
Configuración de la industria de bioenergía eléctrica y térmica en Argentina: ¿dónde, cuándo, cómo y quién?

Autor(es): Castelao Caruana, M. E.

Fuente: H-industri@: Revista de Historia de la Industria, los Servicios y las Empresas en América Latina, Nº 27 (diciembre 2020), pp. 55-78.

Publicado por: Facultad de Ciencias Económicas de la Universidad de Buenos Aires.

Vínculo: <http://ojs.econ.uba.ar/index.php/H-ind/article/view/1960>



Esta revista está protegida bajo una licencia *Creative Commons Attribution-NonCommercialNoDerivatives 4.0 International*.

Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

¿CÓMO CITAR?

Castelao Caruana, María Eugenia. (2020) Configuración de la industria de bioenergía eléctrica y térmica en Argentina: ¿dónde, cuándo, cómo y quién? *H-industri@* 27: 55-78.

<http://ojs.econ.uba.ar/index.php/H-ind/article/view/1960>



H-industri@ es una revista académica semestral editada en el marco del Área de Estudios Sobre la Industria Argentina y Latinoamericana (AESIAL) del Centro de Estudios de Historia Económica Argentina y Latinoamericana (CEHEAL), perteneciente al Instituto Interdisciplinario de Economía Política de Buenos Aires (IIEP-Baires): <http://ojs.econ.uba.ar/ojs/index.php/H-ind>

Configuración de la industria de bioenergía eléctrica y térmica en Argentina: ¿Dónde, cuándo, cómo y quién?

*Shaping the Electric and Thermal Bioenergy Industry in Argentina:
Where, When, How and Who?*

María Eugenia Castelao Caruanaⁱ
eugeniastelao@conicet.gov.ar

Resumen

La bioeconomía es un constructo político con implicancias productivas, ambientales y sociales en Argentina y en otros países. La energía y la alimentación son considerados sectores claves para motorizar su difusión en el país debido a su posibilidad de intensificar el uso de la biomasa para producir bioenergías y bioproductos en articulación con otras industrias.

En este marco, el trabajo analiza la conformación y configuración actual de la industria de la bioenergía con fines eléctricos y térmicos en el país, a partir del estudio de las empresas que la integran y las condiciones del entorno que incidieron en su decisión de invertir en este sector. El estudio se propone indagar en las características que comparten las firmas que han desarrollado las capacidades necesarias para participar en esta industria incipiente y cómo estas condiciones han cambiado en el tiempo.

Palabras claves: Energía de la biomasa; Industria; Energía eléctrica; Energía térmica.

Abstract

The bioeconomy is a political construct which has productive, environmental, and social implications in Argentina and other countries. Energy and food are considered key sectors to promote the diffusion of the bioeconomy in the country due to their possibility of intensifying the use of biomass to produce bioenergy and bioproducts in coordination with other industries.

The study analyzes the creation and current configuration of the bioenergy industry with electrical and thermal purposes in Argentina, relying on the study of the companies that take part in this industry and the environmental conditions that have influenced their investment decisions. It enquires about the characteristics of the firms that have developed the capabilities to enter this emerging industry and how these conditions have changed over time.

Key words: Energy from biomass; Industry; Electric energy; Thermal energy.

Recibido: 24 de octubre de 2019

Aceptado: 15 de mayo de 2020

ⁱ Centro de Estudios Urbanos y Regionales, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CEUR-CONICET).

Introducción: la bioenergía en el marco de la bioeconomía

En las últimas décadas, numerosos países han expresado su intención de transitar hacia la descarbonización de la economía en respuesta al cambio climático, la volatilidad de los mercados de combustibles fósiles y las crecientes demandas de la población por alimento, fibra, agua potable, energía y otros materiales. A nivel productivo, esta transición se ha expresado en la investigación, desarrollo y difusión de nuevas tecnologías que, agrupadas bajo el término bioeconomía, posibilitan la valorización de los recursos naturales renovables (RNR) y de los procesos biológicos.

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) define la bioeconomía como “...el conjunto de operaciones económicas de una sociedad que utiliza el valor latente en los productos y procesos biológicos para conseguir nuevo crecimiento” (OCDE, 2006:3). Sin embargo, otros organismos públicos nacionales e internacionales conciben la bioeconomía como un paradigma tecno-económico en desarrollo (Pérez, 2009) que enmarca la dirección del cambio tecnológico y su configuración institucional. Este proceso, signado por la innovación en torno a los RNR, ofrecería un espacio de oportunidad para la construcción de ventajas competitivas en los países de América Latina y el Caribe. En el espacio político, esta estrategia estaría asentada en las condiciones de gobernanza -instituciones, trayectorias de aprendizaje, estructuras de propiedad, marcos legales- que regularán la extensión y los límites en el uso de los RNR y sus industrias asociadas (Pérez, Marín y Navas-Alemán, 2014). Desde una perspectiva crítica, otros autores consideran que la bioeconomía es un enfoque situado dentro de la narrativa neoliberal del crecimiento económico y la competitividad (Birch, 2006). El término expresaría un proyecto político y económico, un marco interpretativo de la realidad y una visión articulada de cómo las personas deberían producir, consumir y relacionarse con la naturaleza y entre sí frente a los desafíos ambientales actuales y futuros (Pavone, 2012). Al modificar las lógicas de producción y gerenciamiento de los RNR y su participación en el proceso de producción y distribución de los beneficios frente al capital y el trabajo (von Braun, 2013), la bioeconomía sería una fuente de potenciales conflictos económicos y de sostenibilidad.

A pesar de sus diferencias, estos enfoques coinciden en que el impacto de la bioeconomía en el desarrollo de los países de la región dependerá de las instituciones formales e informales que rijan la explotación de los RNR y de la capacidad de desarrollo y adopción de tecnologías que otorguen dinamismo a las actividades basadas en la explotación de estos recursos. Sin embargo, el sistema de gobernanza de esta estrategia dependerá de la visión política que, en cada país, los actores públicos y privados construyan en torno a la noción de bioeconomía.

En Argentina, diversos autores coinciden que la bioeconomía abarca actividades que realizan un uso intensivo de los recursos, principios y procesos biológicos con la asistencia de conocimiento, promoviendo métodos eficientes y eficaces para la producción de energía, componentes químicos, materiales y otros productos (Henry, Pahun, y Trigo, 2014; Rodríguez, Mondaini, y Hitschfeld, 2017; Trigo *et al.*, 2016). La bioeconomía es un constructo político (Henry *et al.*, 2014) que enfatiza la asociación entre agricultura e industria y la territorialización y sostenibilidad de las actividades económicas (Delvenne, 2017). En el país abarcaría la actividad agropecuaria, forestal, pesquera (6,6% del PBI de 2017) y partes de las industrias alimentaria (3,8%), madera, pulpa y papel (1%), textil (0,6%), química (0,6%) y energética (0,1%) (Coremberg, 2019).

Aunque con pesos muy disímiles en el valor agregado de la bioindustria nacional, la energía y la alimentación son considerados sectores claves para motorizar la difusión de la bioeconomía en el país por su capacidad de impulsar la producción de amplias familias de bioproductos (Henry *et al.*, 2014; Trigo *et al.*, 2016). A diferencia de otros productos, la bioenergía posee una alta compatibilidad con la infraestructura y los equipos que utilizan las tecnologías convencionales y su producción se adapta a los diversos tipos de biomasa disponibles en cada región, utilizando tecnologías maduras y comercializadas a nivel internacional.¹ Estas condiciones técnicas facilitan su uso y la difusión de sistemas para su generación en distintas regiones del país, donde la disponibilidad de energía, un recurso muchas veces escaso para la producción, podría motivar la incorporación de nuevas actividades intensivas en el uso de RNR.

En las últimas décadas, la difusión de tecnologías para la generación de bioenergía en el país ha impulsado la creación de nuevas empresas y la diversificación de otras, inicialmente insertas en industrias maduras, hacia la producción de biocombustibles líquidos y, en menor medida, la generación de energía térmica y eléctrica a partir de biomasa. En este proceso han participado empresas de capital nacional y extranjero dedicadas a la ingeniería, contratación y construcción (EPC- *Engineering, Procurement and Construction*) de estas plantas, con un papel incierto en el desarrollo y la transferencia de tecnología. En el 2015, el régimen nacional de promoción de energía eléctrica de fuentes renovables cambió (Ley 27.191) y se implementó el programa RenovAr. Este programa licitó contratos de abastecimiento de energía eléctrica de fuentes renovables en los años 2016, 2017 y 2019 y, en las primeras dos rondas, seleccionó 53 proyectos de bioenergía con una potencia total de 223 MW. Esta medida impulsó el despegue de la industria de la bioenergía en el país luego de una década de políticas públicas infructuosas en materia de energía eléctrica renovable.

Este trabajo analiza la conformación y configuración actual de la industria de la bioenergía eléctrica y térmica en Argentina a partir del estudio de las empresas que la integran y las condiciones del entorno que incidieron en su decisión de generar bioenergía. El estudio se propone indagar sobre las condiciones del entorno e internas a las firmas que han definido su participación en esta industria incipiente y cómo estas condiciones han cambiado a lo largo del tiempo. Con este propósito el artículo se divide en cuatro secciones. En primer lugar, se describen las principales tecnologías disponibles a nivel internacional para el acondicionamiento de la biomasa y su transformación en energía eléctrica y/o térmica, con referencias a la difusión de estas tecnologías en Argentina. A continuación, el marco teórico presenta las categorías de análisis utilizadas para estudiar las características de las empresas que participan en la industria de la bioenergía. En esta sección, además, se describe el método de recolección de datos y los criterios utilizados para seleccionar a las empresas que integran el análisis. En la tercera parte, se caracterizan las plantas de bioenergía considerando su ubicación, tecnología, tipo de biomasa utilizada y destino final de la energía generada. Luego, se analiza la participación de las firmas en esta industria atendiendo a su sector de actividad principal, su forma de organización, sus capacidades y el papel de la bioenergía en su estrategia. Por último, se presentan algunas reflexiones en torno a la conformación y configuración de esta industria en la actualidad y los interrogantes que surgen a partir de este análisis.

