el tiempo. Asimismo, su incorporación en el diseño y la planificación de proyectos de desarrollo suele cumplir una función de legitimador de ciertas decisiones que toman los técnicos y los investigadores (presentándolas como producto de un proceso participativo).

Para lograr que los procesos participativos tengan una mayor continuidad en el tiempo, en otros casos se opta por la implementación de mesas de gestión local.

Mesas de gestión local

Las mesas de gestión local se presentan como una forma de democratizar diferentes políticas de desarrollo local. Una nueva forma de planificar e implementar proyectos de

desarrollo local de manera participativa con una intervención activa de las poblaciones locales en los procesos de toma de decisiones. A diferencia de los talleres participativos, las mesas de gestión local son pensadas como mecanismos permanentes que diseñan, planifican, gestionan y evalúan proyectos de desarrollo.

Estas mesas pueden tener diferente escala y alcance. Pueden operar a nivel de pequeñas comunidades rurales, pequeñas ciudades o pueblos y hasta municipios o provincias. Esto depende de la problemática que se busca abordar en cada caso. La composición de las mesas de gestión local también puede variar según el caso. Pueden incluir autoridades políticas locales, técnicos especializados, referentes comunitarios, productores o, incluso, comunidades enteras.

En el caso de los SB, estos mecanismos se suelen implementar para sostener procesos de gestión territorial y ambiental. De este modo, no se reducen sólo a la implementación de proyectos concretos, sino que incluyen dinámicas productivas, sociales, económicas y ambientales. Algunos ejemplos de este tipo de experiencias se relacionan a procesos de manejo de residuos forestales o agropecuarios vinculados a proyectos de bioenergía. El desarrollo de este tipo de mecanismos de participación se complementa con otras estrategias de transferencia y difusión de tecnologías que son los proyectos demostrativos.

Proyectos demostrativos

Los proyectos de investigación en energías renovables, que involucran diseño y desarrollo de sistemas y tecnologías, requieren concretar procesos de experimentación, testeo y puesta a punto. En el caso de los SB, estos procesos necesitan una articulación con el sector productivo proveedor de los recursos bioenergéticos. Es por ello, que en muchas ocasiones se desarrollan proyectos o instalaciones demostrativas que permiten realizar la experimentación y al mismo tiempo generar un proceso de vinculación con el medio productivo local. Estos proyectos demostrativos suelen ser impulsados por centros de investigación que ponen a prueba determinados desarrollos tecnológicos y al mismo tiempo promueven su adopción por parte de potenciales usuarios o beneficiarios. Estos proyectos pueden ser orientados hacia el sector productivo y las empresas, o por usuarios particulares.

Este tipo de proyectos pueden ser desarrollados por instituciones públicas, universidades o centros de investigación en instalaciones propias. En estos casos, se busca realizar visitas, talleres y capacitaciones con diferentes actores interesados para incentivar la adopción de estas tecnologías. Los ejemplos típicos son las plantas experimentales de generación eléctrica basadas en el uso de biomasa, gasificadores o biodigestores. En otros casos, las instalaciones son realizadas en empresas privadas a través de convenios de cooperación con organismos de investigación científica.

Finalmente, se pueden mencionar otro tipo de proyectos demostrativos que son los desarrollados con pobladores rurales en sus propias viviendas. Un ejemplo claro de este tipo, es la construcción de estufas a leña de alto rendimiento para uso residencial. En estos casos, se suelen realizar talleres de autoconstrucción en una vivienda con su dueño y otros integrantes de la comunidad. De este modo, todos pueden aprender a construir este tipo de artefacto y pueden evaluar sus beneficios. Salvo este último caso, los proyectos demostrativos presentan dinámicas de participación bastante limitadas. En general, son formas indirectas donde el rol de los potenciales usuarios y beneficiarios es pasivo (observar y aprender).

En muchos países de Iberoamérica, los procesos de participación exceden las experiencias de transferencia de tecnologías. En sintonía, existen:

Procesos de Participación ciudadana

En muchos países iberoamericanos se ha implementado legislación orientada a promover procesos de conservación ambiental a través de normativas de gestión ambiental y/o ordenamiento territorial. Muchas de estas leyes contemplan la incorporación de diferentes procesos de participación ciudadana. En algunos casos la participación está asociada a instancias formales como audiencias públicas en las que se deben informar medidas y acciones específicas. Muchas de estas audiencias no son de tipo vinculante (son meramente informativas). En otros casos, se pueden implementar procesos consulta (que pueden llegar a ser vinculante a la toma de decisiones) a través de diferentes mecanismos directos o indirectos. Estas consultas pueden extenderse a toda la población interesada o sectores específicos como comunidades de pueblos originarios.

Asociadas a estos procesos de participación ciudadana se pueden identificar diferentes mecanismos que involucran formas de participación de diferente intensidad. Entre las formas de menor intensidad podemos señalar a la implementación de encuestas y grupos focales en las que la participación se reduce al aporte de información que después utilizada por grupos de expertos.

Otros mecanismos que se pueden incluir entre estas formas de participación, son las campañas de ecoalfabetización que también pueden ir desde las simples campañas de concientización ambiental al desarrollo de talleres y procesos de transferencia de tecnología.

Algunos de estos procesos se vinculan de forma directa o indirecta con el desarrollo de SB. Por un lado, las consultas públicas relacionadas con el impacto ambiental asociado al desarrollo de plantas de generación basadas en el uso de biomasa agrícola o forestal o plantas de biodigestión. Por el otro, procesos de ordenamiento territorial relacionados al manejo de bosques nativos, gestión de residuos y manejo del uso de leña en ámbitos rurales o periurbanos.

3. Capítulos de la Sección III

Se incluyen tres capítulos en esta Sección, que fueron insumos para el armado de la misma: el caso de Chile (capítulo III.1), el caso de Colombia (capítulo III.2) y un ejemplo de cómo incorporar la percepción social sobre aspectos vinculados a las cadenas energéticas de biomasa en Costa Rica (capítulo III.3).

4. Conclusiones y visión de futuro de los mecanismos de participación y transferencia en Iberoamérica

Los procesos de participación y transferencia, siguen siendo uno de los aspectos menos desarrollados en la implementación de SB en Iberoamérica. Entre las principales limitaciones que se pueden identificar se destaca la dificultad de generar instancias de participación ampliada. En la mayoría de los casos se reduce a pocos actores y, en general, no se tiene en cuenta la representatividad en términos culturales, étnicos o de género. Esta tendencia se viene revirtiendo paulatinamente, en muchos casos a partir de las exigencias de los sistemas de financiamiento internacional.

Otro aspecto deficitario de los mecanismos de participación y transferencia es el alcance de la participación. Puntualmente, hay mecanismos que presentan formas muy superficiales o incluso simbólicas como instancias de información o consulta, que operan casi exclusivamente como formas de legitimación de decisiones tomadas previamente.

En este sentido, resulta relevante generar mecanismos que permitan desarrollar procesos de participación y de transferencia que favorezcan la incorporación de la mayor cantidad de actores involucrados desde un primer momento (definición del problema a resolver, toma de decisiones, diseño de la solución tecnológica, etc.).

A pesar de estas limitaciones, es significativa la larga experiencia acumulada a través de los años en el desarrollo de proyectos de desarrollo a través de organizaciones sociales y ONGs desde la década de 1960. Asimismo, también se destaca una creciente participación ciudadana en procesos de gestión y de evaluación ambiental. Estas instancias de participación se vienen incorporando de manera progresiva a través de nuevos marcos legales que exigen procesos de licencia social o consulta para el desarrollo de proyectos tecnológicos. Por otro lado, también muestran un significativo aumento las acciones impulsadas a través de grupos sociales interesados y movimientos sociales.

Otra de las fortalezas que presenta la región es la incorporación de incentivos para el sector académico y científico-tecnológico para promover procesos participativos. Estos incentivos se expresan en líneas de financiamiento específicas y en los sistemas de evaluación del sistema científico.

Entre las acciones que se pueden desarrollar para fortalecer los procesos de participación y transferencia, se puede profundizar en la incorporación de nuevos conocimientos en la formación de técnicos especializados. Estos conocimientos pueden estar orientados a generar capacidades para comprender problemáticas socio-culturales y para administrar situaciones de conflicto. Asimismo, se puede impulsar la conformación de equipos multidisciplinarios al momento de implementar nuevos proyectos o para operar sobre problemas generados en proyectos ya existentes.

Otro aspecto para revisar es modificar la temporalidad de los proyectos promoviendo el desarrollo de experiencias de más largo plazo que garanticen procesos de seguimiento una vez culminada la etapa de diseño y puesta en marcha de los sistemas tecnológicos. De este modo, se puede evitar que los proyectos (sobre todos los pensados a nivel comunitario) sean abandonados una vez que los técnicos dejan el terreno. Asimismo, los procesos de seguimiento permiten obtener nueva información y generación de conocimiento útil para la mejora de los procesos de desarrollo tecnológico, participación, transferencia y adecuación socio-técnica.

5. Referencias de la Sección III

Bortz, G. y Garrido S. (en prensa), "Who, How, When, Where, and Why? Experimenting with participatory innovation for inclusive and sustainable development in Latin America", Science as Culture.

Britto, F. A. (2017). Análisis de indicadores de transferencia tecnológica por parte de grupos de investigación. Una propuesta basada en la adaptación de los canales utilizados en la relación Universidad-Empresa, Informe técnico No 7, Buenos Aires, CIECTI.

Gardner, P. L., Fong, A.Y. y Huang, R.L. (2010). Measuring the impact of knowledge transfer from public research organisations: a comparison of metrics used around the world. *International Journal of Learning and Intellectual Capital*, ***7***, (3,4) 318-327.

Seppo, M. y A. Lilles (2012). *Indicators Measuring University-Industry Cooperation Discussions on Estonian Economic Policy*, **20**(1), 204.

Thomas, H., L. Becerra, M. Fressoli, S. Garrido and P. Juarez (2017), Theoretical and Policy Failures in Technologies and Innovation for Social Inclusion. In Kuhlmann, S. and G. Ordóñez-Matamoros (Eds.), Research Handbook on Innovation Governance for Emerging Economies: Towards Better Models, Londres, Edward Elgar, pp. 493-519.

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar III- Transferencia, 2020: 198-202
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editor: S.Garrido

III.1. Mecanismos de Participación y Transferencia en Chile para la Biomasa

María Luisa Ojeda[1*], Humberto Vidal[1]

[1]*Centro de Estudio de los Recursos Energéticos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile.*

RESUMEN. La participación de la ciudadanía en los temas energéticos de Chile, tiene sus inicios en los años 90, a través de los mecanismos de participación en la evaluación ambiental de proyectos de inversión, es decir, se generó con la institucionalidad ambiental. Hoy en día, sumado a esto, se han desarrollado mecanismos de consulta pública, de políticas, estrategias, normas y reglamentos que permiten a la comunidad pronunciarse, en un tiempo definido, sobres diferentes materias, incluida el uso de la biomasa, sin embargo, sólo en los temas ambientales, dicha participación es vinculante con las decisiones finales. Falta camino por recorrer, pero un paso hacia una participación más efectiva, ha sido el desarrollo de estrategias energéticas locales, que entregan a los municipios y comunidad un rol más relevante en la planificación energética.

*Correspondencia: Mg. Ing. María Luisa Ojeda; CERE-Universidad de Magallanes, Avenida Bulnes N°01855, Punta Arenas, Chile; E-mail: maría.ojeda@umag.cl

1. Introducción

Los procesos de participación de la ciudadanía en la toma de decisiones, asociadas a la temática de uso de la biomasa o la bioenergía, se encuentran estrechamente relacionados con las políticas ambientales y energéticas chilenas, y en específico con algunos instrumentos de gestión de carácter obligatorio. De igual forma, se han generado instancias de participación más espontáneas, desde la ciudadanía, como parte de procesos de demanda ciudadana.

2. Mecanismos de Participación

La Ley N°19.300 de Bases del Medio Ambiente (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 1994) y su modificación (Ley N°20.417 de Ministerio de Medio Ambiente, 2010), han establecido mecanismos de participación, a través de instrumentos de gestión ambiental, donde la participación de la ciudadanía, puede llegar a ser vinculante a la toma de decisiones. Dentro de estos instrumentos, se puede destacar:

a) Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Es un instrumento regulado por un proceso administrativo en el cual aquellos proyectos o actividades susceptibles de

causar impactos al medio ambiente, se deben someter a una evaluación ambiental, por parte de los órganos de la administración del Estado con competencia. Este proceso contempla la participación de la ciudadanía, a través de la opinión fundada en los estudios de impacto ambiental y en menor forma, en algunas declaraciones de impactos ambiental según lo establecido por el Título V del Decreto N°40 que aprueba el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (Ministerio de Medio Ambiente de Chile, 2013-a). Este reglamento contempla además un proceso de consulta a los Pueblos Indígenas directamente afectados por el proyecto. Dentro de los proyectos o actividades a ser evaluadas se consideran:

- Por letra b) del Art. 3, las Centrales generadoras de energía mayores a 3 MW, donde se encuentran también las que utilizan biomasa.
- Por letra k.1) del Art. 3, las Instalaciones fabriles cuya potencia instalada sea igual o superior a dos mil kilovoltios-ampere (2.000 KVA), determinada por la suma de las capacidades de los transformadores de un establecimiento industrial. Tratándose de instalaciones fabriles en que se utilice más de un tipo de energía y/o combustibles, el límite de dos mil kilovoltios- ampere (2.000 KVA) considerará la suma equivalente de los distintos tipos de energía y/o combustibles utilizados, donde el uso de biomasa puede estar definido.
- Por letra o.5), las Plantas de tratamiento y/o disposición de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, estaciones de transferencia y centros de acopio y clasificación que atiendan a una población igual o mayor a cinco mil (5.000) habitantes.
- Por letra o.8) Sistemas de tratamiento, disposición y/o eliminación de residuos industriales sólidos con una capacidad igual o mayor a treinta toneladas día (30 t/día) de tratamiento o igual o superior a cincuenta toneladas (50 t) de disposición.
- Por letra p), la Ejecución de obras, programas o actividades en parques nacionales, reservas nacionales, monumentos naturales, reservas de zonas vírgenes, santuarios de la naturaleza, parques marinos, reservas marinas o en cualesquiera otras áreas colocadas bajo protección oficial, en los casos en que la legislación respectiva lo permita.

El SEIA entró en vigencia el 3 de abril de 1997. Desde su aplicación, más de 10.000 proyectos o actividades se han aprobado en el SEIA, lo que ha permitido que el país haya logrado un cambio sustancial en la forma de construir el futuro, al poder prevenir los impactos que puedan generar las inversiones públicas y privadas, o hacer que, cuando se generan impactos adversos significativos, exista una mitigación.

Las tipologías de proyectos anteriormente indicadas, han permitido integrar en la mayoría de los casos observaciones ciudadanas, a proyectos de generación y cogeneración mediante combustión de biomasa (a partir de residuos forestales y agrícolas), plantas de producción de biogás (a partir del tratamiento biológico de purines y residuos agropecuarios), uso de calderas a biomasa (astillas de residuos forestales) entre otros.

b) Planes de Prevención y Descontaminación. El Plan de Prevención es un instrumento de gestión ambiental, que a través de la definición e implementación de medidas y acciones específicas, tiene por finalidad evitar la superación de una o más normas de calidad ambiental primaria o secundaria, en una zona latente; El Plan de Descontaminación, por su parte, es un instrumento de gestión ambiental que, a través

de la definición e implementación de medidas y acciones específicas, tiene por finalidad recuperar los niveles señalados en las normas primarias y/o secundarias de calidad ambiental de una zona calificada como saturada por uno o más contaminantes. Estos planes según lo estipulado en el Art. 10 del Decreto N°39, que aprueba el Reglamento para la dictación de Planes de Prevención y de Descontaminación (Ministerio de Medio Ambiente de Chile, 2013-b), contemplan una etapa de la consulta pública, donde la ciudanía puede hacer sus observaciones, y una etapa de evaluación de dichas observaciones, que, de ser fundadas, se consideran parte del plan.

Los planes indicados, y en específico los Planes de Descontaminación Atmosférica (Ministerio de Medio Ambiente, 2019), como el de las ciudades de Temuco y Padre Las Casas han permitido llevar adelante algunos programas emblemáticos como del de "Recambio de Calefactores", coordinado por el Ministerio de Energía de Chile y otras instituciones relacionadas, donde se han sustituido en diversas localidades, calefactores a leña, por calefactores a pellet más eficiente. Estos planes se revisan cada 5 años, y estas revisiones contemplan una nueva etapa de consulta pública.

El Ministerio de Energía, ha constituido los denominados COSOC (Consejos de la Sociedad Civil), donde diferentes instituciones sociales, académicas y empresariales se ven representadas y emiten su opinión (no vinculante) sobre diferentes proyectos de Ley, normas, estrategias y planes de acción asociadas al tema energético. La biomasa y su uso como energético pueden formar parte de estas consultas específicas. Existe un COSOC nacional, y uno en cada región del país. Esto está amparado bajo la Ley N°20.500 sobre Asociaciones y Participación Ciudadana en la Gestión Pública (Ministerio Secretaría General de Gobierno, 2011), que contempla la participación en nuevas propuestas o modificaciones de reglamentaciones, las que se publican en un banner de consultas Ciudadanas de Ministerio de Energía.

Otro programa del Ministerio de Energía de Chile, que contempla la opinión de la ciudadanía es el de Comuna Energética, que tiene a su cargo el seguimiento en la elaboración de las Estrategias Energéticas Locales (EEL), instrumento de planificación energética que permiten los municipios contar con un Plan de Acción de corto, mediano y largo plazo y una cartera de proyectos y programas, levantada desde la ciudadanía mediante un procesos participativo donde se definen las prioridades de la comuna. En algunas de estas EEL, se han definido proyectos relacionados al uso de la biomasa como: planta piloto de producción de pellets a base de residuos forestales, diseño e implementación de secadores de leña para viviendas, barrio piloto de renovación térmica, leñeras eficientes, sistemas de calefacción distrital, fomento y recambio de estufas por equipos eficientes, planta de biomasa comunal que utilice residuos orgánicos animales y vegetales, entre otras iniciativas.

Otro proceso de participación, dirigido por el Ministerio de Energía de Chile, fue el desarrollado en la elaboración del documento, "Política de uso de la leña y sus derivados para calefacción" (Ministerio de Energía, 2015-b). Esta política fue fruto de un trabajo coordinado interinstitucional, que surge de un proceso participativo a través de las mesas de calefacción y leña desarrolladas en el centro sur de Chile. La visión contenida en esta política es dar los lineamientos y definir las líneas de trabajo de corto, mediano y largo plazo, asociados a los desafíos de mejorar la forma en que se produce, comercializa y consume la leña y sus derivados como principal fuente energética en la calefacción de las edificaciones en el país. Asimismo, la visión considera una evolución de la leña hacia productos con mayor valor agregado y

eficiencia y menores niveles de emisiones. En su desarrollo contempló el trabajo de mesas participativas, siendo una de las líneas de acción, la creación de la ‘‘Mesa de Calefacción y Leña’’, a nivel nacional y regional, desde el Libertador Bernardo O`Higgins hasta Aysén.

Es necesario mencionar que, en los últimos 5 años en Chile se han desarrollado una serie de políticas públicas participativas, donde el uso de la biomasa ha surgido como temática de relevante, más aún con la actual Ruta Energética 2018-2022 que tiene como meta descarbonizar la matriz energética nacional, entendiéndose esta ‘‘descarbonización’’ como la sustitución completa a largo plazo del carbón como energético para generación de electricidad.

Finalmente, dentro de los procesos ‘‘espontáneos’’ surgidos por liderazgos personales o grupales, se encuentran la ‘‘Mesa Ciudadana de Energía para Magallanes’’, donde a partir del trabajo de una ONG y una oficina parlamentaria, se elaboró un documento participativo sobre la utilización de energías renovables para la región de Magallanes, con diferentes actores relevantes del tema energético, representantes de la sociedad civil, como contrapropuesta al documento de la política que estaba liderando el gobierno.

3. Mecanismos de Transferencia

No existen en Chile, mecanismos de transferencia que estén totalmente desarrollados, la mayoría de las iniciativas de este tipo, corresponden a las implementadas por centros de investigación y universidades a través de proyectos individuales o de oficinas de transferencia y licenciamiento (OTL) creadas para estos fines. La CORFO (2016) llevó a cabo un estudio de caracterización de las actividades y resultados de los procesos de transferencia tecnológica desde los centros de conocimiento en Chile, sin embargo, a pesar que existe una abundante producción científica en los sectores agropecuarios y forestal, no se visualizan patentes o licencias asociadas directamente a la bioenergía, sino que estas se relacionan con temas de producción de vid, producción y aplicación de antioxidantes, conservación de frutas, producción de pinos (para uso maderero) y acuicultura.

Dentro de los mecanismos que se están manejando en Chile, además de las patentes y licenciamientos, CORFO y el Ministerio de Educación, se encuentran promoviendo fuertemente, a través de distintos concursos, el establecimiento de mecanismos tales como los contratos de I+D, licenciamiento y formación de empresas de base tecnológica (Spin-Off, Start-Up), además del fortalecimiento de Oficinas de Transferencia y Licenciamiento (OTL) en los principales centros de educación superior del país.

4. Referencias

Ministerio de Energía (2015-b). ‘‘Política de uso de la leña y sus derivados para calefacción’’, documento participativo del Ministerio de Energía, en conjunto con los ministerios de Medioambiente, Agricultura, Educación, Vivienda y Obras Públicas de Chile, y la Corporación de Fomento de la Producción. Santiago de Chile.

Ministerio de Medio Ambiente (2013-a). Decreto N°40 que aprueba el Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

Ministerio de Medio Ambiente (2013-b), Decreto N°39, que aprueba el Reglamento para la dictación de Planes de Prevención y de Descontaminación.

Ministerio de Medio Ambiente (2019). Documentos de Planes de Prevención y/o Descontaminación Atmosférica - PPDA. Recuperado de: https://ppda.mma.gob.cl/

Ministerio Secretaría General de Gobierno (2011). Ley N°20.500 sobre Asociaciones y Participación ciudadana en la Gestión Pública. Recuperada de https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1023143.

Ministerio Secretaría General de la Presidencia (1994). Ley N°19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente. Recuperado de: https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=30667

Ministerio Secretaría General de la Presidencia (2010). Ley N°20.417, que crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente. Recuperado de: https://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1010459.

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar III- Transferencia, 2020: 203-206
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editor: S.Garrido

III.2. Mecanismos de Participación y Transferencia. Ejemplo del Biogás como sustituto de leña en Colombia

José María Rincón Martínez[1*], Diana M. Durán Hernández[1]

1Centro de Desarrollo Industrial - Tecsol - Bogotá - Colombia

RESUMEN. La contaminación asociada al uso de combustibles sólidos en Colombia tiene un impacto negativo en la población más vulnerable y de menores ingresos. En el 2013 causó 2.89 muertes por cada 100.000 habitantes en niños y niñas menores de 5 años. En este contexto, en el presente documento se presenta el biogás como alternativa de sustituto de leña en Colombia dado que en el sector rural se tienen disponibles materias primas susceptibles de aprovechamiento por digestión anaerobia. En adición, la tecnología del biogás permite al usuario colaborar en la construcción, procesamiento y mantenimiento de la planta.

*Correspondencia: Dr José María Rincón. joserinconmartinez@gmail.com.

1. Introducción

Alrededor de 56 millones de personas en América Central y del Sur (11% de la población) no tenían acceso a fuentes limpias de cocina en 2017. En Colombia, se estima que la carga de enfermedad atribuida a la contaminación del aire generada principalmente por el uso de biomasa, usada como combustibles sólidos para la cocción de alimentos en fogones abiertos o estufas de mal funcionamiento con una combustión incompleta, generan efectos adversos en la salud, especialmente enfermedades respiratorias como la Enfermedad Pulmonar Obstructiva crónica (EPOC).

En cuanto se refiere al impacto en salud pública, la contaminación intramural derivada del uso de combustibles sólidos en Colombia tiene un impacto de grandes proporciones en la población más vulnerable y de menores ingresos. Algunas cifras son las siguientes:

- La contaminación del aire por uso de combustibles sólidos en Colombia causó 2.89 muertes por cada 100.000 habitantes en niños y niñas menores de 5 años de acuerdo a los datos reportados por el Estudio de Carga Global de la Enfermedad para 2013.
- Los costos por mortalidad prematura y atención de enfermedades superan los $3 billones de pesos, equivalentes al 0.38% del PIB del 2015.

- 42% de los casos de Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC) está relacionada con factores ambientales.
- La exposición promedio de las mujeres es 25 veces el nivel máximo recomendado por la OMS y 21 veces en el caso de los niños y niñas menores de 5 años.

Como solución al problema, el gobierno ha realizado una convocatoria que tiene por objeto la búsqueda de sistemas energéticos para la sustitución progresiva de la leña en el sector residencial. El sector residencial incluye el sector rural que es el principal interesado ya que en Colombia la mayoría de los poblados urbanos tienen acceso al gas natural como combustible para la cocción de los alimentos. En este sentido existen varias alternativas como: la extensión de la red del servicio de gas natural a los predios rurales, el suministro de Gas Licuado de Petróleo (GLP), el cambio de la estufa campesina y la instalación de sistema de generación de biogás en el campo utilizando los mismos desechos agrícolas y ganaderos.

No todas las opciones son válidas y su importancia depende de la región o localización de la zona. En una zona seca y árida el GLP puede ser la mejor opción, mientras que, en zonas ganaderas con bastante biomasa, la producción de biogás es la opción. Para el caso de poblados, los pellets y las estufas mejoradas tienen mayor valor en la selección ponderada para responder al problema. Es importante, para la valoración de la solución, tener en cuenta los hábitos culturales de la comunidad de cada zona; a manera de ejemplo las tribus indígenas tienen una visión diferente y no están interesados en adoptar nuevos desarrollos en sus comunidades.

Para la solución del problema, en nuestro caso, se colabora con la evaluación de la tecnología del biogás y se presenta como ejemplo de trabajo las posibilidades de aplicación de esta tecnología en el sector rural aprovechando que cuenta con las materias primas, y que los usuarios de la tecnología pueden colaborar en la construcción, procesamiento y mantenimiento de las plantas.

2. Tecnología de biogás

Las plantas de biogás a escala de granja rural tienen varios tamaños, diseños y tecnologías. Algunas son muy pequeñas y tecnológicamente simples, mientras que otras son bastante grandes y complejas, similares a las plantas de co-digestión centralizadas. Sin embargo, todos tienen un diseño de principio común: el estiércol se recoge en un tanque de pre-almacenamiento, cerca del digestor y se bombea al digestor, que es un tanque hermético a los gases, hecho de acero, plástico, tela u hormigón, aislado para mantener un proceso a temperatura constante.

