



**Universidad Tecnológica Nacional**  
Facultad Regional Tucumán Escuela de Posgrado

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA BIOENERGÉTICA**

**Título del proyecto**

EVALUACIÓN DEL APROVECHAMIENTO DEL RESIDUO AGRÍCOLA DE  
COSECHA DE LA CAÑA DE AZÚCAR PARA PEQUEÑOS PRODUCTORES  
CAÑEROS EMPLEANDO EL CÁLCULO DE LA TASA DE RETORNO  
ENERGETICO (TRE)

**Tesista:** ESP. ING. SOLÓRZANO MARÍA INÉS

**Director:** MG. ING. TONATTO JAVIER

**Co-director:** MG. ING. SALAZAR ROMINA A.

**19 de Octubre de 2021**

**AUTORIDADES DE UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL****Rector:** Ing. Héctor Aiassa**Vicerrector:** Ing. Haroldo Avetta**AUTORIDADES DE FACULTAD REGIONAL TUCUMÁN****Decano:** Mg. Ing. Walter Fabián Soria**Vicedecano:** Ing. Juan Esteban Campos**Secretario Académico:** Ing. Luis D'Alessandro**Secretario Administrativo:** CPN. Jorge Eduardo Sueldo**Secretario de Ciencia y Tecnología:** Mg. Ing. Patricia Albarracín**Secretario de Extensión Universitaria:** Ing. Miguel Ángel Terrera**Secretario de Asuntos Estudiantiles:** Srta. Noemí Murillo**Director de Graduados:** Lic. Daniel Vásquez**Director de Escuela de posgrado:** Dra. Marta Pesa**Director Carrera de posgrado Ing. Bioenergética:** Ing. Gerónimo Cárdenas**Sub director de la Carrera de posgrado Ing. Bioenergética:** Dr. Carlos Gusils

## **DEDICATORIA**

En primer lugar quiero agradecer a Dios por permitirme culminar este trabajo de tesis, por fortalecerme e iluminarme todos los días.

Agradecer también a mis directores de tesis quienes con su conocimiento, paciencia y apoyo me guiaron a través de cada una de las etapas de este proyecto.

También quiero agradecer a mis compañeros y profesores que me acompañaron durante toda la carrera de manera y especial agradecerles por su generosidad intelectual.

Y por último agradecer a mi familia por alentarme a no bajar los brazos, especialmente a mi esposo por su apoyo incondicional durante la realización de este proyecto.

## **RESUMEN**

El objetivo del presente estudio es evaluar alternativas de aprovechamiento de residuos agrícolas de cosecha de caña de azúcar (RAC) determinando la Tasa de Retorno Energético y proponer un modelo de negocio agro-energético que impulse el desarrollo de las comunidades rurales en Tucumán.

Como metodología para el cálculo de la TRE se empleó la planteada por los autores Murphy et al. en el artículo “Order from Chaos”, para el análisis del modelo de negocio se aplicó el “Business Model Canvas” de Alexander Osterwalder.

Se seleccionó la gasificación como vía de conversión de la materia prima orgánica en un producto energético ya que se adapta a las características de la biomasa residual de la cosecha de caña de azúcar y a las particularidades socioeconómicas y culturales del sector cañero de la provincia de Tucumán.

Del cálculo de las TRE para el aprovechamiento térmico y eléctrico del gas de síntesis, se obtiene una TRE<sub>eléctrica</sub> de 4,45 y una TRE<sub>térmica</sub> de 21,36, valores aceptables para estudiar una alternativa de negocio. Si bien ambas TRE son viables se selecciona para este análisis la TRE térmica debido a las necesidades de calor que presentan los emprendimientos de la cooperativa en estudio.

A partir de las conclusiones de los talleres participativos realizados en territorio y teniendo como principal indicador de sustentabilidad la TRE calculada para el proceso de gasificación, se propone un modelo energéticamente sustentable, de tipo cooperativo, cuya propuesta de valor se basa en aprovechar un residuo agrícola para convertirlo en energía térmica a través del proceso de gasificación para ser utilizado en la unidad avícola familiar de la cooperativa con posibilidad de incorporarlo en otros emprendimientos locales, generando beneficios económicos, sociales y ambientales para la comunidad.

## **PALABRAS CLAVES**

Tasa de retorno energético (TRE), biomasa, RAC, economía circular, caña de azúcar, agricultura familiar, pequeños productores cañeros, gasificación, modelo de negocio.

## INDICE TEMÁTICO

|   |    |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN.....   | 8  |
| OBJETIVOS.....  | 10 |
| CAPITULO N° 1: ESTADO DEL ARTE DE LAS BIOENERGIAS .....   | 12 |
| 1.1 Despliegue de las energías renovables en el mundo.....  | 12 |
| 1.2 Tendencias actuales en el desarrollo de la bioenergía .....   | 14 |
| 1.3 Desarrollo de la bioenergía en Argentina .....  | 17 |
| 1.4 Experiencias argentinas en generación de energía a partir de biomasa seca .....   | 20 |
| CAPITULO N° 2: CARACTERIZACIÓN DEL CONTEXTO DE INTERVENCIÓN   | 24 |
| CAPITULO N° 3: MARCO METODOLÓGICO .....   | 33 |
| 3.1 Metodología para el cálculo de la tasa de retorno energético de las alternativas<br>seleccionadas .....                               | 33 |
| 3.2 Metodología para el diseño del modelo de negocio.....   | 46 |
| CAPITULO N° 4: RESULTADOS.....  | 51 |
| 4.1 Resultados energéticos.....   | 51 |
| 4.1.1 Estimación de la producción de residuos de caña de azúcar de los pequeños<br>productores cañeros de la Cooperativa CAL 306 Ltd..... | 51 |
| 4.1.2 Estimación de la tasa de retorno energético (TRE) .....   | 52 |
| 4.1.3 Calculo del CO <sub>2</sub> mitigado por el reemplazo de combustible fósil .....  | 55 |
| 4.2 Resultados del taller participativo en territorio.....  | 56 |
| 4.2.1 Propuesta de un modelo de negocio energéticamente eficiente.....  | 56 |
| 4.2.2 Análisis FODA del modelo de negocio .....   | 65 |
| CONCLUSIONES.....   | 69 |
| ANEXO .....   | 72 |

**INDICE DE TABLAS**

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Plantas de biomasa en operación comercial conectadas al SIN. ....  | 18 |
| <b>Tabla 2.</b> Marco bidimensional para el análisis de la TRE. ....   | 36 |
| <b>Tabla 3.</b> Entradas energéticas para el subsistema 1: logística de recolección. ....                                  | 41 |
| <b>Tabla 4.</b> Entradas energéticas para el subsistema 2. ....  | 41 |
| <b>Tabla 5.</b> Consumo de gasoil en el subsistema 1: logística de recolección. ....                                       | 42 |
| <b>Tabla 6.</b> Toneladas de RAC potencial de la Cooperativa CAL 306 Ltd. ....   | 52 |
| <b>Tabla 7.</b> Resultados obtenidos para las entradas y salidas de las alternativas de<br>transformación en estudio ..... | 53 |
| <b>Tabla 8.</b> TRE para la producción de energía eléctrica y térmica a partir .....                                       | 54 |
| <b>Tabla 9.</b> Emisiones de CO2 equivalente del sistema. ....   | 56 |
| <b>Tabla 10.</b> Demanda de energía térmica en la unidad avícola familiar. ....  | 59 |
| <b>Tabla 11.</b> Externalidades positivas producidas por el modelo de negocio. ....  | 67 |

## INDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.</b> Capacidad de generación renovable global por fuente de energía.....  | 13 |
| <b>Figura 2.</b> Capacidad mundial de generación renovable para el período 2016 – 2020. .   | 14 |
| <b>Figura 3.</b> Potenciales vías de bioenergía: De biomasa a uso final de energía. ....  | 15 |
| <b>Figura 4.</b> Participación de las energías renovables sobre la demanda por fuente en la República Argentina.....  | 17 |
| <b>Figura 5.</b> Localización de ingenios azucareros, cooperativas cañeras en la provincia de Tucumán.....  | 25 |
| <b>Figura 6.</b> Localización de la Cooperativa CAL 306 Ltd. ....   | 27 |
| <b>Figura 7.</b> Fotografía Quema de cañaveral en el Departamento de Leales.....  | 31 |
| <b>Figura 8.</b> Modelo biofísico del sistema de economía energética. ....  | 34 |
| <b>Figura 9.</b> Niveles de entradas de energía y materiales. ....  | 35 |
| <b>Figura 10.</b> Diagrama del proceso de obtención de Gas de síntesis a partir de la gasificación del RAC de caña de azúcar y su aprovechamiento térmico.....    | 39 |
| <b>Figura 11.</b> Diagrama del proceso de obtención de Gas de síntesis a partir de la gasificación del RAC de caña de azúcar y su aprovechamiento eléctrico ..... | 39 |
| <b>Figura 12.</b> Distribución de los flujos de masa y energía en el gasificador.....   | 43 |
| <b>Figura 13</b> Lienzo de modelo de negocio. ....  | 48 |
| <b>Figura 14.</b> Fotografía de RAC de caña de azúcar en campo. ....  | 57 |
| <b>Figura 15</b> Modelo Canvas: Aprovechamiento térmico a partir del RAC de la Cooperativa CAL 306 Ltd.....   | 64 |
| <b>Figura 16.</b> Taller Modelo de negocio en la cooperativa Agropecuaria leales 306 Ltda. ....   | 75 |

## INTRODUCCIÓN

Resolver el problema del cambio climático es uno de los retos más importante a los que se enfrenta la humanidad desde fines del siglo XX y hasta la actualidad. Es así que una gran cantidad de países con consciencia ambientalista firmaron el Acuerdo de París que establece objetivos climáticos esenciales, uno de ellos es mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático (Naciones Unidas, 2015a).

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) se adoptaron por todos los Estados Miembros en 2015 como un llamado universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad para 2030. El ODS 13 que se refiere a la Acción por el Clima, nos indica que debemos adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos (Naciones Unidas, 2015b). La República Argentina como resultado de la segunda revisión de la NDC, propone su contribución planificando medidas de mitigación incondicionales que logren bajar su meta al 2030 de 359 millones a 483 de tCO<sub>2</sub>eq. (toneladas de dióxido de carbono equivalente). Esta NCD, mucho más ambiciosa que la presentada en el año 2016 incorpora medios de implementación necesarios, así como también mecanismos de monitoreo, evaluación y actualización y se complementa con una meta de adaptación, para dar una respuesta integral a la crisis climática. (MAyDS, 2020).

La diferencia con la meta presentada en 2016 radica en dos aspectos principales: mejorar la calidad de inventario adoptando metodología IPCC 2006 para evitar la sobreestimación de las emisiones agrícolas (79 millones tCO<sub>2</sub>eq), la revisión de más de 50 medidas incondicionales y la incorporación de nuevas opciones más ambiciosas en la contribución nacional (8 millones tCO<sub>2</sub>eq) (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2016).



Para alcanzar esta meta es imprescindible realizar una acción de descarbonización de la economía, lo que implica minimizar o eliminar el consumo de los combustibles fósiles en ciertas actividades, como por ejemplo las energéticas, puesto que son las mayores generadoras de Gases de Efecto Invernadero (GEI) representando el 54% del total nacional (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, República Argentina, 2017). Es necesario, por tanto, la creación de sistemas energéticos que garanticen un suministro de energía asequible que contemplen la protección del medio ambiente.

En este contexto la bioenergía emerge con gran fuerza como motor para la construcción de una economía circular del carbono respetuosa con el clima que proponga beneficios económicos y sociales.

El principio fundamental de la circularidad económica se basa en la utilización de los residuos para obtener materia prima para otros bienes, reduciendo de esta forma la generación de residuos y la extracción de nuevos materiales y materias primas.

La biomasa tiene un potencial inmenso dentro de este principio, ya que muchos subproductos hasta ahora considerados residuos están convirtiéndose en materias primas en otros procesos, dando lugar a nuevos materiales y subproductos como la generación de energía.