¹ Por ejemplo, los pellets y briquetas pueden utilizarse en calderas tradicionales, el biogás purificado puede ingresar a las redes de gas natural convencional y el biodiesel puede combinarse con combustibles líquidos fósiles.

La tecnología asociada a la generación de bioenergía

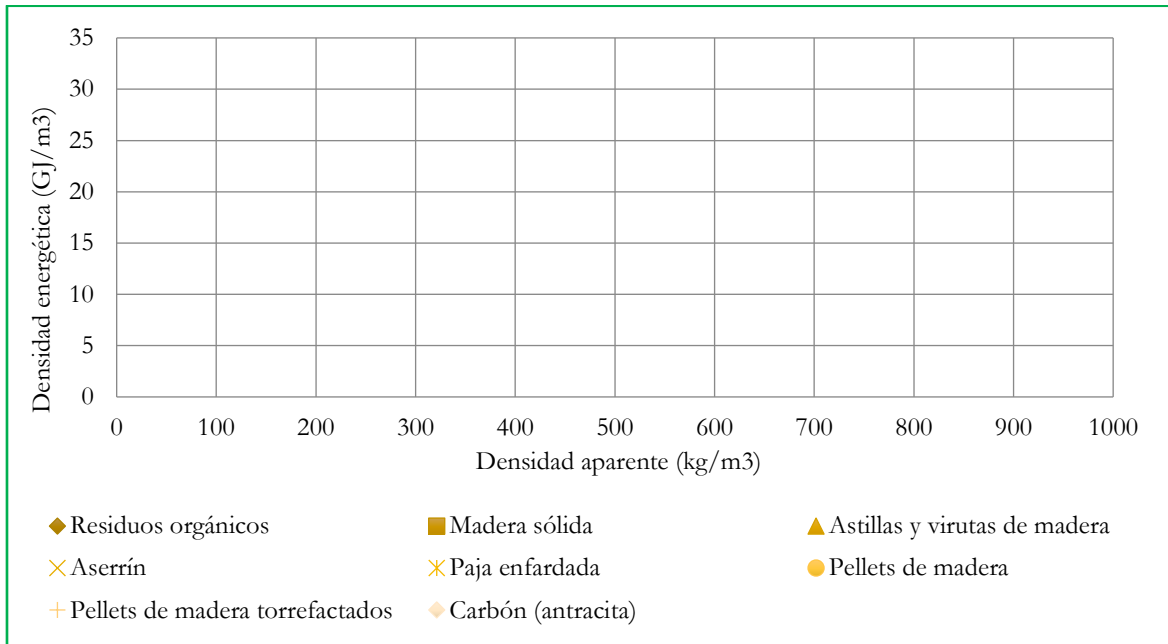
La bioenergía es un tipo de energía de fuentes renovables producida a partir de la conversión de biomasa -materia orgánica de origen vegetal o animal no fósil- en vectores energéticos adecuados para la generación de energía eléctrica, térmica y/o mecánica. Según su origen, es clasificada en biomasa de origen residual, biomasa natural proveniente de ecosistemas naturales (bosques y plantaciones) y biomasa de cultivos energéticos. A diferencia de la energía eólica y solar, la bioenergía es una opción energética gestionable según las necesidades del usuario, que reduce el impacto ambiental de otras actividades y brinda insumos para otros productos de base biológica.

En las plantas de generación de bioenergía pueden diferenciarse tres grandes etapas de transformación: el acondicionamiento de biomasa, su pretratamiento para obtener vectores energéticos y la transformación de estos vectores en energía. La tecnología aplicada en cada etapa depende, esencialmente, de las características físicoquímicas de la biomasa, el destino final de la energía, las condiciones climáticas y la escala de producción. Algunos de los subproductos de estas etapas pueden, a su vez, transformarse en productos de interés comercial.

En primer lugar, para mejorar la homogeneidad y densidad energética (cantidad de energía acumulada por unidad de volumen) de la biomasa, existen a nivel internacional tecnologías de secado, chipeado, peletización (compactación mecánica) y torrefacción.² Estos procesos disminuyen el costo de gestión y traslado de la biomasa, lo que permite ampliar la escala de producción. No obstante, la densidad energética que puede alcanzar la biomasa con estas tecnologías es aun relativamente baja, especialmente cuando se la compara con algunos insumos de origen fósil (Gráfico 1). En Argentina, las tecnologías más difundidas para el acondicionamiento de la biomasa son el secado, el chipeado y, en menor medida, la peletización (FAO, 2019).

² Este proceso implica la descomposición termal de la biomasa en ausencia de oxígeno y su conversión en carbón vegetal.

Gráfico 1: Densidad energética (VCI) (GJ/m³) y densidad aparente (kg/m³) según tipo de insumo



Nota: VCI: Valor calorífico inferior. El gráfico indica los valores medios, los que pueden diferir en la práctica. ▲ Biomasa sin acondicionamiento ● Biomasa con acondicionamiento o pretratamiento (bio-aceite) ■ Combustible fósil. Fuente: IEA (2012).

Las tecnologías aplicadas en la etapa de pretratamiento se basan en procesos químico-físicos orientados a modificar las propiedades de la materia orgánica y obtener vectores energéticos para su posterior transformación en energía (Cuadro 1). Algunos de estos vectores, por su densidad energética y similitud física con los combustibles fósiles, se utilizan principalmente en la industria del transporte (biodiesel y bioetanol), otros se destinan mayormente a la generación de energía eléctrica y/o térmica (biogás, vapor, gas de síntesis) y otros podrían ser insumo de nuevos bioproductos (bio-aceite y bio-crudo) cuando superen las etapas de aplicación temprana.³ En Argentina, las tecnologías aplicadas para la transformación de la biomasa en vectores energéticos y su posterior conversión en energía eléctrica y/o térmica son la digestión anaeróbica, la combustión directa y, en menor medida, la gasificación.

³ Mediante procesos termoquímicos adicionales, el bio-crudo puede convertirse en combustible, asfalto, saborizante de alimentos, resinas y otros componentes químicos. El bio-aceite puede transformarse en un sustituto del diésel y de combustibles para aviones, además de otros componentes químicos como resinas, agroquímicos, fertilizantes y agentes de control de emisiones (IEA, 2017a).

Cuadro 1: Procesos de pretratamiento y sus vectores energéticos

Tipo de biomasa	Procesos	Tecnologías	Vectores energéticos
Húmeda (> 60% de humedad)	Físico-químico	Extracción, purificación y transesterificación	Biodiesel
	Bioquímico	Fermentación Digestión anaeróbica	Etanol Biogás
Seca (< 60% de humedad)	Termoquímico	Combustión directa	Vapor
		Gasificación	Gas de síntesis
		Pirólisis	Bio-aceite, gas y carbón
		Licuefacción	Bio-crudo

Fuente: Elaboración propia.

La digestión anaeróbica es un proceso microbiológico cuyo producto final es un combustible gaseoso (biogás) constituido principalmente por dióxido de carbono y metano, apto para generar energía eléctrica y/o térmica, sustituir el uso de GNC en la industria del transporte y en el sistema de distribución de gas si se lo purifica, y convertirse en combustible líquido o metanol (Nguyen *et al.*, 2019). Esta tecnología es la más adecuada para el aprovechamiento energético de efluentes con una alta carga orgánica. Se trata de una tecnología madura que ofrece diversos sistemas de pretratamiento que se diferencian según el tipo de biomasa que procesan, su adaptación a las condiciones climáticas y su nivel de eficiencia.

Su escala de operación con fines comerciales está entre los 0,3 y 10 MW de potencia, pero en la práctica, el promedio de potencia por planta se encuentra en torno a los 0,57 MW en Europa (año 2016 según FAO, 2020a) y 1,84 MW en Argentina, con un rango entre 0,03 y 6 MW (según datos recopilados hasta el año 2018). Su eficiencia depende esencialmente del tipo de biomasa, la configuración del sistema, la temperatura del reactor, el tiempo de retención del sustrato y el uso de acelerantes. Sin embargo, su eficiencia para generar energía eléctrica es mayor a los sistemas de combustión con ciclos de vapor de similar escala (IEA, 2012). En la actualidad, los desarrollos en torno a esta tecnología se orientan a 1) ampliar su comercialización para la generación de energía eléctrica y/o térmica; 2) promover el uso del biogás como combustible complementario al GNC y al gas natural en las redes de distribución (IEA, 2012); y 3) impulsar la I+D para su integración en sistemas de biorrefinería, como proveedora de recursos de bajo valor y alto volumen con fines energéticos, y de alto valor y bajo volumen para la obtención de productos de base biológica (Nguyen *et al.*, 2019).

La combustión directa implica un proceso químico de oxidación total de los componentes de la biomasa que permite obtener energía en forma de calor, además de dióxido de carbono, agua y cenizas. Esta tecnología es sumamente flexible en cuanto a la biomasa utilizada y brinda la posibilidad de combinarla con otros tipos de combustible. Si bien existen diversas tecnologías difundidas a escala comercial, su desempeño depende esencialmente del tipo de caldera y el tipo de turbina utilizada. A su vez, la caldera debe ajustarse a las propiedades de la biomasa y la turbina al destino final de la energía generada (térmica, eléctrica o ambas). A nivel internacional, la escala de producción máxima de estos sistemas se encuentra en torno a los 300 MWt, aunque el rango de producción medio se encuentra entre los 20 y 50 MWt y alrededor de unos 20 MW (IRE-

NA, 2012).⁴ En Argentina, la escala de producción de estos sistemas se encuentra entre los 0,2 y los 45 MW, aunque la mitad de estas plantas tiene un rango de potencia de entre 2 y 10 MW.