Los digestores pueden ser horizontales o verticales, generalmente con sistemas de agitación, responsables de mezclar y homogeneizar el sustrato, y minimizar los riesgos de capas de natación y formación de sedimentos. El tamaño de los digestores determina la escala de las plantas de biogás.

En la práctica, la mayoría de los digestores son digestores verticales. Los digestores verticales generalmente se construyen en el sitio en tanques redondos de acero u hormigón armado, a menudo con un fondo cónico, para agitar y eliminar fácilmente los sedimentos.

Los digestores horizontales tienen un eje horizontal y una forma cilíndrica. Este tipo de digestores generalmente se fabrican y transportan al sitio de la planta de biogás en una sola pieza, por lo que su tamaño y volumen son limitados. El tipo estándar

para soluciones a pequeña escala es un tanque de acero horizontal de 50-150 m3, que se utiliza como digestor principal para plantas de biogás más pequeñas o como pre-digestores para plantas más grandes.

Los digestores de flujo continuo horizontal se utilizan generalmente para materias primas como estiércol de pollo, hierba, ensilaje de maíz o estiércol con un alto contenido de paja.

3. Participación y transferencia

El objetivo del proyecto es construir biodigestores en las granjas o fincas de la región utilizando las materias primas disponibles allí, obteniendo biogás para ser utilizado con energía térmica en las casas y un biofertilizante que mejore los cultivos y los pastos de la región, así se irá sustituyendo gradualmente el uso de la leña y se mejorará la calidad de vida de los hogares en las regiones más apartadas.

El biogás es de fácil instalación, economía y versatilidad en las materias primas que pueden utilizarse para su funcionamiento. El principal problema que se identifica en las zonas rurales de la región es el uso de leña que aún se presenta en la mayoría de las casas y la protección a los niños, es la principal tarea ya que es la más afectada por la contaminación y la recolección para lo cual es necesario, en algunos, casos hacer largos recorridos.

Para iniciar esta sustitución es necesario empezar con metas a corto plazo, esto permitirá adaptar la tecnología a la región y estandarizar las condiciones del proceso de acuerdo con las materias primas existentes. Se seleccionarán sitios de instalación demostrativa para los biodigestores, al cabo de dos años. Se espera crear un centro de investigación o laboratorio de biogás que colabore para replicar el modelo en toda la región.

Para la viabilidad del modelo de biodigestores es necesario dar un valor agregado a todos los subproductos del proceso, es decir:

- El biogás generado en las fincas reemplazará el uso de leña, esto proveerá de energía térmica a las casas y podrá ser utilizado en otros trabajos domésticos como la cocción de alimentos para la comida de los animales de corral y otros como la producción de electricidad a pequeña escala si es necesario. Se deben trasladar los subsidios de otros energéticos que ayuden al pago de los equipos.
- El bioabono sólido y líquido podrá ser utilizado en los cultivos y pastos, con lo cual se reduce la compra de fertilizantes químicos a otros proveedores asegurando una fertilización más limpia. En consecuencia, se mejora la rentabilidad del biodigestor.

La capacitación del personal de la región para la instalación y manejo de la tecnología (estudiantes, campesinos, profesionales, etc.) es una de las tareas fundamentales consideradas para el manejo de los biodigestores y la recolección de las materias primas necesarias para su funcionamiento permanente.

4. Desafíos a vencer

El costo de instalación de una planta de biogás, mantenimiento y confiabilidad son las principales barreras para una implementación más amplia de la tecnología de

biogás. Si bien la instalación de esta tecnología no es muy compleja, presenta los siguientes desafíos:

- Falta de normatividad y regulación para el biogás,
- El uso de leña en muchos sitios es una tradición familiar que se ha transmitido por generaciones, por tal motivo es difícil cambiar el pensamiento de las personas que han usado leña toda la vida,
- Para el mantenimiento de los biodigestores es pertinente el entrenamiento a las familias con el fin de no afectar su funcionamiento continuo, por esto la necesidad de contar con supervisión permanente para conseguir el cambio del hábito del campesino.

5. Referencias

Ministerio de Salud. (2017). El uso de estufas eficientes y su impacto en la promoción de la salud en el contexto colombiano (Issue 11). Recuperado en octubre 2019 de https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PES/papeles-salud-estufas-mejoradas-no-11.pdf

Observatorio Nacional de Salud. (2018). Carga de enfermedad ambiental en Colombia. In Informe Técnico Especial 10. Recuperado en octubre de 2019 de https://www.ins.gov.co/Direcciones/ONS/Informes/10 Carga de enfermedad ambiental en Colombia.pdf

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar III- Transferencia, 2020: 207-224
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editor: S.Garrido

III.3. Estudio de caso: percepción social del mercado de biomasa en Costa Rica

Dagoberto Arias Aguilar[1*], Juan Carlos Valverde Otárola[1], Rooel Campos Rodríguez[2], María Fernanda Jiménez Morales[2], Laura Brenes Peralta[2]

1Escuela de Ingeniería Forestal. Laboratorio ECOPLANT. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Alameda Maria Reiche Neuman 386 dpto. 105 Torres de San Borja

2Escuela de Agronegocios. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

RESUMEN. El caso de estudio analizó la percepción del mercado de biomasa con residuos forestales y agroindustriales en Costa Rica y su potencialidad de desarrollo bajo un esquema de economía circular; para lo cual se empleó un muestreo a productores, intermediarios y demandantes de biomasa arbórea y agroindustrial de la Zona Norte de Costa Rica, analizando el mercado desde la perspectiva técnica, ambiental, financiera y social e identificando las variables que limitan el mercado. Los resultados mostraron gran similitud entre el mercado agroindustrial y forestal, así como en los aspectos ambientales y sociales, con percepciones similares entre los sectores analizados; sin embargo, los aspectos financieros y técnicos presentaron diferenciaciones significativas, específicamente en el precio de la biomasa, homogeneidad de la misma (tanto especie como presentación) y los costos asociados, además de la competencia de otras fuentes de biomasa. Los análisis mostraron que la variabilidad de biomasa en cuanto presentación afecta en un 42,5% del mercado, la variación de especies el 24,8%, el contenido de humedad el 10,6%, disponibilidad de biomasa en el tiempo el 8,4%, organización y estructuración del mercado un 8,9% y otras variables el 6,8% siendo necesario una estructuración del mercado en cuanto a la venta de biomasa y una articulación entre oferentes y demandantes en conjunto a intermediarios fundamentales para la viabilidad del mercado de biomasa en Costa Rica.

*Correspondencia: Dr. Dagoberto Arias Aguilar, E-mail: darias@tec.ac.cr

1. Introducción

La economía mundial ha presentado un proceso de cambio en la última década producto de la revolución industrial 4.0 (Basco et al., 2018), aspecto que ha generado que las principales potencias económicas consideren la sustentabilidad en los procesos industriales en vías de generar productos de bajo impacto ambiental y en el que se considere la tridimensionalidad de la sustentabilidad productiva considerando aspectos ambientales, sociales y económicos (Prieto Sandoval et al., 2017) y no como se desarrolló en épocas anteriores que el componente económico era el de mayor relevancia (Ranis y Stewart, 2002). La búsqueda del equilibrio debe mantener aspectos

de calidad de los productos (Delgado Bustamante et al., 2018), cumplimiento de estándares sanitarios (Monreal, 2013) y optimización en el diseño en vías de la disminución de los residuos (Campos-Rodríguez et al., 2016).

La sustentabilidad productiva se enmarca en el concepto de bioeconomía o economía circular (Rodríguez-Vargas, 2019), la cual se define como como un modelo económico que tiene como objetivo el uso eficiente de los recursos a través de la minimización de residuos (Prieto Sandoval et al., 2017), la retención de valor a largo plazo (Fontúrbel, 2004), la reducción de uso de los recursos primarios (Altieri, 2001) y manejo responsable de los residuos, y materiales dentro de los límites de protección ambiental y bajo un marco productivo de beneficios socioeconómicos (Barbosa y Langer, 2011). La bioeconomía tiene el potencial de tolerar el desarrollo sostenible, al tiempo que desacopla el crecimiento económico de las consecuencias negativas como el agotamiento de los recursos y la degradación ambiental.

En el caso específico del sector energético, en las últimas décadas se ha dado un aumento constante en la demanda energética mundial (EPE, 2014), producto del crecimiento poblacional, incremento de las economías de los países en vías de desarrollo y automatización de los procesos productivos, siendo necesaria la obtención de fuentes energéticas eficientes y de bajo costo (Vázquez, 2015). Con la incorporación de elementos de bioeconomía, la generación energética debe ser sustentable y de bajo impacto ambiental, elementos que han incidido en que en las últimas décadas múltiples países desarrollados inviertan en investigación y desarrollo de equipos y técnicas de generación energética sustentable, destacando fuentes como la solar, eólica, hidráulica, geotérmica y biomasa vegetal como opciones sustentables (Merino, 2009).

Específicamente, la biomasa vegetal cobra importancia en las regiones tropicales debido a que las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa y precipitaciones) son óptimas para el crecimiento continuo de cultivos. Chávez Porras y Rodríguez González (2016) mencionan, que la facilidad de ciclos continuos de productos agrícolas y forestales en regiones tropicales permite disponer de altos volúmenes de biomasa para uso energético, ya sea por combustión directa, gasificación o refinamiento para generar biocompuestos y biocombustibles. Hernández Chaverri y Prado Barragán (2018) destacan que la biomasa tiene la ventaja ser una fuente energética adaptable a las distintas regiones del mundo, de tener un manejo financiero bajo, puede ser almacenada y su costo de producción es bajo, además que se puede adaptar a las necesidades de la región y se puede producir en sistemas dendroenergéticos o a partir de residuos agroindustriales.

Se estima que para la región tropical, los sistemas agrícolas y forestales generan seis millones de toneladas de biomasa seca al año, de la cual apenas un 26% se implementa en sistemas productivos complementarios y un 18% como generación energética (Carrillo, 2004), La mayoría de los residuos son desechados, quemados, enterrados y considerados como un estorbo del sistema productivo. Por tanto, dentro de una estrategia de bioeconomía se debe dar una implementación eficiente de los residuos, por lo que la generación energética se convierte en una opción interesante de implementación. En el caso específico de Costa Rica, desde el 2007 se ha iniciado un proceso de diversificación de la red energética del país (Zárate y Ramírez, 2016), en vías de que sea dispongan alternativas renovables que sustituyan la implementación de combustibles fósiles, aspecto que ha permitido en los últimos años cubrir el 95% de la demanda energética (Guzmán-Hernández et al., 2016).

Ante tal cambio, las nuevas tendencias económicas mundiales y el creciente mercado verde, se hace necesario promover la implementación de fuentes energéticas de bajo impacto ambiental, además de entender la percepción de los productores y demandantes de biomasa para uso energético, por lo que el presente estudio propuso como objetivo el caracterizar la percepción de uso de residuos forestales y agroindustriales en vías de un uso energético bajo el marco de una economía verde en Costa Rica.

2. Aspectos metodológicos

Colección de datos generales de residuos en Costa Rica

Se consultó a la Secretaría de Planificación del sub sector de energía de Costa Rica, además de los productores de cultivos forestales, agrícolas y de las distintas cámaras de productores agroindustriales con el fin de conocer los valores de biomasa generados; los datos se colectaron durante el año 2019.

Sujetos de estudio

El estudio desarrolló una encuesta entre junio del 2018 y enero del 2019. Se aplicó mediante la herramienta de encuesta digital de "Google forms" a 202 personas (Tabla 1), con una intensidad del muestreo del 4 % de las organizaciones y empresas registradas legalmente en Costa Rica. Se aplicó a empresas forestales (con las especies *Gmelina arborea* y *Tectona grandis*) y agroindutriales (*Elaeis guineensis* y *Coffea arabica*). La selección de las personas encuestadas se realizó bajo la limitante que debía tener experiencia en el mercado de biomasa nacional, por lo cual se seleccionaron previamente. El grupo de estudio se dividió en tres sub grupos: oferentes de biomasa (productores de residuos o productores de plantaciones con fines de generación de biomasa con fines energéticos), intermediarios (grupo que re vende la biomasa o le aplica un proceso que da un mayor valor agregado) y demandantes de biomasa (consumidor final de la biomasa). El estudio consideró la participación de encuestados en todo el país. En total se encuestaron 202 personas procedentes de los siguientes sectores productivos: 77 productores, 55 intermediarios y 70 demandantes.

Tabla 1. Características de la muestra de personas entrevistadas dentro del estudio de percepción del Mercado de la biomasa en Costa Rica.

Variable	Frecuencia	Porcentaje
	Género	
Hombres	124	61.39
Mujeres	78	38.61
	Edad	
20-35	61	29.76
35-50	101	50.00
50-65	40	20.24
	Estudios realizados	
Secundaria incompleta	11	5.44
Secundaria completa	12	5.94
Universitaria incompleta	21	10.41
Universitaria completa	158	78.21

Análisis de conocimiento del mercado

El estudio analizó el conocimiento básico del mercado de biomasa, para lo cual se enfocó en cuatro perspectivas: técnica, ambiental, financiera y social (Figura 1), realizando en cada una, de cinco a siete preguntas, las cuales buscaban una cuantificación de la respuesta; implementando una escala numérica del 1 al 5, siendo el valor 1 el mínimo de conocimiento y 5 el máximo (las preguntas previamente se analizaron con la prueba de fiabilidad de Alpha de Cronbach, con un α= 0,871). Con

los valores obtenidos se aplicó la ecuación 1, con la cual se pudo escalar el conocimiento analizado en una escala porcentual al 100, siendo este último el valor máximo de conocimiento:

$$CB\ (\%) = \left(\frac{V_r}{5}\right) \cdot 100\% \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde: *CB* es el conocimiento base y V_r es el valor promedio dado por el usuario encuestado a cada temática.

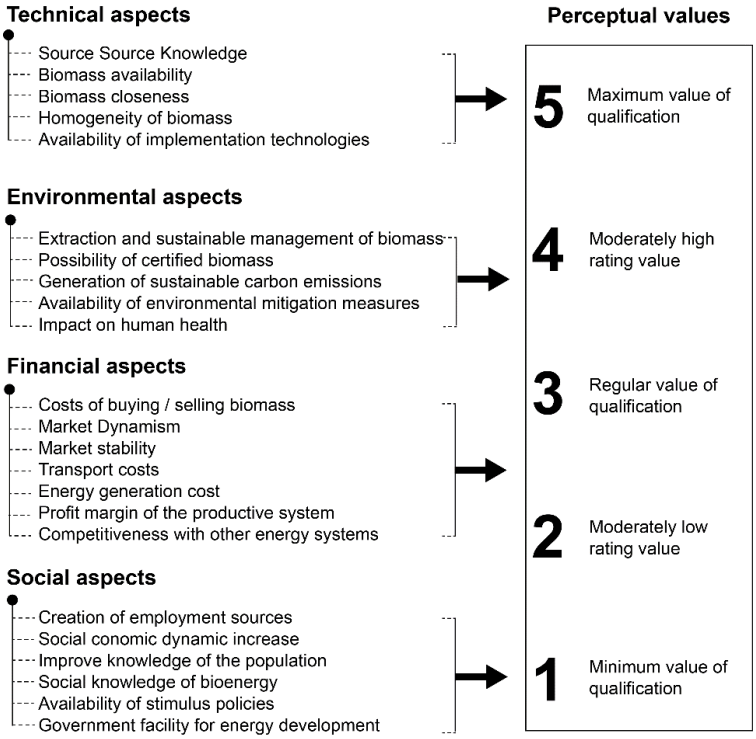


Figura 1. Aspectos evaluados en la caracterización de la oferta, intermediación y demanda de los sectores de la biomasa en Costa Rica.

Análisis de percepción

El análisis de percepción se desarrolló mediante parejas de adjetivos opuestos, los adjetivos calificativos se seleccionaron con el fin de entender la percepción cualitativa del mercado de biomasa. Las parejas de adjetivos se colocaron intrínsecos en las preguntas durante desarrollo de la prueba formal (de tres a cuatro) para que el encuestado respondiera con una escala numérica del 1 al 5 (siendo 1 el valor mínimo y 5 el valor máximo), a partir de la pareja de adjetivos. Para evitar errores por parte del grupo de estudio, previamente se realizó una prueba de fiabilidad de Alpha de Cronbach, con el fin de encontrar los grados de relación entre las preguntas y obteniendo un α= 0,869 (factor que explica una relación de las preguntas de cada temática mayor del 86%). Las parejas de adjetivos fueron: i. Complejidad, percepción del grado de estructuración de mercado nacional (complicado-simple); ii. Estabilidad, la oferta y demanda del mercado se mantienen en el tiempo (Estable-Inestable); iii. Dinamismo, el mercado se encuentra en constante cambio en la oferta/demanda de biomasa (estático-dinámico); iv. Rentabilidad, el mercado genera ganancias que justifiquen la oferta/demanda de biomasa (inviable-viable); v. Organización, el mercado tiene claro el tipo de biomasa que se requiere (desorganizado-organizado); vi. Competitividad, se tiene un mercado con una competencia significativa de compra/venta de biomasa (baja-elevada), vii. Negociabilidad, el mercado permite la negociación de precios de venta/demanda de biomasa (impermisible-permisible).

A los valores obtenidos se les aplicó la ecuación 1, para generar valores de 0 a 100 en donde los valores más cercanos a 0 tienen mayor relación al adjetivo negativo (definido como el calificativo minimizador), mientras que los valores más cercanos a 100 tienen relación al adjetivo positivo (definido como el calificativo maximizador).

Aspectos de las variables que afectan el mercado y la relación de oportunidad-riesgo
Seguidamente se analizaron las variables mediante las cuales se identificó que no hay claridad entre la percepción de oferentes, intermediarios y demandantes de biomasa, con el fin de identificar las variables que mostraron mayor variación, entre las que están: distancia de la biomasa al punto de uso (DB), costo de la fuente de energía competitiva (energía térmica) (CO), limitaciones de las políticas estatales (PL), disponibilidad tecnológica de transformación (TE), calidad de la biomasa (BQ), homogeneidad de la biomasa (BS), precio de la biomasa en el mercado (BC) y variabilidad de la biomasa en cuanto a las especies (BV) en el mercado de biomasa en Costa Rica. Cada una se cuantificó con escalas de 1 al 5, donde el valor 1 representó el valor mínimo de "no relevante" y 5 como valor máximo considerado "relevante", posteriormente a los valores obtenidos se les aplicó la ecuación 1.

Análisis estadístico
Primeramente, se realizó un análisis descriptivo de conocimientos técnicos, ambientales, financieros y sociales de los tres segmentos, para evidenciar las diferencias de cada una de las percepciones. Se aplicó para cada variable la prueba de Kruskal-Wallis (previamente se realizó prueba de supuestos de normalidad) para determinar la significancia entre los sectores, y para los que mostraron diferencias se les aplicó la prueba de Chi-cuadrado.

En el caso de la percepción adjetiva del mercado, se realizó la prueba no paramétrica de Siegel-Tukey para comparación de dos paquetes de información y definir el grado de similitud entre los tres segmentos de mercado. Mientras que el análisis que afecta el mercado y la relación oportunidad-riesgo se realizó mediante un análisis tipo SANN (Analysis/Deployment) a partir de la naturaleza de los datos, empleando primeramente un análisis de correlación de Kendall para identificar las variables en las que los sectores mostraran comportamientos distintos y posteriormente un análisis de componentes principales para identificar los sectores con discrepancias de percepción de cada aspecto analizado. En cuanto al análisis de los factores críticos y potenciales efectos de mejoras de las condiciones, se aplicó un análisis no paramétrico con la prueba de correlación de Kendall para determinar el grado de diferenciación entre los segmentos estudiados bajo las condiciones o elementos analizados, también se realizó una curva de factibilidad de uso de biomasa, para lo cual se implementó los datos de viabilidad analizados en la encuesta.

Los análisis estadísticos se realizaron con los programas ORIGIN Pro versión 2020 y R versión 3.6.2 con un nivel de significancia de 0,05.

3. Resultados

Residuos agroindustriales y forestales de Costa Rica
Se determinó que en Costa Rica anualmente se generan 504391 toneladas de residuos agroindustriales y forestales (Tabla 2). Solo en el sector productivo de residuos industriales se genera el 52% de la biomasa, correspondiente a los procesos industriales para obtención de productos de caña de azúcar, café, palma aceitera, entre otros. Los residuos forestales corresponden a los restos generados de la corta de árboles (ramas, hojas y raíz), además de residuos generados en el

procesamiento de la madera en productos (corteza, costilla, viruta, entre otros), caso similar a los cultivos frutales que corresponden residuos de ramas, árboles muertos y productos de baja calidad. Con respecto a granos básicos, el material disponible resulta de plantas de baja calidad en conjunto con residuos productivos como cascarilla de la semilla, residuos de flores o frutos inmaduros. En la Figura 2 se ilustran las principales fuentes de residuos agroindustriales y forestales en Costa Rica.

Tabla 2. Producción anual de biomasa forestal y agroindustrial en Costa Rica

Cultivo	Producción de biomasa (ton/año)
Forestal	40 600
Cultivos industriales	251 809
Cultivo de frutales	114 001
Granos básicos	72 083
Total	504 391

Figura 2. Principales residuos agroidustriales y forestales en Costa Rica

Evaluación del conocimiento y percepción del mercado de biomasa forestal

En el Tabla 3 se presenta la caracterización inicial del mercado de biomasa desde la perspectiva de oferentes, intermediarios y demandantes de biomasa. Desde el aspecto técnico se obtuvieron resultados similares en los tres sectores productivos en cuanto a las fuentes de extracción y el manejo de biomasa (promedio 73,63%), su disponibilidad de biomasa (promedio 69,48%). Sin embargo, en la cercanía de la biomasa al mercado, homogeneidad y disponibilidad de tecnología se encontró una percepción diferenciada en dos agrupaciones, la primera conformada por productores e intermediarios y la otra por demandantes, siendo estos últimos los que consideraron que la cercanía de la biomasa es prioritaria, además que no se cuenta con una homogeneidad de biomasa en el mercado y que el uso tecnológico es fundamental para la generación energética a partir de biomasa. Estos aspectos fueron distintos a oferentes e intermediarios que subestimaron los aspecto de distancia de biomasa y consideran aceptable la heterogeneidad del mercado y que la tecnología no es relevante.

En cuanto al aspecto ambiental únicamente se encontraron diferencias con la variable de extracción y manejo sostenible de la biomasa, en la que los demandantes consideraron que es significativamente menor (68,88%) en comparación a oferentes e intermediarios que mostraron que el manejo es mayor (78,05%). Para el resto de las variables no se encontraron diferencias entre los tres segmentos de mercado; sin embargo, se encontró que la comercialización de biomasa certificada se tiene una posibilidad muy baja (promedio de 28,26%), los grupos consideraron que el uso de

bioenergía es un sistema de emisiones de carbono sostenibles, que cuenta con sistema de mitigación de contaminantes y no impacta la salud humana.

El aspecto financiero fue el que mostró la mayor variación de percepción entre los tres sectores, encontrando tres tendencias que fueron: Primeramente, para las variables de compra/venta de biomasa y margen de utilidad del sistema, el sector demandante mostró un comportamiento significativamente diferente a oferentes e intermediaros, considerando que el costo de venta no es el óptimo y el margen de ganancia del sistema es aceptable. La segunda agrupación la conformó el dinamismo y estabilidad del mercado, aspectos en los que los demandantes e intermediarios mostraron una percepción distinta a oferentes que consideraron que el mercado no es dinámico (no hay posibilidad de encontrar con facilidad nuevos compradores), ni estable (la venta de volumen de biomasa no es constante en el tiempo). Finalmente, a nivel financiero no mostró diferencias entre los tres sectores, encontrando que los costos de transporte y de generación eléctrica son fundamentales para el sector, además que no hay una buena percepción a competir con otras fuentes energéticas disponibles en el mercado.

Tabla 3. Caracterización inicial de los sectores oferente, intermediario y demandante de biomasa de origen arbóreo para fines energéticos en Costa Rica

Aspecto	Sector productivo		
	Oferente	**Intermediario**	**Consumidor**
Técnicos			
Extracción y manejo de biomasa	77.51^{a} (5.66)	73.33^{a} (8.44)	70.05^{a} (7.19)
Disponibilidad de biomasa	69.55^{a} (7.07)	70.01^{a} (8.99)	68.88^{a} (9.11)
Proximidad del producto al mercado	85.88^{a} (9.80)	89.77^{a} (8.99)	95.66^{b} (4.33)
Homogeneidad de la biomasa	58.11^{a} (9.99)	57.11^{a} (7.55)	30.05^{b} (8.00)
Disponibilidad de tecnología	88.12^{a} (6.66)	82.22^{a} (7.10)	89.99^{a} (6.55)
Ambientales			
Aprovechamiento y manejo sustentable de biomasa	77.11^{a} (6.13)	78.99^{a} (9.29)	68.88^{b} (11.22)
Posibilidad de biomasa bajo certificación	27.11^{a} (6.13)	28.79^{a} (9.29)	28.88^{a} (11.22)
Generación de emisiones sustentables	90.33^{a} (4.44)	91.22^{a} (5.00)	89.11^{a} (5.16)
Disponibilidad de medidas de mitigación	88.66^{a} (8.33)	86.61^{a} (7.11)	84.12^{a} (6.11)
Impacto a la salud humana	90.90^{a} (5.66)	92.11^{a} (6.01)	94.00^{a} (5.14)
Financieros			
Costo de compra y venta de biomasa	34.11^{a} (4.89)	55.11^{b} (6.33)	30.11^{a} (3.00)
Dinámica del mercado	56.99^{a} (5.55)	75.44^{b} (7.70)	69.55^{b} (8.90)
Estabilidad del mercado	84.00^{a} (6.00)	68.65^{b} (5.09)	66.53^{b} (7.88)
Costos de transporte	82.77^{a} (3.58)	81.39^{a} (5.60)	86.33^{a} (5.11)
Costos de generación	74.01^{a} (5.22)	72.23^{a} (8.13)	70.99^{a} (6.71)
Margen de utilidad de la actividad	44.29^{a} (5.99)	44.50^{a} (7.39)	64.89^{b} (5.33)
Competitividad con respecto a otros sistemas	24.00^{a} (6.11)	23.55^{a} (6.22)	20.01^{a} (6.42)
Social			
Creación de fuentes de empleo	88.88^{a} (4.11)	89.97^{a} (7.22)	90.15^{a} (7.00)
Incremento de la dinámica social	60.61^{a} (8.00)	63.33^{a} (7.98)	67.77^{a} (8.11)
Conocimiento de la población en el uso de biomasa	64.47^{a} (5.33)	50.10^{b} (8.23)	64.30^{a} (6.55)
Políticas y estímulos a la actividad	30.22^{a} (6.89)	26.77^{a} (5.66)	22.33^{b} (7.22)
Apoyo del gobierno para el desarrollo bioenergético	62.30^{a} (4.19)	60.00^{a} (7.18)	53.33^{b} (6.89)

Según el segmento del mercado oferentes y demandante mostraron que los precios de comercialización no son ideales, en comparación a los intermediarios que los

consideraron aceptables, mientras el costo de implementación la percepción significativamente menor la presentó los demandantes de biomasa, en tanto, oferentes e intermediarios la consideraron significativamente mayor. La disponibilidad de tecnología adquirible fue la misma por parte de los tres sectores. Finalmente, respecto a la perspectiva de costos de oportunidad, los tres sectores consideran que en el mercado existe fuentes de energía alternativas competitivas con costos aceptables y con una homogeneidad mayor (especialmente notada por los demandantes), en conjunto se considera que las políticas actuales no son las mejores para el sector de biomasa.