En la economía circular del carbono, la bioenergía es solo una parte del sistema de biomasa más amplio que apoya las necesidades básicas de los seres humanos al proporcionar alimentos, piensos, fibra, productos químicos finos, fertilizantes y combustibles. Sin embargo, la bioenergía puede fortalecer todo el sistema de biomasa creando flujos de ingresos para los residuos generados a lo largo de las cadenas de suministro que de otro modo se quemarían en el sitio para eliminarlos. La bioenergía puede ayudar a prevenir problemas ambientales mejorando al mismo tiempo la economía, agricultura y ordenación forestal (International Energy Agency, 2020).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Evaluar alternativas de aprovechamiento de residuos agrícolas de cosecha de caña de azúcar (RAC) determinando la Tasa de Retorno Energético logrando emprendimientos a base de un modelo de negocio agro-energético que impulse el desarrollo de las comunidades rurales en Tucumán.

### **Objetivos específicos**

1. Caracterizar las tecnologías de producción de energía térmica y/o eléctrica vinculados a la biomasa seca proveniente de cultivos de comunidades rurales en Argentina y el mundo.
2. Determinar el volumen y calidad energética de residuo agrícola de cosecha de caña de los pequeños productores de Tucumán y de los productos finales de las tecnologías de producción seleccionadas.
4. Calcular la Tasa de Retorno Energético de las alternativas agro-energéticas seleccionadas.
5. Calcular los Kg de CO<sub>2</sub> equivalentes que se evitarían emitir a la atmósfera por el uso de cada alternativa comparada con la proveniente de la generación de energía utilizando combustible fósil.
6. Determinar mediante análisis comparativo de las alternativas, la unidad de negocio de mayor TRE y ambientalmente más amigable.
7. Realizar el análisis FODA del modelo de negocio de mayor TRE desde el punto de vista de una actividad agro-energética innovadora que genera valor compartido y oportunidades de desarrollo local.

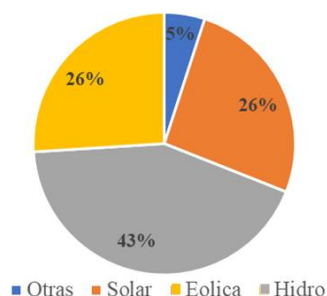
8. Concluir a partir de los resultados obtenidos y discutir sobre el modelo de negocio y sus posibles actores para probar y comparar la viabilidad potencial, retos e impactos del diseño en función de la realidad regional.

## **CAPITULO N° 1: ESTADO DEL ARTE DE LAS BIOENERGIAS**

### **1.1 Despliegue de las energías renovables en el mundo**

La Agencia Internacional de Energía Renovable, organismo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), clasifica el uso de biomasa como tradicional y moderno. El uso tradicional se refiere al uso de madera, carbón vegetal, residuos agrícolas y estiércol animal, recolectados localmente o de fuentes producidas de manera insostenible con técnicas básicas para cocinar y calefacción con una eficiencia de conversión muy baja (10% a 20%) en estufas abiertas o fuegos sin chimenea o campana. Estos usos a menudo liberan gases en interiores o causan altas concentraciones de contaminantes del aire. El uso moderno se refiere a la combustión directa de productos primarios producidos comercialmente y el uso indirecto de biomasa sólida pretratada con mayor densidad de energía para generación de electricidad y calor. Incluye formas líquidas de biomasa producida a través de rutas de conversión convencionales o avanzadas para el transporte de combustibles; biogás producido por digestión anaeróbica de residuos y desechos; y gas de síntesis producido mediante gasificación de biomasa. El uso de biomasa en estufas mejoradas puede ser categorizado como de uso moderno si se obtienen de forma sostenible (International Renewable Energy Agency, 2017).

Según las últimas estadísticas de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2021), la capacidad de generación mundial de energía renovable para finales de 2020 ascendió a 2.799 GW. La energía hidroeléctrica es la de mayor propagación en todo el mundo con un total de 1.211 GW, le sigue la energía eólica y solar con una capacidad de 733 GW y 714 GW respectivamente. El 5% restante está representado por la bioenergía con un total de 127 GW, 14 GW de geotermia y 500 MW de la energía marina (figura 1).



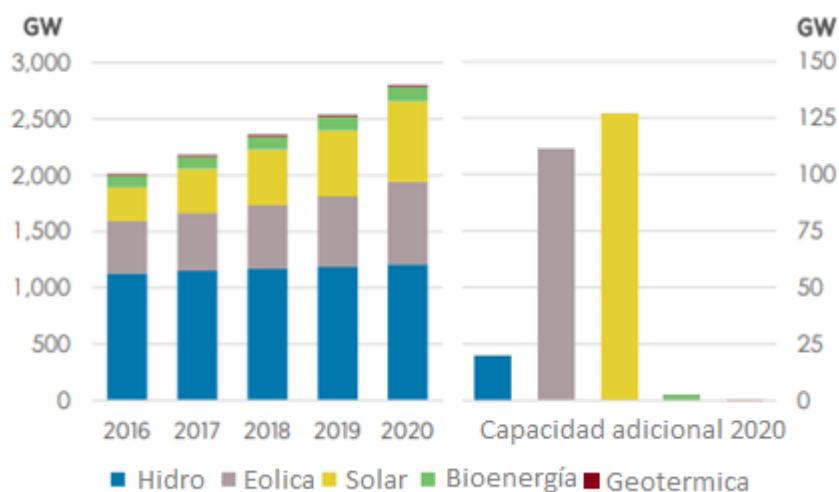
**Figura 1.** Capacidad de generación renovable global por fuente de energía.

*Nota.* Adaptado de Renewable capacity high lights de IRENA 2021.

La capacidad de generación renovable aumentó en 261 GW (+ 10,3%) en 2020. La energía solar continúa liderando la expansión de la capacidad, con un aumento de 127 GW (+ 22%), seguida de cerca por la energía eólica con 111 GW (+ 18%). La capacidad hidroeléctrica aumentó en 20 GW (+ 2%), la bioenergía en 2 GW (+ 2%), y la energía geotérmica aumentó en 164 MW. La energía solar y eólica continúa dominando la expansión de la capacidad renovable, representando conjuntamente el 91% de todas las adiciones renovables netas en 2020. Este crecimiento excepcional de la energía eólica y solar junto con el renovado crecimiento de la energía hidroeléctrica condujo al mayor aumento anual en la capacidad de generación renovable jamás visto.

Asia representó el 64% de la nueva capacidad en 2020, aumentando su producción renovable en 167,6 GW para llegar a 1,29 TW (46% del total global). África continúa expandiéndose de manera constante con un aumento de 2.6 GW (+ 5.0%), un poco más que en 2019. Oceanía se mantuvo como la región de más rápido crecimiento (+ 18,4%),

aunque su participación en la capacidad global es pequeña y casi toda esta expansión ocurrió en Australia (figura 2).



**Figura 2.** Capacidad mundial de generación renovable para el período 2016 – 2020.

*Nota:* Adaptado de Renewable capacity statistics de IRENA 2021.

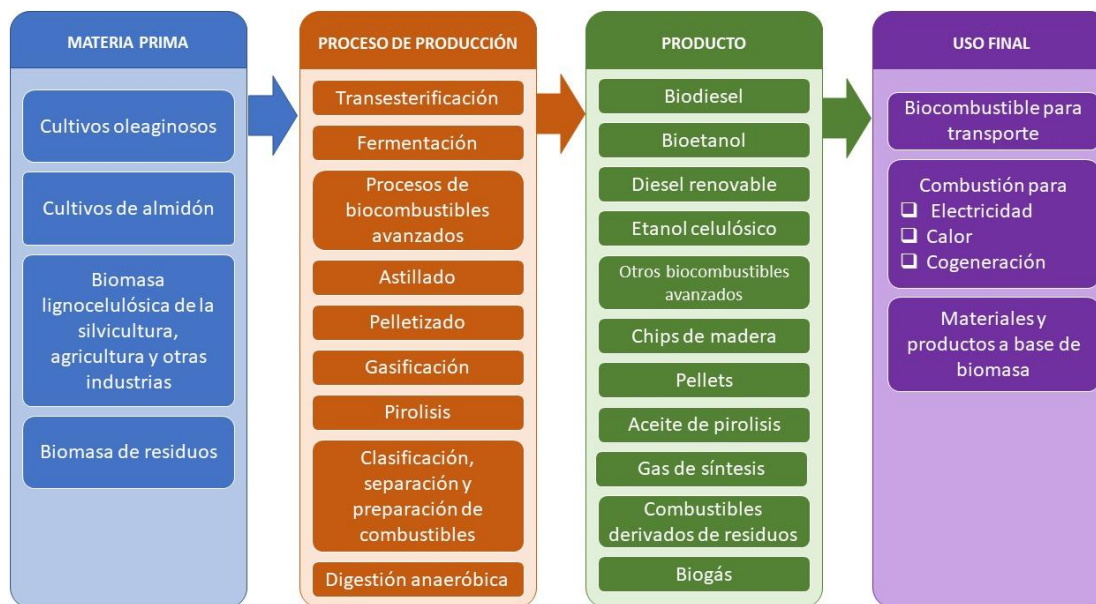
En el año 2020, la capacidad de generación renovable se expandió en mucho más que en los últimos años y muy por encima de la tendencia a largo plazo. Sin embargo, la mayor parte de este aumento en la expansión se produjo en China y, en menor medida, la Estados Unidos. La mayoría de los demás países aumentaron la capacidad renovable a un ritmo similar a años anteriores.

La participación renovable en el total la capacidad de generación de energía aumentó en dos por ciento puntos del 34,6% en 2019 al 36,6% en 2020 (International Renewable Energy Agency, 2021).

## 1.2 Tendencias actuales en el desarrollo de la bioenergía

La IAE, en su hoja de ruta sobre tecnología, realiza un análisis de las tendencias actuales del mercado y el pronóstico de los posibles desarrollos del mercado para la bioenergía. Muchos procesos están disponibles para convertir materias primas orgánicas en un producto que se puede utilizar para generar electricidad, calor o combustibles para

medios de transporte. En la figura 3 podemos observar las potenciales vías de transformación (Internacional Energy Agency, 2017).



**Figura 3.** Potenciales vías de bioenergía: De biomasa a uso final de energía.

*Nota.* Adaptado de Technology Roadmap. Delivering Sustainable Bioenergy de la Internacional Energy Agency, 2017.

Las vías más comunes hasta la fecha han sido: la producción de calor y energía partir de madera, residuos agrícolas y la fracción orgánica de desechos. Estas vías de conversión contienen varios pasos, que incluyen la producción de biomasa, recolección, procesamiento para mejorar las características físicas del combustible, pretratamiento para alterar las propiedades químicas y finalmente la conversión de biomasa a energía útil. El número de pasos varía según el tipo, la ubicación de biomasa, y la tecnología utilizada para la conversión a energía.

Existen una amplia variedad de tecnologías bioenergéticas maduras que ya se encuentran en el mercado, y otras que están en etapa de desarrollo. Las tecnologías maduras entraron en una etapa de mejora de rendimientos y reducción de costos, lo que permitiría acelerar la expansión de la bioenergía.

La generación de electricidad a partir de la biomasa está determinada por los recursos disponibles en cada región. En China se utiliza principalmente residuos sólidos urbanos y residuos agrícolas, mientras que en los Estados Unidos y los países nórdicos es más frecuente el uso de los residuos forestales.

En el último informe de seguimiento emitido por la Agencia Internacional de Energía (Internacional Energy Agency, 2020) se anuncia que los desarrollos de políticas y mercados acelerarán el despliegue de las renovables en los próximos años. A saber, China introdujo una nueva iniciativa de calor limpio que se espera aumente las plantas de cogeneración alimentadas con biomasa y residuos. El desarrollo de energía a partir de residuos (EfW) también está creciendo fuertemente a medida que el aumento de la urbanización y el progreso económico llevan a una mayor producción de residuos sólidos municipales. La tecnología EfW ofrece una solución superior a los rellenos sanitarios para que las ciudades gestionen los residuos sólidos urbanos, con China como ejemplo de una de las capacidades instaladas más alta del mundo.