La eficiencia de las plantas de combustión para la generación de energía térmica con fines industriales es sensible a la tasa de utilización de la capacidad instalada. Estos sistemas y, especialmente, aquellos destinados a la cogeneración poseen una alta tasa de funcionamiento, lo que mejora su competitividad frente a los sistemas alimentados con combustibles fósiles (IEA 2017a). Cuando se trata de generar solo energía eléctrica, sin embargo, la eficiencia del sistema disminuye exponencialmente (Obernbeger, 2015), lo que ha promovido el desarrollo de sistemas de menor escala, como los gasificadores y los sistemas *Organic Rankine Cycle*, este último aun en etapa de desarrollo temprano (IEA, 2017b).

La gasificación transforma la biomasa en gas de síntesis mediante su combustión en condiciones de alta temperatura y baja presencia de oxígeno. Este gas puede convertirse en energía térmica y/o eléctrica, en metano u otros combustibles y productos químicos (IEA, 2017a). Si bien esta tecnología está disponible en el mercado para la generación de energía térmica, no se encuentra ampliamente difundida debido a sus altos costos y baja fiabilidad técnica. Su aplicación a la producción de energía eléctrica y biometanol, por otra parte, está en etapa de comercialización temprana, mientras que la transformación del gas de síntesis en combustible líquido se encuentra en las etapas de I+D y demostración (IEA, 2018). El rango de producción de este sistema se encuentra entre los 5 y los 90 Mwt, pero varía sustancialmente según el tipo de reactor. Posee una mayor eficiencia en la producción de energía térmica que las tecnologías de combustión y, por lo tanto, es preferido para instalaciones de pequeña y mediana escala, pero no posee un buen desempeño cuando su capacidad supera 1 Mwt, porque enfrentan dificultades técnicas para mantener condiciones de reacción uniformes. En Argentina son escasas las plantas que utilizan esta tecnología para generar energía, pero se destacan por su repercusión pública el sistema instalado por Manfrey de 10 Mwt -en etapa de puesta en marcha- y el proyecto de Emerald Resources adjudicado en el RenovAr, con una potencia de 0,5 MW.

La elección de la tecnología aplicada a la generación de bioenergía se encuentra íntimamente ligada a las características de la biomasa disponible para cada proyecto. La ausencia de un mercado de biomasa -como ocurre en muchos países con mayor trayectoria en materia de bioenergía-, su baja densidad energética relativa y el escaso desarrollo de las tecnologías de acondicionamiento inciden en los costos de transporte de la biomasa y, consecuentemente, en la escala de producción de las plantas. Si bien los sistemas de digestión anaeróbica poseen una amplia escala de funcionamiento, esta es menor a los sistemas de combustión. Su eficiencia, sin embargo, no depende de la escala, sino de la adecuación del sistema al tipo de energía generada (eléctrica y/o térmica) y la intensidad en el uso de la capacidad instalada.

Las estimaciones disponibles respecto al costo normalizado de estos sistemas, a nivel internacional, oscilan entre los 60 y 210 USD/MWh para la combustión, los 60 y 150 USD/MWh para la digestión anaeróbica⁵ y los 70 y 240 USD/MWh para los gasificadores (IRENA, 2012). A nivel local, no existe información sistematizada sobre los costos de instalación y operación de estos

⁴ El Megavatio térmico o Mwt mide la energía liberada en forma térmica. El MW, expresado también como MWe, refleja la potencia de energía eléctrica. El MWh indica el Megavatio por hora.

⁵ No incluye sistemas de captación de biogás de rellenos sanitarios

sistemas. No obstante, algunos estudios estiman que los costos de compra e instalación de equipos térmicos a biomasa oscilan entre los 70 y 160 USD/MWt. Estos valores no incluyen el costo de compra de los generadores eléctricos ni el costo de operación (FAO, 2020b). Por otro lado, el costo normalizado de un sistema de digestión anaeróbica para la producción de energía eléctrica en *feedlots* se estima en 215 USD/MWh (Castelao Caruana, 2019), pero el costo de una planta de biogás alimentada con silaje de maíz puede rondar los 170,9 USD/MWh (Gruber, Hilbert y Sheimberg, 2010).⁶ El costo de estos sistemas varía significativamente según el país, pero también de acuerdo con las tecnologías aplicadas en cada una de las etapas y el tipo de biomasa utilizada.

Marco teórico y metodológico. Definición del universo de estudio

Para analizar las condiciones que han incidido en la conformación y configuración de la industria de la bioenergía en el país, el estudio adopta categorías analíticas de la teoría evolucionista en torno a las estrategias y capacidades de las firmas y los procesos de aprendizaje tecnológico que permiten la adopción y asimilación de nuevas tecnologías para generar bioenergía.

Motivadas por la percepción de una oportunidad inexplorada o la búsqueda de mayor competitividad, las firmas buscan innovar adoptando nuevos productos, procedimientos, estructuras de organización o tecnologías (Bianchini, Pellegrino, y Tamagni, 2016). La generación de bioenergía involucra la incorporación de un conjunto de sistemas tecnológicos y procedimientos de organización en torno a la biomasa, la generación de energía y su uso o despacho y la disposición de los subproductos de este proceso. Para las empresas que ingresan a esta industria este proceso no solo implica un cambio tecnológico sino también la modificación de su posición en el mercado, de usuario de energía a (auto)generador de este insumo. Esta innovación a nivel de la firma representa una oportunidad de generar ingresos adicionales en el mercado de la energía, mejorar la calidad de sus insumos energéticos y/o disminuir sus costos de producción y de disposición final de sus residuos orgánicos.

La búsqueda de innovaciones ocurre bajo un esquema de racionalidad acotada, con información incompleta sobre el rango de tecnologías y fuentes de conocimiento disponibles. Su adopción está condicionada por las estrategias, estructuras y capacidades que posee cada firma para integrar, construir y reconfigurar sus habilidades tecnológicas y organizacionales y sus activos específicos (Dosi, 1988).⁷ Así, mientras la estrategia de la firma define el rol de la bioenergía en sus decisiones de inversión, producción e innovación (Nelson y Winter, 1982), su estructura refleja los principios y mecanismos de gobernanza y control que coordinan sus relaciones internas y externas (Coriat y Dosi, 1995; Dosi, Faillo, y Marengo, 2003) y, por lo tanto, los mecanismos de aprendizaje organizacional que ésta despliega para, al menos, operar esta tecnología.

El papel de la bioenergía en las estrategias de inversión de las firmas responde a la interpretación subjetiva que éstas realizan de las oportunidades económicas y restricciones que ofrece

⁶ En el caso de la producción de energía eléctrica en *feedlots*, los valores corresponden a sistemas de digestión que utilizan reactores de tanque agitado e incluyen la inversión en plateas de hormigón en los corrales para hacer más eficiente la recolección de la biomasa residual. Este costo representa alrededor del 70% de la inversión total de la planta.

⁷ Los activos específicos de una firma son recursos que no pueden ser imitados por otras entidades o transferidos fácilmente, pero que son constitutivos de sus capacidades (Teece *et al.*, 1997).

el entorno. No son decisiones óptimas, sino respuestas plausibles que buscan coordinar las opciones tecnológicas vigentes con las oportunidades de mercado y las capacidades de la firma (Dosi *et al.*, 2003; Nelson y Winter, 1982). Por consiguiente, aun si las empresas participan en industrias primarias y poseen experiencias semejantes en el sector energético, su estrategia en relación con la bioenergía puede diferir significativamente.

La adopción de nuevas tecnologías y procesos de organización no solo involucra la adquisición de maquinarias y equipos sino también la reconfiguración de las capacidades acumuladas por la firma. Las capacidades abarcan el conocimiento corporizado en el capital físico de la empresa, en las habilidades de sus recursos humanos, en sus procedimientos para la toma de decisiones y en su organización en general. En articulación con la estructura de las firmas, definen las actividades que ésta puede realizar de forma satisfactoria (Nelson, 1991).

Aunque están condicionadas por la trayectoria tecnológica y el entorno de la firma (Coriat y Dosi, 1995), las capacidades pueden ser moldeadas a través de la adquisición de habilidades técnicas, conocimientos tecnológicos y recursos. Se trata de un proceso deliberado y costoso, que implica la asimilación de conocimiento tácito y codificado, difícil de reproducir (Hansen y Lema, 2000). Es, además, un proceso colectivo porque el conocimiento individual sólo resulta relevante en el marco de su interacción con el de otros individuos, lo que requiere códigos de comunicación comunes y procesos de coordinación definidos por el entorno organizacional (Teece, Pisano, y Shuen, 1997). En este marco, adquiere relevancia la estructura de organización de la firma y su incidencia en la configuración de las relaciones internas y externas que favorecen la creación y el acceso a nuevo conocimiento y, en la interacción con otras organizaciones, evitan situaciones de dependencia de la trayectoria que pueden llevar al fracaso de los proyectos.