En cuanto el aspecto social, se considera por los tres sectores productivos una buena percepción en cuanto a la generación de empleo, mejora de la dinámica de la economía rural y entendimiento del uso de biomasa como fuente energética por parte de la población. Sin embargo, en aspectos políticos (políticas de estímulo y facilidades del gobierno), el sector demandante de biomasa consideró que las políticas son negativas y el desarrollo bioenergético es complicado.

La percepción de mercado (Figura 3), mostró cuatro comportamientos según la pareja de adjetivos calificativos.

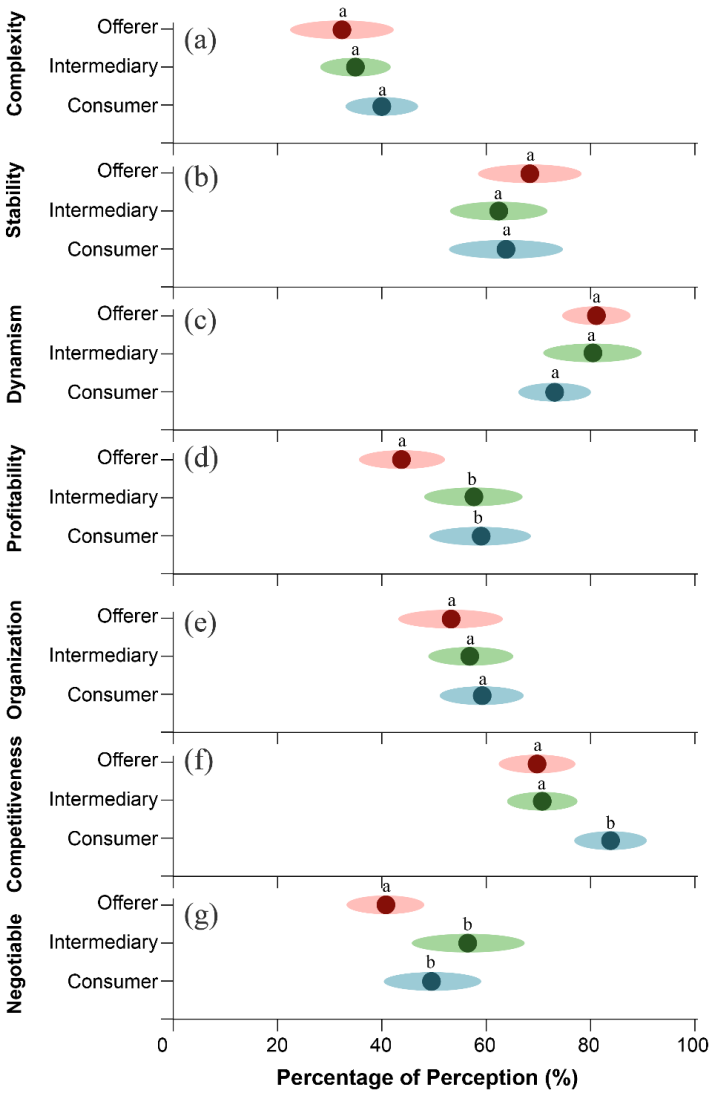


Figura 3. Percepción de los proveedores, intermediarios y consumidores de biomasa procedente de residuos forestales en Costa Rica.

Primeramente, no se encontraron diferenciaciones entre sectores productivos, para la complejidad del mercado, dinamismo y organización (Figura 3a, 3c y 3e), los tres sectores mostraron una misma percepción, encontrando la consideración de que el mercado es complejo, con una dinámica de la oferta y demanda elevada y un sistema de organización bajo. El segundo comportamiento se caracterizó en que el sector intermediario mostró una percepción distinta a la de oferentes y demandantes (no se observaron diferencias significativas entre ambos), esto se presentó con la variable de estabilidad de mercado (Figura 3b), en la que los intermediarios mostraron que la percepción del mercado es poco estable con un valor del 36,5% en comparación a oferentes y demandables que mostraron una percepción moderadamente estable (promedio 56,6 %). Lo anterior se da debido a que el intermediario debe conectar a oferentes y demandantes, de ahí que considere que localización de la fuente sea más complicada que el proceso de venta directa de los oferentes a los demandantes de biomasa.

El tercer comportamiento se dio con la variable de competitividad (Figura 3f), en la que los demandantes de biomasa consideraron que el mercado es significativamente más competitivo (84,6%), en comparación a oferentes e intermediarios (promedio 70,9%), debido a la exigencia de biomasa homogénea (en especie y presentación). Finalmente, el cuarto comportamiento en el que los tres sectores no concordaron en criterios, fueron las variables de rentabilidad y negociabilidad de biomasa (Figuras 3d y 3g). Los intermediarios consideraron que es altamente rentable (78,5%), en contraste a los oferentes que indicaron es poco rentable (44,4%) y a los demandantes quienes mostraron un valor medio (59,1%), variaciones producidas por la variación del margen de utilidades e inversiones necesarias en cada segmento del mercado. Respecto a la negociabilidad, se mantuvo el mismo patrón, los intermediarios consideraron que el mercado permite desarrollo de negociaciones del precio de biomasa de una forma elevada (63,7 %), mientras los oferente consideran se dificulta la capacidad de negociación y en muchos casos es nula (30,1%), debido a los bajos precios de compra por parte de los intermediarios o requerimientos de la biomasa por parte del mercado; en cambio para el sector de demandantes se mostró valores intermedios (42,6%) que se dieron en función de las características de la biomasa necesaria.

Evaluación del conocimiento y percepción del mercado de biomasa agroindustrial
En el caso del mercado de la biomasa agroindustrial (Tabla 4) a nivel del aspecto técnico se tiene un mismo comportamiento para los tres sectores en todas las variables analizadas; encontrando que tanto la disponibilidad como extracción de biomasa son relevantes (superiores al 70%), la cercanía de la biomasa es significativa, en especial para el consumidor final que mostró los valores mayores; en el caso específico de la homogeneidad de biomasa y disponibilidad, los tres sectores mostraron similitud con valores superiores al 77% y no mostraron diferencias entre segmentos, resultando ambos factores de una relevancia elevada. Con el aspecto ambiental no se encontraron diferencias con la variables analizadas; sin embargo, se encontró que la comercialización de biomasa certificada se nota con una posibilidad muy baja (promedio de 28,66 %), los grupos consideraron que el uso de bioenergía es un sistema de emisiones de carbono sostenibles, que cuenta con sistema de mitigación de contaminantes y con un bajo impacto la salud humana.

El aspecto financiero fue el que evidenció la mayor variación en la percepción entre los tres sectores, encontrando: i. La variable de estabilidad del mercado, el sector demandante e intermediario mostraron un comportamiento significativamente diferente a oferentes e intermediaros, considerando que la estabilidad de mercado

es más alta de lo esperado. ii. La segunda agrupación la conformó el margen de ganancia del sistema productivo, aspecto en los que los demandantes e intermediarios mostraron una percepción distinta a oferentes e intermediarios que consideraron que el mercado no genera las ganancias significativas. iii. el resto de las variables económicas no mostraron diferencias entre los tres sectores, encontrando que costo de compra/venta, dinamización del mercado, costo de transporte, costo de generación y competitividad de la fuente energética es la misma entre los tres sectores. En ello se denota que la percepción de los sistemas actuales de generación energética es elevado, la competitividad se percibe como baja y el costo de transporte de materias primas es alto.

Finalmente, el aspecto social, se considera por los tres sectores productivos como positivo en cuanto a la generación de empleo, mejora de la dinámica de la economía rural y entendimiento del uso de biomasa como fuerte energética por parte de la población. Se consideró que el mercado es complicado en cuanto a la disponibilidad de políticas de estímulo y facilidad de parte del gobierno.

Tabla 4. Caracterización inicial de los sectores oferente, intermediario y demandante de biomasa de origen agroindustrial para fines energéticos en Costa Rica

Aspect	Sector productivo		
	Oferentes	**Intermediarios**	**Demandantes**
Técnico			
Extracción y manejo de biomasa	71.00ª (5.86)	72.24ª (6.23)	71.52ª (5.00)
Disponibilidad de biomasa	70.59ª (6.44)	66.11ª (5.55)	68.88ª (9.11)
Proximidad del producto al mercado	88.33ª (9.11)	89.07ª (4.69)	95.66ª (4.33)
Homogeneidad de la biomasa	85.17ª (8.77)	67.51ª (6.05)	70.05ª (8.20)
Disponibilidad de tecnología	88.04ª (4.35)	84.52ª (7.33)	89.69ª (6.25)
Ambiental			
Aprovechamiento y manejo sustentable de biomasa	76.10ª (6.33)	74.19ª (7,45)	72.88ª (11.22)
Posibilidad de biomasa bajo certificación	29.01ª (6.00)	28.90ª (9.00)	28.11ª (12.87)
Generación de emisiones sustentables	90.89ª (5.23)	91.15ª (5.00)	87.45ª (5.34)
Disponibilidad de medidas de mitigación	88.56ª (7.56)	86.00ª (6.66)	84.12ª (6.00)
Impacto a la salud humana	90.09ª (5.89)	90.34ª (6.91)	94.01ª (5.90)
Financiero			
Costo de compra y venta de biomasa	54.11ª (4.89)	55.53ª (6.30)	54.61ª (3.44)
Dinámica del mercado	74.39ª (5.55)	76.76ª (6.89)	79.35ª (8.67)
Estabilidad del mercado	87.15ª (6.00)	68.46ᵇ (5.11)	66.35ᵇ (7.89)
Costos de transporte	85.47ª (3.43)	81.09ª (5.61)	86.24ª (5.25)
Costos de generación	74.25ª (5.45)	72.00ª (8.34)	70.61ª (6.89)
Margen de utilidad de la actividad	44.33ª (4.94)	44.24ª (7.68)	64.09ᵇ (5.47)
Competitividad con respecto a otros sistemas	24.56ª (6.38)	23.89ª (6.30)	20.91ª (6.78)
Social			
Creación de fuentes de empleo	88.88ª (4.11)	88.01ª (7.22)	90.11ª (7.00)
Incremento de la dinámica social	60.61ª (8.00)	65.03ª (7.98)	67.23ª (8.11)
Conocimiento de la población en el uso de biomasa	64.47ª (5.33)	50.19ᵇ (8.23)	64.56ª (6.55)
Políticas y estímulos a la actividad	30.22ª (6.89)	25.37ª (5.66)	22.49ᵇ (7.22)
Apoyo del gobierno para el desarrollo bioenergético	62.30ª (4.19)	61.11ª (7.18)	53.44ᵇ (6.89)

A nivel de percepción de mercado (Figura 4), se determinó un mismo comportamiento para los oferentes, demandantes e intermediarios en cuanto a la percepción de que el mercado es poco complejo (promedio 33,6%), el mercado es dinámico, está en constante cambio (percepción promedio de 88,4%), tiene una

organización moderada en cuento aspectos administrativos y técnicos, presentando un valor medio de 55,2%. En cuanto a la percepción de estabilidad de mercado, el intermediario mostró una percepción menor en comparación a oferentes y demandantes; en los que se consideró que el mercado es muy estable. Con respecto a la rentabilidad del mercado, se dio una discrepancia significativa entre los tres segmentos de mercado, en la que los oferentes de biomasa consideran una rentabilidad baja, opuesto los intermediarios que consideran que es moderadamente elevada y los consumidores la consideran como media; comportamiento que es similar a la variable de negociabilidad que los tres segmentos presentaron la misma tendencia con un oferente que menciona es poco negociable el mercado, mientras el intermediario alega que es un mercado muy negociable y el consumidor presenta un valor medio. Finalmente, con la competitividad el consumidor presento la percepción significativamente mayor de que el mercado es altamente competitivo con respecto a oferentes e intermediarios (promedio entre ambos del 74,7%).

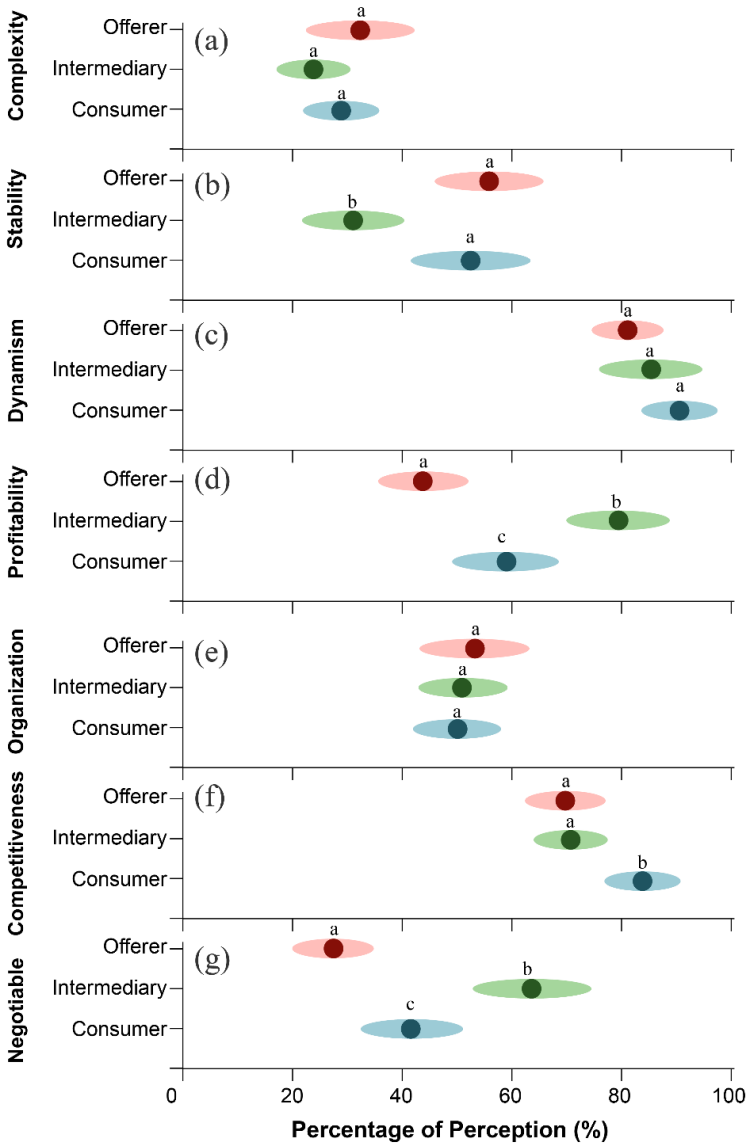


Figura 4. Percepción de oferentes, intermediarios y demandantes de biomasa procedente de residuos agroindustriales en Costa Rica.

Variables determinantes del mercado

Al analizar las relaciones entre la percepción de variables de mercado (Figura 5) se identificó para los residuos de madera de biomasa arbórea (Figura 5a), una elevada correlación entre PL y CO, mostrando en el importe de las regulaciones de políticas estatales con respecto a la competitividad de la biomasa con otras fuentes energéticas. Otras correlaciones identificadas fueron las distintas combinaciones de BC, BV, BQ, BS. En conjunto se denota que aspectos de calidad, uniformidad, precio y variabilidad de especies de biomasa tienen una relación significativa en el mercado nacional. Por otra parte, se identificó que variable TE no tienen una relación con algún otra variable de mercado, siendo considerada como la variable de menor impacto en mercado. Con respecto los residuos agroindustriales (Figura 5b), se mantiene un comportamiento similar al forestal, ya que, pues hay una correlación importante entre las políticas y la competitividad de la biomasa; además que las correlaciones de BC, BV, BQ y BS fueron significativas y variaron de 0,25 a 0,60.

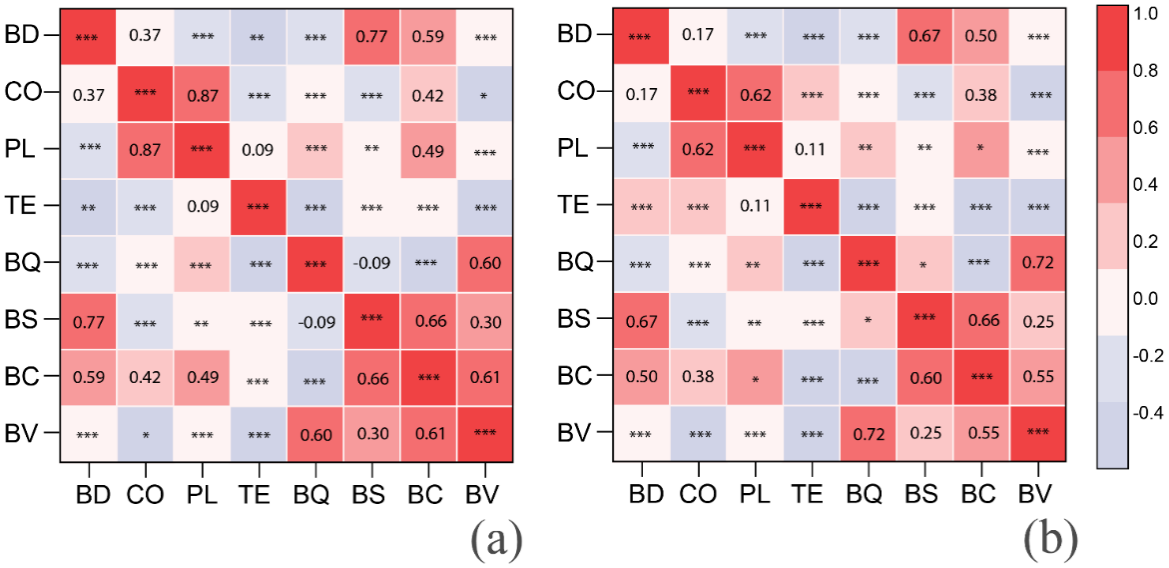


Figura 5. Análisis de correlación de Kendal para las variables analizadas en el mercado de biomasa procedente de residuos forestales y agroindustriales en Costa Rica. distancia de la biomasa al punto de uso (DB), costo de la fuente de energía competitiva (energía térmica) (CO), limitaciones de las políticas estatales (PL), disponibilidad tecnológica de transformación (TE), calidad de la biomasa (BQ), homogeneidad de la biomasa (BS), precio de la biomasa en el mercado (BC) y variabilidad de la biomasa en cuanto a las especies (BV).
Nota de significancia: * a 0,5; ** a 0,1; * a 0,01**

Proyección bio económica de la biomasa como fuente energética

En cuanto a la percepción de tiempo (viabilidad del uso de biomasa a lo largo de los años) se lograría una viabilidad elevada de usos de biomasa como opción energética (Figura 6), en residuos forestales (Figura 6a), por parte de los ofertantes de biomasa, esto en el largo plazo, donde se podría tener una sostenibilidad energética con biomasa.

Este aspecto no es compartido por demandantes e intermediarios que denotan un desconocimiento e inseguridad de respuesta, pues si bien consideran se puede tener un nivel moderado de factibilidad en el mediano plazo (posterior al 2035), no tienen una visión a largo plazo de la viabilidad. Caso distinto al presentado en residuos agroindustriales (Figura 6b), donde se consideró que para el corto plazo de cinco años, los ofertes de biomasa lo denotaron como viable, aspecto que sería altamente viable para el 2035 con mejoras de la políticas nacionales; en caso de demandantes de biomasa el comportamiento es similar con una percepción a 10 años como una viabilidad elevada; únicamente los intermediarios consideran que

posterior al 2035 no se tiene claridad de que se dé una sostenibilidad energética considerando la biomasa como materia prima.

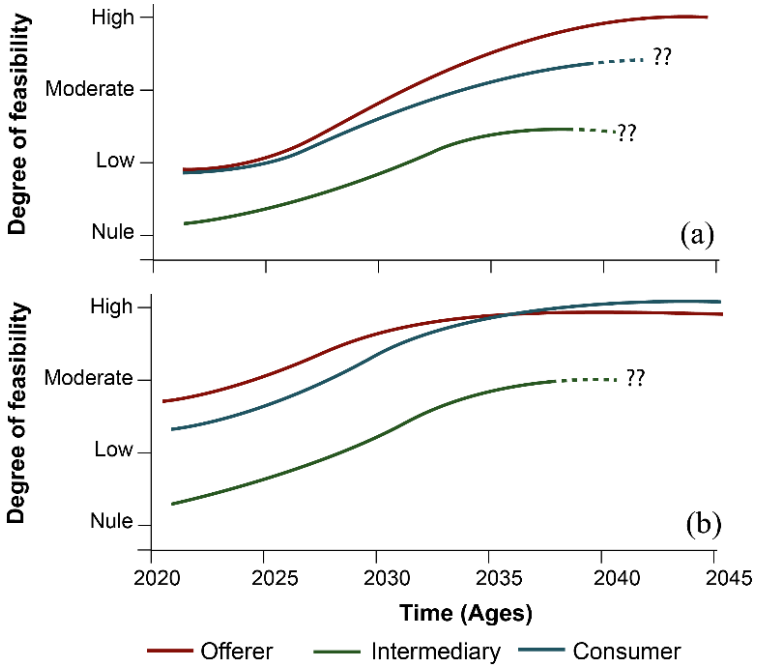


Figura 6. Proyección perceptual de la viabilidad de uso de biomasa procedente de residuos bioenergéticos y agroindustriales para generación energética en Costa Rica.

4. Discusión

Situación actual de mercado

Los resultados mostraron que a nivel nacional hay una coherencia entre uso de biomasa forestal y agroindustrial. Los sectores productivos muestran una concordancia en aspectos ambientales y sociales, y se considera que la implementación de biomasa como fuente energética incide en reducción de emisiones de carbono, aspecto que es relevante en los procesos descarbonización económica. Serrano y Carrillo (2011) destacan que las economías verdes que implementan la bioenergía inciden positivamente en el ambiente ya que la materia prima del sistema acumula emisiones de CO_2, mismas que son las que se generan en el proceso de transformación energética, resultando un sistema cerrado de emisiones. Sánchez y Rosales (1998) indican que la implementación de biomasa incide en la reactivación de áreas rurales, regiones en las que se dispone de áreas significativas para el desarrollo cultivos dendroenergéticos y fuentes de biomasa leñosa, misma que se pueden incluir en programas bioenergéticos de sostenibilidad productiva. Estudios de Iván et al (2015) mencionan que la implementación de bioenergías incide tanto en la creación de fuentes energéticas competitivas para el mercado internacional en conjunto de mejora de condiciones rurales o de poco desarrollo industrial, por lo que un mercado energético de biomasa permite la participación de directa e indirecta de comunidades, regiones poco desarrollada y activación de terrenos sin uso o con subutilización.

Por otra parte, las diferenciaciones entre las percepciones técnicas y financieras se deben a las perspectivas de cada sector productivo. Adams et al (2013) encontraron que las diferenciaciones entre intermediarios, oferentes y demandantes de biomasa se deben al enfoque meta de cada sector; en caso de los productores, la meta se enfoca en colocar la biomasa en el mercado, en la que el volumen de

comercialización pasa a ser relevante y su presentación, contenido de humedad y calidad inciden directamente en el precio. Por su parte los intermediarios se enfocan en compra de biomasa en cualquier condición de venta, con subprocesamientos para incrementar su valor o en su defecto el mero transporte de la biomasa al consumidor y el demandante se enfoca en compra de la biomasa bajo sus requerimientos y generación energética ya sea para comercializar en el mercado o autoabastecimiento. En el caso de Costa Rica las perspectivas son similares, pero oferentes e intermediarios le dan un menor valor a la calidad y homogeneidad de la biomasa ya que denotan que su posibilidad de venta se verá restringida o la posibilidad de negociación será negativa, aspecto similar al destacado por Chen et al (2009) en el mercado energético del Norte de China en el que encontró que conforme la calidad y homogeneidad de la biomasa sea mayor, la capacidad de negociación se vuelve menor por parte de los oferentes ya que se reduce el margen de ganancia y se crea una dependencia a los demandantes específicos de la materia prima. Esto incide en una reducción del espectro del mercado.

Estas diferencias entre mercado vendedor y comprador de biomasa en conjunto a una organización reducida y políticas de estímulo limitadas y que en muchos casos sobre-regulan los procesos de generación de biomasa, inciden en que el mercado se perciba como desordenado, aspecto que es percibido como normal en las regiones tropicales, lo cual genera que la competitividad de la bioenergía con respecto a energías competidoras como los combustibles fósiles o gas natural sea menor ya que dichas fuentes son muy homogéneas, están en mercados muy estructurados y competitivos. Gregg y Smith (2010) destacan que es necesario una mejora de mercados de biomasa en Latinoamérica en los que la biomasa se adapte de mejor manera a los sistemas energéticos demandantes y con ello se reduzcan los subprocesamientos o entrada se terceros factores de mercado que inciden que el costo de la biomasa sea mayor, además se deben crear paquetes de estímulos regionales en los que la adquisición de tecnologías o desarrollo organizaciones bioenergéticas cuenten con una posibilidad de organizarse y competir en el mercado energético.