China está promoviendo el uso de residuos agrícolas para bioenergía como una alternativa a la quema incontrolada en el campo que deteriora la calidad del aire. Actualmente, tanto la generación de electricidad basada en biomasa sólida como la EfW reciben apoyo a través de tarifas reguladas. Además, se ha anunciado un proyecto piloto para que las centrales eléctricas de carbón comiencen a consumir biomasa (IEA, 2020)

En Brasil, el plan federal RenovaBio, que entró en vigor en 2020, impulsará la producción de biocombustibles para el transporte y, a su vez, dará como resultado una generación adicional de electricidad a base de bagazo tanto de las instalaciones existentes como de las nuevas plantas (IEA, 2020).

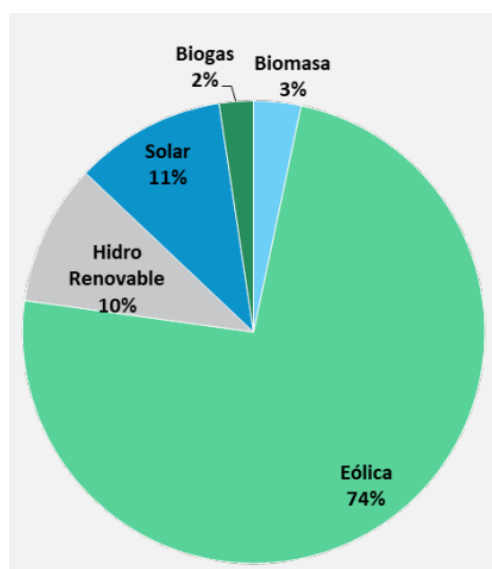
En India, el apoyo fiscal y los subsidios de capital sustentan las expansiones de capacidad de las plantas existentes y las inversiones nuevas, principalmente en plantas de cogeneración de bagazo que utilizan subproductos de las industrias del azúcar y el etanol. México y Turquía también muestran señales de expandir el despliegue de bioenergía, especialmente para EfW y biogás (IEA, 2020).



### 1.3 Desarrollo de la bioenergía en Argentina

El informe anual de la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (Cammesa) para el año 2020, muestra que la potencia instalada en energía renovable tuvo un aumento del 54,3% respecto a 2019. El 10% de la demanda de energía eléctrica del mercado eléctrico mayorista (MEM) en la República Argentina fue cubierta por fuentes renovables (Cammesa, 2020).

En línea con las tendencias mundiales, la energía eólica fue la que más creció en los últimos años con un 70% de participación, seguida por la solar con un 11% de participación (figura 4). Este crecimiento se justifica en parte por los precios más competitivos de la energía eólica y solar adjudicados en el programa Renovar, que se ubicaron en U\$50/MWh el precio promedio, mientras que el de los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, biomasa y biogás superó los U\$100/MWh (Ministerio de Energía y Minería, s.f.).



**Figura 4.** Participación de las energías renovables sobre la demanda por fuente en la República Argentina.

*Nota.* Adaptado de Informe Anual de Cammesa, 2020.

Según los datos de la Subsecretaría de Energías Renovables de Nación, en la actualidad hay 9 proyectos con biomasa seca conectados al Sistema Interconectado Nacional (SIN), por un total de 112 MW (tabla 1). Los proyectos de biomasa generan potencias nominales en el rango 2-38 MW, con una potencia media de 12,5 MW. La tecnología más usada para generación eléctrica es la asociada al sistema caldera-turbina-generator y también existen experiencias de cogeneración (Ministerio de Energía y Minería., s.f.).

**Tabla 1.** Plantas de biomasa en operación comercial conectadas al SIN.

| Origen                | Nombre del proyecto           | Potencia adjudicada (MW) | Provincia    | Región       |
|-----------------------|-------------------------------|--------------------------|--------------|--------------|
| Renovar Ronda 1       | C.T. Pindó Eco - Energía      | 2                        | Misiones     | NEA          |
| GENREN                | C.T. Tabacal                  | 32                       | Salta        | NOA          |
| GENREN                | C.T. Ing. Sta. Bárbara        | 8                        | Tucumán      | NOA          |
| Anterior a Ley 26.190 | C.T.A. P. Pto. Piray          | 38                       | Misiones     | NEA          |
| Anterior a Ley 26.190 | C.T. La Providencia Arcor     | 11                       | Tucumán      | NOA          |
| Anterior a Ley 26.190 | C.T. Nidera                   | 7                        | Buenos Aires | Buenos Aires |
| Renovar Ronda 2       | C.T. Prodeman Bioenergía      | 9                        | Córdoba      | Centro       |
| Renovar Ronda 2       | C.T. Ticino                   | 3                        | Córdoba      | Centro       |
| Renovar Ronda 2       | C.T. Cogeneración Ing. Leales | 2                        | Tucumán      | NOA          |

*Nota.* Adaptado de Proyectos adjudicados del Programa RenovAr. Rondas 1, 1.5 y 2 de Ministerio de Energía y Minería s.f.

En el artículo “Configuración de la industria de bioenergía eléctrica y térmica en Argentina: ¿dónde, cuándo, cómo y quién?” la autora indaga acerca de la conformación y configuración actual de la industria de la bioenergía eléctrica y térmica en la Argentina. Allí se menciona que las principales tecnologías adoptadas para generar bioenergía en Argentina son la digestión anaeróbica (46 plantas), la combustión directa (35 plantas) y la gasificación (1 planta). 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 (Castelao Caruana, 2020).

Estas plantas se distribuyen entre 13 de las 24 provincias que integran el país, pero el 79% se concentra en Santa Fe (17 plantas), Buenos Aires (14 plantas), Córdoba (13 plantas), Tucumán (11 plantas) y Misiones (10 plantas). 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. 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 (Castelao Caruana, 2020).

Castelao (2020) concluye que la capacidad financiera, organizacional y tecnológica de las empresas pioneras fueron la clave en la adopción de las tecnologías de combustión, la mayoría dedicadas a la elaboración de alimentos y el procesamiento de productos agropecuarios. 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 (Castelao Caruana, 2020).

#### **1.4 Experiencias argentinas en generación de energía a partir de biomasa seca**

A continuación se mencionan algunos casos exitosos instalados a lo largo de nuestro país.

→ **Cogeneración a base de cascara de maní y girasol:** En el año 2001 Aceitera General Deheza S.A. puso en funcionamiento una planta para generar energía térmica a partir de combustibles renovables, cáscara de maní y de girasol, en reemplazo del combustible fósil (gas natural) utilizado hasta ese momento. Luego, en el 2008, se incorporó a la instalación un grupo turbogenerador para efectuar la cogeneración de energía térmica y eléctrica a partir del vapor. Se trata de una caldera acuotubular, de combustión directa sobre grilla (capacidad 120 t/h vapor), equipada con sobrecalentador (presión 47 bar, temperatura 400 °C), 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 intercambiadores de calor o vapor directo; en tanto la energía eléctrica abastece una gran parte de los consumos propios de la compañía. Tiene un consumo anual destinado de 183.000 t de biomasa (Aceitera General Deheza, s.f.).

→ **Generación de energía eléctrica a base de cáscara de maní:** Generación Ticino Biomasa (GTB), es una central de generación eléctrica ubicada en Ticino, Córdoba. Su capacidad de generación es de 4,63 MW y proyecta una autogestión con potencia neta de 4 MW. La construcción de la planta comenzó en enero de 2017 y finalizó en abril de 2018. Se utiliza cáscara de maní como combustible biomásico, un subproducto del proceso productivo de Lorenzati, Ruestch y Cía. En algunos casos, se utiliza chip de madera como excepción por la eventual escasez de cáscara de maní (Lorenzati SA, s.f.).

→ **Gasificación de biomasa:** La instalación del gasificador de biomasa se realizó en una zona anexa a la planta industrial de la empresa láctea Manfrey ubicada en la localidad de Freyre, Córdoba. Es una zona sin abastecimiento de gas natural, por lo que cubrían su demanda energética (térmica) con fuel-oil con el alto costo que esto implicaba. El objetivo, por lo tanto, fue la sustitución de este combustible por energías renovables para la generación del 60-70% de su demanda de energía térmica. Para esto la tecnología que emplean es la gasificación (updraft) para producción de syngas que alimenta a una caldera humotubular para la generación de vapor utilizado en el procesamiento de leche. La materia prima que utilizan actualmente es chip de madera (de pino/eucalipto) con una demanda estimada en 16.000-18.000 t/año. La empresa se ha propuesto reemplazar el uso de chip de madera por un cultivo producido en la zona (Bragachini et al., 2018).

→ **Biomasa en ingenios azucareros:** Cinco de los 22 ingenios en operación en la Argentina (Ledesma, San Martín de Tabacal, Santa Bárbara, La Florida y La Providencia) se autoabastecen de energía en base a bagazo. Adicionalmente, Ledesma, San Martín del Tabacal, Santa Bárbara y La Providencia cogeneran para la generación de electricidad y exportación al Sistema Argentino de Interconexión (SADI).

Los Ingenios San Martín del Tabacal, La Florida y Santa Bárbara han instalado calderas eficientes de media o alta presión (superior a 42 bares). Cuatro de estos ingenios exportan energía eléctrica a la red y el quinto está realizando obras para hacerlo (La Florida).

El Ingenio La Florida (Compañía Azucarera Los Balcanes) posee dos proyectos de cogeneración de energía, uno de 25MWe en base a la combustión de bagazo y vinaza en asociación con Genneia (adjudicado en la ronda Renovar 2), y otro proyecto propio de 62MWe en base a bagazo. El segundo de los proyectos se lleva adelante en etapas, y contaría con habilitación a partir del año 2021. Contempla la instalación de 62MWe de los cuales 45MWe (TVturbina de vapor () de contrapresión + TV de condensación) serán para exportar a la red. La generación anual de energía se estima en 250.000 MWh. En 2018 la primera etapa del proyecto alcanzó una capacidad instalada de 28MWe mediante la instalación de una caldera de alta presión (67 bares y 250 t de vapor/h) que le permitió

al ingenio alcanzar el autoabastecimiento (la demanda propia es de 20MWe) y dejar de consumir gas natural.

El ingenio La Providencia (ARCOR) se autoabastece de energía eléctrica y además es un autogenerador. Cuenta con un turbovapor de 11,14 MW conectado al SADI.

El ingenio San Martín del Tabacal cogenera con gas natural (consumo anual cercano a los 40 millones de m<sup>3</sup>) y bagazo. Posee una caldera de 68 bares (520°C) y un turbogenerador con capacidad instalada de 40MWe, de los cuales 12MWe son para consumo del ingenio y 28MW son para el SADI.

El ingenio Ledesma autoproduce cerca de 310.000 MWh/año y en período pico de consumo compra energía eléctrica a la red pública (cerca de 30.000 MWh/año en 2015/2016). Las ventas a la red son inferiores a 10.000 MWh/año. Ledesma tiene un proyecto para la generación de 12 MW de electricidad a partir de la vinaza, de los cuales entre 7MW y 10MW serían para vender al SADI y el resto para autoconsumo.

Por último, el ingenio Leales (Cía. Inversora Industrial S.A.) tiene adjudicado un proyecto de cogeneración en base a biomasa en el programa Renovar por 2 MWe (Iñiguez et al., 2018).