Las relaciones internas de aprendizaje se asientan en mecanismos que ocurren dentro de la frontera de la firma y se nutren de procesos cognitivos, experiencias y la reconfiguración de sus rutinas organizacionales, y conocimientos codificados. En otras palabras, se trata de actividades desarrolladas al interior de la firma que incluyen la I+D, capacitación, movilidad de recursos humanos, desarrollo de actividades ingenieriles, etc. (Dosi *et al.*, 2003). Las relaciones externas de aprendizaje, por otra parte, refieren a la interacción de las firmas con agentes externos - proveedores de servicios y equipos, organismos de ciencia y técnica, competidores- mediante mecanismos de intensidad, persistencia y efectividad variable. Estas relaciones involucran el intercambio de bienes, información y/o conocimiento en el marco de vínculos individuales o redes de conocimiento tecnológico (Pavitt, 1984), a través de contratos de cooperación en I+D, licenciamientos, asistencia técnica e intercambios informales (Marín, Sturbin y Kababe, 2014). Estos canales facilitan la interacción entre productores y usuarios y la adaptación de conocimiento externo a las características específicas, competencias y necesidades de las firmas-usuarias (Bianchini *et al.*, 2016). Además, son un canal clave para mejorar las capacidades tecnológicas de empresas que no poseen los recursos para desarrollar actividades internas de I+D. No obstante, la efectividad de estos mecanismos depende de las capacidades tecnológicas que posee cada firma y de la densidad y distancia cognitiva de las empresas y de éstas con los distintos elementos de la infraestructura científico-tecnológica.

Método de recolección de datos y definición de la muestra

El estudio adoptó una metodología de investigación basada en el análisis de las estrategias y características centrales de las firmas que poseen plantas de generación de bioenergía eléctrica y/o térmica con fines productivos. Para identificar a estas empresas la búsqueda de datos se dividió en dos etapas. En la primera etapa, se identificaron las plantas de bioenergía activas y los proyectos de bioenergía en desarrollo a partir de la información provista por: 1) el Banco de Proyectos del Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa (PROBIOMASA, 2018); 2) los resultados de las licitaciones del Programa RenovAr de 2016 y 2017; 3) el informe mensual de la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (CMMESA, 2018); 4) documentos de organismos públicos nacionales y provinciales (Belmonte *et al.*, 2017; Grassi, 2012; Ministerio de Desarrollo Productivo, 2015); 5) informes internos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA); y 6) notas periodísticas y página web de empresas identificadas mediante búsquedas con palabras claves en internet. Cada una de estas fuentes aportó información para elaborar una lista de las plantas de bioenergía activas y proyectadas en el país. En algunos casos, estas fuentes secundarias también brindaron información sobre: situación de la planta (activa o proyectada), ubicación geográfica, fecha de habilitación, escala de producción de energía (Mwhe y/o MWT), conexión (o no) a la red eléctrica, tipo de tecnología utilizada en la etapa de pretratamiento y principal empresa propietaria.

Si bien estas fuentes secundarias ofrecieron información duplicada, heterogénea y, muchas veces, incompleta, la diversidad de fuentes consultadas permitió construir una base de datos integrada por 121 plantas de bioenergía (Cuadro 2), un número consistente con mapeos previos del sector. En el año 2012, por ejemplo, Grassi (2012) identificó 28 plantas de bioenergía activas en el país y 22 plantas en construcción en el ámbito del sector productivo. En el 2015, el PROBIOMASA, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) y el INTA identificaron 105 plantas de biogás activas, operadas por hogares, instituciones educativas, entidades públicas y empresas. Este estudio caracterizó el funcionamiento de 62 instalaciones distribuidas en todo el país, detectando que solo 2 tenían como principal objetivo la generación de energía, alrededor de 50 utilizaban estas plantas para el tratamiento de residuos orgánicos y el resto operaba con fines educativos y/o de investigación (Goicoa, 2016). El programa RenovAr, por su parte, adjudicó 53 proyectos de bioenergía durante los años 2016 y 2017.⁸

Cuadro 2: Cantidad de plantas de bioenergía identificadas según tipo de tecnología y situación, 2018

Tipo de tecnología	Situación			Total
	Activa	Proyecto	Sin datos	
Digestión anaeróbica	38	31	2	71
Biogás de relleno sanitario	2	4	0	6
Combustión	27	14	0	41
Gasificación	1	1	1	3
<i>Total</i>	<i>68</i>	<i>50</i>	<i>3</i>	<i>121</i>

Fuente: Elaboración propia a partir de información recopilada.

⁸ Este estudio no incluye el análisis de las empresas que podrían ingresar a la industria de la bioenergía a partir de contratos adjudicados en el programa RenovAr 3 en el año 2019.

En una segunda etapa, se recolectó información sobre las empresas propietarias de las plantas de bioenergía. Mientras que algunas plantas están integradas al proceso de producción de una empresa, otras son una actividad productiva independiente operada por una sociedad de propósito específico constituida por una o más empresas. La recolección de información sobre las firmas que lideran estos proyectos o que ya administran plantas de bioenergía se realizó también recurriendo a diversas fuentes secundarias: documentos de organismos públicos de nivel nacional e internacional, páginas web de empresas y organismos públicos, reportes financieros y sociales de las firmas, y notas periodísticas de diversas fuentes, procurando cruzar la información obtenida para asegurar la fiabilidad de los datos. La información recolectada en esta etapa fue incorporada a la base de datos de plantas de bioenergía e incluyó variables como: las funciones de la planta de bioenergía (tratamiento de biomasa residual, generación de energía eléctrica y/o térmica, para autoconsumo y/o para la red), el tipo y la propiedad de la biomasa utilizada, los tipos de actores que participaron en el diseño, instalación y/o construcción de la planta (institutos de Ciencia y Técnica -CyT-, firmas locales, firmas extranjeras), los mecanismos de financiamiento utilizados, los factores que motivaron esta inversión, los antecedentes de participación de la firma en la industria energética, el origen del capital de la empresa y su forma de organización (filial de multinacional, firma de grupo económico local o firma independiente), su número de empleados y sector de actividad central.

Dado que este trabajo se centra en el análisis de la industria de la bioenergía con fines eléctricos y térmicos, así como en las firmas que la integran, se excluyeron del estudio y, por lo tanto de la base de datos analizada, las plantas de bioenergía (y entidades propietarias) que: 1) son propiedad de organismos públicos o de instituciones escolares o de CyT; 2) captan biogás de rellenos sanitarios (debido a sus particularidades tecnológicas y organizacionales); y 3) son propiedad de empresas dedicadas exclusivamente a la comercialización. Tampoco se consideraron aquellas plantas (y empresas) sin información en las principales variables de análisis. Esto último excluyó a 15 firmas propietarias de 16 plantas de bioenergía, lo que derivó en una base de datos para la realización de este trabajo compuesta por 69 empresas dueñas de 82 plantas de bioenergía.

Las plantas de bioenergía: localización, biomasa y tipo de energía

Las tecnologías adoptadas para generar bioenergía en Argentina son la digestión anaeróbica (46 plantas), la combustión directa (35) y la gasificación (1).⁹ El 56% de estas plantas se encuentra en operación y el resto en construcción con contratos de abastecimiento del programa RenovAr, excepto una que tiene un contrato público previo vigente.

Estas plantas se distribuyen en 13 de las 24 provincias que integran el país, pero el 79% se concentra en Santa Fe (17 plantas), Buenos Aires (14), Córdoba (13), Tucumán (11) y Misiones (10). En las tres primeras prevalecen los sistemas de digestión anaeróbica, mientras que en Misiones se destaca el uso de sistemas de combustión, y en Tucumán coexisten ambas tecnologías

⁹ Existen, al menos, otros tres proyectos con sistemas de gasificación para la generación de energía en el país, pero no se encuentran en operación ni poseen fecha de habilitación, por lo que no forman parte del análisis.

(Cuadro 3). La única planta de gasificación con fecha estimada de habilitación se localiza en Las Junturas, provincia de Córdoba.

Cuadro 3: Número de plantas de bioenergía según provincia y tecnología, 2018

Provincia	Digestión anaeróbica	Combustión	Gasificación
Buenos Aires	9	5	0
Chaco	0	2	0
Córdoba	8	4	1
Corrientes	0	5	0
Entre Ríos	1	1	0
Formosa	0	1	0
Jujuy	0	1	0
La Pampa	1	0	0
Misiones	2	8	0
Salta	0	1	0
San Luis	4	0	0
Santa Fe	15	2	0
Tucumán	6	5	0
<i>Total</i>	<i>46</i>	<i>35</i>	<i>1</i>

Fuente: Elaboración propia.

Si se compara la biomasa utilizada por estas plantas con su disponibilidad a nivel provincial (FAO, 2016a, 2016b, 2016c, 2017, 2018a, 2018b, 2018c), se comprueba que esta no responde a los RNR legal y físicamente accesibles en el campo, sino a la biomasa resultante de los procesos de transformación industrial que facilitan su concentración espacial.¹⁰ De esta forma, las empresas contrarrestan la baja densidad energética de la biomasa y su impacto en el costo del transporte y, consecuentemente, en la escala de operación de las plantas. En efecto, el 95% de las plantas utiliza mayormente biomasa residual propia y/o de terceros y un 5% utiliza, además, cultivos energéticos. Asimismo, mientras que las plantas ubicadas en Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe utilizan diversos tipos de biomasa (chips y aserrín, efluentes bovinos y/o porcinos, cama de pollo, efluente líquido industrial, etc.), reflejo de su diversificación productiva, las plantas en Corrientes, Misiones y Tucumán acompañan la especialización productiva de estas regiones utilizando biomasa proveniente del sector forestal, los ingenios azucareros y/o el procesamiento de fruta fresca. De esta forma, la actividad productiva de cada región y, más específicamente, la biomasa derivada de los procesos productivos explica la distribución geográfica de las plantas y sus tecnologías.