Efectos de la disonancia entre oferentes, demandantes e intermediarios

Como se ha mencionado anteriormente, la heterogeneidad de la biomasa, en conjunto a los precios de comercialización (bajos márgenes de ganancia) y competencias desventajosas con respecto otras fuentes energéticas como la térmica, inciden en que el mercado de biomasa sea considerado como complejo, dinámico y competitivo; sin embargo, carece de organización y de constancia en el tiempo. Dellano-Paz et al (2015) han identificado que se debe aumentar la competitividad de las energías renovables, mediante organizaciones estructuradas en las que oferentes, demandantes e intermediarios estén debidamente inscritos y en los que las características de la materia prima ofertada/demandada sea clara. El creciente aumento de tecnologías que optimizan el potencial calórico de la biomasa inciden que la materia prima debe tener estándares claros en cuanto contenido de humedad, dimensiones, especie y flujo de volumen, al punto que las nuevas generaciones de calderas y gasificadores de alta eficiencia han optado por la implementación de "pellets" o astillas mejoradas, con fin de mejorar la eficiencia y rentabilidad de los procesos.

Sin embargo, el mercado actual impide la utilización máxima del recurso de biomasa, ya que la concepción de la oferta y la demanda no es completa, no existen canales de comercialización abiertos y en muchos casos se crea dependencias o correlaciones entre grupos de oferentes y demandante, aspecto que restringe la

capacidad de negociación y precio de venta de la biomasa. Lo anterior se complementa con una tarifa máxima de venta energética por parte del estado, situación que restringe el mercado de venta energética por parte del consumidor final (Sandoval Vásquez y Li Bonilla, 2015).

Perspectivas de mejora del mercado en el tiempo

Si se incrementa la calidad de biomasa en el mercado, mediante el uso de biomasa homogénea, en conjunto con una mayor articulación entre los sectores productivos y una mejora de las políticas bioenergéticas, se puede producir el efecto de mejora explicado por Mediavilla Ruiz (2009), que consiste en que mejores condiciones de mercado afectan directamente la oferta y demanda, incrementando el dinamismo y competencia del sector tanto lo interno (mejora de precios de biomasa, estabilidad en la demanda y posibilidades de negociación) como externo (mejor precio de venta de energético, permitiendo con ello competir con energías tradicionales o no renovables). Además, un incremento del interés del inversionista al mercado implicaría apertura de nuevos nichos, incentivos de inversión y expansión de la oferta y demanda, aspectos que se notaron con los resultados del cuadro 5, en que la percepción de mejora de calidades incidiría en crecimiento del mercado.

Este proceso es necesario que se complemente con educación y transferencia de conocimiento. (Ruiz-Vásquez et al., 2019) mencionan que el proceso de expansión bioenergético debe estar complementado con programas de aprendizaje y transferencias de conocimientos en las que los sectores productivos conozcan los cambios tecnológicos y del mercado y no se limiten a cierto tipo de tecnologías o sistemas productivos que con las actualizaciones tecnológicas pueden quedar obsoletos. Es relevante que el mercado de biomasa inicie procesos de homogenización de biomasa, en la que "pellets" o astillas enriquecidas permitan que el mercado simplifique la gran variedad y adopte medidas de comercialización que en el mediano a largo plazo, permitiendo la creación de estándares o certificaciones de materias primas, aspectos que se consideran que es el tercer paso de actualización bioenergética y que a nivel de Costa Rica, incidirá en una mejora de la calidad de la bioenergía y en la competitividad dentro del mercado nacional.

5. Conclusiones

Se determinó que el mercado de biomasa arbórea de Costa Rica cuenta con una concordancia en cuanto a aspectos ambientales y sociales, destacando la percepción de que es una energía de baja emisiones de carbono pero que se desarrolla en ausencia de políticas de estímulo bioenergético. En cuanto al tema financiero y técnico se tienen diferenciaciones respecto a la variabilidad de biomasa, específicamente por contenido de humedad, presentación y variedad de especies y en aspectos de costo de generación eléctrica y de venta de la materia prima. Entre los aspectos que incidieron en el mercado, se consideró que el mismo es complejo, dinámico, con competitividad moderada y carente de organización. Estas situaciones son necesarias para el crecimiento del mercado y desarrollo de un sistema productivo sostenible en el tiempo. Los demandantes mencionaron que mejoras de organización, de la materia prima y políticas incidirían favorablemente la demanda en el tiempo y con ello generación de nuevas fuentes de empleo e inversión.

Finalmente mencionar que estudios de esta naturaleza son muy necesarios en los países de la región para disponer de información validada para la toma de decisiones, generación de política pública y el estímulo a un sector que puede ofrecer grandes posibilidades de negocio energético, generar fuentes de empleo y una dinámica inmersa dentro de los objetivos de la bioeconomía.

6. Referencias

Abarca-Guerrero, L., y Leandro-Hernández, A. G. (2017). Situación actual de la gestión de los materiales de construcción en Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha.* Doi: 10.18845/tm.v29i4.3042.

Adams, R. I., Amend, A. S., Taylor, J. W., y Bruns, T. D. (2013). A Unique Signal Distorts the Perception of Species Richness and Composition in High-Throughput Sequencing Surveys of Microbial Communities: A Case Study of Fungi in Indoor Dust. *Microbial Ecology*. Doi: 10.1007/s00248-013-0266-4

Agencia Internacional de la Energía, "AIG." (2014). Consumo de energía procedente de combustibles fósiles (% del total). Estadísticas de La AIE © OCDE/AIE.

Altieri, M. (2001). Principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables. Agroecologia. El Camino Hacia Una Agricultura Sustentable.

Armando C Agüero, Jorge R Pisa, Carlos J Agüero, A. T. B. (2004). Poder Calorífico del Bagazo de Caña de Azúcar. Revista de Ciencias Exactas e Ingeniería.

Barbosa, G., y Langer, M. (2011). Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. Unesco y Ciência – ACSA.

Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., y Garnero, P. (2018). Industria 4.0: Fabricando el Futuro. In Industria 4.0: Fabricando el Futuro. doi: 10.18235/0001229

Battista, E. (2010). Doble combustión y su vinculación con combustibles biomásicos respuesta a la crisis energética desde el diseño. II Congreso iberoamericano de investigación artística y proyectual, V jornadas de investigación en disciplinas artísticas y proyectuales.

Bonilla, J., Carranza, M., y Castillo, K. (2009). Termodinámica de equipos industriales: eficiencia energética de una caldera. *Revista Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Nandivar (13) 18-34*.

Calvo-Alvarado, J. C., Arias, D., y Richter, D. D. (2007). Early growth performance of native and introduced fast growing tree species in wet to sub-humid climates of the Southern region of Costa Rica. *Forest Ecology and Management*. doi: 10.1016/j.foreco.2007.01.034

Campos-Rodríguez, R., Brenes-Peralta, L., y Jiménez-Morales, M. F. (2016). Evaluación técnica de dos métodos de compostaje para el tratamiento de residuos sólidos biodegradables domiciliarios y su uso en huertas caseras. *Revista Tecnología En Marcha.* doi: 10.18845/tm.v29i8.2982

Carrillo, L. (2004). Energía de Biomasa. In Edición del autor, Jujuy.

Chávez Porras, Á., y Rodríguez González, A. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. Academia y Virtualidad. doi: 10.18359/ravi.2004

Chen, L., Xing, L., y Han, L. (2009). Renewable energy from agro-residues in China: Solid biofuels and biomass briquetting technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi: 10.1016/j.rser.2009.06.025

Contreras Velásquez, L. M., Pereda Reyes, I., y Romero Romero, O. (2012). Energetic Use of Rice Residuals By Bio-Conversion . Study Case Cuba. Dyna Energía y Sostenibilidad.

Delgado Bustamante, D., Meléndez Arista, Y., Meneses Valle, Y., y Tapia Chambergo, P. (2018). Administración de la calidad total. *Global Business Administration Journal*. doi: 10.31381/gbaj.v2i1.1454

Dellano-Paz, F., Calvo-Silvosa, A., Iglesias Antelo, S., y Soares, I. (2015). The European low-carbon mix for 2030: The role of renewable energy sources in an environmentally and socially efficient approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. doi: 10.1016/j.rser.2015.03.032

EPE. (2014). Demanda de Energía 2050. Available from: Http://Www.Epe.Gov.Br/Estudos/Documents/DEA%2013-14%20Demanda%20de%20Energia%202050.Pdf].

Fernández, J. (2007). Energía de la biomasa. *Manuales de Energías Renovables*. doi: 9968-904-02-3

Fontúrbel R., F. (2004). Conservación de ecosistemas : un nuevo paradigma en la conservación de la biodiversidad Ecosystem ' s conservation : a new paradigm on biodiversity conservation. Ciencia Abierta Internacional.

Guariguata, M.R.; Arce, J.; Ammour, T.; Capella, J.L.(2017). Las plantaciones forestales en Perú: Reflexiones, estatus actual y perspectivas a futuro. *Center for International Forestry Research Center for International Forestry Research.* doi: 10.17528/cifor/006461

González, J., Roldán, C., Arias, D., Valverde, J. C., y Camacho, D. (2018). Evaluación financiera de generación eléctrica de 2 MW a partir de biomasa forestal en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*. doi:10.18845/rfmk.v15i1.3709

Gregg, J. S., y Smith, S. J. (2010). Global and regional potential for bioenergy from agricultural and forestry residue biomass. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. doi: 10.1007/s11027-010-9215-4

Guevara-Salnicov, L., y Tuesta-T., T. (2006). Cuantificación de residuos de lupuna en la industria de contrachapado. *Folia Amazónica.* doi: 10.24841/fa.v7i1-2.362

Guzmán-Hernández, T. D. J., Araya-Rodríguez, F., Castro-Badilla, G., y Obando-Ulloa, J. M. (2016). Uso de la energía solar en sistemas de producción agropecuaria: producción más limpia y eficiencia energética. *Revista Tecnología En Marcha.* doi: 10.18845/tm.v29i8.2984

Hernández Chaverri, R. A., y Prado Barragán, L. A. (2018). Impacto y oportunidades de biorrefinería de los desechos agrícolas del cultivo de piña (Ananas comosus) en Costa Rica. *UNED Research Journal*. doi10.22458/urj.v10i2.2059

IPCC. (2011). Fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climatico. In Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

Iván, V.-R., Melitón, E.-J., José, M.-R., y Agustina, O.-S. (2015). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica. Parte II: residuos sólidos urbanos. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*. doi: 10.1016/j.riit.2015.05.012

Lee, C. M., y Lazarus, M. (2013). Bioenergy projects and sustainable development: which project types offer the greatest benefits? *Climate and Development*. doi: 10.1080/17565529.2013.812951

Mediavilla Ruiz, I. (2009). Análisis y optimización del proceso de peletización de biomasa y estudio de su comportamiento como combustible en una caldera del sector doméstico. In Departamento de Producción Vegetal y Recursos Forestales.

Merino, L. (2009). Las energías renovables. Energias Renovables Para Todos.

Monreal, L. (2013). Control de calidad para evitar contaminantes. Industria Alimenticia.

Moya, R., y Munoz, F. (2010). Physical and mechanical properties of eight fast-growinging plantation speciesspecies in Costa Rica. Journal of Tropical Forest Science.

Patiño Martínez, P. E. (2014). Biomasa residual vegetal: tecnologías de transformación y estado actual. Innovaciencia Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. *Innova ciencia*. doi:10.15649/2346075x.255

Prieto Sandoval, V., Jaca García, M., y Ormazabal, M. (2017). Economía circular: relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. Memoria Investigaciones En Ingeniería.

Ranis, G., y Stewart, F. (2002). Crecimiento económico y desarrollo humano en América Latina. *Revista de La CEPAL*. doi:10.18356/7d7df2e5-es

Ricardo, B. P., Marco, Y. A., y Marta, A. A. (2010). Cultivos dendroenergéticos de híbridos de álamo para la obtención de biocombustibles en Chile: Estado del arte. *Bosque*. doi: 10.4067/s0717-92002010000200002

Rodríguez-Vargas, A. G. (2019). Bioecomía en Costa Rica. In *La bioeconomía.* Nuevo marco para el crecimiento sostenible en América Latina. doi: 10.2307/j.ctvkwnpxt.10

Rojas Rodríguez, F. (2005). Principales especies forestales introducidas en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú, **2**(4), 88-100.*

Ruiz-Vásquez, S., Roldán, C., y Cheng, V. (2019). Development of a modeling tool for simulating electricity demand and on site PV power production in high time resolution: Applications in Costa Rica. *Revista Tecnología En Marcha*. doi:10.18845/tm.v31i5.4086

Sánchez-González, A., D., Granados Sánchez D. y Simón-Nabor, R. (2008). Uso medicinal de las plantas por los otomíes del municipio de Nicolás Flores, Hidalgo, México. *Revista Chapingo, serie horticultura*, ***14*** (3), 271-279.

Sánchez, M., y Rosales, M. (1998). Sistemas agroforestales para intensificar de manera sostenible la producción animal en Latinoamérica tropical. Agroforestería Para La Producción Animal En Latinoamérica.

Sandoval Vásquez, J. F., y Li Bonilla, F. (2015). El modelo de regulación tarifaria para el servicio de electricidad y el costo de la energía eléctrica en Costa Rica. *Revista Nacional de Administración*. doi:10.22458/rna.v6i2.822

Serrano, A., y Carrillo, S. (2011). La Economía Verde desde una perspectiva de América Latina. Fundación Friedrich Ebert. Proyecto Regional de Energia y Clima.

Tarantino Alvarado, Rocco; Aranguren Zambrano, S. (2005). Maintenance Plan Applied To Instrumentation of Industrial High Pressure Boilers. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, **1**(5), 33-39*.

Ulloa, A., Camacho, D., Arias, D., y Valverde, J. C. (2018). Análisis del mercado de biomasa forestal con fines energéticos en la zona de Guanacaste, Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú.* doi:10.18845/rfmk.v15i1.3722

Vázquez, A. L. (2015). Desarrollo y prospectivas de energía renovable en México. *Economía Informa.* doi: 10.1016/s0185-0849(15)30010-4

Velázquez Martí, B. (2006). Situación de los sistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética. Ecosistemas: *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*. doi:10.7818/re.2014.15-1.00

Zárate, D., y Ramírez, R. (2016). Matriz energética de Costa Rica - Renovabilidad de las fuentes y reversibilidad de los usos de energía. In Friedrich Ebert Stiftun.

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar IV- Políticas y Financiamiento, 2020: 225-234
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editor: A. Curbelo Alonso

Sección IV: Políticas y esquemas de financiamiento

Visión de las políticas públicas para la promoción del manejo eficiente de recursos de biomasa sólida para bioenergía con fines térmicos

Alfredo Curbelo Alonso[1*], José María Sánchez Hervás[2], Santiago Garrido[3], Humberto Vidal[4]

1Grupo Bioenergía, Centro para la Gestión de la Información y el Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA), LA Habana, 11300, Cuba

2 instituto, Organización, localidad, ciudad, provincia, código postal, país

3Instituto de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología, Universidad Nacional de Quilmes / Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) – Argentina

4Centro de Estudio de los Recursos Energéticos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile.

RESUMEN. La experiencia internacional ha mostrado que, para el desarrollo de las fuentes renovables de energía, no es suficiente que exista el recurso y la demanda del servicio energético asociado a esta fuente de energía, para lograr el desarrollo de su aprovechamiento, la creación de un mercado. En el caso de la biomasa la ceración de este mercado es aún un problema más complejo por el alto número de actores que intervienen en la cadena de valor y la subjetividad negativa con que se aprecia su uso en sustitución de los combustibles derivados del petróleo. En este capítulo se analiza la experiencia en el establecimiento de políticas e instrumentos de política para el desarrollo de las fuentes renovables de energía y se establece que, en el caso del uso de la biomasa con fines energéticos para la producción de calor, el entramado de leyes, regulaciones y normas de diferentes tipos es muy débil y totalmente insuficiente en los países de la región.

*Correspondencia: Dr. Alfredo Curbelo Alonso, Calle 20 Nro. 4109 entre 41 y 47, Playa, La Habana, Cuba. E-mail: acurbelo@cubaenergia.cu

1. Introducción

El uso de la biomasa sólida como combustible tiene un papel relevante en muchos países para satisfacer demandas térmicas. Estas demandas están vinculadas ante todo a la cocción de alimentos por familias de bajos ingresos, la producción de materiales de construcción a partir de la cocción de la arcilla, por ejemplo, los ladrillos, la calefacción en las regiones frías y en menor medida en la producción de vapor por medio de calderas de biomasa en instalaciones industriales.

Sin embargo, en la mayoría de los casos estos procesos ocurren en ausencia de un mercado maduro de la biomasa sólida como combustible y en general utilizando tecnologías de baja eficiencia energética. Esto da lugar a un aprovechamiento limitado de los recursos de biomasa sólida disponible y una baja valoración del sector empresarial y de los tomadores de decisión de las oportunidades no aprovechadas desde el punto de vista socio económico y medioambiental. Entre las causas que provocan esta situación se pueden mencionar:

- La atención del estado y las instituciones se centran en el sector eléctrico.
- Las demandas de energía térmica se satisfacen tanto en el sector doméstico como en el de la industria y los servicios utilizando derivados del petróleo.
- El mercado de los servicios y productos asociados a satisfacer estas demandas térmicas es maduro, bien estructurado y en algunos casos beneficiados por subsidios directos o indirectos.
- Para apoyar este mercado la capacidad institucional está bien desarrollada y establecida y en general experimentada y los procesos de toma de decisión son claros, regulados e institucionalizados.
- Los equipos tecnológicos para el uso de los combustibles derivados del petróleo son bien conocidos, existen múltiples suministradores y una amplia red de servicios técnicos.

Esta breve caracterización de las bases del dominio de los combustibles sólidos en el mercado de servicios energéticos térmicos muestra que el aprovechamiento del potencial de producción, suministro y uso eficiente y sostenible de los biocombustibles sólidos es ante todo una tarea de inserción en este mercado. Es evidente que el desarrollo de un mercado para los biocombustibles sólidos enfrenta un sin-número de barreras descritas por múltiples autores. La superación de estas barreras está íntimamente vinculada a la implementación de políticas públicas con este fin.

2. Las políticas públicas para la promoción de las energías renovables

La contraposición entre la importancia reconocida de un uso creciente de las fuentes renovables de energía y las barreras que en la práctica dificultan el logro de este propósito ha obligado a los gobiernos a intervenir de manera directa en esta esfera.

La intervención de los gobiernos se realiza sobre la base de una política dirigida a promover el incremento de la participación de las fuentes renovables de energía en los servicios energéticos del país. Estas políticas establecen los principios en que se basará la penetración de las fuentes renovables de energía en el mercado energético y las metas que el gobierno considera son de interés del país alcanzar.

Principios de las políticas públicas

Los principios en que se basan las políticas de desarrollo de las fuentes renovables de energía son específicos para cada país, ya que dependen de las condiciones nacionales y los conceptos básicos del desarrollo socioeconómico que se utilizan. Una muestra de los principios que están en la base de las políticas nacionales son los siguientes:

- ✓ El uso de las fuentes renovables de energía es:
- Una prioridad para la seguridad nacional.

- Una contribución al desarrollo socio económico del país y a la mejora de la balanza de pagos externos.
- Un recurso para la reducción de emisiones de gases efecto invernadero y la adaptación al cambio climático.

✓ El gobierno es el responsable de la gestión del aprovechamiento de las fuentes renovables de energía.

La implementación de este principio requiere de instituciones sólidas, con roles bien definidos y autoridad para ejercerlo, utilizando herramientas de planificación de mediano y largo plazo y mecanismo de monitoreo y evaluación sistemático para corregir la aplicación de las mismas en caso de desviaciones de las metas establecidas.

✓ La participación activa y consciente de toda la sociedad, incorporando a hombres y mujeres, está en la base del éxito del uso de las fuentes renovables de energía.
✓ La investigación, desarrollo e innovación tecnológica es un factor de aceleración de la penetración de las fuentes renovables de energía en el mercado de servicios energéticos.
✓ La participación de la industria nacional en el desarrollo y producción de equipamiento y tecnologías para el uso de las energías renovables, lo que es una contribución a la sostenibilidad de los programas nacionales de desarrollo en esta esfera.
✓ La transferencia de tecnologías, conocimientos y recursos financieros, provenientes de fuentes internacionales para el aprovechamiento de las fuentes de energía renovable, ventajosa para ambas partes, pero subordinada a los intereses nacionales.

Metas de las políticas públicas

Las metas a alcanzar como resultado de la aplicación de las políticas se formulan para un plazo de tiempo determinado y se establecen con diferentes alcances. Por ejemplo, se:

- Cuantifica la participación de las fuentes de energía renovable en su conjunto en el suministro de energía primaria nacional.
- Formulan por área de servicios energéticos: participación en la generación de electricidad, en el suministro de energía para calor y en el consumo de combustible para el transporte.
- Establece el valor de la participación de las fuentes renovables de energía solo en la generación de electricidad, en ocasiones desglosando la meta por fuente.

Estos elementos de la política se expresan habitualmente por medio de leyes, documentos estratégicos o programáticos de los países. El gobierno del Reino Unido formuló su Estrategia de Bioenergía en el 2012 (DECC, 2012). La meta formulada en ese documento era que, en el 2050, el 12% de la energía primaria del país tendría su origen en la bioenergía. El logro de esta meta debía alcanzarse observando los siguientes principios:

- Principio 1. La promoción de la bioenergía debe dar lugar a reducciones efectivas de carbón que ayuden al Reino Unido alcanzar sus objetivos de emisión de carbón para el 2050 y más allá.

- Principio 2. La promoción de la bioenergía debe dar lugar a una contribución costo- efectiva para lograr los objetivos de emisión de carbón del Reino Unido en el marco de los objetivos globales en energía.
- Principio 3. La promoción de la bioenergía debe estar dirigida a maximizar los beneficios globales y minimizar los costos (cuantificables y no cuantificables) en la economía.
- Principio 4. A intervalos regulares y cuando las políticas den lugar a significativas demandas adicionales de bioenergía en el Reino Unido, más allá de lo previsto a partir de la demanda actual, los encargados de formular políticas deben evaluar y responder a los impactos de este incremento.

Instrumentos de política

El logro de las metas formuladas en una política específica, sobre la base de los principios declarados, requiere eliminar o disminuir el impacto de un grupo de barreras. Con este fin los gobiernos utilizan un conjunto de instrumentos específicos de política. En el caso de los instrumentos orientados al despliegue de las tecnologías de las energías renovables, éstos se clasifican en cuatro categorías:

a. Incentivos fiscales.
b. Financiamiento público.
c. Regulaciones.
d. Políticas de acceso.

Una descripción primaria de los mismos se muestra a continuación:

a. Incentivos fiscales

Por medio de estos incentivos a los actores económicos en el despliegue de las energías renovables, se les permite una reducción en su contribución al presupuesto público ya sea por la vía de los impuestos o accediendo a pagos con fondos públicos por medio de reembolsos o subvenciones. Ejemplo de estos incentivos son:

- Subvenciones;
- La compra directa por el sector público;
- Tax credit;
- Reducción o excepción de impuestos;
- La depreciación variable o acelerada.

b. Financiamiento público

Apoyo financiero del cual se espera un pago en retorno (préstamos o participación en el capital social) u obligaciones financieras como son las garantías.

- Inversión pública;
- Garantías;
- Los préstamos;
- La adquisición pública

c. Regulaciones.

Establecen las reglas para guiar y/o controlar la conducta de aquellos a los que se le aplica. Se distinguen las regulaciones que están dirigidas a incrementar la participación de las energías renovables en los servicios energéticos por medio de:

- Fijación de cuotas de participación
- Fijación de precios
- Reconocimiento de la adquisición de energía renovable utilizando certificados o etiquetas.

Son regulaciones por medio de cuotas:

- ✓ Las cuotas para las Energías Renovables (Renewable Portfolio Standards).
- ✓ Se establece la exigencia a los generadores, suministradores y consumidores de alcanzar determinadas metas mínimas de generación, comercialización o consumo de energía renovable. Estas metas se formulan como una parte de la energía total consumida o como un valor de energía. Son los consumidores los que corren con los costos adicionales para satisfacer estas metas.
- ✓ Las obligaciones de cuotas o mandatos.
- ✓ Ejemplo de estas obligaciones son los mandatos en los códigos de edificaciones de instalar calentadores de agua o producir energía renovable en los edificios. La obligatoriedad de utilizar determinadas proporciones en mezclas de combustibles para el transporte.
- ✓ Las licitaciones públicas.
- ✓ Las autoridades públicas organizan la licitación de una cuota de generación de electricidad o de una capacidad de generación de electricidad. En ocasiones esta cuota se distribuye por tecnologías y capacidades de generación.
- ✓ La regulación por medio de los precios, en el caso de la generación de electricidad, se realiza utilizando:
- ✓ Las tarifas fijas (feed-in tariff).
- ✓ Este sistema garantiza el acceso a la red y la prioridad en el despacho eléctrico a los generadores eléctricos con fuentes renovables de energía. Se establecen precios fijos garantizados durante un periodo de tiempo previamente fijado. Estos precios van disminuyendo periódicamente para los nuevos beneficiados de manera de estimular el desarrollo tecnológico. Los precios se diferencian por tecnología y rango de potencia, asegurando la rentabilidad económica de las inversiones de acuerdo al desarrollo alcanzado por cada tecnología. Se considera la herramienta de estímulo más exitosa utilizada por los gobiernos internacionalmente para el fomento de las fuentes de energía renovable.
- ✓ Los pagos premios.
- ✓ El precio de la electricidad generada por las fuentes renovables de energía se forma sobre la base del precio de mercado más un valor adicional (premiun) que se establece con criterios similares a los utilizados en el feed-in tariff.
- ✓ Las regulaciones que trabajan por medio de reconocimientos son:
- ✓ Los certificados de compra verde, que reconocen las compras de energía renovable más allá de las cantidades establecidas por mandato
- ✓ El etiquetado verde que garantiza que los productos energéticos satisfacen determinados criterios que estimulan la adquisición voluntaria de los productos que favorecen el uso de las fuentes renovables de energía.

d. Políticas de acceso

Este grupo de instrumentos de política, en la práctica actual, está dirigido a facilitar el acceso a la red eléctrica de los generadores que utilizan fuentes renovables de energía. Este tipo de acciones es imprescindible pues el acceso al mercado eléctrico para cualquier generador de electricidad empieza por la posibilidad de entregar la energía generada a la red de transmisión y distribución de la energía. Los gobiernos implementan instrumentos como:

- ✓ La medición neta (net metering)
- ✓ Acceso priorizado o garantizado a la red eléctrica.
- ✓ Prioridad en el despacho de electricidad.
- ✓ Instrumentos de políticas específicas:
- ✓ Existen otros instrumentos que utilizan los gobiernos que se refieren como de políticas específicas.