→ **Gasificación a partir de residuos de aserraderos:** En el plano local, en el año 2011 el INTI puso en marcha con éxito la planta de gasificación de madera en la localidad de Presidencia De La Plaza (Chaco). Ésta permite obtener electricidad a partir de los restos que descartan los aserraderos de la zona para que sea consumida por la misma comunidad que la produce. La efectividad energética de ese gas compuesto de hidrógeno, nitrógeno y dióxido de carbono es de 1 megavatio hora de electricidad por tonelada. (MWh/t) En el marco del concepto de “industrialización rural” que el instituto busca aplicar, el gas de biomasa puede suplantar con éxito al de red o a las garrafas de gas licuado en hornos y calderas de establecimientos de campo o en poblaciones aisladas. La planta piloto fue adquirida a la firma india Ankur Scientific Energy Technologies Pvt. Ltd. (Anesini, 2013). (Anesini, 2013)

→ **Bioenergía desde la foresto industria:** La central ubicada en Gobernador Virasoro (Corrientes) producirá 37 MW de energía eléctrica para el Sistema Interconectado Nacional a partir de biomasa forestal. La Central Térmica San Alonso se abastecerá de los subproductos de la cosecha y la industria forestal, como chips, cortezas y aserrín, que en la actualidad no tienen un uso industrial. La utilización de estos materiales evitará incendios y reducirá las emisiones de gases producidos por la descomposición de este material orgánico. Fue adjudicada en Renovar 2 y se espera que inicie en el año 2021.

→ **Bioenergía en I+D:** En nuestra provincia la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC) dispone de un reactor de gasificación de lecho fluidizado diseñado por investigadores de la institución y se encuentra finalizando el desarrollo de una Planta Piloto, donde está emplazado el mencionado reactor. Dicha planta tiene como finalidad la realización de ensayos de aprovechamiento de biomasa residual para la producción de gas combustible de origen renovable para generar energía eléctrica. La planta consta de tres etapas: 1) Gasificación propiamente dicha; 2) Acondicionamiento de gases (sistemas de limpieza) y 3) Producción de energía eléctrica (Proyecto PNUD INT/14/K05, 2016).

Por otro lado, en el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de Tucumán, se realizó el primer ensayo a escala industrial de elaboración de pellets con maquinarias disponibles en el mercado, que permitió reunir pautas técnico-económicas para el diseño en el corto plazo. Se propone así un modelo de negocios rentable, apuntado al desarrollo de un nuevo biocombustible para aplicaciones industriales de alcance regional, que cumpla con los estándares mínimos de calidad para su uso en equipos de combustión.

## **CAPITULO N° 2: CARACTERIZACIÓN DEL CONTEXTO DE INTERVENCIÓN**

La estructura productiva de la provincia de Tucumán, a diferencia de los ingenios de Salta y Jujuy que procesan caña propia, depende de la caña entregada por los productores cañeros ya que el 50 % de las tierras plantadas con esta gramínea les pertenecen. Existe una amplia variedad de productores que va desde el pequeño minifundista hasta las grandes empresas agropecuarias, cada uno con situaciones económicas, sociales, productivas y tecnológicas muy diferentes.

Según el informe preliminar del censo Agropecuario de 2018, existen 2.054 explotaciones agropecuarias primarias (EAPs) implantadas con caña de azúcar en la provincia de Tucumán, con un total de 228.462,5 hectáreas (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2018).

Tomando la tipología de productores cañeros descripta por Morandi *et al.* (2012), podemos definir a los pequeños productores como aquellos que poseen explotaciones agropecuarias de 0,1 a 50 ha de caña. La categoría de los pequeños productores comprende aquellos minifundistas (hasta 10 ha de caña) que practican una agricultura de subsistencia, con bajo nivel tecnológico (no disponen de maquinarias ni capital de trabajo y no practican ningún tipo de gestión empresarial) utilizan fuerza de trabajo exclusivamente familiar, y complementan sus ingresos por venta de caña, con la autoproducción de alimentos (huerta, gallinas y/o cerdos) e ingresos extra prediales (trabajo eventual y/o planes sociales). También se consideran pequeños productores a aquellos productores familiares más o menos diversificados (de 10 a 50 ha), con niveles de capitalización bajos, nivel tecnológico bajo a medio (disponen de maquinarias antiguas y obsoletas y practican una gestión empresarial con bajo nivel de especialización) y con fuerza de trabajo familiar con contratación eventual de asalariados en ciertas etapas del ciclo productivo. El rendimiento cultural de estas fincas se encuentra en el orden de las 55 t de caña/ha y rendimiento fabril de alrededor del 8% (Morandi *et al.*, 2012).



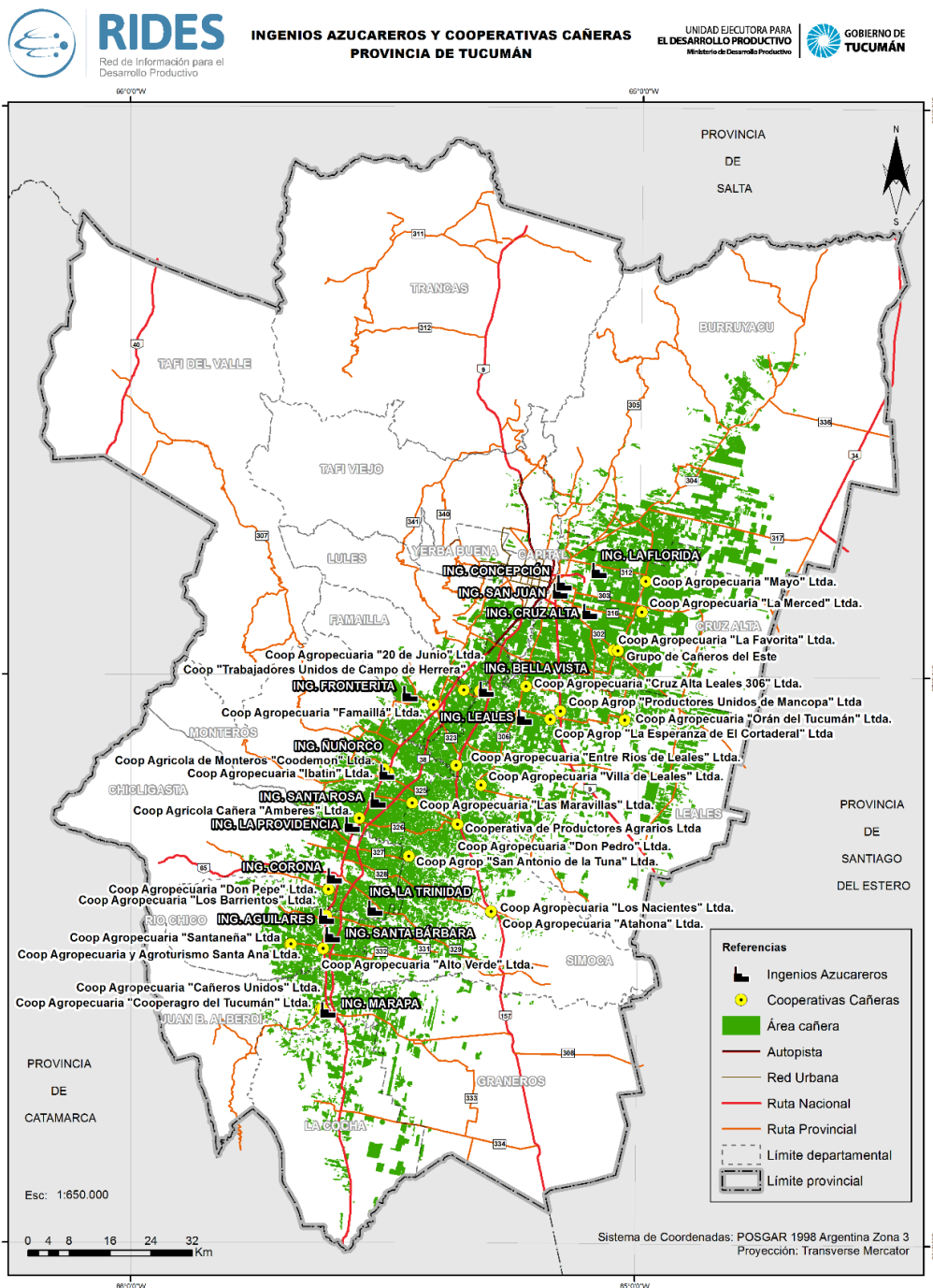


Figura 5. Localización de ingenios azucareros, cooperativas cañeras en la provincia de Tucumán.

Nota. Adaptado de Localización de áreas PROICSA de RIDES s.f

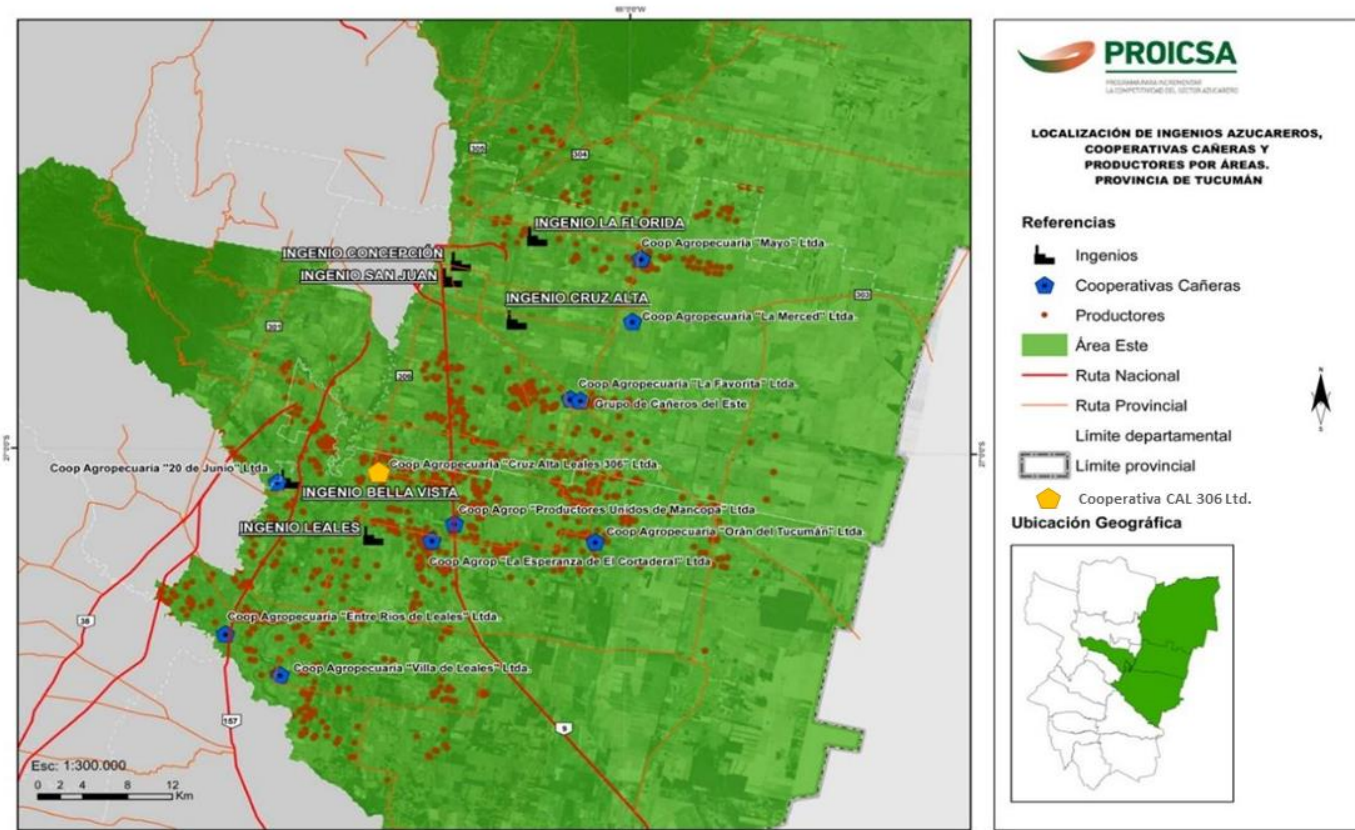
Para este estudio se seleccionó la Cooperativa Agropecuaria Cruz Alta Leales(CAL) 306 Ltd., debido a que está conformada por pequeños productores cañeros

con superficies productivas que van desde 2 hasta 30 ha, y dados sus antecedentes de trabajo articulados con diferentes organismos de la provincia y la posibilidad de aprovechar la energía en otros pequeños emprendimientos que posee la cooperativa.