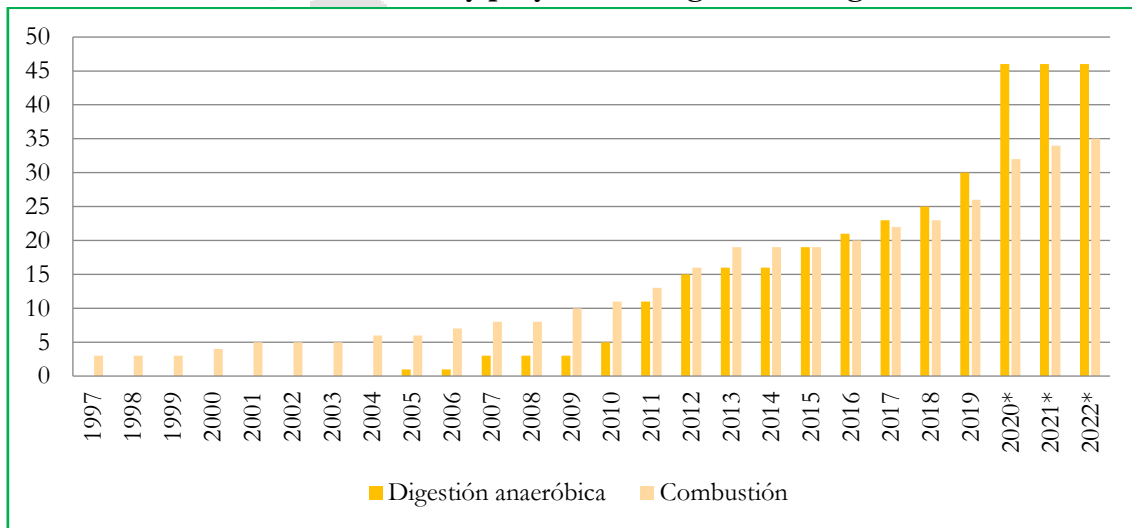
No obstante, en provincias donde existen sectores productivos con una amplia disponibilidad de biomasa, la ausencia de plantas de bioenergía plantea interrogantes respecto al alcance de estas tecnologías -su escala mínima y los costos de producción que otorgan viabilidad económica a los proyectos. Además, cuestiona el alcance de los modelos de negocio compatibles con su adopción y los incentivos que han motivado su difusión en las diferentes regiones del país. La producción de bioenergía posee economías de escala en su capital y costos de operación y deseconomías de escala en el transporte de biomasa, pero su desempeño también depende de: la calidad energética de la biomasa, su distribución geográfica, estacionalidad y los costos asociados a su pretratamiento, la tecnología seleccionada, su interacción con el sistema productivo y el tipo

¹⁰ Considerando las normas nacionales y provinciales que regulan la explotación y gestión comercial de los RNR y la posibilidad física de acceder a ellos.

y factor de uso de la energía generada (con fines eléctricos y/o térmicos, para autoconsumo o venta a terceros).

En Argentina, las plantas modernas de bioenergía se remontan al primer lustro de la década de 1990, cuando diversos establecimientos dedicados al procesamiento de yerba mate, té y tung en Misiones y Corrientes incorporaron en la etapa de secado de los cultivos sistemas de combustión modernos (motores de vapor) alimentados con biomasa residual y leña (FAO, 1996). La difusión de los sistemas de digestión anaeróbica, por otro lado, comenzó a mediados de la década del 2000, cuando algunas empresas instalaron plantas para el tratamiento de sus residuos primero, y la generación de energía térmica para autoconsumo después (Gráfico 2). Esto último ocurrió en el marco de una gran incertidumbre, originada en la ausencia de información confiable y específica sobre la eficiencia de la tecnología, sus requerimientos en torno a la gestión de la biomasa y el modelo de negocio más adecuado para explotar sus beneficios.

Gráfico 2: Plantas activas y proyectadas según tecnología, 1997-2022



Fuente: Elaboración propia.

Nota (*): Proyectadas, con contratos del RenovAr.

La tecnología de gasificación, por otra parte, comenzó a tomar visibilidad alrededor del año 2014 con la instalación de una planta de gasificación destinada a reemplazar el uso de GLP en el proceso productivo de una empresa láctea en Córdoba y una planta demostrativa operada por el INTI en Chaco. Si bien la planta instalada por la empresa fue inaugurada en esos años, su funcionamiento resultó intermitente por problemas técnicos y dificultades para acceder a biomasa adecuada y acondicionada a los requerimientos de la tecnología y la calidad de la energía. Adicionalmente, existen registros de empresas que se han propuesto adoptar esta tecnología, pero en la actualidad se desconocen los resultados de estos proyectos. La única planta de gasificación considerada en este análisis es un proyecto en construcción, licitado en el marco del programa RenovAr, que proyecta entregar energía a la red en los primeros meses de 2020.

El destino de estas plantas y su inserción en el proceso productivo de las principales empresas que las operan no ha sido homogéneo a lo largo del tiempo. El 54% de las plantas en actividad antes de 2017 generan energía térmica para el proceso productivo de las empresas que las

operan y el 27% también entrega energía eléctrica a la red. La mayoría de las plantas instaladas o en construcción a partir de 2017, por el contrario, están destinadas exclusivamente a generar energía eléctrica para la red y solo el 15% produce, además, energía térmica para un proceso productivo (Cuadro 4). La función de estas plantas en la estrategia de las empresas responde esencialmente a las condiciones de los mercados de energía al momento de su instalación, pero plantea interrogantes respecto a la eficiencia de las nuevas plantas y su posibilidad de integrarse con otros sistemas de producción que aporten a un uso más intensivo de los RNR.

Cuadro 4: Cantidad de plantas de bioenergía según uso final y período

Finalidad de las plantas	Antes de 2017	Desde 2017	Total
Entrega a la red con autoconsumo térmico	11	6	17
Entrega a la red sin autoconsumo térmico	1	32	33
No entrega a la red con autoconsumo térmico	22	2	24
Tratamiento de residuos orgánicos	7	1	8
<i>Total</i>	<i>41</i>	<i>41</i>	<i>82</i>

Fuente: Elaboración propia.

Las empresas: estrategias, estructuras y capacidades

Las plantas de bioenergía analizadas son propiedad de empresas con diferentes estrategias, estructuras de organización y capacidades, aun cuando la mayoría se desempeña en actividades vinculadas al procesamiento industrial de productos de origen agropecuario. Así como la función de las plantas de bioenergía en la estrategia de las empresas varía según las condiciones del entorno, las capacidades de las firmas para diseñar, construir y operar estas plantas y consumir y/o comercializar su energía también cambia. Sus capacidades dependen, entre otras cuestiones, de su experiencia respecto a la adopción de tecnologías de similar naturaleza, la gestión de biomasa y la participación en el mercado eléctrico y/o de las energías renovables, y de la tenencia de activos complementarios como la reputación frente a sus proveedores y competidores, su capacidad de financiamiento y la posibilidad de acceder a recursos financieros externos a la firma. El desarrollo de mecanismos internos y externos de aprendizaje, la adquisición de nuevos activos y la adopción de nuevas estructuras de organización forman parte de las acciones que han desplegado las empresas para ingresar o profundizar su participación en la industria de la bioenergía.

Capacidades y forma de organización

Si bien son 82 las plantas de bioenergía caracterizadas en la sección anterior, las empresas que las operan suman un total de 69. Como una primera aproximación a sus capacidades acumuladas, estas empresas pueden ser clasificadas según su tamaño (Cuadro 5) y sector de actividad núcleo en cuatro categorías (Cuadro 6). El primer grupo lo componen empresas de tamaño grande y mediano-superior que desarrollan actividades de procesamiento industrial integradas, en la mayoría de los casos, con la producción agropecuaria (55,1%) (Grupo 1).¹¹ Otro grupo incluye empre-

¹¹ El procesamiento industrial incluye la generación de energía.

sas pequeñas y medianas-inferior dedicadas al procesamiento industrial que, en algunos casos, también realizan actividades agropecuarias (23,2%) (Grupo II). Otros dos conjuntos de firmas con menor representación en el universo de estudio, pero relevantes para comprender la dinámica del sector, son los establecimientos de producción agropecuaria (11,6%) (Grupo III) y las firmas cuya actividad central es la oferta de servicios empresariales (10,1%) (Grupo IV). Las empresas del Grupo IV participan en la operación de plantas de bioenergía, pero esta actividad industrial no forma parte de su actividad núcleo, aun cuando algunas ofrecen servicios para la industria de la energía.

Cuadro 5: Tamaño de la empresa según sector de actividad principal y número máximo de empleados, 2018

Categoría de tamaño	Construcción	Servicios	Comercio	Industria y minería	Agropecuario
Micro	12	7	7	15	5
Pequeña	45	30	35	60	10
Mediana inferior	200	165	125	235	50
Mediana superior	590	535	345	655	215

Fuente: Secretaría de Emprendedores y PyMES del Ministerio de Producción (Resolución 154/2018), disponible en www.argentina.gob.ar/noticias/nuevas-categorias-para-ser-pyme.

Cuadro 6: Porcentaje de empresas según sector de actividad y tamaño

Actividad	Grande	Mediana superior	Mediana inferior	Pequeña	Micro	Total
Producción agropecuaria y de procesamiento industrial integrados	23,2	13,0	1,4	5,8	0,0	43,5
Procesamiento industrial	8,7	10,1	11,6	4,3	0,0	34,8
Producción agropecuaria	0,0	1,4	7,2	0,0	2,9	11,6
Servicios empresariales	1,4	0,0	0,0	4,3	4,3	10,1
<i>Total</i>	<i>33,3</i>	<i>24,6</i>	<i>20,3</i>	<i>14,5</i>	<i>7,2</i>	<i>100,0</i>

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Las gamas de grises reflejan los grupos mencionados en el párrafo anterior.