Son ejemplos de estas políticas las dirigidas:

- al fomento de la investigación, desarrollo y la innovación tecnológica;
- a campañas de sensibilización;
- al desarrollo de programas de formación y certificación de técnicos y especialistas,
- de fomento de pequeñas y medianas empresas para brindar servicios energéticos basados en fuentes renovables de energía,
- a la creación de sistemas de normas y etiquetado.

3. El marco para la implementación de las políticas

La implementación de estos instrumentos de políticas específicas está estrechamente vinculada a tres conceptos básicos:

A. Marco regulatorio
B. Marco legal
C. Marco institucional.

Una descripción elemental de los mismos se muestra a continuación.

A. Marco regulatorio

Sistema de regulaciones y medios para hacerlas cumplir, que habitualmente son establecidas por los gobiernos para regular una actividad específica.

B. Marco legal

Su fundamento en muchos países es La Constitución como suprema legislación, que se complementa con la legislación promulgada por un parlamento o legislatura donde se incluyen leyes, códigos y regulaciones, dadas a conocer por distintas instancias reguladoras que guardan estrechos vínculos con la materia en cuestión.
El marco legal faculta a la autoridad correspondiente para que lleve a cabo las labores de administración de conformidad a la estructura detallada dentro de sus mismas provisiones.

C. Marco institucional

Conjunto de instituciones que tienen el encargo de implementar y hacer cumplir las regulaciones establecidas en el marco regulatorio. El sistema de regulaciones, instrumentos legales e instituciones enfocados en el desarrollo del aprovechamiento de las fuentes renovables de energía, es parte integrante y consustancial del sistema existente para el funcionamiento del sector energético en su conjunto. Las debilidades, insuficiencias y vacíos de este último se reflejan negativamente en la efectividad de las políticas dirigidas a las energías renovables. El enfoque de sistema al desarrollar estos tres espacios es una condición indispensable para asegurar su funcionabilidad en la implementación de la política para las energías renovables.

4. El caso de los biocombustibles sólidos y su uso en aplicaciones térmicas

Los biocombustibles sólidos más comunes son productos obtenidos a partir de biomasa lignocelulósica que luego de un proceso de preparación es transformada en un material de propiedades (tamaño, humedad, poder calórico, etc.) relativamente homogéneas. Este es el caso de:

- Trozas de leña.
- Astillas de madera.
- Briquetas.
- Pellets

La penetración de los biocombustibles sólidos en el mercado de los servicios energéticos térmicos requiere del establecimiento de una cadena de valor de mayor o menor complejidad según sea el caso. En esta cadena de valor los eslabones fundamentales serían:

-Preparación y/o Producción:

Se trata de obtención de la biomasa primaria, su preparación y su conversión en biocombustible. Los procesos comunes de preparación son: homogenización de tamaño y forma, clasificación por tamaño y secado. Una vez producido el biocombustible este es almacenado a granel o envasado según el caso en sacos o bolsas de diferentes capacidades

-Comercialización y Acceso al producto:

Este eslabón asegura que el usuario final pueda tener acceso al mismo. Requiere de una cadena logística de transportación, almacenamiento intermedio y entrega de producto de mayor o menor complejidad.

-Uso y consumo:

El uso y consumo de los biocombustibles se realiza en las instalaciones del usuario final. Requiere disponer de equipamiento energético que permita el uso de los biocombustibles sólidos y de capacidades de almacenamiento que permitan tener una reserva del mismo en la planta.

De acuerdo al origen del biocombustible sólido utilizado, el mercado de los servicios energéticos térmicos se puede diferenciar en dos grandes grupos:

A. Los que utilizan residuos propios de biomasa

Este es el caso de las agroindustrias como la industria de procesamiento de granos: arroz, maíz, trigo, etc., de la madera, las granjas avícolas, etc. En este caso la cadena de valor se simplifica pues se elimina el eslabón de comercialización y acceso y hay un solo actor económico a cargo del resto de los eslabones. En la mayoría de los casos la cantidad de biomasa disponible es superior a la requerida para satisfacer la demanda térmica de la planta. En esos casos es razonable evaluar a implementación de esquemas tecnológicos que permitan además la generación de electricidad y su intercambio con la red eléctrica nacional, por ejemplo, utilizando esquemas de net-metering.

B. Los que utilizan biocombustibles adquiridos en el mercado

Este caso es mucho más complejo pues el número de actores que intervienen directamente en la cadena de valor es mayor. En el eslabón de producción de biocombustible pueden estar separados los actores que realizan la producción de la biomasa y que actúan como suministradores a las empresas que realizan su transformación en biocombustible.

La cadena de comercialización puede ser compleja con agentes mayoristas y minoristas y redes de trasportación y distribución. Los usuarios finales de los biocombustibles solidos son muy variados:

- **El sector doméstico** para la cocción de alimentos y la calefacción.
- **El sector industrial** para:
  - la producción de vapor y agua caliente por medio de calderas. Por ejemplo, en la industria alimenticia y de bebidas y licores,
  - hornos para la producción de materiales de construcción como ladrillos de arcilla y piezas de cerámica roja o para la producción de productos alimenticios.
  - Hornos de secado de diferentes productos.
- **El sector de los servicios**:
  - Los sistemas de calefacción.
  - La producción de vapor y agua caliente sanitaria en hospitales, instalaciones turísticas, etc.

La formulación de políticas acertadas para la promoción del uso de los biocombustibles solidos con fines térmicos puede tener un impacto significativo en el desarrollo de este mercado. Entre otros aspectos debido a que:

- ✓ La definición de metas por parte del gobierno contribuye a la confianza de diferentes actores para participar en un mercado aún incipiente y con variados riesgos.
- ✓ La existencia de una sólida institucionalidad pública en el área de los biocombustibles solidos que permita fundamentar la formulación de estas políticas a partir de estudios de potencial y de mercado, así como de consideraciones sobre sinergias e impactos con otras políticas sectoriales y en particular con las relacionados con el enfrentamiento al cambio climático le dan una mayor robustez a las propuestas que se elaboren.
- ✓ La realización de campañas de difusión pública de las políticas, oportunidades y beneficios de su implementación, y para la sensibilización pública contribuyen a un mayor y más consciente apoyo de diferentes

sectores de la sociedad y a la implementación de las acciones asociadas a la política.

- ✓ Los programas de normas y certificación de productos, expertos y empresas de servicios, contribuyen a una mayor certidumbre sobre la calidad de los biocombustibles sólidos y de los servicios de consultoría y asesoría para el diseño de soluciones tecnológicas, adquisición y explotación de maquinarias, equipos y plantas en los diferentes eslabones de la cadena valor, etc.
- ✓ Las acciones con apoyo público de capacitación y formación de expertos y empresas especializadas en servicios energéticos, fortalecen la capacidad para desarrollar proyectos exitosos de menor costo, mayor cantidad y no solo en las regiones de mayor desarrollo socio económico.
- ✓ La introducción de regulaciones de mercado permite darle una relativa estabilidad en las etapas iniciales de su establecimiento.
- ✓ La participación de fondos públicos en el cofinanciamiento de la adquisición de equipos y maquinarias para la producción y uso de biocombustibles sólidos contribuye a disminuir los costos iniciales para las empresas y emprendedores y disminuir los riesgos financieros.
- ✓ El apoyo a programas de ciencia, tecnología e innovación que abarquen desde la producción de biomasa, su transformación en biocombustibles y su uso final con fines térmicos aumenta la capacidad nacional para la formulación de soluciones tecnológicas adaptadas a las condiciones del país, con mayores posibilidades de exceso y con una mayor participación de la industria y el sector empresarial nacional.

5. Políticas públicas en Iberoamérica. Capítulos de la Sección IV

Se incluyen cuatro capítulos en esta Sección, relevando la situación de las políticas públicas y esquemas de financiamiento en Argentina (capítulo IV.1), Chile (capítulo IV.2), Cuba (capítulo IV.3) y España (capítulo IV.4).

6. Conclusiones y visión de futuro de las políticas y financiamiento en Iberoamérica

En el marco de las políticas para la promoción de las energías renovables las experiencias más avanzadas se manifiestan en el sector de la generación de electricidad.

En lo relacionado con la bioenergía, la formulación de políticas y regulaciones se concentran en los biocombustibles para el transporte.

En el caso de la promoción del aprovechamiento de la biomasa para la producción y uso de biocombustibles solidos con fines térmicos, el desarrollo de políticas públicas es aún un proceso incipiente en los países de la región.

7. Referencias de la Sección IV

Departament of Energy and Climatic Change (DECC). (2012). UK Bioenergy Strategy. Recuperado el 03 de Febrero 2020 dehttps://www.gov.uk/government/publications/uk-bioenergy-strategy.

Deutsche Gesellschaft fur Internationale Zusammenarbeit (GIZ)(2012). Legal Frameworks for Renewable Energy. Policy Analysis for 15 Developing and Emerging Countries.

Edenhofer O, et al. (2012). Renewable Energy Sources and climate Change Mitigation. Special report of the IPCC

International Renewable Energy Agency (IRENA) (2012). Evaluating policies in support of the deployment of renewable power. Policy Brief

International Renewable Energy Agency (IRENA) (2018). Renewable Energy Policies in a Time of Transition

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPPC) (2020). AR6 Climate Change 2021: Mitigation of Climate Change. Working Group III.

Lambride, M. (2010) Las políticas para el desarrollo de la energía sostenible.

REN21 Secretariat (2012). Global Status Report. Renewables.

REN21 Secretariat (2018). Global Status Report. Renewables.

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar IV- Políticas y Financiamiento, 2020: 235-242
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editor: A. Curbelo Alonso

IV.1. Políticas, marcos institucionales y financiamiento sobre Biomasa y Bioenergía Rural en Argentina

Santiago Garrido[1,2,*]; Lucía Sánchez Deicas[1,2]; Emilia Ruggeri[1,2]; Anabella Denuncio[1,2]; Gabriela Bortz[1,2]; Guillermo Santos[1]

1 Instituto de Estudios sobre la Ciencia y la Tecnología, Universidad Nacional de Quilmes, Bernal, Buenos Aires, 1876, Argentina.

2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) – Argentina

RESUMEN. El desarrollo y aprovechamiento energético de biomasa en Argentina fue impulsado a partir de diferentes políticas en el marco de leyes y regulaciones orientadas a la promoción de la adopción de Energías Renovables en general. Estas políticas fueron reforzadas a través de un programa específico para impulsar el uso sustentable de la energía obtenida de biomasa conocido como "Proyecto para la Promoción de la Energía derivada de Biomasa (PROBIOMASA)". Este programa, no sólo impulsó el desarrollo de emprendimientos bioenergéticos, sino también proyectos de investigación y desarrollo científico y tecnológico en el sector. Las actividades de investigación impulsadas por este programa se suman al trabajo que vienen desarrollando diferentes instituciones de Ciencia y Tecnología sobre esta temática. El propósito de este capítulo es caracterizar las diferentes políticas, marcos institucionales y financiamiento sobre Biomasa y Bioenergía Rural en Argentina, identificar su alcance, sus limitaciones y potencialidades a futuro. A partir de la implementación de este tipo de políticas el desarrollo de proyectos y experiencias de biomasa y bioenergía rural han crecido en la última década, pero todavía no ha alcanzado las expectativas que genera el potencial ampliamente reconocido del país. En las conclusiones del capítulo, se presentan algunas reflexiones sobre esta situación.

*Correspondencia: Dr Santiago Garrido. Dirección postal: Roque Sáenz Peña 352, B1876 Bernal, Buenos Aires. E-mail: santiagomgarrido@gmail.com

1. Leyes nacionales y provinciales

El desarrollo y aprovechamiento energético de biomasa fue promovida en Argentina a partir de un paquete de leyes de fomento de las Energías Renovables: la ley 26.190 (del 2006) que declaraba de interés nacional la generación de energía eléctrica dedicada al servicio público a través de recursos renovables y la ley 26.093 que estableció el régimen nacional de biocombustibles (MINPLAN, 2008). En el caso de la ley 26.190, se estableció como objetivo lograr una contribución de las fuentes renovables (contemplando biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de

depuración, biogás y biocombustibles), que alcance el 8% de la demanda de energía eléctrica en un plazo de 10 años a partir de la puesta en vigencia del régimen.

En el caso de la ley de biocombustibles, se estableció un corte obligatorio que obligó a las empresas petroleras a comprar biodiesel y bioetanol para mezclar con sus combustibles y cumplir con la cuota correspondiente en cada caso. De este modo, se abrió una nueva oportunidad de agregado de valor para la producción del complejo agro-industrial. La producción de biocombustibles fue uno de los sectores de mayor crecimiento en Argentina en los últimos 15 años, debido a que se montó sobre uno de los sectores más dinámicos de la economía argentina (agro) que contaba con recursos financieros para encarar este tipo de proyectos. Las empresas aceiteras y acopiadoras de granos (muchas de ellas transnacionales) fueron las que desarrollaron las principales plantas productoras de biodiesel utilizando como principal insumo el aceite de soja. El nivel de producción permitió incluso llevar el corte obligatorio del 5% al 10% en pocos años (el 5% de biodiesel para el año 2010 se incrementó al 7% en agosto 2010 y al 10% en 2014).

El artículo N°14 de la Ley N° 26.093 establecía beneficios promocionales, priorizando proyectos desarrollados por pequeñas y medianas empresas, productores agropecuarios y las economías regionales. Asimismo, se habilitaba a la Secretaría de Energía a establecer cuotas de corte específicas para este tipo de actores (la Resolución 56/2012, otorgaba prioridad a las empresas con una capacidad de producción de hasta 50.000 toneladas anuales –pymes- en la compra para el abastecimiento del cupo de biodiesel para el mercado interno, otorgando a las más grandes la parte del mercado interno restante, si la hubiere). Sin embargo, la tendencia dominante fue la instalación de grandes plantas por sobre los proyectos de pequeña escala. Incluso, muchos proyectos de baja o mediana escala tuvieron que ser cancelados o abandonados por la falta de una adecuación regulatoria.

El bioetanol experimentó un proceso más lento. El sector azucarero no contaba con el dinamismo y la capacidad financiera del complejo oleaginoso. En 2008, se sancionó la Ley Nacional N° 26.334, Régimen de Promoción de la Producción de Bioetanol. Esta ley tiene por objetivo incluir a los ingenios azucareros en la producción de este biocombustible, extendiendo los beneficios de la Ley 26.093 a las empresas cuyos proyectos sean aprobados. Con un poco de demora, se pudo cumplir con la cuota del 5% aunque la producción de bioetanol presenta limitaciones, debido al impacto ambiental que produce el residuo del proceso de producción del alcohol llamado vinaza. Es el caso particular de los ingenios tucumanos.

En otros lugares como Salta o Jujuy, la vinaza puede ser utilizada como fertilizante en los propios campos cañeros, pero en Tucumán esto no es posible porque los suelos tienen altos niveles de potasio. Por este motivo, algunos ingenios azucareros tucumanos comenzaron a trabajar en la búsqueda de alternativas para el procesamiento de la vinaza que se concentra en piletas de evaporación y representa un riesgo ambiental si se derrama en ríos y arroyos. Este problema se acrecienta en la época de lluvias porque las piletas se saturan y los ingenios deben parar la producción.

Otro desafío para la producción a base de caña de azúcar es la incorporación en los últimos años de bioetanol generado a partir de maíz. El principal peligro que perciben los ingenios azucareros es la diferencia en la escala de producción que

puede afectar los precios o, incluso, limitar el cupo que tienen hasta este momento. Las nuevas plantas de bioetanol que utilizan maíz como materia prima fueron impulsadas por productores agropecuarios que buscaron diversificar su producción. En algunos casos, son las mismas empresas que se dedican a la producción de biodiesel.

La principal iniciativa que se impulsó para alcanzar el objetivo planteado por la ley 26.190 fue el programa GENREN (Generación Renovable), impulsado por la empresa estatal ENARSA (Energía Argentina S.A), que se basaba en la licitación y compra de 1000 MW de potencia producidos a partir de Energías Renovables. ENARSA se comprometía a comprar la energía a los generadores, asegurando contratos a precio fijo en dólares por un lapso de 15 años. La energía adquirida iba a ser colocada por ENARSA en el mercado eléctrico mayorista.

La magnitud de la inversión requerida en el desarrollo de proyectos de generación a partir de Energías Renovables para lograr resultados significativos en la diversificación de la matriz energética es un tema crítico. Desde el estado se han impulsado políticas concretas para promover la inversión privada a través de sistemas de cuotas y licitaciones Feed in Premium (FIP). Cuando en julio de 2010 se publicaron los resultados de la licitación, se puso en evidencia que debido a la falta de oferta de energía producida por medio de algunas de las fuentes determinadas a priori – geotérmica y biomasa, por ejemplo– las proporciones previstas no habían podido respetarse. Entre los proyectos adjudicados en el marco de este programa, había dos proyectos basados en gases de vertedero por una potencia instalada de 15 MW, dos a base de biomasa por 7,5 MW y 4 basados en el aprovechamiento de biocombustibles por un total de 110 MW.

En el año 2011, frente a la falta de ofertantes para otras fuentes de energía renovable, la Secretaría de Energía dictó la resolución 108/11 que establecía condiciones similares a las ofrecidas por el GENREN para nuevos proyectos renovables. A través de esta resolución se incorporaron nuevos proyectos de generación a partir de biomasa.

En la industria azucarera, la mayoría de los ingenios queman sus residuos en calderas para obtener la energía necesaria para el proceso productivo. Por este motivo, ya tienen una práctica de aprovechamiento del recurso biomásico generado en su actividad. En los últimos años, los ingenios Santa Bárbara de Tucumán y El Tabacal de Salta incorporaron proyectos de cogeneración de energía eléctrica en sus plantas industriales.

Los resultados obtenidos por las políticas e instrumentos impulsados entre 2006 y 2015 estuvieron muy por debajo de las expectativas. Por este motivo, se impulsó una nueva ley, la 27.191, en 2015 que modificó a la 26.190 del año 2006. Los principales cambios que introdujo esta Ley fue la extensión del plazo para cumplir con la cuota del 8% de 2016 a 2017, la imposición de la obligación de la cuota a los grandes usuarios del sistema eléctrico (ya sea por autogeneración o contratos de provisión entre privados), y la liberación de impuestos a la importación de equipos hasta la fecha máxima de cumplimiento de la cuota del 8%. Esta ley fue reglamentada en marzo de 2016 y, a partir de ello, el recientemente creado Ministerio de Energía lanzó el programa RenovAr que consiste en una serie de licitaciones a través de las cuales se adjudicaron proyectos por 5200 MW a los que se suman otros 1000 MW de los llamados contratos MATER (contratos de provisión para grandes usuarios).

El Programa RenovAr, lanzado en julio de 2016, proponía una nueva tanda de llamados a licitación para el abastecimiento de energía eléctrica a partir de fuentes renovables impulsado por el entonces Ministerio de Energía y Minería y a través de la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico S.A. (“CAMMESA”). A diferencia del GENREN, los contratos de provisión de electricidad se hacían directamente con CAMMESA (eliminando a ENARSA como intermediario).

Las principales diferencias que tiene el RenovAr en relación al GENREN fueron la extensión de los contratos de provisión (se ampliaron a 20 años) y la posibilidad que tienen quienes firmen los contratos de abastecimiento (PPA) de ser beneficiario del Fondo para el Desarrollo de Energías Renovables (FODER), que opera como garantía del pago por parte de CAMMESA. Este fondo es financiado con un crédito específico del Banco Mundial.

En la Ronda 1 del RenovAR, fueron adjudicadas 29 de las 123 ofertas presentadas por una potencia total de 1143 MW, entre los que se destacan 9 de Biogás y 15 de biomasa. Debido al gran interés generado por esta primera licitación, se generó la ronda 1.5 en la que se adjudicaron 20 proyectos nuevos (compuesto sólo de proyectos eólicos y solares) y se lanzó una ronda 2 en la que se adjudicaron 16 proyectos de biomasa (143,2 MW de potencia en total), 31 proyectos de biogás (56,2 Mw de potencia en total) y 3 proyectos de biogás de vertedero (13,1 MW de potencia en total). Asimismo, se abrió una nueva convocatoria (Ronda 3) que está en proceso de adjudicación.

Además del RenovAR, el Ministerio de Energía abrió suscripción de contratos para el abastecimiento de grandes consumidores. Como se explicó, la ley 27.191 obliga a los grandes consumidores a cumplir con una cuota del 8% de la energía consumida a partir de fuentes renovables. De hecho, son los únicos verdaderos obligados por dicha norma, ya que su incumplimiento individual y efectivo deriva en la aplicación de una penalización. Para evitar este tipo de sanciones, los grandes consumidores deben acreditar (a) la suscripción de contratos de provisión, o bien (b) presentar un proyecto de autogeneración o cogeneración. Para dar respuesta a este sector específico del mercado eléctrico, se impulsó el programa MATER, que también tuvo una significativa respuesta.

Por el lado de la disponibilidad de recursos biomásicos para su aprovechamiento energético, se destaca la Ley N° 16.106 de “Recursos Dendroenergéticos Renovables” en el ámbito de la Provincia de Misiones, sancionada en 2012. La ley busca regular el manejo y disposición final de los residuos de la industria forestal de la provincia (una de las más importantes del país). De este modo, se pretende reducir la contaminación ambiental provocada por la quema a cielo abierto de este tipo de residuos y generar condiciones para su valorización energética de manera sustentable. En uno de sus apartados, la ley establece la creación de un Certificado de Gestión y Uso Sustentable de Energía (CGUSE) para las empresas del sector forestal.

1.2. PROBIOMASA

Además de las leyes mencionadas, que se concentran en la producción de biocombustibles líquidos y la generación de electricidad, la principal política existente en Argentina para promover el desarrollo de las bioenergías es el Proyecto para la Promoción de la Energía derivada de Biomasa (PROBIOMASA). El PROBIOMASA fue lanzado a finales de 2012 y desarrollado por el ex Ministerio de

Agroindustria (actual Secretaría de Gobierno de Agroindustria) y el ex Ministerio Energía y Minería (actual Secretaría de Gobierno de Energía) y funciona con asistencia técnica y administrativa de la FAO, constituyéndose como el principal instrumento en Argentina. Su objetivo central es incrementar la generación de esta energía a partir de distintas líneas de acción: evaluación de recursos, fortalecimiento institucional, incubación de proyectos bioenergéticos, formación técnica, entre otros.

Las líneas de acción del PROBIOMASA son las siguientes:

- Reforzar el marco institucional y crear infraestructura para impulsar el uso sustentable de la energía obtenida de biomasa.
- Promover el establecimiento de emprendimientos bioenergéticos (Incubadora de proyectos energéticos).
- Informar y capacitar a los actores políticos, empresarios, investigadores y al público en general acerca de las oportunidades y ventajas que ofrece la bioenergía.

El programa promueve diferentes tipos de aprovechamiento de biomasa con fines energéticos: plantas térmicas a base de residuos foresto-industriales y de transformación de cereales que producen calor o vapor y energía eléctrica; Biodigestores familiares, industriales y comunitarios; Cocinas y estufas de alto rendimiento; producción de briquetas y pellets, etc.

Dentro de sus acciones concretas, el PROBIOMASA propone mejorar las condiciones socioeconómicas en comunidades energéticamente aisladas. En este sentido se impulsó una iniciativa de provisión de energía térmica a partir de biomasa en ‘‘comunidades energéticamente vulnerables’’. En 2018 se realizó una licitación en el marco del PROBIOMASA para promover la producción de energía derivada de biomasa, con el objetivo de construir equipos que provean energía térmica a comunidades de distintas provincias de Argentina: Paraje Yahaveré (Corrientes), Cerro Negro del Tirao (Salta), Santa Bárbara (Jujuy) y Paraje Pinto (Córdoba). La idea es posibilitar el acceso a calefacción, cocción y agua caliente sanitaria por parte de esas comunidades. Se propone mejorar las condiciones actuales mediante la provisión, instalación y capacitación para el uso de termotanques, estufas de doble combustión, cocinas eficientes o equipamiento multifunción. Al momento en que realizamos este relevamiento, se había efectivizado la entrega de equipos en las comunidades de Corrientes, Córdoba y Salta.

Otro ejemplo es el estudio de factibilidad de calefacción a escala distrital en distintos barrios de clase media en la ciudad de Esquel, provincia de Chubut. En este caso, se plantearon tres modelos de implementación con distintos esquemas de inversión entre usuarios y proveedores de servicio. El modelo que mayor aceptación presentó fue aquel en el cual los usuarios eran dueños del sistema de distribución y entregaban a una empresa la concesión de la generación de calor en el sistema. La principal biomasa detectada en la región es la originada a partir de la producción forestal, ya sea en tratamientos silviculturales o como subproducto de la industrialización de la madera.

Otro tipo de iniciativa se orientó al manejo de residuo de poda en pequeñas ciudades ubicadas en medios rurales. Una de las experiencias concretas de este tipo fue el proyecto de empaquetadora de ramas de poda del municipio de General Viamonte de la provincia de Buenos Aires. Este proyecto consiste en la implementación de maquinaria de empaquetado para ramas de poda que permite optimizar la gestión

del arbolado urbano, mejorar la limpieza y recolección en las calles, disminuir a la mitad los costos de operación, eliminar la necesidad de destinar espacio a la disposición final; y generar energía térmica industrial.

El financiamiento de las inversiones es señalado como una de las principales barreras del proyecto, por ello desde 2013 se están desarrollando acciones para elaborar de una propuesta de Nationally Appropriate Mitigation Actions (NAMA) para acceder al financiamiento internacional.