Esta cooperativa se encuentra localizada en la comunidad de Esquina, Departamento de Leales, en el área cañera este de la provincia de Tucumán.

Esta área corresponde a la fracción más septentrional de la zona cañera de la provincia, involucrando parte importante de los departamentos administrativos de Burruyacú, Cruz Alta, Leales y parte de Simoca. Constituye el área de mayor extensión y la segunda más diversificada (205.564 Ha). Sus límites tentativos son, por el Oeste y Sur, el margen oriental del Río Salí, mientras que por el Este, el límite natural está dado por la isohieta de 700 mm anuales (límite natural de la actividad). Al Noroeste, el límite natural está dado por la isohipsa de los 450 msnm.

El área Noreste abarca el mayor número de unidades fisiográficas ya que por el Norte se extiende desde el Pedemonte Húmedo y Subhúmedo hacia la llanura Chaco Pampeana Occidental, mientras que por el Sur, ocupa la porción más extensa de la Llanura Deprimida. Considerando la convergencia de los diversos factores ambientales, el área Noreste es la que, probablemente, presenta las mayores limitaciones a la productividad, sea por la naturaleza de los suelos, el relieve y los regímenes hídrico y térmico.



**Figura 6.** Localización de la Cooperativa CAL 306 Ltd.

Nota. Adaptado de RIDES. Ministerio de Desarrollo Productivo de Tucumán, s.f.

Un aspecto importante a destacar es que, por la falta de puentes, el Río Salí se transforma en una barrera importante para el intercambio o la articulación de las cooperativas y productores del Sur del área Noreste, con los ingenios del área Centro, por lo cual, el Ingenio Leales se ha transformado en el destino principal de la producción del Sur del área en estudio. Esta situación condiciona notablemente el margen de maniobra de las cooperativas y productores al momento de comercializar su producción.

En cuanto a los parámetros productivos, registra en la actualidad un total de 100 ha con producción de caña de azúcar, con un rendimiento cultural promedio de 50.000 Kg/ha. Las variedades utilizadas son LCP 85- 384, TUC 77- 42, TUC 95- 37 y TUC 97- 8, observándose un predominio de la primera variedad citada. La caña semilla, necesaria para realizar la renovación de lotes productivos, es multiplicada en lotes semilleros de la cooperativa y utilizada de manera comunitaria según las necesidades de plantación de cada productor. La adquisición de caña semilla saneada de alta calidad se realiza a través de convenios con organismos estatales de investigación y desarrollo agropecuario, como ser el INTA y la EEAOC (E. Lavergne, comunicación personal, 10 de marzo de 2021).

La familia promedio del tipo de agricultor que pertenece a la cooperativa citada se encuentra conformada por cuatro a cinco personas. Se observa que es común que varias familias, cuyos integrantes presentan distintos parentescos (hermanos, primos, etc.) hayan construido sus hogares en el mismo predio y realicen la producción y distribución de la renta en forma conjunta.

La Cooperativa Agropecuaria Cruz Alta Leales 306 Ltda., se caracteriza por el alto grado de articulación y participación de sus asociados para desarrollar cualquier tipo de tarea, sean estas de carácter productivo, gestiones ante organismos estatales, participación en mesas provinciales de pequeños productores, etc. Además, es una propiedad de esta institución la democracia, la participación y la toma de decisiones en forma conjunta mediante asamblea de asociados.

Esta Cooperativa actualmente integra la Mesa de Gestión Provincial de Cooperativas Cañeras, articulando actividades con las Cooperativas Doña Juana, Barrientos, El Saladillo, Los Nacientes y Pilco. Además sus miembros integran la Asociación Civil Agropecuaria del Este, mediante la cual articulan la zafra o cosecha de

sus cañaverales de forma coordinada con otras cooperativas del este tucumano como ser Trabajadores Unidos de Mancopa, La Esperanza del Cortaderal y los grupos de productores El Cebilar y Bajo Grande.

La cooperativa es la encargada de brindar a los asociados todos los servicios necesarios para realizar un exitoso cultivo de sus cañaverales y una zafra ordenada, cobrando un costo diferenciado que generalmente se encuentra entre un 15% a 10% más bajo que el precio cobrado por contratistas locales.

Los servicios actualmente brindados por esta cooperativa a sus asociados son los siguientes:

- Labranza y preparación de suelos.
- Plantación de caña de azúcar.
- Control de malezas pre y post- emergentes.
- Abonado de lotes productivos.

Además articula con la Asociación Civil Agropecuaria del Este, para brindar el servicio de cosecha y flete de lotes cañeros.

En cuanto a la infraestructura y maquinaria, esta cooperativa cuenta con un galpón de 84 m<sup>2</sup> de uso comunitario, el cual es empleado para la cría de pollos parrilleros, sumando las estructuras productivas de sus asociados, cuenta con otros cinco galpones utilizados para la misma finalidad (los mismos de una superficie promedio de 70 m<sup>2</sup>) y un galpón para la cría de gallinas ponedoras, el cual alberga un plantel aproximado de 1500 aves.

Para labores de labranza la Cooperativa Agropecuaria Cruz Alta- Leales 306 Ltda., cuenta con un tractor de 160 HP (marca Massey Ferguson), un equipo abonador tipo múltiple, un equipo surcador cañero, una fumigadora de arrastre (de fabricación propia), un equipo de arado de 24 discos y una rastra de discos.

Estos implementos son utilizados principalmente en labores requeridas por el cultivo de caña de azúcar, aunque también se los emplea en otras producciones agrícolas como ser el cultivo de zapallo, maíz para choclo y grano seco para alimentación animal, sandía, etc.

Esta cooperativa contrata a jóvenes habitantes de la localidad para efectuar las labores o servicios requeridos por sus cañeros, con la finalidad de generar puestos laborales y especializarlos en tareas de campo. Además se debe contratar a personas jóvenes ya que estas labores son altamente demandantes de esfuerzo físico.

Los principales problemas de los pequeños productores se relacionan con su situación financiera. La ausencia de financiamiento para las tareas de plantación, cultivo y cosecha genera un atraso tecnológico y una fuerte dependencia tanto de los ingenios como de los grandes productores para realizar las labores culturales del cultivo, quienes se llevan un porcentaje de los ingresos perjudicando el margen de ganancia del pequeño productor.

Los pequeños productores cañeros se dedican, en su mayoría, exclusivamente a esta actividad, la que representa la principal fuente de ingresos de su grupo familiar. Eventualmente desarrollan producciones de hortalizas y animales de granja para autoconsumo y venta de excedentes. Esta correlación existente entre su economía familiar y las condiciones del mercado azucarero los posiciona en un grado de alta vulnerabilidad ante condiciones de crisis en el sector o efectos medioambientales desfavorables como ser sequías, inundaciones, etc.

La tecnificación del sector cañero provocó la disminución de demanda de mano de obra para tareas productivas. Las oportunidades laborales solo se presentan para operarios calificados. Se observa, bajo estas condiciones, un alto porcentaje de desocupación de jóvenes rurales lo que los obliga a migrar a centros urbanos en la búsqueda de un medio de sustento económico. A muchos de ellos, debido a sus costumbres y formación, les resulta difícil adaptarse a las demandas de la vida urbana. Esto provoca la exclusión social de los mismos ya que no pueden alcanzar las condiciones mínimas de acceso a la salud, educación, vivienda digna y trabajo remunerado.

Otro de los problemas que aquejan a la actividad agrícola de la caña de azúcar y comprometen el medio ambiente, es la quema de la caña en pie. Esta práctica, muy común entre los minifundistas, es uno de los problemas ambientales más complejo que tiene la

provincia de Tucumán relacionado con la producción de azúcar; se registran por año alrededor de 500 incendios de cañaverales que ocasionan situaciones de peligro para los asentamientos rurales cercanos a los focos de incendio y ocasionan perjuicio a las líneas eléctricas de alta tensión cercanas a esos incendios, además de contaminar el ambiente con humos y material particulado.

Algunos agricultores todavía realizan la quema de caña en pie para reducir la cantidad de hojas y despunte de la caña que se envía al ingenio y así evitar ser castigados por exceso de lo que se conoce como trash. Otros, suelen quemar los residuos que quedan en el lote luego de la cosecha para facilitar las labores posteriores o para evitar una cobertura que demora el secado del suelo en las zonas más húmedas (figura 7). Además se han registrado incendios accidentales e intencionales iniciados por terceros.



*Figura 7. Fotografía Quema de cañaveral en el Departamento de Leales.*

Esta práctica, además de la contaminación ambiental que produce, ocasiona problemas de salud en la población, posibles accidentes viales, cortes e interrupciones en el servicio eléctrico y propagación de dichos incendios en infraestructuras cercanas.

Esta problemática es abordada en la ley n° 7459 (y su decreto reglamentario

795/03 MDP) la cual prohíbe la quema de todo tipo de vegetación enraizada, arraigada, aclimatada o seca, en el caso específico de quema de caña, establece la creación de un Registro para Productores Cañeros, quienes deben inscribirse para poder hacer uso de la quema como método de cosecha de manera controlada.

El residuo agrícola de cosecha (RAC) de la caña de azúcar, que actualmente es considerado un problema ambiental a causa de la quema en el campo, tiene un excelente potencial como fuente bioenergética, y puede ser utilizado como un medio de diversificación para aumentar la rentabilidad de los pequeños productores cañeros.



## CAPITULO N° 3: MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se desarrollarán las metodologías utilizadas para la obtención de los resultados, por un lado la metodología para calcular la tasa de retorno energético (TRE) de las alternativas de transformación de la biomasa propuestas y por otro lado la metodología para el diseño del modelo de negocio.

### 3.1 Metodología para el cálculo de la tasa de retorno energético de las alternativas seleccionadas

Como metodología para el cálculo de la TRE, se toma como base el trabajo de investigación “Order from Chaos: A Preliminary Protocol for Determining the EROI of Fuels” (Murphy et al., 2011), cuyo objetivo es proporcionar una metodología de cálculo de la tasa de retorno energético, con una estructura flexible que sirve para comparar los resultados obtenidos.

Según la bibliografía consultada, podemos definir a la TRE como la relación entre la energía entregada por un proceso (E obtenida) y la energía utilizada para llevar a cabo ese proceso (E invertida) según se expresa en la ecuación 1.