El Cuadro 7 ofrece una tipología de estas empresas. El origen de su capital refleja su forma de organización, pero también su capacidad de acceso a activos claves para absorber nuevas tecnologías e ingresar a nuevos mercados. El 52,2% de las firmas son empresas nacionales, el 20,3% son filiales de multinacionales y el 23,2% forman parte de grupos económicos de capital nacional.¹²

Las filiales y los grupos económicos se concentran, aunque no son exclusivos, en el Grupo I y desarrollan actividades centradas en la elaboración de alimentos y productos derivados del procesamiento de la madera. Adicionalmente, algunas filiales se dedican a la elaboración de bebidas y sustancias químicas y las firmas de grupos económicos al procesamiento de cereales y oleaginosas. Los Joint Venture originados en alianzas de grupos económicos con multinacionales - Glucovil y Renova- también integran el Grupo I. Diez de estas 25 empresas realizan además acti-

¹² Se entiende por empresas nacionales a aquellas firmas de capital nacional que no integran grupos económicos.

vidades secundarias asociadas al mercado energético, como la producción de biocombustibles (7 de ellas) y la generación de energía de fuentes convencionales y/o renovables (3 de ellas).

Las empresas nacionales presentan una mayor heterogeneidad en cuanto a su tamaño y sector de actividad, pero aun así se dedican mayormente al procesamiento industrial, en algunos casos integrado con el sector agropecuario, para la elaboración de alimentos -frutas, legumbres, carnes, harina, etc.-, la fabricación de productos derivados de la madera y de maquinarias y equipos y sustancias químicas. Entre las empresas nacionales de gran tamaño (Grupo I) sólo la firma Juan F. Secco se ha diversificado hacia el sector energético. Con origen en la industria metalúrgica y la fabricación de maquinaria y equipos, esta empresa ha incorporado la comercialización de equipamiento importado para el sector de la energía y, posteriormente, la generación de energía eléctrica aislada y conectada a la red, tanto de fuentes convencionales como renovables. Entre las empresas pequeñas y medianas-inferior (Grupo II), se destacan Molino Juan Semino, que genera energía eléctrica para autoconsumo a partir de un pequeño aprovechamiento hidroeléctrico, y Bio4 dedicada a la producción de bioetanol a partir del procesamiento de maíz y asociada a Bio-eléctrica en la generación de energía eléctrica a partir de biomasa.

Las empresas dedicadas a la cría de ganado (Grupo III) son firmas de capital nacional -de grupos económicos o firmas especializadas- que generan bioenergía como actividad complementaria a su actividad central. Sin embargo, solo dos de las 8 empresas que integran este grupo han tenido experiencia en el sector energético mediante la producción de biocombustibles: los establecimientos Tigonbu y Yanquetruz de la Asociación de Cooperativas Argentinas.

Por último, las firmas especializadas en la oferta de servicios empresariales (Grupo IV) se dividen entre las que integran grandes firmas multinacionales (2) y empresas pequeñas de capital nacional (5). Las primeras ofrecen servicios de ingeniería, contratación, ejecución y operación de plantas de generación energía renovable y/o convencional y acceso a fuentes de financiamiento a través de sus socios estratégicos internacionales. Entre las firmas locales, por otra parte, tres se dedican específicamente a la industria de la energía: Emerald Resources, con antecedentes en el desarrollo de negocios en el sector energético convencional, y Cleanergy Renovables y Seeds Energy, dedicadas desde el 2016 al desarrollo, construcción y operación de proyectos de energía de fuentes renovables, lo cual incluye la búsqueda y coordinación del financiamiento. Las otras empresas ofrecen servicios de arquitectura e ingeniería, por un lado, y de tratamiento de residuos de origen industrial, por otro.

Cuadro 7: Tipología general de empresas que operan plantas de bioenergía

Grupo	Actividad	Tamaño	Forma de organización	Experiencia en el sector energético
I	Producción agropecuaria y de procesamiento industrial integrados	Grande y mediana superior	Multinacionales y grupos económicos Empresas nacionales	Generación de biocombustibles y de energía de fuentes renovables y convencional Baja experiencia
II	Producción agropecuaria y de procesamiento industrial integrados	Mediana inferior y pequeña	Empresas nacionales	Baja experiencia
III	Producción agropecuaria	Micro, pequeñas y medianas	Grupos económicos y	Baja experiencia

		(superior e inferior)	empresas nacionales	
IV	Servicios empresariales	Grandes	Multinacionales	Especializadas en servicios para el sector y la generación de energía
		Pequeñas	Empresas nacionales	Mayormente especializadas en servicios para el sector

Fuente: Elaboración propia.

La bioenergía en la estrategia de las empresas

Aunque las regulaciones y políticas sectoriales no determinan las decisiones de inversión de las empresas, pueden representar oportunidades y desafíos que inciden de manera heterogénea en la estrategia de las firmas (Nelson, 1991). Así, con anterioridad al 2017, la instalación de plantas de bioenergía entre las empresas bajo análisis respondió a: 1) las condiciones de los mercados energéticos; 2) las políticas públicas de saneamiento ambiental, y/o 3) decisiones empresariales para mejorar la gestión de los residuos orgánicos del proceso productivo. A partir de 2017, esta decisión de inversión estuvo mayormente motivada por la posibilidad de obtener beneficios de la venta de energía eléctrica a CAMMESA a través del programa RenovAr.

En el primer período, la instalación de plantas de combustión ocurrió mayormente entre empresas del Grupo I que buscaron aumentar la calidad y/o cantidad de energía utilizada en su proceso productivo, sustituyendo la compra de combustibles fósiles líquidos (relativamente más caros) o evitando restricciones en la oferta de energía (cortes programados, baja tensión), como se observa en el Cuadro 8. Esta condición no afectó a todas las empresas por igual, sino que incentivó a empresas con un alto consumo de energía y/o ubicadas en puntas de línea del sistema eléctrico. Además, estas empresas se caracterizaron por disponer de una gran cantidad de biomasa seca de su propio proceso productivo, una condición necesaria ante la inexistencia de un mercado de biomasa. Algunas de ellas firmaron contratos de abastecimiento con empresas cercanas, lo que permitió la transición de las plantas desde la producción de energía térmica hacia la cogeneración y/o la ampliación de su capacidad instalada.

En esta misma etapa, la adopción de plantas de digestión anaeróbica respondió, en primer lugar, a la decisión empresarial de aumentar la eficiencia de los procesos productivos y disminuir el impacto ambiental de su actividad. En segundo lugar, el Estado implementó políticas ambientales de alcance regional que influyeron decisivamente en la búsqueda de nuevas tecnologías por parte de las firmas (Cuadro 8).¹³ A diferencia de la tecnología de combustión, la digestión anaeróbica en estos años fue aplicada por firmas de diversos tamaños y sectores de actividad, probablemente debido a que permite escalas de operación más bajas que la combustión y ofrece sistemas con distintos niveles de eficiencia y, por ende, costo.

¹³ Tales como el Programa de Reconversión Industrial en Tucumán, el Plan de reconversión industrial de la Autoridad de la Cuenca Matanza Riachuelo y la Ley 106 de Misiones que prohibió el uso de madera de bosque nativo con fines energéticos.

Cuadro 8: Empresas según estrategia y período de entrada en operación de las plantas de bioenergía, en porcentaje

Motivos	Antes 2017			Desde 2017			
	DA	C	Total	DA	C	G	Total
Búsqueda de beneficios por la venta de energía eléctrica	0	2,6	2,6	45,2	29,0	3,2	77,4
Búsqueda de mayor eficiencia en el uso de RNR propios	31,6	5,3	36,8	6,5	3,2	0,0	9,7
Políticas públicas ambientales	18,4	2,6	21,1	0	0	0	0
Restricciones de oferta energética	2,6	36,8	39,5	3,2	9,7	0	12,9
<i>Total</i>	<i>52,6</i>	<i>47,4</i>	<i>100,0</i>	<i>54,8</i>	<i>41,9</i>	<i>3,2</i>	<i>100,0</i>

Fuente: Elaboración propia.

Notas: DA: Digestión anaeróbica. C: Combustión. G: Gasificación.

A fines de 2015, el Estado nacional modificó el Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica (Ley 27.191). Este nuevo régimen estableció beneficios fiscales, impositivos y aduaneros para el sector, creó un fondo fiduciario público destinado a brindar garantías y financiamiento a los proyectos y definió un cronograma de consumo obligatorio hasta alcanzar 20% en 2025. En los años 2016 y 2017, el Estado nacional licitó la compra de energía eléctrica de fuentes renovables en el marco del programa RenovAr. Como resultado, se firmaron contratos de abastecimiento con 18 proyectos de combustión (158 MW) y 35 proyectos de digestión anaeróbica (65 MW), que en conjunto representan el 36% de los proyectos y el 5% de la potencia instalada adjudicada por el programa.

En estas licitaciones, el precio promedio de la energía eléctrica contratada fue de 154 USD/MWh para las plantas de digestión anaeróbica y de 114 USD/MWh para las de combustión directa. Algunos actores del sector privado entienden que estos precios no reflejan las externalidades positivas (ambientales y sociales) asociadas a la generación de bioenergía (Grassi, 2016; IEA, 2016), ni los riesgos asociados a variaciones en el precio de la biomasa. Sin embargo, estos precios tampoco contemplan la posibilidad de generar energía térmica como paso previo a la venta de energía eléctrica, ni los costos evitados por el tratamiento de los residuos orgánicos, todo lo cual aceleraría el recupero de la inversión. Además, la diferencia de precio entre la venta y la compra de energía eléctrica que realizan estas empresas desincentiva el autoconsumo. De hecho, la mayoría de los proyectos adjudicados en estas licitaciones no contemplan la cogeneración de energía y/o el autoconsumo de electricidad.

En este contexto, el 77% de las empresas que instalaron plantas de bioenergía lo hicieron a partir de la firma de contratos de abastecimiento con el Estado nacional (Cuadro 8) y, mientras las empresas de los Grupos I y II adoptaron sistemas de combustión y digestión anaeróbica, las empresas de los Grupos III y IV, mayormente pequeñas y medianas de capital nacional, se centraron en esta última tecnología.