Otras Fuentes de financiamiento se dividen entre las nacionales y las internacionales:

(A) Financiamiento nacional

Programas de financiamiento y asistencia del Estado

a. Fondo para el Desarrollo de Energías Renovables (FODER)
b. Fondo para el Desarrollo Económico Argentino (FONDEAR)
c. Fondo Argentino de Eficiencia Energética (FAEE)
d. Fondo Nacional para el Desarrollo de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa (FONAPYME). Proyectos de desarrollo tecnológico con impacto social y territorial.
e. Proyectos federales de innovación productiva: recursos naturales
f. Unidad para el Cambio Rural (programa en desarrollo)

Financiamiento a través de la banca comercial

a. Financiamiento de inversiones para agregado de valor en origen – Tramo III
b. Financiamiento para el sector ganadero, provincia de La Pampa
c. Financiamiento para el sector lechero, provincia de La Pampa
d. Financiamiento de capital de trabajo e inversiones para cadenas agropecuarias y agroindustriales, provincia de San Juan
e. Línea ecosustentable, provincia de Córdoba
f. Línea verde de créditos del gobierno de la provincia de Santa Fe
g. Línea especial de financiación a largo plazo en dólares a tasa fija

(B) Financiamiento internacional

a. Fondo Danés para la Inversión Climática (KIF)
b. Agencia Francesa para el Desarrollo (AFD)
c. Ministerio Federal Alemán de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ)
d. Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropiadas (NAMA Facility)
e. Fondo Verde para el Clima (GCF)
f. Agencia Internacional de Energías Renovables y Fondo de Desarrollo Abu Dhabi (IRENA - ADFD)
g. Fondo de la Alianza Mundial para el Clima (GCPF)
h. Banco Mundial (BM)
i. Fondo Especial para el Cambio Climático – Fondo Global para el Ambiente (SCCF – GEF)

2. Investigación y desarrollo

A las leyes de fomento y al PROBIOMASA se deben sumar las acciones iniciadas desde instituciones de CyT nacionales como el Instituto Nacional de Tecnología

Agropecuaria (INTA) y del Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). Ambas instituciones vienen desarrollando proyectos orientados a brindar apoyo tecnológico para el desarrollo de las energías renovables a partir del aprovechamiento de biomasa. Por ejemplo, el INTI desarrolló una Red de Servicios INTI para la Valorización de Recursos Biomásicos e Impulso al Desarrollo de la Bioenergía, la cual tiene como uno de sus objetivos principales impulsar la normalización de los biocombustibles, tanto líquidos como sólidos.

Asimismo, el INTI impulsó el desarrollo del proyecto demostrativo de un gasificador municipal de biomasa en la ciudad de Presidencia de la Plaza en la provincia de Chaco. La producción forestal, los aserraderos y la fabricación de muebles son las principales actividades económicas de la región central del Chaco. Estas actividades generan grandes cantidades de residuos que generalmente se queman a cielo abierto, provocando contaminación ambiental y patologías pulmonares. Para buscar una alternativa, que además generará nuevas oportunidades de empleo, se propuso desarrollar un Complejo Tecnológico Productivo de Energías Renovables y Biomasa. Este complejo está integrado por dos instalaciones asociadas: fábrica de pellets y planta gasificadora que está conectada a un grupo electrógeno que genera electricidad que se inyecta a la red de baja tensión local.

A estas iniciativas se suman los proyectos desarrollados por el Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP), un organismo autárquico interjurisdiccional de investigación, innovación y desarrollo tecnológico, cuyo objetivo es contribuir al desarrollo sostenible de la región patagónica poniendo en valor el potencial de su capital humano y sus recursos naturales renovables en general y en particular los vinculados a los sistemas boscosos y tierras de aptitud forestal. Una de las principales líneas de trabajo desarrolladas por el CIEFAP está centrada en el aprovechamiento energético sostenible de recursos forestales en la región patagónica.

Conclusiones

En las últimas dos décadas, se han impulsado en Argentina una importante cantidad políticas públicas para promover el desarrollo y la adopción de energías renovables en general y derivadas de biomasa en particular. Sin embargo, se sigue reconociendo que la incorporación de este tipo de tecnologías sigue siendo muy escasa. Las opiniones críticas basadas en los resultados obtenidos por las políticas nacionales se reparten entre las que cuestionan el diseño de las políticas y los que plantean problemas de contexto.

Las leyes sancionadas en el año 2016 y el programa GENREN tenían como principal objetivo incentivar al capital privado para invertir en proyectos renovables. Los objetivos planteados fueron alcanzados con creces en el caso de los biocombustibles, pero no en el caso eléctrico. Los resultados adversos en su implementación en el caso argentino, demuestra la necesidad de romper con las interpretaciones deterministas que presuponen que un dispositivo legal-regulatorio puede ser de aplicación universal.

Los resultados del programa RenovAR a partir de 2016, fueron un poco más auspiciosos en términos generales, pero siguen siendo limitados en el aprovechamiento energético de biomasa. Este escaso desarrollo, resulta paradójico dado el amplio reconocimiento del enorme potencial que tiene el país en basado en el gran desarrollo de su producción agrícola y forestal.

Las políticas públicas analizadas en este trabajo fueron diseñadas desde una concepción determinista tecnológica que supone que la aplicación de un instrumento probado con éxito en otros países debía tener los mismos resultados en cualquier parte. Las dificultades que presentó la aplicación de estas políticas demuestran que el funcionamiento depende las relaciones que se desarrollan entre una tecnología (o una política) con la red de actores sociales que intervienen en el proceso de su implementación. De este modo, es necesario que las políticas orientadas a promover el desarrollo e implementación de ER no se reduzcan a incentivos económicos bajo una lógica exclusiva de eficiencia y rentabilidad, sino que articulen otros elementos económicos, energéticos, productivos, sociales, políticos y culturales.

Referencias

MINPLAN (2008): 1816-2016 Argentina del Bicentenario. Plan Estratégico Territorial.http://www.cofeplan.gov.ar/html/pet/documentos/pet_avance_2008.pdf

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar IV- Políticas y Financiamiento, 2020: 243-251
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editor: A. Curbelo Alonso

IV.2. Políticas, Marcos Institucionales y Esquemas de Financiamiento para la Biomasa en Chile

María Luisa Ojeda[1*], Humberto Vidal[1],

1Centro de Estudio de los Recursos Energéticos, Facultad de Ingeniería, Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile.

RESUMEN. Chile, a partir del año 2010 al consolidarse la institucionalidad energética con la formación del Ministerio de Energía, ha promovido que la Política Energética no debe ser considerada en forma aislada, sino que inserta en la estrategia de desarrollo económico, social e institucional del país. De esta forma, se ha generado un documento de planificación estratégica con una mirada hacia el 2050, que es el norte para los ministerios relacionados con el tema energético, y de donde se definen las respectivas políticas públicas en este ámbito. La dendroenergía, las medidas de mitigación del cambio climático, los planes de descontaminación ambiental por uso de leña, entre otros, tienen por lo tanto una mirada multisectorial, con metas comunes, donde la disminución de las emisiones en el país y la sustitución de los combustibles fósiles por otros más amigables con el medio ambiente son los grandes desafíos de los próximos años.

*Correspondencia: Mg. Ing. María Luisa Ojeda; CERE-Universidad de Magallanes, Avenida Bulnes N°01855, Punta Arenas, Chile; E-mail: maría.ojeda@umag.cl

1. Institucionalidad

El organismo público responsable del sector energético es el Ministerio de Energía, que debe llevar adelante los planes, políticas y normas para el desarrollo del sector eléctrico y térmico. Además, entrega concesiones para centrales de energía, líneas de transmisión, subestaciones y zonas de distribución eléctrica, y también tiene a su cargo todo lo relacionado con los combustibles en Chile, fósiles y renovables. De dicha secretaría de Estado depende la Comisión Nacional de Energía (CNE) , organismo técnico encargado de analizar precios, tarifas y normas técnicas a las que deben ceñirse las empresas del sector, y la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), entidad que fija los estándares técnicos y fiscaliza su cumplimiento.

Para el sector de la Bioenergía se pueden sumar otros ministerios, como los de Agricultura, de Medio Ambiente y de Educación, y una serie de otros actores relevantes según la función que cumplen en la cadena de valor, tal como se muestra en la Figura 1. Se debe aclarar que al año 2019, el Centro de Energías Renovables (CER) fue absorbido por las Divisiones de Energías Renovables y de Sostenibilidad

del Ministerio de Energía, y por el Comité Solar de CORFO. Además, la Agencia Chilena de Eficiencia Energética – ACHEE, hoy se denomina Agencia de Sostenibilidad Energética y el Consejo de Producción Limpia (CPL) es ahora Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático. Se destacan también aquellas instituciones dedicadas a apoyar el fortalecimiento de capacidades en el tema, las instituciones a cargo de las regulaciones y fiscalización y las de fomento y financiamiento.

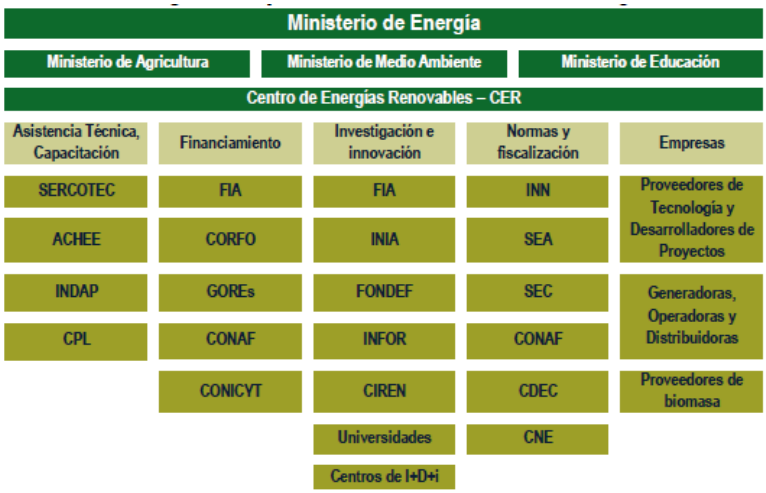


Figura 1. Esquema de entidades relacionadas con la Bioenergía (UDT, 2013).

SERCOTEC. El Servicio de Cooperación Técnica, ofrece a los pequeños empresarios y emprendedores del país, hombres y mujeres, apoyo para fortalecer su capacidad de gestión y desarrollar sus negocios. Su acción se basa en la necesidad de reducir las dificultades y desventajas que enfrentan las empresas de menor tamaño en relación a aquellas más grandes; por ejemplo, en el acceso a financiamiento. A los emprendedores y emprendedoras que tienen un proyecto de negocio ofrece apoyo para que puedan concretarlo, a través de Capital Semilla Emprende y Capital Abeja Emprende, de manera que renueven y diversifiquen el tejido empresarial.

ACHEE hoy AGENCIA SE. La Agencia de Sostenibilidad Energética, es una fundación de derecho privado sin fines de lucro, cuya misión es promover, fortalecer y consolidar el uso eficiente y sostenible de la energía articulando a los actores relevantes, a nivel nacional e internacional, e implementando iniciativas público privadas en los distintos sectores de consumo energético, contribuyendo al desarrollo competitivo y sustentable del país. Dentro de su quehacer está la implementación de programas y proyectos específicos que impulsan la disminución del consumo energético. Esto lo realizamos focalizando nuestro trabajo hacia los principales sectores de consumo: industria y minería, transporte, edificación y sector público, residencial y comercial. Por otra parte, la educación y difusión juegan un rol destacado, ya que permiten hacer de la Sostenibilidad Energética un valor cultural y lograr así cambios de conducta en la ciudadanía. Recientemente se le adicionó la facultad de gestionar el tema de biocombustibles. https://www.agenciase.org/

INDAP. El Instituto de Desarrollo Agropecuario, es un servicio dependiente del Ministerio de Agricultura, que tiene por objeto promover el desarrollo económico, social y tecnológico de los pequeños productores agrícolas y campesinos, con el fin de contribuir a elevar su capacidad empresarial, organizacional y comercial, su integración al proceso de desarrollo rural y optimizar al mismo tiempo el uso de los recursos productivos. Bajo este mandato, se faculta a la institución para desarrollar una amplia gama de acciones relacionadas con el desarrollo productivo y rural y se

define la condición de sus beneficiarios/as que pueden ser: Pequeño/a productor/a Agrícola, y Campesino/a: Campesino/a. http://www.indap.gob.cl/

CPL hoy Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático. Es un Comité de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) que tiene como misión fomentar la inclusión de la dimensión del cambio climático y el desarrollo sostenible en el sector privado y en los territorios. Esto, a través de acuerdos voluntarios, coordinación con otras instituciones públicas, iniciativas de fomento y la ejecución de programas y proyectos que aporten a la construcción de una economía sustentable, resiliente y baja en carbono. Al mismo tiempo apoyar el cumplimiento de los compromisos internacionales de Chile en estas materias. Sus ámbitos de acción específicos son la transferencia tecnológica, la formación de capacidades y la difusión del conocimiento. Junto a ello, impulsamos el emprendimiento e innovación, el financiamiento, el establecimiento y certificación de estándares y la acreditación de auditores. http://www.agenciasustentabilidad.cl

FIA. La Fundación para la Innovación Agraria, es la agencia del Ministerio de Agricultura cuya misión es fomentar una cultura de innovación en el sector agrario, agroalimentario y forestal, promoviendo, articulando y apoyando iniciativas de personas y entidades que contribuyan a mejorar las condiciones de vida de las y los agricultores de todas las regiones del territorio nacional. http://www.fia.cl/

CORFO. La Corporación de Fomento y Producción, es una agencia del Gobierno de Chile, dependiente del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo a cargo de apoyar el emprendimiento, la innovación y la competitividad en el país junto con fortalecer el capital humano y las capacidades tecnológicas. Tiene como principal objetivo, el de promover una sociedad de más y mejores oportunidades para todos (as) y contribuir al desarrollo económico del país. https://www.corfo.cl/sites/cpp/home.

CONAF. La Corporación La Corporación Nacional Forestal (CONAF) es una entidad de derecho privado dependiente del Ministerio de Agricultura, cuya principal tarea es administrar la política forestal de Chile y fomentar el desarrollo del sector. La Corporación tiene la misión de contribuir al desarrollo del país a través del manejo sostenible de los ecosistemas forestales y de los componentes de la naturaleza asociados a éstos, la que se alcanzará mediante: el fomento, el establecimiento, restauración y manejo de los bosques y formaciones xerofíticas; el aumento del arbolado urbano; la mitigación y adaptación de los efectos del cambio climático; la fiscalización de la legislación forestal y ambiental; y la protección de los recursos vegetacionales y la administración de las Áreas Silvestres Protegidas del Estado, para las actuales y futuras generaciones. http://www.conaf.cl/

CONICYT. La Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica es una corporación autónoma y funcionalmente descentralizada, con patrimonio propio y personalidad jurídica de Derecho Público, destinada a asesorar al Presidente de la República en el planeamiento del desarrollo científico y tecnológico. Tiene tres grandes objetivos: (a) fortalecer la base científica y tecnológica del país; (b) impulsar la formación de capital humano avanzado; y (c) promover una cultura científica y tecnológica en la población. https://www.conicyt.cl/

FONDEF. El Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico, tiene como propósito contribuir al aumento de la competitividad de la economía nacional y al mejoramiento de la calidad de vida de los chilenos, promoviendo la vinculación

entre instituciones de investigación, empresas y otras entidades en la realización de proyectos de investigación aplicada y de desarrollo tecnológico de interés para el sector productivo u orientados al interés público. Dentro de sus líneas está: Apoyo a proyectos de I+D aplicada, con alto contenido científico, orientados a generar impactos económicos y/o sociales. Estos proyectos son ejecutados por instituciones de investigación vinculadas con empresas u otras entidades que les otorgan pertinencia; Apoyo a la generación de capacidades de emprendimiento basado en investigaciones innovadoras desarrolladas por estudiantes egresados de las universidades chilenas, a través del financiamiento de proyectos basados en resultados de sus tesis de grado o posgrado. https://www.conicyt.cl/fondef/sobre-fondef/que-es-fondef

INIA. El Instituto de Investigaciones Agropecuarias es una corporación de derecho privado, sin fines de lucro, vinculada al Ministerio de Agricultura de Chile. Se financia principalmente por medio de fondos públicos, a través de un convenio de desempeño con la Subsecretaría de Agricultura, además de proyectos concursables de investigación, transferencia tecnológica y extensión, tanto públicos como privados, así como de convenios y venta de productos tecnológicos. Posee también una red de Bancos de Germoplasma, compuesta por un Banco Base y Activo de semillas y especies nativas localizado en Vicuña, Región de Coquimbo; cuatro Bancos Activos de cultivos, hortalizas, frutas, leguminosas y papas en Santiago, Chillán, Temuco y Osorno (regiones Metropolitana, del Biobío, La Araucanía y Los Lagos, respectivamente); y un Banco de Recursos Genéticos Microbianos, situado también en Chillán. Este último constituye un referente a nivel latinoamericano para la preservación ex situ de microorganismos. http://www.inia.cl/

INFOR. El Instituto Forestal es un Instituto Tecnológico de Investigación del Estado de Chile, está constituido como una corporación de derecho privado, adscrita al Ministerio de Agricultura, y cuenta con cinco Sedes: Diaguitas en La Serena, Metropolitana en Santiago, Bio Bio en Concepción, Valdivia en Valdivia y Patagonia en Coyhaique. Define su actual marco estratégico; mantiene sus líneas de investigación en torno a plantaciones, bosques nativos, productos forestales, información y otras, pero enfatiza fuertemente su accionar hacia los pequeños propietarios y la pyme forestal, de acuerdo con las prioridades gubernamentales y ministeriales, a través de líneas estratégicas prioritarias enfocadas al manejo sostenible de los diferentes tipos de bosques nativos a lo largo del país, a la integración de la agricultura familiar campesina y la pyme al desarrollo forestal, al monitoreo permanente de los recursos forestales, al estudio de la biomasa forestal como fuente de energía, a la identificación y valorización de los servicios ambientales que proveen los ecosistemas forestales, a la innovación y gestión para la competitividad sectorial, y a los temas ligados al cambio climático, incorporando además fuertes programas de transferencia técnica y difusión hacia el segmento objetivo mencionado. https://www.infor.cl/index.php

CIREN. El Centro de Información de Recursos Naturales, es una institución con personalidad jurídica y de derecho privado que, por más 30 años, ha proporcionado información sobre los recursos naturales y productivos del país, mediante el uso de tecnologías y aplicaciones geoespaciales. El resultado del trabajo ha permitido construir la base de datos más importante relacionada a información georreferenciada de suelos, recursos hídricos, climas, información frutícola y forestal que existen en Chile, además de un completo catastro de la propiedad rural. Trabaja para asegurar la calidad en la provisión de bienes públicos y en la generación de nuevos productos y servicios de alto valor, que contribuyan a la

planificación, toma de decisiones y diseño de políticas de desarrollo productivo y de ordenamiento territorial. Sumado a ello, la institución provee información actualizada sobre el territorio y sus recursos para mitigar los posibles riesgos a los que se enfrentan, entre los que se encuentran los desastres naturales y el cambio climático. El compromiso del centro es minimizar el impacto de estos eventos, manteniendo la calidad de vida y los medios de producción. https://www.ciren.cl/

INN. El Instituto Nacional de Normalización, está constituido como una fundación de derecho privado sin fines de lucro, creada por CORFO, como un organismo técnico en materias de la Infraestructura de la calidad. El INN es continuador legal del Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización (Inditecnor), y tiene como misión contribuir a la sociedad con el aseguramiento y mejora de la calidad, a través del desarrollo de normas técnicas, acreditación de evaluación de la conformidad, la coordinación de la Red Nacional de Metrología y la transferencia de conocimientos, para aumentar el valor agregado por los diversos sectores productivos y mejorar la calidad de vida de las personas, con énfasis en aquellos sectores priorizados por las políticas públicas, con excelencia e independencia técnica. https://www.inn.cl/

SEA. El Servicio de Evaluación Ambiental, fue creado bajo el alero de la Ley N°20.417 (Ministerio de Medio Ambiente, 2010), y su principal función es administrar el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), donde proyectos y/o actividades en Chile son evaluados ambientalmente. Dentro de varias de estas actividades, se encuentran las asociadas a la producción, transformación, y valorización energética de la biomasa, entre otras. https://www.sea.gob.cl/

CDEC. Los dos mayores sistemas eléctricos del país: los interconectados Central (SIC) y del Norte Grande (SING) tienen Centro de Despacho Económico de Carga (CDEC). Este organismo es el encargado de coordinar la operación del sistema eléctrico donde cohabitan cuatro tipos de usuarios: generadoras, transmisoras, distribuidoras y grandes consumidores industriales, como las mineras, que están representadas en su estructura de gobierno corporativo, es decir, están representadas en su directorio. La figura del CDEC se estableció en la Ley General de Servicios Eléctricos (DFL 1) de 1982, pero comenzó a funcionar en 1985. El CDEC-SIC tiene su base de operación en el centro de Santiago y está compuesta por una serie de equipos que permiten monitorear en línea el estado de las distintas instalaciones que forman parte del sistema troncal. Las direcciones de operación y peajes toman las decisiones a partir de criterios generales fijados por el directorio, pero priorizando el despacho desde las centrales de operación más baratas hasta las más caras. https://www.coordinador.cl/

SEC. La Superintendencia de Electricidad y Combustibles, nace con el nombre de Inspección Técnica de Empresas y Servicios Eléctricos, sin embargo, a la fecha y con el correr de los años, la SEC ha ido evolucionando en sus funciones hasta convertirse en la principal agencia pública responsable de supervigilar el mercado de la energía. Esta institución que se relaciona con el Gobierno por intermedio del Ministerio de la Energía, y tiene como misión ejercer la vigilancia para que las personas cuenten con productos y servicios seguros y de calidad, en los sistemas de electricidad y combustibles. Dentro de sus objetivos estratégicos se tiene: Movilizar los Mercados Energéticos hacia estándares más altos, a través del mejoramiento de la normativa y su fiscalización; informar y educar a los usuarios; potenciar una fiscalización eficiente e innovadora, entre otros. http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,1&_dad=portal&_schema=PORTAL

CNE. La Comisión Nacional de Energía, es un organismo público y descentralizado, con patrimonio propio y plena capacidad para adquirir y ejercer derechos y obligaciones, que se relaciona con el Presidente de la República por intermedio del Ministerio de Energía. Su Ley Orgánica Institucional corresponde al DL N° 2.224, de 1978, modificado por Ley Núm. 20.402 que crea el Ministerio de Energía. Como objetivo general tiene el encargo de analizar precios, tarifas y normas técnicas a las que deben ceñirse las empresas de producción, generación, transporte y distribución de energía, con el objeto de disponer de un servicio suficiente, seguro y de calidad, compatible con la operación más económica; y como misión el generar condiciones para un desarrollo seguro, sostenible, diversificado y de precios eficientes de los mercados energéticos chilenos a través de la generación de propuestas al Ministerio de Energía de carácter regulatorio que permitan cumplir los objetivos de política pública, monitoreo, análisis, tarificación y dictación de normativas técnicas, económicas y de seguridad, así como asesorar a las autoridades en las materias del sector energético. https://www.cne.cl/

2. Políticas.

2.1. Políticas Energéticas

Según EBP Chile (2018), para generar política pública, se requiere de un alto grado de coordinación y cooperación entre los diferentes ministerios. No necesariamente la cantidad de comisiones refleja un mejor nivel de coordinación con un resultado deseado, pero debe haber coordinación en temas claves para la agenda del futuro. En las últimas décadas ha habido un aumento importante en las instancias de coordinación formal interministerial, tales como:

- Consejo de Ministros para la Sustentabilidad y el Cambio Climático.
- Comité de Ministros para el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Comisión Interministerial de Ciudad, Vivienda y Territorio.
- Consejo Directivo de la Agencia Chilena de Sustentabilidad y Cambio Climático.
- Comité Económico de la Presidencia.
- Sistema Nacional de Información Territorial.
- Consejo de Innovación.

También ha habido una participación relevante de los otros ministerios en la elaboración de la Política Energía 2050, en las políticas energéticas de Magallanes y de Aysén, así como en las respectivas evaluaciones ambientales. A esto se agregan programas y estrategias más específicos, tales como la Estrategia de Electromovilidad, y la Política de Leña (Ministerio de Energía, 2015). Esta última se detalla más adelante.

El actual gobierno, ha elaborado de forma participativa la "Hoja de Ruta Energética 2018 -2022" (Ministerio de Energía, 2018), donde se establece entre los mega compromisos la regulación de los biocombustibles sólidos como la leña y sus derivados, otorgando al Ministerio de Energía las atribuciones necesarias para establecer especificaciones técnicas y el reglamento de aplicación para la comercialización de la leña en zonas urbanas. Además, de otorgar las competencias de fiscalización a la Superintendencia de Electricidad y Combustibles. Acompañaremos esta regulación apoyando las iniciativas de inversión asociadas al mercado de los biocombustibles sólidos, con énfasis en el mejoramiento de la calidad de la leña y el desarrollo de productos derivados que satisfagan de manera

eficiente la demanda de calefacción existente. También se establecen acciones en torno a coordinar con el sector privado la producción y consumo de pellets y leña seca.

Las políticas específicas asociadas al uso de la biomasa o la bioenergía, dependen fuertemente del Ministerio de Energía, el cual se coordina y colabora con otros ministerios e instituciones para la elaboración de políticas más transversales. Dentro de este grupo, están las políticas vinculadas al cambio climático siendo las más relevantes:

- Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022 (Ministerio de Medio Ambiente, 2017)
- Plan de Mitigación de Gases de Efecto Invernadero para el Sector Energía (Ministerio de Energía, 2017)
- Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales 2017-2025 (CONAF, 2016)

2.2. Políticas para la leña

La Política de Leña, es fruto de un trabajo coordinado interinstitucional, que surge de un proceso participativo a través de las mesas de calefacción y leña desarrolladas en el centro sur de Chile. La visión contenida en esta política es dar los lineamientos y definir las líneas de trabajo de corto, mediano y largo plazo, asociados a los desafíos de mejorar la forma en que se produce, comercializa y consume la leña y sus derivados como principal fuente energética en la calefacción de las edificaciones en el país. Asimismo, la visión considera una evolución de la leña hacia productos con mayor valor agregado y eficiencia y menores niveles de emisiones.

Conocida es la actual situación de informalidad que posee el mercado de la leña en nuestro país, generado entre sus principales consecuencias, una degradación del bosque nativo, un mal uso mediante leña húmeda y en calefactores poco eficientes sumado a la mala aislación de los hogares chilenos, provocando un alto costo social y ambiental debido a la alta contaminación generada, el año 2003 se crea un grupo de trabajo permanente de organizaciones públicas y sociedad civil, liderado por la ONG Forestales por el Bosque Nativo (AIFBN), sobre la problemática de la leña en la ciudad de Temuco y Valdivia, para crear el "Sistema Nacional de Certificación de Leña (SNCL) , y el año 2006 crear el Consejo Nacional de Certificación de Leña (CONACEL) con entidades públicas y Organizaciones No Gubernamentales.

El SNCL es una iniciativa sin fines de lucro de carácter voluntario, que fija un estándar de "Calidad" y "Origen" para la comercialización de la leña, basándose en cuatro principios básicos: la conservación del bosque nativo, cumplimiento de la ley, tanto laboral como forestal, descontaminación del aire y derechos del consumidor. Esto con el objetivo de disminuir el deterioro de los bosques y la contaminación atmosférica en las ciudades producto de su mal uso. A través de esta Certificación se crea un mercado más formal, diferenciado, que agrega valor al producto y mejora la rentabilidad del manejo forestal.