La TRE pretende comparar la cantidad de energía entregada a la sociedad (E neta) por una tecnología, con la energía total requerida (E invertida) para procesar esa energía a una forma útil. (ecuación 2).

$$TRE = \frac{\text{Energía obtenida}}{\text{Energía invertida}} \quad \text{Ecuación1}$$

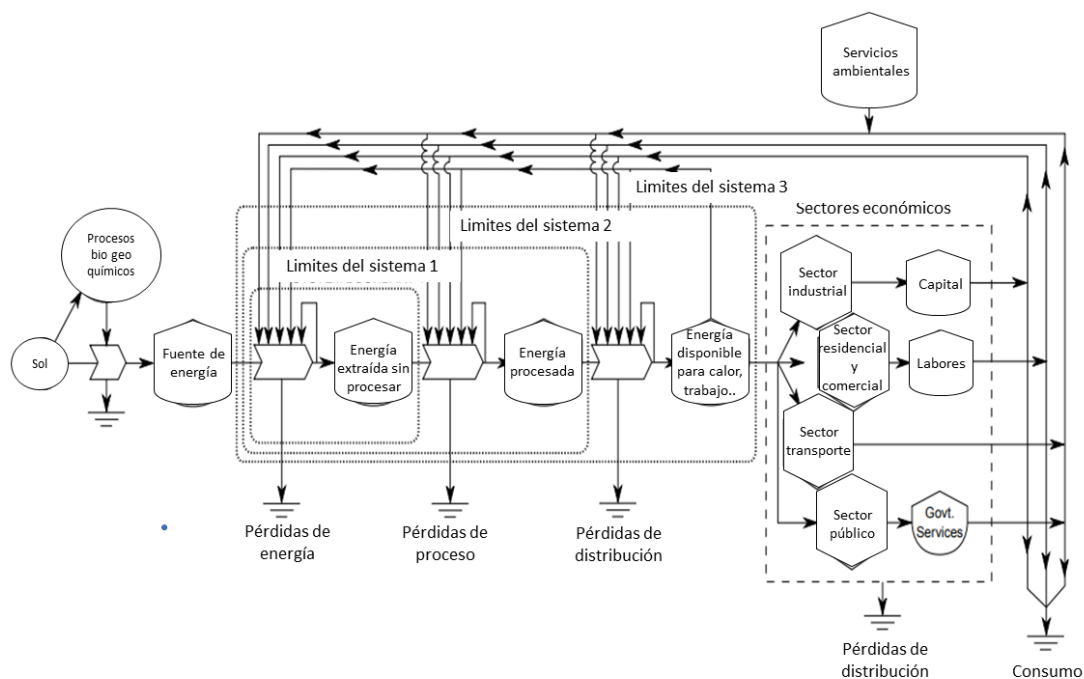
$$\text{Energía} = \text{Energía obtenida} - \text{Energía invertida} \quad \text{Ecuación2}$$

Un problema fundamental de la tasa de retorno energético es calcular el denominador de los cocientes, algo difícil y que tras décadas de estudios no se ha conseguido uniformizar. La prueba es la enorme dispersión en los cálculos de las

diferentes TRE que se encuentran en la bibliografía científica. El otro gran problema es el cálculo de la energía total o neta, porque tampoco son claras sus definiciones, especialmente cuando queremos identificar con la palabra “útil” a esa energía total o neta (de Castro Carranza, 2012).

La metodología propuesta por Murphy sirve como herramienta de análisis ya que brinda un marco que permite unificar los cálculos del numerador y denominador del cociente pudiendo realizar comparaciones significativas brindando instrucciones simples para el análisis de la TRE, disminuyendo de esta forma la incertidumbre de los límites seleccionados.

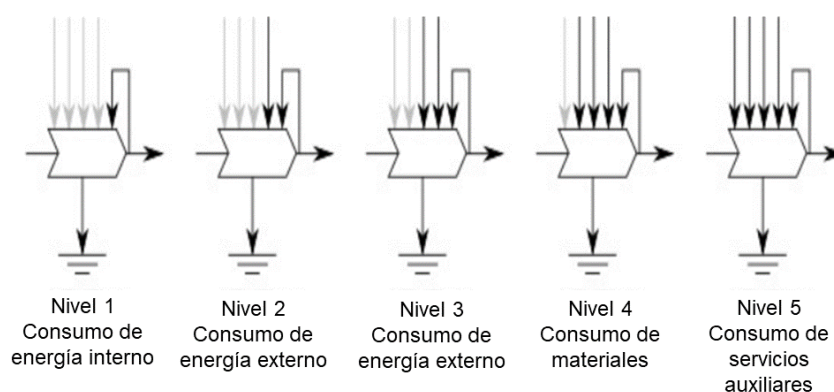
Según Murphy *et al.* (2011) existen dos dimensiones a lo largo de las cuales puede variar un límite del sistema. Por un lado, una dimensión que supone todo el flujo del proceso de energía desde la extracción, procesamiento y distribución que determina el numerador de la TRE, respondiendo a la pregunta, ¿qué contamos como salidas de energía? como se muestra en la figura 8.



**Figura 8.** Modelo biofísico del sistema de economía energética.

*Nota. Adaptado de Order from Chaos: A Preliminary Protocol for Determining the EROI of Fuels de Murphy, Hall, Dale y Cleveland, 2011.*

La otra dimensión sobre la cual puede variar el límite del sistema es para incluir una mayor variedad de entradas directas e indirectas de energía y materiales que determinan el denominador de la relación TRE, en respuesta a la pregunta ¿qué contamos como entradas? como se grafica en la figura 9.



**Figura 9.** Niveles de entradas de energía y materiales.

*Nota.* Adaptado de Order from Chaos: A Preliminary Protocol for Determining the EROI of Fuels de Murphy, Hall, Dale y Cleveland, 2011.

El nivel 1 incluye solo aquellas entradas de la cadena de energía que se está investigando, el nivel 2 incorpora aportes de energía del resto del sector energético, el nivel 3 incluye los insumos de energía incorporados en los materiales y los niveles 4 y 5 incorporan energía del trabajo de apoyo y otros servicios económicos.

Murphy et al. (2011) describen dos técnicas principales dentro del análisis para evaluar los flujos de energía través de un proceso o producto particular: 1) el análisis de procesos y 2) el análisis de entradas y salidas económicas.

El análisis de procesos es similar al análisis del ciclo de vida, (ACV) y representa las entradas y salidas de energía través de las etapas secuenciales de producción.

El análisis de entradas y salidas económicas, convierte las tablas económicas en unidades de energía multiplicándolas por valores de intensidad energética específicos del

sector. La elección de qué método usar se realiza normalmente en función del límite establecido y por las restricciones de datos.

La información presentada hasta ahora se resume en la siguiente tabla bidimensional (Tabla 2).

| Límites para las entradas de energía |   | Límites para las salidas de energía |                     |                     |
|--------------------------------------|---|-------------------------------------|---------------------|---------------------|
|                                      |   | 1. Extracción                       | 2. Procesamiento    | 3. Distribución     |
| 1                                    | Entradas directas de energía y materiales   | TRE <sub>1,d</sub>                  | TRE <sub>2,d</sub>  | TRE <sub>3,d</sub>  |
| 2                                    | Entradas indirectas de energía y materiales | TRE <sub>estandar</sub>             | TRE <sub>2,i</sub>  | TRE <sub>3,i</sub>  |
| 3                                    | Consumo indirecto de mano de obra           | TRE <sub>1,mo</sub>                 | TRE <sub>2,mo</sub> | TRE <sub>3,mo</sub> |
| 4                                    | Consumo de servicios auxiliares             | TRE <sub>1,sa</sub>                 | TRE <sub>2,sa</sub> | TRE <sub>3,sa</sub> |
| 5                                    | Medio ambiente                              | TRE <sub>1,ma</sub>                 | TRE <sub>2,ma</sub> | TRE <sub>3,ma</sub> |

**Tabla 2.** Marco bidimensional para el análisis de la TRE.

*Nota.* Adaptado de Order from Chaos: A Preliminary Protocol for Determining the EROI of Fuels de Murphy, Hall, Dale y Cleveland, 2011.

En la parte superior, observamos los límites del sistema, extracción, procesamiento y distribución (el numerador de cálculo de la TRE), a la izquierda encontramos los límites que determinan las entradas de energía (el denominador del cálculo de la TRE).

Las celdas sombreadas representan aquellos límites que favorecen el análisis económico mientras que las otras celdas favorecen análisis basado en procesos.

Alternativamente, se podría usar un límite muy amplio para las salidas de energía, como la gasolina consumida por el usuario final, y un límite estrecho para las entradas de energía, es decir, que incluye solo insumos de energía y materiales en cada etapa del proceso de producción.

El caso de estudio se describe en el marco de dicha metodología de cálculo de la TRE, adaptada para esta investigación.

El primer paso para realizar un análisis de la TRE es establecer claramente los objetivos del mismo. En el presente trabajo el objetivo es determinar y comparar la  $TRE_{2,d}$  (ver Tabla 2) del gas de síntesis proveniente de la biomasa cañera aplicado a dos tecnologías, producción de energía térmica en una caldera de vapor y producción de energía eléctrica por medio de la utilización de un motor de combustión interna.

La  $TRE_{2,d}$  se define por las entradas directas de energía, es decir la energía del combustible empleado para cada transformación y las entradas de materiales involucrados en el proceso y las salidas directas de energía, según se muestra en la ecuación 3.

$$TRE = \frac{E_{obt}}{E_{inv}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde  $E_{obt}$  es la energía obtenida,  $E_{inv}$ , la energía ingresada al proceso.

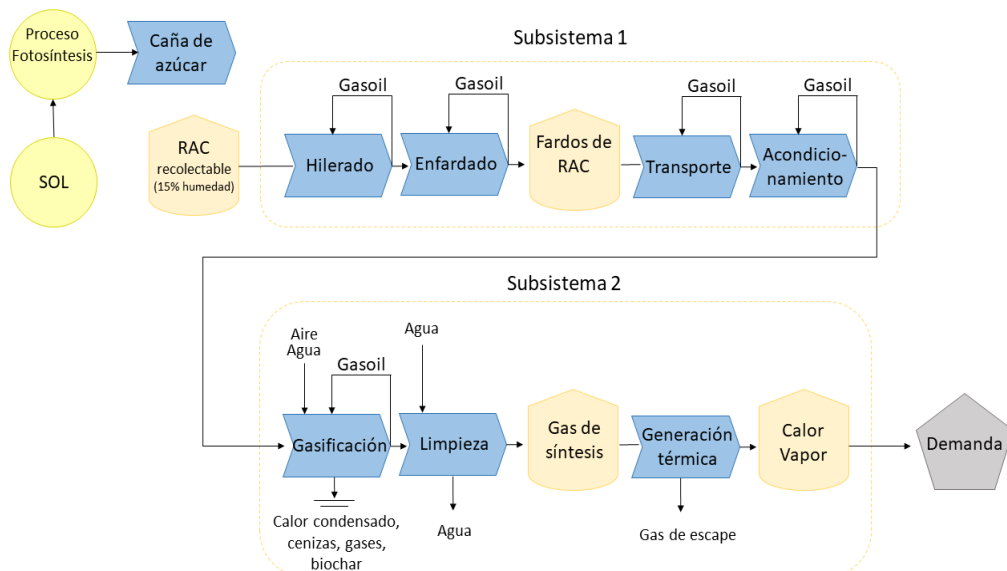
Se seleccionó la gasificación como ruta de conversión de la materia prima de los productores de la Cooperativa CAL 306 Ltd. a partir del estudio de las tendencias actuales del mercado y procesos disponibles para convertir la biomasa seca en un producto energético. La gasificación se adapta a las características, disposición y cantidad de biomasa residual que dispone la cooperativa, a las necesidades energéticas que se desean cubrir y a las particularidades socioeconómicas y culturales del sector cañero de la provincia de Tucumán por ser una tecnología madura, en etapa de mejora de rendimientos y reducción de costos, con proveedores de tecnología nivel nacional e internacional que actualmente puede competir con las energías derivadas de combustibles fósiles.