La construcción de nuevas capacidades

La interacción de las firmas con empresas dentro y fuera de su actividad principal y con organizaciones públicas y privadas promueve la adopción de nuevas tecnologías y facilita la coordinación y desarrollo de nuevas capacidades tecnológicas (Coriat y Dosi, 1995). Esto ocurrió en los primeros años de difusión de la bioenergía en el país, cuando se produjo un proceso de desarrollo y transferencia de *know-how* que incluyó la creación de conocimiento a partir de la experiencia y la

resolución de problemas en las propias empresas y la I+D en institutos de CyT del sector público. Esta etapa también involucró los aportes de conocimiento más o menos decodificado de firmas nacionales e internacionales proveedoras de servicios de ingeniería, contratación, construcción y, en algunos casos, operación de plantas de bioenergía (EPC), interesadas en promover la difusión de estas tecnologías en el país. Algunas de estas empresas tuvieron un papel especialmente activo en este proceso al participar en el desarrollo de plantas demostrativas, brindar charlas de sensibilización a productores agropecuarios y participar en mesas de trabajo con organismos públicos.

En algunos casos, esta interacción comenzó en el período 2011-2015 en el marco de consorcios público-privados financiados por el Estado nacional, con el objetivo de promover actividades coordinadas de I+D e innovación entre los sectores científico y productivo. Con anterioridad, ocurrieron instancias de consulta y difusión organizadas por empresas interesadas en obtener financiamiento a través del Mecanismo de Desarrollo Limpio, en las que participaron firmas competidoras o de actividades relacionadas difundiendo las potencialidades de estas tecnologías para el tratamiento de los residuos orgánicos y la producción de energía.

Las empresas de EPC se destacan como fuentes externas de conocimiento y experiencia, presentes en el testeado de la densidad energética de la biomasa derivada del proceso productivo, el diseño y construcción de las plantas de bioenergía y/o la capacitación para su operación. Estas firmas ofrecen servicios de intermediación entre los proveedores de tecnología y las empresas usuarias para que estas últimas mejoren sus procesos productivos. Su objetivo es satisfacer las demandas específicas de sus clientes y disminuir la incertidumbre en torno al rendimiento de las nuevas tecnologías y las tendencias de su desarrollo. No solo se especializan en la acumulación y decodificación del conocimiento, sino también en la producción y difusión de innovaciones, la búsqueda de conocimientos complementarios y nuevas áreas para su aplicación (Miles *et al.*, 1995).

Según los datos disponibles para 40 de las 69 empresas analizadas, con anterioridad al año 2017, el 55% de las empresas recibieron asesoramiento de institutos públicos de CyT, en su mayoría, sobre las propiedades de la biomasa disponible, el 41% de EPC extranjeras y el 32% de EPC nacionales. A partir de 2017, el porcentaje de empresas en interacción con organismos de CyT disminuyó (22%) y aumentó el vínculo con firmas de EPC extranjeras (56%). Las empresas de EPC nacionales, por otra parte, participaron en el 33% de los proyectos de bioenergía de este período. La mayor participación de las firmas de EPC extranjeras ocurrió en el marco de una mayor certidumbre respecto a la viabilidad económica de los proyectos y como resultado de una estrategia comercial basada en su reputación internacional, lo cual la posiciona como garantía de ejecución de los proyectos frente a los inversores, y su acceso a financiamiento por medio de fondos propios, fondos de inversión contra el cambio climático de su país de origen o instituciones bancarias internacionales. En algunos casos, esta estrategia ha derivado en la creación de alianzas entre empresas nacionales, generalmente productoras de biomasa residual o cooperativas distribuidoras del servicio de electricidad, y EPC extranjeras, como Aczia Biogas y BAS Corporation de España y Bigadan de Dinamarca.

Reflexiones finales

Este trabajo indagó en la conformación de la industria de bioenergía con fines eléctricos y térmicos en Argentina y su configuración técnica, geográfica y productiva actual, a partir del análisis de una base de datos construida con datos de una gran diversidad de fuentes secundarias. Los resultados de este estudio revelan algunas características del sector que permiten comenzar a entender su dinámica y su capacidad de integrar procesos más intensivos en el uso de RNR.

En primer lugar, si bien la industria local ha adoptado tecnologías de pretratamiento ampliamente difundidas a nivel internacional, en general, no ha incorporado tecnologías de acondicionamiento de la biomasa. Aun así, muchas firmas han desarrollado prácticas alternativas para mejorar la gestión de este insumo clave. Por otra parte, la distribución espacial de estas plantas se encuentra condicionada por la ubicación de los establecimientos que producen la biomasa residual y por su decisión de consumir la energía térmica o vender la energía eléctrica que generan. Estas condiciones configuran una industria geográficamente descentralizada, con plantas localizadas en espacios productivos que concentran biomasa, con escalas de producción y tecnologías que responden más a la cantidad y las características de este insumo que a la eficiencia de operación.

Las empresas pioneras en la adopción de sistemas de combustión fueron firmas grandes y medianas dedicadas a la elaboración de alimentos y el procesamiento de productos agropecuarios. Motivadas por las condiciones de los mercados de energía convencional, instalaron plantas centradas en la generación de energía térmica, en muchos casos desconectadas de la red eléctrica, a pesar de la mayor eficiencia que implica la cogeneración. Sus capacidades organizacionales y tecnológicas y sus activos complementarios, como los financieros y los relativos a la reputación, facilitaron la adopción de estas tecnologías y el acceso a grandes volúmenes de biomasa residual propia y ajena. En la actualidad, algunas de estas empresas aplican procesos productivos relativamente integrados que, con tecnologías de complejidad variable, utilizan de manera intensiva la biomasa, produciendo energía térmica, eléctrica y/o biocombustibles líquidos, alimentos y otros bioproductos. Se trata de ingenios azucareros con destilería, complejos de producción de harinas, aceites, biodiesel y glicerina, y establecimientos de procesamiento de fruta fresca que ofrecen insumos a las industrias farmacéutica, perfumería y bebidas. Si bien es cierto que las estructuras productivas integradas no responden a la dinámica de la industria de la bioenergía, sino a políticas públicas y contextos competitivos específicos, la difusión de la bioenergía podría repercutir en el nivel y tipo de diversificación de las firmas.

Debido a su mayor flexibilidad técnica y menores costos de inversión, los sistemas de gestión anaeróbica fueron inicialmente adoptados por firmas de diversos tamaños, sectores de actividad y formas de organización, con el principal objetivo de mejorar la gestión de sus residuos orgánicos en el marco de estrategias corporativas o políticas públicas ambientales. Su instalación se destinó a la generación de energía térmica y/o el tratamiento de residuos, pero la implementación del programa RenovAr derivó en una mayor proporción de plantas dedicadas a la generación de electricidad para la red.

El programa RenovAr incentivó el crecimiento de la industria de bioenergía y el surgimiento de un nuevo modelo de negocio centrado en la generación de energía eléctrica para la red y, en algunos casos, además, el tratamiento de residuos orgánicos. Si bien esta política de deman-

da abrió la entrada a firmas pequeñas y medianas, mayormente de origen nacional, con una baja experiencia en el sector energético, la mayor participación de empresas de EPC extranjeras en el diseño y construcción de estas plantas podría reflejar la falta de capacidades y activos suficientes para adoptar y difundir estas tecnologías a nivel local.

En una primera etapa, los organismos de CyT tuvieron un papel central -aunque no exclusivo- en la construcción de confianza en torno a la viabilidad técnica de estas tecnologías y la transferencia de conocimiento hacia el sector privado. Sin embargo, con la implementación del programa RenovAr, las empresas de EPC extranjeras ampliaron su participación en la oferta de servicios de diseño y construcción de los sistemas de bioenergía, adoptando un papel central en la intermediación entre los proveedores de tecnología y los usuarios. Los motivos de este proceso podrían encontrarse en los antecedentes internacionales de estas empresas y su capacidad financiera para actuar como garantía de ejecución de estos proyectos frente a los inversores. Esta dinámica, sin embargo, plantea interrogantes en torno a las posibilidades de crecimiento de firmas de EPC nacionales, la distribución de los beneficios de la venta de energía eléctrica y la conjugación de las estrategias de estos actores en relación con el aprovechamiento de los RNR.

Los resultados de este estudio invitan a profundizar en las condiciones internas y externas a las firmas que definen su participación en esta industria, configurando su articulación con otras cadenas de producción y organizaciones en red que podrían intensificar el valor de los RNR. En este sentido, es necesario indagar en el papel que tienen las plantas de bioenergía en la estrategia de las firmas y en las capacidades acumuladas que poseen las empresas y los distintos actores que participan en la difusión de estas tecnologías en el país para poder diseñar políticas públicas que promuevan su difusión y su eslabonamiento con otros procesos productivos aguas arriba, aguas abajo y horizontales. Identificar las condiciones del entorno y de las firmas que favorecen la adopción de tecnologías asociadas a un uso intensivo e integrado de los RNR y la interacción con actores de origen nacional en las distintas etapas del proyecto, resulta clave para evaluar las potencialidades de la bioeconomía en el país y definir políticas públicas que podrían potenciar el cambio tecnológico y la innovación en el ámbito de la bioeconomía.

Bibliografía

- Belmonte, Silvina., Judith. Franco (coordinadores). *Experiencias de energías renovables en Argentina: una mirada desde el territorio*. Salta: Universidad Nacional de Salta, 2017.
- Bianchini, Stefano., Gabriele Pellegrino y Federico Tamagni. *Innovation Strategies and Firm Growth*. Laboratory of Economics and Management, Document de Trabajo, 2016, www.isigrowth.eu/wp-content/uploads/2017/04/working_paper_2016_3A.pdf.
- Birch, Kean. "The Neoliberal Underpinnings of the Bioeconomy: the Ideological Discourses and Practices of Economic Competitiveness." *Genomics, Society and Policy*, vol. 2, no. 1, 2006.
- CAMMESA. *Informe Mensual*. Diciembre, 2018, <http://portalweb.cammesa.com/memnet1/Pages/descargas.aspx>.
- Castelao Caruana, Maria Eugenia. "Organizational and economic modeling of an anaerobic digestion system to treat cattle manure and produce electrical energy in Argentina's feedlot sector." *Journal of Cleaner Production*, vol. 208, 2019, pp. 1613-1621.