Sin embargo, pese a los señalado anteriormente, hoy en día, en la región de Aysén, por ejemplo, menos de un 4% del volumen total de leña comercializada cuenta con los estándares establecidos por el Sistema Nacional de Certificación de Leña (SNCL) en las áreas urbanas, y se estima que alrededor de un 90% del total de leña se transa en el mercado informal y con bajos estándares de calidad. (EBP Chile, 2018).

3. Fomento y financiamiento

El uso de biomasa en reemplazo de combustibles fósiles para la generación de energía puede tener numerosos beneficios. Destaca la seguridad de suministro energético, con una eventual disminución de costos; desarrollo económico local, oportunidades en el manejo de residuos y reducción de la emisión de gases efecto invernadero. Estos beneficios dependen del tipo de biomasa y de la elección de tecnología utilizada para su transformación, entre otros. La bioenergía difiere de otras energías renovables, como lo son la energía solar y eólica, puesto a que involucra una combinación de procesos, que abarcan toda la cadena de valor, desde el cultivo y abastecimiento de biomasa, al aprovechamiento tecnológico y autoabastecimiento y/o distribución a usuarios finales. Dada esta combinación de actividades, la bioenergía es capaz de proveer beneficios ambientales, sociales y económicos, los cuales han sido impulsados por programas asociados a I+D o I+D+í, promovidos por la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICYT), la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), Corporación Nacional Forestal (CONAF), el Ministerio de Agricultura a través del programa del Fondo de Innovación Agropecuaria (FIA) y los gobiernos regionales, a través del Fondo de Innovación para la Competitividad Regional.

4. Conclusiones

El precio promedio para calefaccionar una vivienda varía dependiendo de las condiciones climáticas de cada región y del precio de los combustibles y electricidad en las distintas ciudades. Por otra parte, la leña corresponde al energético más accesible, con alta cobertura y disponibilidad. Los centros de acopio y secado de leña poseen un rol fundamental, siendo capaces de generar masivamente una oferta sostenible, con calidad estandarizada y a precios justos, la cual complementa iniciativas de cambio tecnológico y uso eficiente de la biomasa. La información disponible no permite realizar una proyección de tendencia futura, sin embargo, la urgencia ha promovido en gran parte su fomento. Hace poco más de una década en Chile no se conocían modelos de negocios o tecnologías para el secado de leña, mientras que, aunque aun escasamente implementados, han tenido un aumento considerable.

Por otro lado, se destaca que la falta de un respaldo institucional, sumado a las escasas garantías de retorno por la falta de regulación, dificulta un desarrollo acelerado de centros de acopio y secado. Adicionalmente, la baja valoración por parte de la ciudadanía con respecto a la leña seca, debido principalmente al desconocimiento, dificulta aún rentabilizar estas inversiones.

Uno de los principales aspectos para la disminución de la contaminación en ciudades extensivas en el uso de leña, corresponde a las tecnologías de generación de energía. Es por ello que dentro de las principales líneas de políticas públicas para la prevención y mitigación de la emisión de material particulado corresponde a los planes de recambio de calefactores, la cual acelerar la renovación del parque actual de calefactores de baja eficiencia por tecnologías eficientes y amigables con el medio ambiente, especialmente para calefacción. En este contexto es que en los Planes de Descontaminación Atmosférica se están efectuado importantes programas de recambio.

5. Referencias

CONAF (2016), "Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales 2017-2025. Obtenida de: https://www.conaf.cl/

CORFO (2016), "Transferencia Tecnológica en Chile", mandatado por la Corporación de Fomento de la Producción a iCONO UDD, Oficina de Desarrollo Tecnológico de la Universidad del Desarrollo, Santiago de Chile.

EBP Chile (2018), documento base de "Futuro de Energía en Chile: Factores de Cambio y tendencias", varios autores, editado por EBP Chile, Fundación futuro Latinoamericano y Cobalto. Santiago de Chile.

Ministerio de Energía (2015), "Política de uso de la leña y sus derivados para calefacción", documento participativo del Ministerio de Energía, en conjunto con los ministerios de Medioambiente, Agricultura, Educación, Vivienda y Obras Públicas de Chile, y la Corporación de Fomento de la Producción. Santiago de Chile.

Ministerio de Energía (2017), "Plan de Mitigación de Gases de Efecto Invernadero para el Sector Energía", mandatado por Ministerio de Energía a Banco Mundial - Consorcio Carbon Counts (Reino Unido) y E2BIZ (Chile).

Ministerio de Medio Ambiente (2017), "Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2017-2022". Obtenido de: https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/07/plan_nacional_climatico_2017_2.pdf

Unidad de Desarrollo Tecnológico – UDT (2013), "Informe Final Estudio "Recomendaciones para la elaboración de una Estrategia Nacional de Bioenergía", UDT – Universidad de Concepción a solicitud del Ministerio de Energía de Chile, Concepción.

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar IV- Políticas y Financiamiento, 2020: 252-253
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editor: A. Curbelo Alonso

IV.3. Breve caracterización de la situación de las políticas para la promoción del uso de la biomasa como fuente de energía en aplicaciones térmica en Cuba

Alfredo José Curbelo Alonso[1*]

1Grupo Bioenergía, Centro para la Gestión de la Información y el Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA), LA Habana, 11300, Cuba

RESUMEN. La experiencia internacional ha mostrado que, para el desarrollo de las fuentes renovables de energía, no es suficiente que exista el recurso y la demanda del servicio energético asociado a esta fuente de energía, sino que para lograr el desarrollo de su aprovechamiento es necesaria la creación de un mercado. En el caso de la biomasa la creación de este mercado es aún un problema más complejo por el alto número de actores que intervienen en la cadena de valor y la subjetividad negativa con que se aprecia su uso en sustitución de los combustibles derivados del petróleo. En este capítulo se analiza la experiencia en el establecimiento de políticas e instrumentos de política para el desarrollo de las fuentes renovables de energía. Se reconoce que, en el caso del uso de la biomasa con fines energéticos para la producción de calor, el entramado de leyes, regulaciones y normas de diferentes tipos, es muy débil y totalmente insuficiente en los países de la región.

*Correspondencia: Dr. Alfredo Curbelo Alonso, Calle 20 Nro. 4109 entre 41 y 47, Playa, La Habana, Cuba. E-mail: acurbelo@cubaenergia.cu

1. Contexto y situación

El gobierno de Cuba aprobó en el 2014 la "Política para el Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía". Esta política establece como meta la generación del 24% de la electricidad con fuentes renovables de energía en el año 2030. Esta política se plantea como objetivos:

1. Transformar la estructura de las fuentes energéticas empleadas en la generación y el consumo de electricidad incrementando la participación de las fuentes renovables de energía.
2. Disminuir la dependencia de los combustibles fósiles.
3. Elevar la sostenibilidad medioambiental y reducir la contaminación.

La biomasa juega un papel clave en el logro de esta meta pues el 64% se alcanzará como resultado de un programa para la instalación de más de 750 MWe en plantas eléctricas asociadas a fábricas de azúcar que utilicen como combustible la biomasa cañera y la forestal.

Sin embargo, esta política está centrada en la generación y uso de la electricidad y lo relacionado con el uso térmico de la biomasa no se aborda. Este hecho es resultado de la alta dependencia de la infraestructura energética térmica del país de los combustibles fósiles. El único sector donde se utilizan masivamente las calderas de biomasa es en la industria azucarera en esquemas de cogeneración. En el caso de los hornos solo se utiliza la leña en hornos artesanales para la producción de ladrillos y piezas de barro como materiales de construcción. El resto del equipamiento térmico utiliza como combustible diésel o fuel oíl.

Si bien existen evaluaciones del potencial forestal y de residuos agroforestales que puede ser utilizado con fines energéticos su aprovechamiento es aún muy incipiente. El caso más significativo es la puesta en marcha de una planta de gasificación de cascara de arroz para realizar el secado y el suministro de electricidad a partir del uso del gas producido con este fin.

En este escenario, la formulación de políticas específicas para la promoción del uso térmico de la biomasa daría un aporte significativo al desarrollo de esta actividad. En particular sería importante la formulación de metas, la creación de un marco de normas técnicas para los biocombustibles sólidos, la implementación de acciones de capacitación y de fortalecimiento de capacidades en planificación y servicios de consultoría y asesoría técnica; que propicien el diseño e implementación de proyectos de inversión para la producción y uso de biocombustibles sólidos, así como establecer regulaciones de sus precios.

Reflexiones

El desarrollo del marco de políticas para la promoción del uso térmico de los biocombustibles es incipiente y su formulación es un requerimiento para la superación de las barreras existentes para aprovechar las fuentes de biomasa disponibles con fines energéticos.

Referencias

Comisión Gubernamental Cubana (2014). "Política para el Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía". Mesa redonda nacional. Recuperado de http://www.cubadebate.cu/especiales/2014/08/14/cuba-apuesta-por-una-energia-mas-limpia-diversa-y-eficiente/#.XnEf1XJKjIU.

Gaceta Oficial de Cuba (2019). Decreto Ley 345. "Del desarrollo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía" https://www.gacetaoficial.gob.cu/es/gaceta-oficial-no-95-ordinaria-de-2019

Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Red Iberoamericana de Tecnologías de Biomasa y Bioenergía Rural

Documento de Trabajo de Pilar IV- Políticas y Financiamiento, 2020: 254-265
ISBN: 978-84-15413-32-5. Editor: A. Curbelo Alonso

IV.4. Políticas y financiamiento sobre biomasa sólida con fines térmicos en España

M.L Contreras Rodríguez[1*], A. Bahillo Ruiz[1], J.M.Sánchez-Hervás[1]

1 Departamento de Energía, Unidad de Valorización Termoquímica Sostenible, CIEMAT, Madrid, 28040, España.

RESUMEN. La legislación sobre biomasa y su aprovechamiento energético en España es muy amplia y está desarrollada a muy diversos niveles. Adicionalmente existen diferentes medidas de fomento a nivel Nacional para la instalación de calderas de biomasa además de otros programas de ayuda gestionados por el Ministerio, como los "Proyectos Clima". A nivel regional algunas Comunidades Autónomas también presentan medidas de apoyo económico para el empleo este recurso, pero en general son más limitadas. Por otra parte, en los últimos años en España se han elaborado normas de calidad concretas para el empleo de algunos biocombustibles de origen agrícola comúnmente utilizados en España (hueso de aceituna y algunos tipos de cáscaras de frutos secos) y para los cuales hasta el momento no se había tenido en cuenta ninguna norma de calidad para su uso. Al mismo tiempo, diferentes fabricantes han desarrollado equipos que se han sometido a ensayo o que pueden ser adecuados para los biocombustibles mediterráneos. Estas medidas están promoviendo el uso de estos combustibles, sobre todo en aquellos países donde el mercado está más desarrollado. Ecodesign (LOT20) introducirá en 2022 una nueva regulación que obligará a los fabricantes de equipos de combustible sólido a cumplir con requisitos de emisiones mucho más estrictos que los actuales. EN 16510, englobará todo tipo de aparatos de combustión de combustible sólido, ya sean estufas, hogares, cocinas o calderas de leña o pellet. Los productos que cumplan con estos requisitos tendrán un impacto medioambiental muchísimo menor.

*Correspondencia: Dra. Mª Luisa Contreras. Dirección postal: CIEMAT Avda. Complutense, 40.28040, Madrid. E-mail: mluisa.contreras@ciemat.es

1. Introducción

La tendencia energética de los Estados miembros de la Unión Europea, es hacia la reducción de consumo de energía primaria, el aumento de la presencia de las de energías renovables y la reducción de emisiones de efecto invernadero.

Otro gran objetivo de la Unión Europea, es el control de los carburantes, de las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas y de la potenciación de los biocarburantes. El Marco Energía y Clima 2030 incluye los siguientes objetivos políticos a escala de la Unión Europea para el período 2021-2030: al menos un 40% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero con respecto a los

niveles de 1990, al menos el 32% de la cuota de energía renovable y una mejora de la eficiencia energética de al menos un 32,5%. Para lograrlo la Unión Europea ha adoptado el paquete "Energía Limpia para todos los ciudadanos" que incluye cuatro reglamentos, cuatro directivas y ocho comunicaciones. Además los Estados miembros están obligados a adoptar planes nacionales integrados de clima y energía (PNEC) para el período 2021-2030.

El Gobierno de España ya ha elaborado y enviado a Bruselas un borrador del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC), que se espera esté aprobado a finales de 2019. Entre los objetivos del Plan se encuentra el alcanzar un 42% de energías renovables sobre el uso de energía final (desde el 17% actual) y un 74% en el caso de la generación eléctrica en el año 2030, desde el 38-40% actual. Para ello se prevé instalar 57 GW de potencia renovable adicional (27 GW de eólica, 32 GW de fotovoltaica, 5 GW de termosolar, 1 GW de biomasa) y 6 GW de almacenamiento, con presencia de diferentes tecnologías renovables (Ruiz et al., 2012).

Con respecto a la biomasa, actualmente, el sector emplea de manera directa, indirecta e inducida a cerca de 33.000 personas, aporta el 0,28% del PIB español y el 0,9% de los recursos de la Administración General del Estado (AGE). Es decir, la biomasa genera un balance socioeconómico y medioambiental positivo, valorado en 1.323 millones de euros, como diferencia entre la aportación a las arcas públicas y ahorros medioambientales (emisiones de CO2 y prevención de incendios) y la retribución específica percibida por la actividad.

Teniendo en cuenta este potencial y con el escenario adecuado, de aquí a 2021 sería posible incrementar 550 MW de biomasa eléctrica y 800 ktep de biomasa térmica en nuestro país. Este marco conllevaría un incremento de la aportación económica de las biomasas, así como una contribución a otros objetivos decisivos de equilibrio medioambiental, con un incremento del ahorro de 824 millones de euros (+62%) en 2021 sobre el balance actual positivo de 1.323 millones de euros (Unión por la Biomasa, 2018).

2. Normativa europea de bioenergía.

La Directiva de Energía Renovable (*Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables*) establece un objetivo vinculante: el 32% de toda la energía final consumida en la UE en 2030 deberá ser de origen renovable (en España, este objetivo se ha fijado en un 35%). Este acuerdo será revisable en el año 2023 (MCIyU, 2019). Los aspectos más relevantes de esta directiva, en lo referido a la bioenergía, son:

- En el sector de la calefacción y la refrigeración, se establece un aumento anual de 1,3 puntos porcentuales en el uso de renovables térmicas como objetivo indicativo.
- Las nuevas instalaciones que comiencen a funcionar en enero de 2021 deben ahorrar un 70% en comparación con los combustibles fósiles; las instalaciones que comiencen en 2026 deben ahorrar un 80%.
- La Unión debe adoptar medidas adecuadas en el marco de la propia Directiva, incluida la promoción de criterios de sostenibilidad y de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero aplicables a los biocarburantes, los biolíquidos y los combustibles de biomasa.

- La Unión y los Estados miembros deben fomentar la utilización de energía procedente únicamente de una mayor movilización sostenible de la madera y de los recursos agrarios existentes y el desarrollo de nuevos sistemas de silvicultura y de producción agrícola.
- En cuanto a biocombustibles, se establecen los objetivos del incremento de tasa de energía renovable en el sector del transporte a un 14% para 2030, con un 3,5% para biocombustibles avanzados, y se limitan los biocarburantes convencionales a lo establecido para 2019 (7%), aunque no contarán como renovables los de soja y palma a partir de 2030. Los ahorros de emisiones de gases de efecto invernadero derivados del uso de combustibles de transporte renovable líquidos y gaseosos de origen no biológico, serán al menos del 70% a partir del 1 de enero de 2021. También se pone de manifiesto la importancia de los biocombustibles avanzados y los combustibles de origen no biológico para la aviación. Además se establece que el biometano ha de presentar garantías de origen similares a la electricidad renovable, con el fin de aumentar el comercio transfronterizo.

La Directiva de Eficiencia Energética (*Directiva (UE) 2018/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018 por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energétic*a) marca un objetivo para el mismo año de 32,5%, también con una posible revisión al alza en 2023. La Directiva establece un marco de medidas cuyo enfoque es asegurar que se cumplan los objetivos de la UE para 2020 y 2030. La mejora de la eficiencia energética beneficiará al medio ambiente como a la seguridad energética, recortará los costes de la energía en edificios, contribuirá a atenuar la pobreza energética y propiciará el crecimiento y el empleo en el sector.

El Reglamento (UE) 2018/1999 *del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018 sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima,* establece que los Estados miembros elaboren Planes Nacionales Integrados de Energía y Clima, de 2021 a 2030, que describan cómo alcanzar los objetivos, cuyo borrador deberán presentar a la Comisión Europea. Además, establece mecanismos de control que contribuirán a garantizar el cumplimiento de los objetivos.

3. Normativa española de bioenergía.

La Estrategia Española para el desarrollo del uso energético de la biomasa forestal residual se recoge en la Disposición adicional cuarta de la Ley N° 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes y su modificación en la Ley N° 10/2006 de 28 de abril, que señala textualmente: ‘‘El Gobierno elaborará, en colaboración con las Comunidades Autónomas, una Estrategia para el desarrollo del uso energético de la biomasa forestal residual, de acuerdo con los objetivos indicados en el Plan de Fomento de las Energías Renovables en España’’.

El uso de la biomasa y el biogás para la producción eléctrica están contemplados en el Real Decreto N° 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la *actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos*.

En relación a las plantas de biomasa y biogás, en España el Real Decreto 1042/2017, de 22 de diciembre, *sobre la limitación de las emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de las instalaciones de combustión medianas*, actualiza el anexo IV de la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera, limitando las emisiones a la atmósfera de

determinados contaminantes -dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NOx) y partículas (polvo)- procedentes de instalaciones de combustión medianas con potencia térmica nominal igual o superior a 1 megavatio e inferior a 50 megavatios, entre las que se encuentran las instalaciones de biomasa y de biogás y las redes de calor. La normativa también establece mediciones para el control de las emisiones de dióxido de carbono procedentes de dichas instalaciones (MCIyU, 2018). Además, las características técnicas que hay que cumplir para realizar una instalación de biomasa con carácter general son las establecidas en el RITE (Reglamento de instalaciones térmicas en edificios).

4. Política Nacional referente a la biomasa para uso térmico e instrumentos de financiación.

La Directiva 2009/28/CE del Parlamento europeo y del Consejo, de 23 de abril, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, establece que cada Estado miembro elaborará un Plan de Acción Nacional en materia de Energías Renovables (PER) para conseguir los objetivos nacionales fijados en la propia Directiva.

Dentro de la política española de promoción de la biomasa, el PER fija los objetivos específicos en cada sector renovable para el conjunto del territorio nacional (MCIyU, 2018) y establece medidas específicas para los sectores de la biomasa, distinguiendo entre medidas en el ámbito del aprovechamiento térmico de las energías renovables, medidas específicas en el campo de la biomasa, biogás y residuos y medidas en el ámbito de biocarburantes.

En relación a la biomasa térmica, y según el PER, el instrumento fundamental es la ayuda financiera. Actualmente existen dos vías principales de promoción de las energías renovables térmicas mediante ayudas financieras (Fernández González et al., 2015; MIEyT, 2010):

- *Ayudas a la inversión.*
  Existe un sistema de ayudas a la inversión en energías renovables térmicas cuyos presupuestos son establecidos por la Administración General del Estado y aplicados mediante convenios con las comunidades autónomas que son las que, de cara al solicitante, gestionan dichos fondos.

- *Programas de financiación.*
  En los últimos años se han desarrollado distintos programas de financiación de *proyectos de energías renovables térmicas*, según distintos conceptos: financiación incorporando subvención, financiación a través del ICO o financiaciones específicas por instalación a través del IDAE bajo conceptos como la financiación por Terceros (TPT) o financiación con asesoramiento técnico (IDAE, 2011).

  El *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía* (IDAE), dispone de varios programas de apoyo al uso de biomasa en el sector residencial e industrial (BIOMCASA II, GIT, PAREER), según muestra la Tabla 1 (BIOMASUD, 2020).

  El PER también establece numerosas propuestas de financiación para *proyectos de investigación* y normativas encaminadas a facilitar los trámites administrativos. Destaca también el "establecimiento" de un sistema de certificación" de la biomasa, que comprueba el cumplimiento de los requisitos de calidad y trazabilidad de la misma.

El *Fondo de Carbono para una Economía Sostenible* (FES-CO2), es un instrumento de financiación climática concebido con el objeto de reorientar la actividad económica hacia modelos bajos en carbono. La actividad del FES-CO2 prima la adquisición de reducciones verificadas de emisiones en los conocidos como "sectores difusos" (no sujetos al régimen europeo de comercio de derechos de emisión) que resulten del desarrollo de proyectos en España ("Proyectos Clima"), ofreciendo apoyo al sector privado para emprender actividades bajas en carbono (Fondo de Carbono, 2020).

Tabla 1. Principales ayudas para el uso de la biomasa en España.

Programa	Descripción
PAREER-CRECE	Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios existentes
BIOMCASA II	Programa para la ejecución de proyectos de biomasa térmica en edificios
GIT	Financiación a empresas habilitadas de Grandes Instalaciones Térmicas a partir de fuentes renovables en edificación.
Proyectos Clima	Proyectos Clima del Fondo de Carbono para una Economía Sostenible (FES-CO2).

A *nivel regional* también existen algunas Comunidades Autónomas con medidas de apoyo económico al empleo este recurso, pero en general son más limitadas.

Tabla 2. Ayudas de promoción de la biomasa a nivel regional.

Programa	Descripción
Programa de ayudas a energías renovables en Murcia	Promueve ayudas de acuerdo al Programa Operacional FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional) para compañías de la región, en las siguientes acciones: auditorías energéticas, renovación de equipos en instalaciones consumidoras de energía, mejora de eficiencia energética en procesos de producción, instalaciones de generación de energía en el punto de consumo.
Ayudas para la extracción de biomasa forestal residual en los montes de Cantabria.	Ayuda a pequeñas empresas y propietarios forestales para actividades de silvicultura.
Ayudas a inversiones en instalaciones de aprovechamiento energético de la biomasa en País Vasco	Diferentes modalidades: Instalaciones de biomasa con calderas para producción de energía térmica mediante producción de agua caliente, agua sobrecalentada o vapor, Calderas para producción de aire caliente con potencia nominal superior a 70kW. Nuevas conexiones a instalaciones district- heating existentes.
Ayudas para el aprovechamiento de las energías renovables en Castilla la Mancha.	En relación a medidas de fomento de la producción de energía limpia y reducción de emisiones de CO2, mediante un modelo de desarrollo de energía sostenible.
Subvenciones biomasa Galicia	Ayudas para Proyectos de Biomasa Térmica, individuales o en grupo.

5. Normativa de calidad de la biomasa para uso térmico.

A medida que se ha ido desarrollando el uso de la biomasa, se han ido desarrollando también estándares de calidad para tratar de asegurar la comercialización de un producto homogéneo y de calidad verificable (BIOMASSTEP, 2018). La normativa de calidad de la biomasa para aplicación térmica se puede dividir en dos grupos: normativa en relación a la calidad del biocombustible sólido y normativa específica en relación a los sistemas de calefacción donde se emplearán estos combustibles.

5.1. Normas para Biocombustibles sólidos

- Normas ISO/UNE

Existe gran variedad de normativa acerca de la biomasa y de los biocombustibles sólidos, A nivel internacional, existen normas ISO que afectan a los biocombustibles sólidos más utilizados a nivel internacional, como son los pellets, las astillas y la leña. A nivel nacional, se han desarrollado normas de calidad relativas al hueso de aceituna y a las cáscaras de frutos (Mediavilla et al., 2018). A continuación se describen las normas técnicas más destacadas en el ámbito de los biocombustibles sólidos, en relación a su clasificación y a la calidad de los mismos.

Clases de combustibles:

- UNE-EN ISO 16559:2015. Biocombustibles sólidos. Terminología, definiciones y descripciones.
- UNE-EN ISO 17225:2014 "Especificaciones y clases de combustibles" define las especificaciones que deben cumplir los combustibles de biomasa para ser clasificados. En este sentido, esta norma se divide en 7 partes:
- UNE-EN ISO 17225-1:2014: Requisitos generales.
- UNE-EN ISO 17225-2:2014: Clases de pélets de madera. En esta parte, los pélets de madera se clasifican en A1, A2 o B.
- UNE-EN ISO 17225-3:2014: Clases de briquetas de madera. Las clases que se consideran para las briquetas de madera son: A1, A2 y B.
- UNE-EN ISO 17225-4:2014: Clases de astillas de madera. Se exponen cuatro clases de astillas: A1, A2, B1 y B2.
- UNE-EN ISO 17225-5:2014: Clases de leña de madera. La leña de madera se clasifica en A1, A2 o B.
- UNE-EN ISO 17225-6:2014: Clases de pélets de origen no leñoso. En esta parte, los pélets de origen no leñoso se clasifican en A o B.
- UNE-EN ISO 17225-7:2014: Clases de briquetas de origen no leñoso. Se consideran dos clases diferentes para las briquetas de origen no leñoso: A y B.
- Esta norma no clasifica la calidad de algunos biocombustibles mediterráneos importantes como el *hueso de aceituna* y las *cáscaras de frutos secos.* Los biocombustibles derivados de la poda de viña y la poda de olivar que presentan un importante potencial, no se encuentran dentro de algunos de los límites establecidos para las correspondientes clases de calidad que aparecen en esta norma.
- En los últimos años, en España se han elaborado normas concretas de clasificación de la calidad del hueso de aceituna y algunos tipos de cáscaras de frutos secos (Mediavilla et al., 2018).
- UNE 164003:2014: "Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de biocombustibles. Huesos de aceituna"
- UNE 164004:2014 "Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de biocombustibles. Cáscaras de frutos". En ambas normas se establecen las clases A1, A2 y B.
- Al mismo tiempo, diferentes fabricantes han desarrollado aparatos que se han sometido a ensayo o que pueden ser adecuados para los biocombustibles mediterráneos. Todo ello está promoviendo el uso de estos combustibles, sobre todo en aquellos países donde el mercado está más desarrollado.

Calidad:

- UNE 164002:2013. Biocombustibles sólidos. Trazabilidad.
- UNE-EN 15234-1:2011. Biocombustibles sólidos. Aseguramiento de la calidad del combustible. Parte 1: Requisitos generales.