La gasificación es un proceso termoquímico que convierte un combustible sólido o líquido en un gas, a través de una oxidación parcial a temperaturas moderadas. Este proceso necesita un agente reactivo, aire, vapor u oxígeno. El gas obtenido posee diversas aplicaciones como la combustión en motores de combustión interna (MCI) o turbinas de gas (TG) para generación de energía mecánica o eléctrica, para generación directa de calor por medio de una combustión, o como materia prima para la obtención de

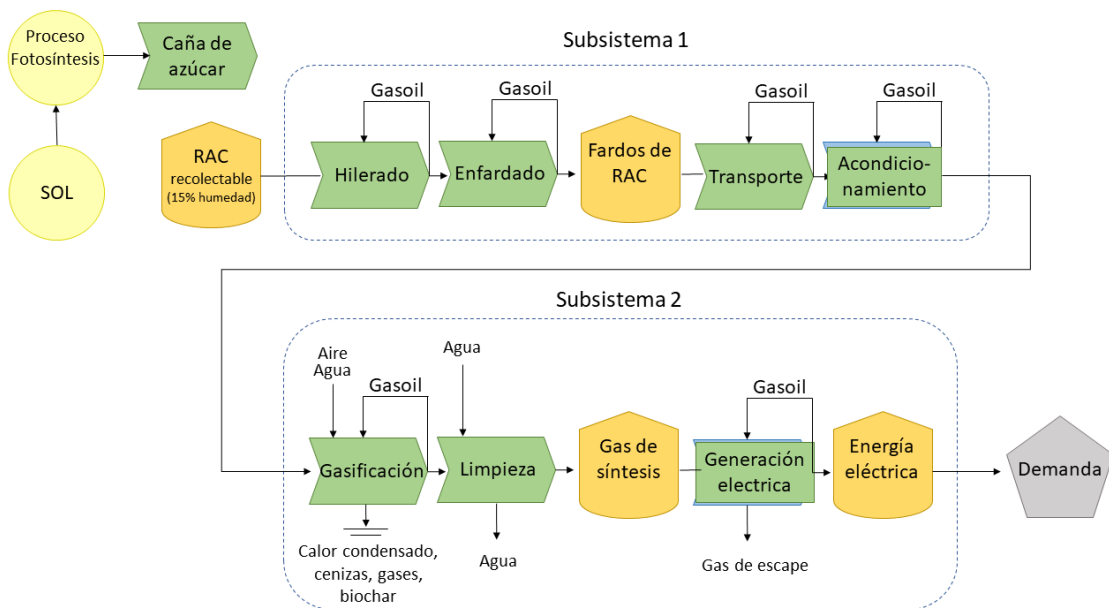
combustibles líquidos u otros productos químicos por medio de una síntesis catalítica. Cuando la sustancia gasificante es aire, la reacción da lugar a un gas de bajo poder calorífico, “gas pobre”, cuyo PCI está entre 3,5 y 7,9 MJ/Nm<sup>3</sup>, si la sustancia es oxígeno (O<sub>2</sub>) produce un gas con mayor poder calorífico llamado “SYNGAS”, con un PCI entre 7,9 y 10,6 MJ/Nm<sup>3</sup> (Paz, 2015).

Como segundo paso, es necesario diseñar el diagrama de flujo del proceso e identificar los límites del sistema. Para este análisis, se tomó como referencia la figura 8 ya que representa un diagrama de flujo genérico para cualquier sistema y se diseñó el diagrama para el análisis del proceso, como se muestra en las figuras 10 y 11.

El diagrama de flujo involucra el proceso productivo desde el secado en campo hasta la generación de energía. Se dividió el sistema en dos subsistemas, el primero corresponde a la logística de recolección que incluye las tareas de enfardado, recolección, transporte y acondicionamiento de la biomasa desde el lote donde se lo produjo hasta la planta de producción de gasificación, el segundo corresponde a la transformación de la materia prima que comprende las operaciones para llevar a cabo la conversión de la biomasa en gas de síntesis y la transformación de este en energía eléctrica en un motor de combustión interna o energía térmica mediante la quema de gas según corresponda.



**Figura 10.** Diagrama del proceso de obtención de Gas de síntesis a partir de la gasificación del RAC de caña de azúcar y su aprovechamiento térmico.



**Figura 11.** Diagrama del proceso de obtención de Gas de síntesis a partir de la gasificación del RAC de caña de azúcar y su aprovechamiento eléctrico

*Subsistema 1: Logística de recolección:*

Como alternativa para la recolección de RAC utilizaremos el enfardado ya que la misma por un lado consume menos gasoil que el RAC picado a granel y la cosecha integral de RAC, y por el otro permite un mejor almacenamiento del residuo dado el bajo volumen y alta densidad logrando una mejor conservación del material (Feijooó, 2018).

Desde el punto de vista del índice energético, la alternativa de RAC enfardado es un 17,5% más eficiente que la opción de RAC picado a granel y un 103% más que la alternativa de Cosecha Integral del RAC. de la caña de azúcar Esta última estrategia es la más ineficiente debido que no aprovecha el secado natural en el campo y transporta el RAC al ingenio con un 40% de humedad, lo que incide de forma directa en el PCI del RAC (Feijooó, 2018).

El enfardado del residuo agrícola de cosecha de la caña de azúcar es más eficiente utilizando una enfardadora prismática, ya que tiene un mejor comportamiento operativo que una roto enfardadora, teniendo en cuenta el volumen recolectado por superficie (cabezal recolector amplio con menor pérdida de RAC). A su vez, la obtención de fardos compactos, de mayor tamaño y calidad facilita la colocación de éstos en el camión de carga (con una mayor cantidad de RAC transportado), lo que influye directamente en la reducción de los costos de transporte del campo a la planta procesadora por kilogramo de RAC (Casen et al., 2015).

El frente de recolección de RAC queda conformado por un rastrillo hilerador, una enfardadora prismática, un tractor de 170 HP, un brazo cargador y un camión con acoplado.

*Subsistema 2: Gasificación y generación de energía.*

Un esquema típico de gasificación está integrado por el gasificador, el sistema de limpieza de gases y la aplicación final.

El gasificador es el equipo principal y según el método de contacto que utilizan entre las fases sólida (biomasa) y gaseosa (agente oxidante) pueden agruparse en tres tipos: de lecho fijo, lecho fluidizado y de arrastre (Arteaga Pérez et al., 2014).

En su artículo de 2019, Muñoz Solares concluye que los gasificadores de lecho



fijo de corriente descendente (downdraft) son los más recomendados para gasificar RAC ya que producen el 1% de alquitrán, menor arrastre de partículas en gas y funcionan eficientemente con biomásas entre 10-15 % de humedad (Muñoz Solares, 2019).

Como tercer paso se identifica a las entradas y salidas a considerar dentro de los límites del sistema. Para el subsistema 1, logística de recolección, las entradas del sistema están dadas por el consumo de gasoil para cada una de las actividades del proceso como se muestra en tabla 3.

**Tabla 3.** Entradas energéticas para el subsistema 1: logística de recolección.

| <b>Entradas</b>   | <b>Unidades</b> |
|-------------------|-----------------|
| Gasoil hilerado   | l/t RAC         |
| Gasoil enfardado  | l/t RAC         |
| Gasoil transporte | l/t RAC         |
| Gasoil Picado     | l/t RAC         |

Para el caso del Subsistema 2, gasificación de la biomasa, las entradas se definen en la tabla 4.

**Tabla 4.** Entradas energéticas para el subsistema 2.

| <b>Entradas</b>             | <b>Unidades</b> |
|-----------------------------|-----------------|
| Energía Gasificación        | KWh/t RAC       |
| Energía enfriado y limpieza | KWh/t RAC       |
| Motor de combustión interna | KWh/t RAC       |
| Generador eléctrico         | KWh/t RAC       |

Para computar las salidas en cada una de las etapas, las pérdidas del sistema son

tenidas en cuenta en los rendimientos y eficiencias de los equipos.

Finalmente se identifican los datos necesarios para el cálculo de TRE y se define un análisis de la TRE por procesos.

Para la etapa de recolección del RAC los consumos de gasoil en cada etapa se muestran en la tabla 5 (Feijoó, 2018).

**Tabla 5.** Consumo de gasoil en el subsistema 1: logística de recolección.

| <b>Entradas</b> | <b>Unidades</b> | <b>l/tRAC<br/>(base seca)</b> | <b>KWh/t RAC</b> |
|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------|
| Hilerado        | 1               | 1,44                          | 14,37            |
| Enfardado       | 1               | 3,08                          | 30,74            |
| Transporte      | 1               | 0,79                          | 7,88             |
| Picado          | 1               | 7,92                          | 79,04            |

*Nota: PCI Gasoil=9,98 KWh/l*

En la producción de energía eléctrica (subsistema 2) el rendimiento del gas cuando se emplea en motores se evalúa mediante la eficiencia fría ( $\eta_f$ ), que se define como la relación de la energía química del gas producido por gasificación y la energía química del combustible que se utiliza en el proceso según ecuación 4 y 5. (Paz, 2015).

$$\eta_f = \frac{(Energíaquímica)_{gas}}{(Energíaquímica)_{comb.}} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\eta_f = \frac{PCI_g * m_g}{PCI_b * m_b} \quad \text{Ecuación 5}$$

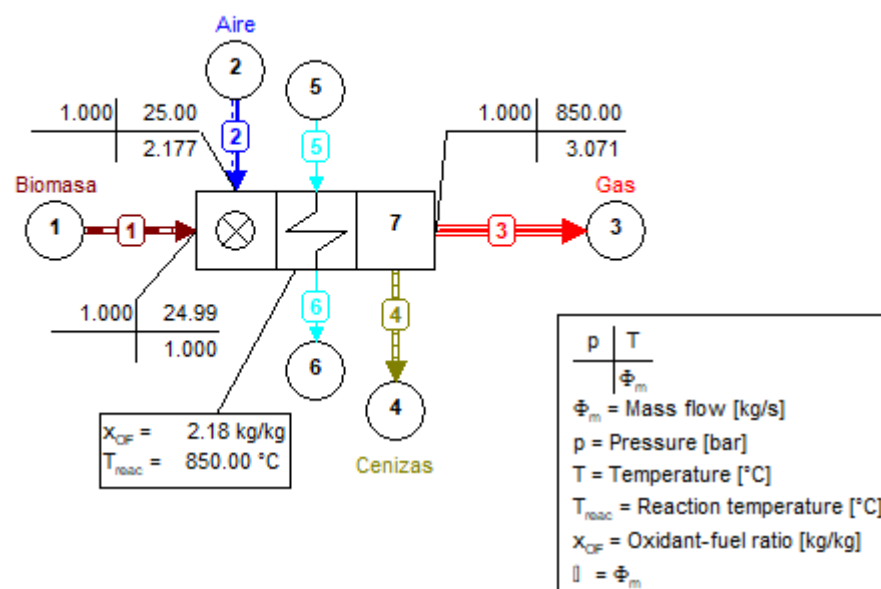
Donde:

$\eta_f$ : eficiencia fría de la gasificación [%]

$m_b$ : caudal másico de la biomasa [Kg/h]

$m_g$ : caudal masico del gas pobre [Kg/h]

En el informe “La gasificación como alternativa para generación distribuida de energía eléctrica a partir de biomazas residuales de Tucumán, Argentina” de los autores Franck Colombres y Paz, plantean el balance de materia y energía en el gasificador para calcular la eficiencia fría, conociendo la composición y el poder calorífico inferior de la biomasa y asumiendo una temperatura de reacción de 850°C tomando como supuesto que los gases dejan el reactor a la misma temperatura (Franck Colombres y Paz, 2018).



**Figura 12.** Distribución de los flujos de masa y energía en el gasificador.

*Nota:* Adaptado de La gasificación como alternativa para generación distribuida de energía eléctrica a partir de biomazas residuales de Tucumán, Argentina de Franck Colombres y Paz, (2018).

Aplicando la ecuación 5, los autores obtuvieron una eficiencia fría del **66,9%** para la biomasa cañera.

La energía eléctrica específica obtenida en el motor de combustión interna está condicionada por la eficiencia o rendimiento de los equipos que conforman el subsistema 2, gasificador, motor y generador eléctrico.

En el mencionado informe, para el motor y el generador eléctrico, los autores asumen como rendimiento efectivo del motor ( $\eta_{ef}$ ) el 27% y como rendimiento del generador eléctrico ( $\eta_{el}$ ) un 95%. Para el cálculo de la energía eléctrica específica ( $E_e$ ), energía que puede obtenerse por unidad de cantidad de materia, se consideran los rendimientos o eficiencias de los equipos que componen la instalación: eficiencia fría del gasificador ( $\eta_f$ ), rendimiento efectivo del motor ( $\eta_{ef}$ ) y rendimiento del generador eléctrico ( $\eta_{el}$ ), y se emplea la ecuación 6 (Franck Colombres y Paz, 2018).

$$E_e = \eta_f \cdot \eta_{ef} \cdot \eta_{el} \cdot PCI_B / 3600 \quad \text{Ecuación 6}$$

$$E_e = 0,5 \text{ KWh/Kg}$$

donde:  $E_e$  [KWh/Kg].