- Coremberg, Ariel. *Medición de la cadena de valor de la bioeconomía en Argentina: hacia una cuenta satélite. Informe final*. Buenos Aires: Grupo Bioeconomía, Bolsa de Cereales y Ministerio de Producción, 2019, <https://fibamdp.files.wordpress.com/2019/07/la-medicion3b3n-de-la-bioeconomc3ada-argentina-al-2018.pdf>.
- Coriat, Benjamin y Giovanni Dosi. "Learning how to govern and learning how to solve problems earning how to solve problems. On the Co-evolution of Competences, Conflicts and Organizational Resources", IIASA, documento de trabajo, no. 6, 1995, <https://core.ac.uk/download/pdf/33896056.pdf>.
- Delvenne, Pierre. "Embedded Promissory Futures: The Rise of Networked Agribusiness in Argentina's Bioeconomy." *Bioeconomies. Life, Technology and Capital in the 21st Century*, editado por Vincenzo Pavone y Joanna Goven. Madrid: Macmillan, 2017, pp. 227-249.
- Dosi, Giovanni. "Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation." *Journal of Economic Literature*, vol. 26, no. 3, 1988, pp. 1120-1171.
- Dosi, Giovanni, Marco Faillo y Luigi Marengo. "Organizational Capabilities, Patterns of Knowledge Accumulation and Governance Structures in Business Firms: An Introduction." *Organization Studies*, vol. 29, no. 8-9, 2003, pp. 1165-1185.
- FAO. *Memoria- Reunión regional sobre generación de electricidad a partir de biomasa*. Buenos Aires: PROBIO-MASA, 1996, www.fao.org/3/t2363s/t2363s00.htm.
- FAO. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de Tucumán*. [Colección Documentos Técnicos, no. 1]. Buenos Aires: FAO, 2016a.
- FAO. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de La Pampa*. [Colección Documentos Técnicos, no. 2]. Buenos Aires: FAO, 2016b.
- FAO. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de Salta*. [Colección Documentos Técnicos, no. 3]. Buenos Aires: FAO, 2016c.
- FAO. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de Córdoba*. [Colección Documentos Técnicos, no. 4]. Buenos Aires: FAO, 2017.
- FAO. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de Corrientes*. [Colección Documentos Técnicos, no. 7]. Buenos Aires: FAO, 2018a.
- FAO. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia de Santa Fe*. [Colección Documentos Técnicos, no. 8]. Buenos Aires: FAO, 2018b.
- FAO. *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM. Provincia del Chaco*. [Colección Documentos Técnicos, no. 9]. Buenos Aires: FAO, 2018c.
- FAO. *Informe sobre la factibilidad del aprovechamiento de la biomasa forestal de campo*. [Colección Informes Técnicos, no. 7]. Buenos Aires: FAO, 2019.
- FAO. *Guía para realizar estudios de impacto ambiental de proyectos bioenergéticos*. [Colección Informes Técnicos, no. 20]. Buenos Aires: FAO, 2020a.
- FAO. *Modelos de negocios para proyectos de energía térmica de biomasa*. [Colección Informes Técnicos, no. 10]. Buenos Aires: FAO, 2020b.
- Goicoa, Victor. "Relevamiento nacional de plantas de biogás". 15° Curso Internacional de Agricultura y Ganadería de Precisión con Agregado de Valor en Origen. Manfredi: INTA, 2016.
- Grassi, Lucia, "Análisis del Marco Institucional para la Bioenergía en Argentina." Buenos Aires: 2nd RCN Conference on PanAmerican Biofuels & Bioenergy Sustainability, 2016.
- Gruber, Steffen, Jorge Hilbert y Sebastian Sheimberg. *Una planta de biogás en base de estiércol animal*

- en mezcla de silaje forrajeras de maíz en el marco agropecuario argentino*. Buenos Aires: INTA, 2010, https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_bc-inf-16-10-generacion_electrica_con_biogas.pdf.
- Hansen, Ulrich Elmer y Rasmus Lema. "The co-evolution of learning mechanisms and technological capabilities: Lessons from energy technologies in emerging economies." *Technological Forecasting & Social Change*, no. 140, 2019, pp. 241-257.
- Henry, Guy, Jeanne Pahun, y Eduardo Trigo. "La Bioeconomía en América Latina: oportunidades de desarrollo e implicaciones de política e investigación." *Revista de La Facultad de Ciencias Económicas y Sociales*, vol. 4220, no. 4, 2014, pp. 125-141.
- IEA. *Technology Roadmap Bioenergy for Heat and Power*. Paris: International Energy Agency. International Energy Agency, 2012, www.globalbioenergy.org/uploads/media/1205_IEA__Technology_Roadmap_Bioenergy_for_Heat_and_Power_.pdf.
- IEA. *Mobilising sustainable bioenergy supply chains: opportunities for agriculture*. Paris: International Energy Agency, 2016, <https://www.ieabioenergy.com/publications/ws20-mobilising-sustainable-bioenergy-supply-chains-opportunities-for-agriculture/>.
- IEA. *Annex 2: Bioenergy technologies*. Paris: International Energy Agency, 2017a, https://webstore.iea.org/Content/Images/uploaded/Bioenergy_2017_Annex2.pdf.
- IEA. *Technology Roadmap. Delivering Sustainable Bioenergy*. Paris: International Energy Agency. 2017b.
- IEA. *Gas analysis in gasification of biomass and waste*. Paris: International Energy Agency, 2018, www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/09/IEA-Bioenergy-Task-33-gas-analysis-report-Document-1-1.pdf
- IRENA. *Biomass for Power Generation*. Abu Dhabi: IRENA, 2012, www.irena.org/publications/2012/Jun/Renewable-Energy-Cost-Analysis---Biomass-for-Power-Generation.
- Ley 27.191. Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica. Modificación. Ciudad de Buenos Aires, 15 de octubre de 2015.
- Marín, Anabel, Lilia Stubrin y Yamila Kababe. "La industria de biodiesel en Argentina: capacidades de innovación y sostenibilidad futura." *Desarrollo Económico*, vol. 54, no. 212, 2014, pp. 131-160.
- Miles, Ian, *et al.* "Knowledge-Intensive Business Services: Users, carriers and sources of innovation." *European Innovation Monitoring System Reports*, vol. 96, 1995.
- Ministerio de Desarrollo Productivo. *Informe de Gestión 2011-2015*. Buenos Aires: Ministerio de Desarrollo Productivo, 2015, <http://producciontucuman.gob.ar/Publicaciones/ultimo.pdf>.
- Nelson, Richard. "Why do firms differ, and how does it matter?" *Strategic Management Journal*, vol. 12, 1991.
- Nelson, Richard y Sidney Winter. *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge: The Belknap Press of Harvard University Press, 1982.
- Nguyen, Duc, *et al.* "Biogas Production by Anaerobic Digestion: Status and Perspectives" *Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels*, editado por Ashok Pandey *et al.* Londres: Academic Press, 2019, pp. 763-778.

- Obernberger, Ingwald. *Techno-economic evaluation of selected decentralised CHP applications based on biomass combustion with steam turbine and ORC processes*, Graz: IEA Bioenergy Task no. 32, 2015, <https://www.ieabioenergy.com/publications/techno-economic-evaluation-of-selected-decentralised-chp-applications-based-on-biomass-combustion-with-steam-turbine-and-orc-processes/>.
- OCDE. *Scoping document: The bioeconomy to 2030: Designing a policy agenda*, París: OCDE, 2006, pp. 382-286l.
- Pavitt, Keith. "Sectoral patterns of innovation: Towards a taxonomy and a theory." *Research Policy*, vol. 13, 1984, pp. 343-374.
- Pavone, Vincenzo "Ciencia, neoliberalismo y bioeconomía." *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, vol. 20, no. 7, 2012, pp. 145-161.
- Pérez, Carlota. *Technological revolutions and techno-economic paradigms. Technology Governance and economic dynamics*, Tallinn: The Other Canon Foundation, Norway and Tallinn University of Technology, 2009.
- Pérez, Carlota, Anabel Marín, y Lizbeth Navas-Aleman. "The possible dynamic role of natural resource-based networks in Latin American development strategies." *National Innovation Systems, Social Inclusion and Development*, editado por Gabriela Dutrénit y Judith Sutz. Northampton: Edward Elgar Publishing, 2014, pp. 380-412.
- PROBIOMASA. Proyecto para la promoción de la energía derivada de biomasa. Proyectos presentados (página web), 2018, www.probiomasa.gob.ar/sitio/es/formulario_ver.php.
- Rodríguez, Adrián, Andres Mondaini y Maureen Hitschfeld. *Bioeconomía en América Latina y el Caribe. Contexto global y regional y perspectivas*. Serie Desarrollo Productivo, no. 215, Santiago: Naciones Unidas, 2017.
- Teece, David, Gary Pisano y Amy Shuen. "Dynamic Capabilities and Strategic Management." *Strategic Management Journal*, vol. 18, no. 7, 1997, pp. 509-533.
- Trigo, Eduardo *et al.* *Bioeconomía Argentina. Visión desde Agroindustria*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Agroindustria de la Nación, 2016.
- von Braun, Joachim. "Bioeconomy- science and technology policy for agricultural development and food security". Festschrift seminar in honor of Per Pinstup-Andersen on "New directions in the fight against hunger and malnutrition", Cornell University, 2013.