- UNE-EN 15234-2:2012. Biocombustibles sólidos. Aseguramiento de la calidad del combustible. Parte 2: Pellets de madera para uso no industrial.
- UNE-EN 15234-3:2012. Biocombustibles sólidos. Aseguramiento de la calidad del combustible. Parte 3: Briquetas de madera para uso no industrial.
- UNE-EN 15234-4:2012. Biocombustibles sólidos. Aseguramiento de la calidad del combustible. Parte 4: Astillas de madera para uso no industrial.
- UNE-EN 15234-5:2012. Biocombustibles sólidos. Aseguramiento de la calidad del combustible. Parte 5: Leña de madera para uso no industrial.
- UNE-EN 15234-6:2012. Biocombustibles sólidos. Aseguramiento de la calidad del combustible. Parte 6: Pellets no leñosos para uso no industrial.

- Certificación ENplus®

Es un sistema de certificación privado basado en el estándar internacional ISO 17225-2, y hace referencia exclusivamente a *los pellets de madera para usos no industriale*s. Los clasifica en tres calidades: A1 (pellets de madera virgen y residuos de madera sin tratar químicamente, con bajos contenidos en cenizas, nitrógeno y cloro), A2 (combustibles con un contenido ligeramente más alto en cenizas, nitrógeno y/o cloro) y B (pellets en cuya producción se ha podido emplear también madera reciclada y residuos industriales). También se incluyen valores para el contenido de los metales pesados. Los derechos de la marca ENplus® los posee el European Pellet Council, siendo AVEBIOM el licenciatario nacional encargado de la gestión del sistema en España.

- Certificación BIOmasud®

Es un sistema de certificación de calidad y sostenibilidad privado fruto de un proyecto Europeo del mismo nombre financiado con fondos FEDER en el marco del programa Interreg IV-B. Es un sistema de certificación para *Biocombustibles Mediterráneos*: Pellets de madera, Hueso de Aceituna, Astillas de madera y Cáscaras de frutos secos. Para pellets de madera y astillas el sistema está basado en estándares internacionales ISO 17225-2 para pellets de madera y 17225-4 para astilla mientras que para el resto de biocombustibles se basa en pre-estándares propios desarrollados en el proyecto. Aparte de la calidad, el sistema también tiene requisitos de sostenibilidad tales como la Huella de Carbono o la Energía gastada para producir el Biocombustible. Los derechos de la marca BIOmasud® en España los posee AVEBIOM y CIEMAT. En Enero de 2016 se comenzó el proyecto Biomasud Plus para desarrollar y mejorar el sistema incrementando el número de biocombustibles, los países concernidos y los criterios de sostenibilidad.

5.2. Sistemas de calefacción de biomasa para el ámbito doméstico y su relación con los biocombustibles mediterráneos.

- La norma UNE-EN 303-5:2013 para calderas de biomasa.

La norma UNE-EN 303-5:2013 especifica los requisitos y los métodos de ensayo para la seguridad, la calidad de la combustión, las características de funcionamiento, el marcado y el mantenimiento de calderas de calefacción con combustibles sólidos (incluyendo biocombustibles sólidos) con una potencia térmica nominal máxima de hasta 500 kW. Sin embargo, las instalaciones de calefacción local como las chimeneas o las estufas y las calderas de condensación no están incluidas en el ámbito de aplicación de esta norma.
La norma define una serie de combustibles sólidos que pueden ser utilizados en las calderas siguiéndose las especificaciones del fabricante, y los clasifica en:

combustibles fósiles, combustibles biogénicos y otros combustibles como la turba, siguiéndose las especificaciones del fabricante de las calderas. Las categorías que establece la norma para los combustibles biogénicos son las siguientes: troncos de madera (A), virutas de madera (B1 y B2), pélets (C1), briquetas (C2), serrín (D) y biomasa no leñosa como la paja, el miscanthus, la caña, las pepitas y los granos (E). Teniendo en cuenta esta clasificación y las especificaciones expuestas en la norma UNE-EN ISO 17225, los biocombustibles mediterráneos podrían incluirse como combustibles de las clases A, B1, B2, C1, C2 o E.

Por otro lado, para la definición del combustible de ensayo, la norma UNE EN 303-5 utiliza las siguientes palabras: ‘‘combustible de calidad comercial empleado para los ensayos de calderas de calefacción y representativo del tipo de combustible especificado por el fabricante de la caldera’’. Este combustible ha de cumplir una serie de especificaciones de calidad prefijadas en la norma. Sin embargo, en el caso de calderas que utilizan combustibles de la clase E, la norma indica que deberían ser los distintos países los que establezcan los criterios de calidad de los combustibles, según su disponibilidad en el país en cuestión (Mediavilla et al., 2018; 2019).

- Normas Europeas para estufas de biomasa.

La norma UNE-EN 13240:2002/A2:2005 ‘‘Estufas que utilizan combustibles sólidos. Requisitos y métodos de ensayo’’ (incorporando las correcciones de 2003, 2006 y 2007) especifica los requisitos relativos al diseño, fabricación, montaje, seguridad, prestaciones (rendimiento y emisiones), instrucciones y marcado, junto con los métodos y combustibles de ensayo asociados para los ensayos de tipo de estufas domésticas que funcionan con combustibles sólidos. Esta norma se aplica a aparatos no alimentados mecánicamente que proporcionan calor en el espacio en el que están instalados y, además, cuando se equipan con una caldera, también proporcionan agua caliente sanitaria y/o calefacción central. Sin embargo, la norma no puede aplicarse a aparatos donde el aire de combustión se introduce con un ventilador.

Con respecto a los combustibles, los aparatos considerados pueden quemar combustibles minerales sólidos, briquetas de turba, leños de madera natural o prefabricada o utilizar distintos combustibles de acuerdo con las instrucciones del fabricante del aparato. El combustible de ensayo debe elegirse de entre los combustibles de calidad comercial especificados por el fabricante y que aparecen en una tabla que figura en la norma. En esa Tabla, los leños de madera (haya, abedul o abeto) son los únicos que aparecen como combustibles biogénicos, de modo que los biocombustibles mediterráneos típicos no pueden considerarse como combustibles de ensayo (Mediavilla et al., 2018).

La norma UNEEN 13229:2002 ‘‘Aparatos insertables, incluidos los hogares abiertos, que utilizan combustibles sólidos. Requisitos y métodos de ensayo’’, en la que los combustibles de ensayo son los mismos que en la UNE EN 13240:2002, abarca otros tipos de aparatos insertables.

La norma UNE- EN 14785:2007 ‘‘Aparatos de calefacción doméstica alimentados con pélets de madera. Requisitos y métodos de ensayo’’ especifica los requisitos relativos al diseño, fabricación, montaje, seguridad, prestaciones (rendimiento y emisiones), instrucciones y marcado, junto con los métodos y combustibles de ensayo asociados para los ensayos de tipo de aparatos de calefacción doméstica que funcionan con pélets de madera y que están alimentados mecánicamente con una potencia calorífica nominal de hasta 50 kW. Estos aparatos pueden ser

independientes o insertables y proporcionan calor al espacio en el que están instalados, y pueden funcionar con tiro natural o estar equipados con un ventilador para la alimentación del aire de combustión. Además, cuando cuentan con una caldera, también proporcionan agua caliente sanitaria y/o calefacción central.

Estos equipos utilizan pélets de madera exclusivamente, de acuerdo con las instrucciones del fabricante del aparato, y solo funcionan con las puertas del hogar cerradas. El combustible de ensayo debe elegirse de entre los combustibles de calidad comercial especificados por el fabricante y deben ser pélets sin aditivos, hechos de partículas de madera o corteza, en los que pueden utilizarse aglomerantes naturales como melazas, parafinas vegetales y glucosa. Teniéndose en cuenta las especificaciones del combustible de ensayo expuestas en la norma, cabe destacar que algunos biocombustibles mediterráneos, previamente peletizados, podrían utilizarse como combustibles de ensayo siempre que cumplan con las especificaciones de calidad recogidas en la norma, tales como que el contenido en ceniza no supere el 0.7% cuando la materia prima no contiene corteza y el 2.0% cuando sí la contiene.

Por último, la norma UNE-EN 16510-1:2019 "Equipos de calefacción residencial alimentados con combustible sólido. Parte 1: Requisitos generales y métodos de ensayo" es aplicable a equipos de calefacción residenciales alimentados con combustibles sólidos, especificando los requisitos relativos al diseño, fabricación, construcción, seguridad y prestaciones de los equipos y proporcionando instrucciones para los mismos. Esta norma anulará y sustituirá a las normas UNE-EN 13229:2002/A2:2005/AC:2007 y UNE-EN 13240:2002/A2:2005/AC:2007 antes del 1 de agosto de 2021.

La Tabla 4 recoge la normativa de calidad para sistemas de calefacción de biomasa aplicada al sector doméstico.

Tabla 4. Normativa de calidad para sistemas de calefacción doméstica con biomasa.

UNE-EN 303-5:2013. Calderas de calefacción. Calderas especiales para combustibles sólidos, de carga manual y automática**.** Potencia térmica nominal máxima 500 kW.
UNE-EN 13240:2002/A2:2005. Estufas que utilizan combustibles sólidos. **UNE-EN 13229:2002.** Aparatos insertables, incluidos los hogares abiertos, que utilizan combustibles sólidos **UNE- EN 14785:2007.** Aparatos de calefacción doméstica ali¬mentados con pélets de madera. Potencia calorífica nominal de hasta 50 kW. **UNE-EN 16510-1:2019**. Equipos de calefacción residencial alimentados con combustible sólido.

- La Directiva de Ecodiseño.

La Directiva de Ecodiseño de la Unión Europea (Directiva 2009/125/ CE) instaura un marco para el establecimiento de requisitos ecológicos obligatorios para productos que usan energía y que están relacionados con la energía, y que se venden en los Estados miembros. La Directiva de Ecodiseño abarca todos los productos relacionados con la energía que se venden en los sectores industrial, comercial y doméstico, a excepción de los medios de transporte. Esta Directiva instaura solamente el marco; las medidas específicas de aplicación para un grupo de productos en particular ("lote") se elaborarán en un proceso posterior. La Comisión adoptó el *reglamento específico* de los requisitos de diseño ecológico para el lote 15

(calderas de biomasa) y el lote 20 (aparatos de calefacción local de combustible sólido) en abril de 2015 (BIOMASSTEP, 2018; Mediavilla et al., 2018).

-Reglamento (UE) 2015/1189 de la Comisión de 28 de abril de 2015 por el que se desarrolla la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en relación con los requisitos de diseño ecológico aplicables a las calderas de combustible sólido.

Sin perjuicio de lo dispuesto en la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, el presente Reglamento establece los requisitos de diseño ecológico para comercializar y poner en funcionamiento calderas que utilizan combustible sólido con una potencia calorífica nominal igual o inferior a 500 kW, incluidas las integradas en equipos combinados compuestos por una caldera de combustible sólido, calefactores complementarios, controles de temperatura y dispositivos solares definidos en el artículo 2 del Reglamento Delegado (UE) 2015/1187. Este Reglamento no se aplicará a calderas de biomasa no leñosa y será obligatorio el 1 de enero de 2020. Este Reglamento no es de aplicación para calderas de biomasa no leñosa y será obligatorio a partir del 1 de enero de 2020. Con esto, se excluyen ciertos combustibles, entre los que se encuentran algunos biocombustibles mediterráneos típicos, como el hueso de aceituna y las cáscaras de frutos secos. Sin embargo, el Reglamento se revisará el 1 de enero de 2022 a más tardar y en esta revisión se evaluará la inclusión de las calderas de biomasa no leñosa y, con ello, las que utilizan los biocombustibles mediterráneos señalados.

En este reglamento se utilizan dos conceptos relacionados con los combustibles:

- ‘‘Combustible preferido: el combustible sólido que debe utilizarse preferentemente para la caldera, según las instrucciones del fabricante’’.
- ‘‘Otro combustible apropiado: un combustible sólido, distinto del preferido, que puede utilizar la caldera de combustible sólido, según las instrucciones del fabricante; incluye todos los combustibles mencionados en el manual de instrucciones para instaladores y usuarios finales, en sitios web de acceso gratuito de los fabricantes, en materiales técnicos promocionales y en anuncios publicitarios’’.

Ha de tenerse en cuenta que todos los requisitos (en lo que respecta a eficiencia y emisiones) deberán satisfacerse para el combustible preferido y para cualquier otro combustible apropiado, que en el presente Reglamento se dividen en las siguientes categorías: madera en tronco con un contenido de humedad de hasta el 25%, astillas de madera con un contenido de humedad entre el 15 y el 35%, astillas de madera con un contenido de humedad mayor que el 35%, madera comprimida en forma de pellets o briquetas, serrín con un contenido de humedad de hasta el 50%, otra biomasa leñosa, hulla bituminosa, lignito (incluidas las briquetas), coque, antracita, briquetas de combustible fósil mixto, otro combustible fósil, briquetas mixtas de biomasa (30-70%) y combustible fósil, otras mezclas de biomasa y combustible fósil.

-Reglamento (UE) 2015/1185 de la Comisión de 24 de abril de 2015 por el que se aplica la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico aplicables a los aparatos de calefacción local de combustible sólido.

El presente Reglamento establece los requisitos de diseño ecológico para la comercialización y puesta en funcionamiento de aparatos de calefacción local de combustible sólido con una potencia calorífica nominal igual o inferior a 50 kW. El

presente Reglamento no se aplicará a los aparatos de calefacción local de combustible sólido destinados únicamente a la combustión de biomasa no leñosa y será obligatorio el 1 de enero de 2022. Este aspecto excluye algunos biocombustibles mediterráneos considerados biomasa no leñosa, tal y como sucede con el reglamento relativo a las calderas de combustible sólido.

Todos los requisitos (en lo que respecta a eficiencia y emisiones) deberán satisfacerse para el combustible preferido y para cualquier otro combustible apropiado, conceptos definidos de manera similar en el reglamento relativo a las calderas de combustible sólido.

6. Conclusiones

En España, la legislación sobre biomasa y su aprovechamiento energético es muy amplia y está desarrollada a muy diversos niveles. Los instrumentos más importantes implantados por los Estados Miembros de la UE para la promoción de la producción de calor de origen renovable han sido los incentivos a la inversión, deducciones fijas de impuestos (orientadas tanto a la inversión como al combustible) y préstamos de bajo interés, siendo los dos primeros los más utilizados.

Con respecto al fomento del uso de la biomasa en España, a nivel Nacional, existen medidas de apoyo económico para la instalación de calderas de biomasa en España, implementadas por el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) además de otros programas de ayuda gestionados por el Ministerio, como los "Proyectos Clima". A *nivel regional* también existen algunas Comunidades Autónomas con medidas de apoyo económico al empleo este recurso, pero en general son más limitadas.

Respecto al desarrollo de biocombustibles sólidos, en los últimos años, en España se han elaborado normas concretas de clasificación de la calidad del hueso de aceituna y algunos tipos de cáscaras de frutos secos para los cuales hasta el momento no se había tenido en cuenta ninguna norma de calidad para su uso. Al mismo tiempo, diferentes fabricantes han desarrollado equipos que se han sometido a ensayo o que pueden ser adecuados para los biocombustibles mediterráneos. Todo ello está promoviendo el uso de estos combustibles, sobre todo en aquellos países donde el mercado está más desarrollado.

En relación a la normativa que viene en Europa, Ecodesign (LOT20) introducirá en 2022 una nueva regulación que obligará a los fabricantes de equipos de combustible sólido a cumplir con requisitos de emisiones mucho más estrictos que los actuales. EN 16510, englobará todo tipo de aparatos de combustión de combustible sólido, ya sean estufas, hogares, cocinas o calderas de leña o pellet (antes 13229/13240/12815/12809/14785). Los productos que cumplan con estos requisitos tendrán un impacto medioambiental muchísimo menor.

A pesar de este apoyo creciente en la actualidad aún existen algunas barreras administrativas, además de otros factores, que están limitando el aprovechamiento de la biomasa, como la complejidad de los procedimientos administrativos de obtención de permisos para la construcción de plantas de biomasa, la falta de cooperación entre diferentes sectores (ministerios de energía, industria, medio ambiente, agricultura) o la responsabilidad burocrática para la ejecución de autorizaciones.

7.Referencias

BIOMASSTEP Project. (2018). Informe de conclusiones del estado del sector de empresas generadoras de biomasa para uso térmico. Recuperado el 10 de febrero del 2020 de https://www.biomasstep.es/

BIOMASUD PLUS Project. (2020). Residential heating biofuels market state of the art. European Union's Horizon 2020 research and innovation program.

Fernández González, J., Gutiérrez Martin, F., del Rio González, P., San Miguel Alfaro, G., Bahillo Ruiz, A., Sanchez Hervas, JM., Ballesteros Perdices, M., Vazquez Minguela JA., Rodriguez Antón LM., Aracil Mira, J. (2015). Tecnologías para el uso y transformación de biomasa energética. Editorial: Mundi-prensa.

Fondo de Carbono. Recuperado el 4 de Febrero del 2020 de https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/fondo-carbono/

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). (2011). Plan de Energías Renovables en España 2011- 2020. Madrid: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Mediavilla, I., Borjabad,E., Ramos, R., Brunner, T., Karampinis, E., Kanaveli, J., Carrasco, J. (2018). Guía para el uso de los biocombustibles sólidos mediterráneos más relevantes en pequeñas instalaciones de combustión del sector doméstico. Editorial: CIEMAT. Recuperado el 14 de Enero de http://biomasudplus.eu/

Ministerio de Ciencia Innovación y Universidades (MCIyU) (2019). Información Europea, Normativa y Regulación. Bioplat, Biomasa para la Bioeconomía.

Ministerio de Ciencia Innovación y Universidades (MCIyU) (2018). Normativa española de bioenergía. Bioplat, biomasa para la Bioeconomía.

Ministerio de Industria, Energía y Turismo (MIEyT) (2010). Plan de Acción Nacional de Energías Renovables (PANER) 2011- 2020.

Ruiz, J.A, Juárez, M.C, Morales, M.P, Berlanga-Labari, C. (2012). Análisis de la normativa española sobre la biomasa como energía primaria: Consecuencias de la misma. *Dyna* 2. 9/ene/2012.

Unión por la biomasa (2018). Balance socioeconómico de las biomasas en España. 2017-2021.

CONSIDERACIONES FINALES

Como socios de ReBiBiR (T), trabajando en países de Iberoamérica en temas de biomasa y bioenergía, hemos integrado en este Libro una perspectiva multidisciplinaria sobre la situación actual de los sistemas bioenergéticos existentes en el territorio iberoamericano, con especial énfasis en cuatro ejes principales: I) recursos, II) tecnologías, III) mecanismos de participación y transferencia y IV) políticas y esquemas de financiamiento.

Consideramos que la valorización energética de la biomasa es una alternativa eficiente a la urgente necesidad de reorientar el modelo productivo hacia un modelo circular basado en la bioeconomía. No sólo supone la obtención de un combustible renovable, neutro en cuanto a emisiones de CO_2 y competitivo en precio con los combustibles fósiles, sino que también juega un papel fundamental en la mejora de la gestión de los ecosistemas y en el desarrollo socio-económico de las áreas rurales de Iberoamérica.

A pesar del importante potencial existente en la Región para su desarrollo, el aprovechamiento térmico de la biomasa -más allá de las formas tradicionales en sectores rurales- aún no cuenta con un mercado de tecnologías desarrollado en la mayor parte de los países. Existen importantes aspectos que deben ser debatidos profundamente, a fin de que la energía de biomasa cumpla con las expectativas de ser una fuente no solo renovable sino también "alternativa" a los actuales sistemas de manejo y explotación de los recursos. Según los informes presentados por los diferentes países, entre estos aspectos destacan los siguientes:

- Resulta primordial invertir en **investigación I+D+i** con objeto de **evaluar las fases de suministro de la biomasa** para poder estimar los recursos realmente disponibles, calcular los costes de elaboración y transporte, optimizar los procedimientos de trabajo y adaptar los medios para la recogida y transporte a las condiciones de cada país. Como se indica en el informe de **Paraguay**, por ejemplo, el alto nivel de informalidad del mercado de biomasa, impide la cuantificación real de su consumo, lo que impacta directamente en la elaboración de políticas para la gestión relacionados a estos recursos.

- **Falta de eficiencia y de regulación en el sector doméstico**. Diversos países (**Argentina, Chile, Cuba**,..) señalan en sus informes la necesidad de invertir en un desarrollo tecnológico que repercutan en una mejora de la *eficiencia* y *coste de las instalaciones*, sobre todo a nivel doméstico. Se requieren *tecnologías de conversión más flexibles* que las actuales en cuanto al rango de biomasas a utilizar, lo que daría lugar a una mayor seguridad de suministro de materia prima, disponibilidad de biomasas de menor coste o menor interferencia con otros mercados. En el caso de **España**, la energía térmica es la base fundamental de desarrollo del sector de la biomasa, debido al aumento de sistemas de generación de calefacción y ACS en el ámbito doméstico. Dada la estabilidad y competitividad de los precios en dicho país, se ha producido un incremento significativo en el número de instalaciones en la última década. Sin embargo, existen numerosos suministradores de equipos a nivel internacional, por lo que sería deseable que el sector industrial español vea crecer su dimensión en número y en volumen de actividad.

- La **logística** es escasa. Respecto al uso térmico a *nivel industrial*, gran parte de los países latinoamericanos resaltan cómo, dada la dificultad de asegurar grandes volúmenes a través de empresas de logística y de abastecimiento de biomasa, sólo

aquellas empresas que pueden autoconsumir sus residuos -o el sector doméstico tradicional-, presentan cifras relevantes de consumo. Países como **Cuba**, **Argentina,** resaltan la necesidad de crear un mercado de biocombustibles sólidos que les asegure el suministro confiable, que les permita extender las calderas de biomasa a otros sectores, como así, establecer etiquetado y proveedores de tecnología eficiente y segura para los sectores rurales y economías domésticas.

- Otro de los puntos claves del desarrollo de la biomasa térmica es la impulsión de las instalaciones de **redes de calor** con cogeneración, lo que requiere por una parte importantes inversiones y, por otra, genera más empleo y de mayor calidad. La biomasa en estos sistemas es perfectamente compatible con energía solar, geotérmica, calor residual de la industria o combustibles fósiles. España destaca con este tipo de instalaciones, que aún no es común en Latinoamérica.

- **Los procesos de participación y transferencia**, siguen siendo uno de los aspectos menos desarrollados en la implementación de los sistemas de bioenergía en Iberoamérica. Entre las principales limitaciones que se pueden identificar se destaca la dificultad de generar instancias de participación ampliada. En la mayoría de los casos se reduce a pocos actores y, en general, no se tiene en cuenta la representatividad en términos culturales, étnicos o de género. Esta tendencia se viene revirtiendo paulatinamente, en muchos casos a partir de las exigencias de los sistemas de financiamiento internacional.

- La identificación de los recursos de biomasa residuales como potenciales recursos energéticos por parte de la población, es un paso fundamental para la correcta valoración y la introducción de medidas de gestión circular en las economías rurales. Lo cual implica no solo **la concientización, sino también la inclusión de la participación social en los proyectos.** Puntualmente, hay mecanismos que presentan formas muy superficiales o incluso simbólicas como instancias de información o consulta, que operan casi exclusivamente como formas de legitimación de decisiones tomadas previamente. En este sentido, resulta relevante generar mecanismos que permitan desarrollar procesos de participación y de transferencia que favorezcan la incorporación de la mayor cantidad de actores involucrados desde un primer momento (definición del problema a resolver, toma de decisiones, diseño de la solución tecnológica, etc.) como así, **generar capacidades locales** que actúen como propagadores de las experiencias exitosas en el terreno.

- Al igual que con cualquier recurso energético, es fundamental realizar una **correcta planificación** de los sistemas bioenergéticos, que posibilite no solo dar respuesta a una necesidad concreta, sino también lograr una adecuada gestión de los recursos en el tiempo y la sostenibilidad de la experiencia a largo plazo. En este sentido, **el registro**, **acceso, disponibilidad y difusión de la información generada** -como así, a las **técnicas, métodos y herramientas** que posibiliten una adecuada planificación y gestión- son parte de la responsabilidad y el compromiso de los sectores vinculados a estos sistemas, ya sean provenientes de las administraciones públicas nacionales y provinciales, el sector académico científico, el sector comercial y empresarial y/o aún, el sector educativo.

- Se observa la necesidad de un **desarrollo legislativo** en relación a recursos naturales y al sector energético, incluyendo la creación de **normas de calidad específicas para el uso de biocombustibles** de uso habitual en los diferentes países latinoamericanos, en especial con referencia a su uso térmico. En **España** se han elaborado normas de calidad concretas para el empleo de algunos biocombustibles de origen agrícola

comúnmente utilizados en este país (hueso de aceituna y algunos tipos de cáscaras de frutos secos), medidas que están promoviendo el uso de los mismos en otros países donde el mercado está más desarrollado.

- Se requiere la elaboración y la implementación de **instrumentos políticos de fomento, locales y regionales**, que incentiven el desarrollo de tecnologías para uso de energía sostenible, reduciendo la alta dependencia del petróleo extranjero y asegurando el abastecimiento de forma barata y segura a la población. Países como **Colombia** y **España** revelan la trascendencia de estas medidas en el impulso de la biomasa para uso térmico.

- Asimismo, resulta necesario que se garanticen **procesos de seguimiento** a los diferentes sistemas bioenergéticos operando en el territorio, una vez culminada la etapa de diseño y puesta en marcha de dichos sistemas tecnológicos. De este modo, se puede evitar que los proyectos (sobre todos los pensados a nivel comunitario) sean abandonados una vez que los técnicos dejan el terreno. Asimismo, los procesos de seguimiento permiten obtener nueva información y generación de conocimiento útil para la mejora futura de los procesos de desarrollo tecnológico, participación, transferencia y adecuación socio-técnica.

- Por último, existe un gran desafío en **movilizar financiamiento** hacia pequeñas economías rurales, que posibiliten no solo dar soluciones concretas a demandas energéticas, sino también, generar impulso en emprendimientos y economías locales, generando fuentes de empleo, arraigamiento de población, implementación de estrategias de manejo y gestión de los recursos y el territorio con visión de largo plazo, y fortalecimiento de la identidad iberoamericana.

Los desafíos están claros. Identificadas las debilidades y fortalezas, las capacidades y desarrollos logrados, y el contexto actual para la promoción de la biomasa y la bioenergía rural, continuamos trabajando como gran Equipo Regional, en pos de contribuir a la implementación de sistemas bioenergéticos cada vez más sustentables en Iberoamérica.

Los editores

Una publicación de la Red Iberoamericana de Biomasa y Bioenergía Rural

(ReBiBiR-T) del Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED)

2020