La  $E_e$  está referida a la humedad ( $w$ ) que la biomasa posee al ingresar al reactor. Sin embargo, es conveniente expresarla en base seca, para obtener la energía eléctrica específica en base seca,  $E_{e(bs)}$  [KWh/Kg], según la ecuación 7.

$$E_{e(bs)} = E_e / (1-w) \quad \text{Ecuación 7}$$

$$E_{e(bs)} = 0,588 \text{ KWh/Kg}$$

En el caso en que los gases se emplean directamente para aprovechamiento térmico mediante combustión, los gases se emplean a la temperatura de salida del gasificador, y se evalúa la eficiencia caliente ( $\eta_c$ ), que es la relación entre la energía sensible más la energía química que posee el gas producido, respecto a la energía química del combustible que se utiliza en el proceso de gasificación según las ecuaciones 8, 9 y 10 (Paz, 2015).

$$\eta_c = \frac{(Energiasensible + Energiaquímica)_{gas}}{(Energíaquímica)_{comb.}} \quad \text{Ecuación 8}$$

$$\eta_c = \frac{(PCI_g * m_g) + H_g}{PCI_b * m_b} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$H_g = Cp * (t - t_0) * m_g \quad \text{Ecuación 10}$$

$$\eta_c = 96,6\%$$

Donde:

$\eta_c$ : eficiencia caliente del gas [%]

$m_g$ : caudal másico del gas [Kg/h]

$m_b$ : caudal masico de la biomasa [Kg/h]

$H_g$ : energía sensible de los gases [KJ/h]

$t$ : temperatura

$Cp$ : Calor específico del gas=1,1 [KJ/Kg]

Las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) procedentes de fuentes fijas de combustión son el resultado de la liberación del carbono presente en los combustibles durante la combustión. Las emisiones de CO<sub>2</sub> dependen del contenido de carbono del combustible. Durante el proceso de combustión, la mayor parte del carbono se emite como CO<sub>2</sub> en forma inmediata. No obstante, una parte del carbono se libera en forma de monóxido de carbono (CO), metano (CH<sub>4</sub>) o compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), y todos ellos se oxidan y se convierten en CO<sub>2</sub> en la atmósfera, en un proceso que tarda desde unos pocos días hasta aproximadamente 12 años (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2020).

Para obtener los Kg de CO<sub>2</sub> equivalente que se evitarían incorporar a la atmósfera si es que este emprendimiento reemplaza el combustible fósil por la energía obtenida de la quema del gas pobre de la biomasa cañera. Utilizamos la ecuación 11 que brinda el Ministerio de Energía y Minería en su reporte “Emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por parte de centrales térmicas de generación eléctrica en el año 2018” (Ministerio de Energía y Minería, 2018).

$$ECO_{2\text{evitadas}} = Fe \times MWh \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

$ECO_2$ : Emisión de  $CO_2$  en t de  $CO_2$  equivalente

$MWh = ET_{obt}Fe$ : Factor de emisión en t de  $CO_2$

$Fe_{Gas\ Natural} = 0,02166\ tCO_2/MWh$

Las emisiones de  $CO_2$  proveniente del consumo de gasoil en el subsistema logística y recolección, considerando que un litro de gasoil emite 0,00265 t  $CO_2$  está dada por la ecuación 12.

$$\text{Emisiones } CO_2 \text{ Gasoil} = \text{Gasoil consumido} * RAC_{recolectable} * FE_{Gasoil} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde Gasoil consumido; [l/t]

$RAC_{recolectable}$  [t]

$FE_{Gasoil}$  [ $tCO_2/l$ ]

Para conocer las emisiones netas del sistema a las emisiones evitadas por la utilización del RAC en reemplazo de combustible fosil utilizamos la ecuación 13 donde

$$\text{Emisión neta evitadas} = ECO_{2\text{evitadas}} - ECO_{2\text{gasoil}} \quad \text{Ecuación 13}$$

### 3.2 Metodología para el diseño del modelo de negocio.

Con la siguiente propuesta se quiere desarrollar un modelo de negocio, para generar la información necesaria para la potencial creación de una empresa cooperativa de energía renovable a partir del residuo agrícola de la cosecha en verde de la caña de azúcar, que genere valor compartido en territorio.

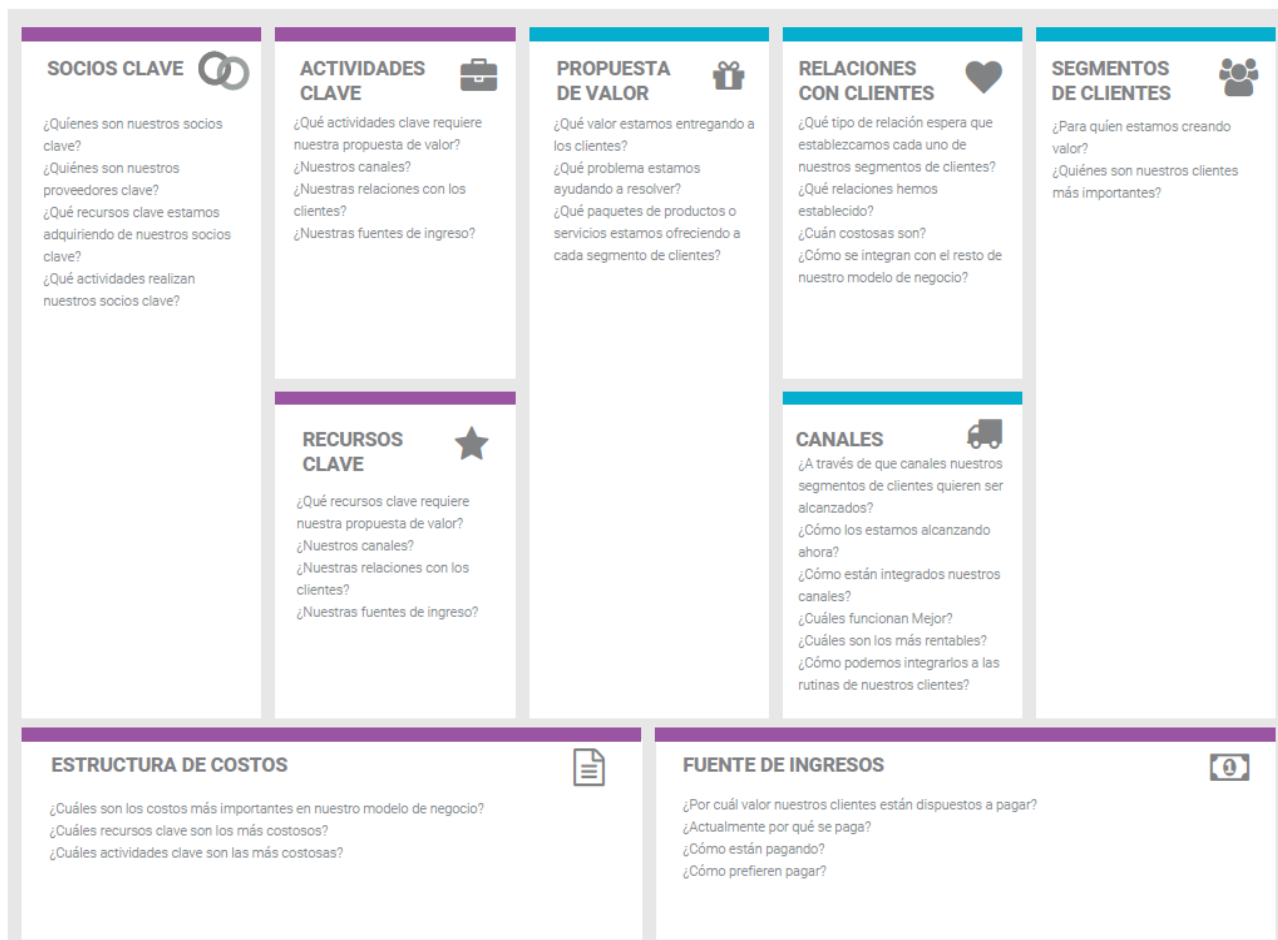
El éxito ambiental, social y económico de estos proyectos no se basa únicamente en el hecho de poder generar energía con la biomasa sino de que dicha generación se realice con el mínimo consumo de energía, donde los principales actores de la cadena sean las comunidades locales, se cree valor compartido, mejorando la competitividad

empresarial y ayudando a mejorar las condiciones económicas y sociales en las comunidades donde se inserten.

Como metodología para el análisis del modelo de negocio se utilizará el Business model Canvas, que es una herramienta visual para el desarrollo de modelos de prestación de servicios o de productos. Se basa en describir un modelo dividiéndolo en nueve módulos básicos que reflejen la lógica que sigue una empresa para conseguir ingresos. Estos nueve módulos cubren las cuatro áreas principales de un negocio: clientes, oferta, infraestructura y viabilidad económica.

Este modelo fue desarrollado por el teórico austriaco, Alexander Osterwalder en su libro *Business Model Generation* (2010), que escribió junto al informático belga Yves Pigneur.

El análisis se realiza mediante la cumplimentación de ciertos contenidos acerca de la idea de negocio en un lienzo que puede ayudar a transformar dicha idea en un proyecto innovador y competitivo. El lienzo permite, que “una organización cree, presente y capture valor” (Osterwalder A., 2010).



**Figura 13** Lienzo de modelo de negocio.

*Nota.* Adaptado de Business Model Canvas de Alexander Osterwalder (2010.)

El lienzo ofrece una estrategia organizada de pensamiento que ayuda a reflexionar de manera ordenada sobre el modelo de negocio: ¿Qué quiero hacer? ¿Cómo voy a lograrlo?, ¿A quién se lo voy a vender?, ¿Cuánto beneficio podría obtener?.

El trabajo “*Diseño de modelos de suministro de energía: un enfoque orientado a las personas que viven en la pobreza*” (Bellanca y Garside, 2013), describe un enfoque para diseñar servicios energéticos sostenibles orientados a las personas que viven en la pobreza, basado en el Business Model Canvas. El mismo ofrece directrices para llevar a cabo un análisis participativo, con el objetivo crear un modelo de suministro que tenga



más probabilidades de ser sostenible desde el punto de vista social, económico y ambiental.

### **Dinámica del taller en territorio**

El análisis del modelo de negocio se realizará a través del estudio de caso de una cooperativa cañera a través de un taller participativo en territorio, a fin de promover el debate, la negociación y la creación una propuesta aceptada por los diferentes actores involucrados.

Los talleres participativos facilitan la toma de decisiones, la generación de consensos y el encuadre de los proyectos y organizaciones en una atmósfera de negociación informada, que motiva la apropiación de conceptos, metodologías, actitudes y actuaciones necesarias para el desarrollo local (Identidad y Desarrollo, 2019).

Es por todo lo descripto anteriormente que en este estudio se propone llevar a cabo un taller en el que se aspira a contar con la participación de productores miembros de la Cooperativa Agropecuaria Leales 306 Ltda. (CAL 306 Ltda.) y técnicos del Ministerio de Desarrollo Productivo de la Provincia de Tucumán.

Para dicho análisis se tomará como punto de partida las preguntas disparadoras ofrecidas por Bellanca et al. (2013) mencionadas en el Anexo 1. A partir de las conclusiones se definirá un modelo que pueda adaptarse a las particularidades de la zona.

### **Objetivo del taller:**

- Conocer, mediante el estudio de un caso real, cómo se debe identificar a cada bloque en el Lienzo de Modelo de Negocio, según el Método Canvas.
- Definir la idea de negocio, analizando cada uno de los bloques del lienzo, partiendo de las preguntas disparadoras mencionadas anteriormente.

**Duración:** 2 horas.

**Número mínimo de participantes:** 10

**Pautas de desarrollo:**

1. Explicar que es un modelo de negocios vs. plan de negocio.
2. Explicar cada bloque del lienzo de modelo Canvas a partir de un caso exitoso de negocio.
3. Conformar dos grupos de trabajo constituidos por productores y técnicos de terreno.
4. Proporcionar a cada grupo una copia del lienzo de modelo de negocio en blanco.
5. Manteniendo el ejemplo a la vista, se solicitará que identifiquen cada uno de los bloques utilizando papeles autoadhesivos (tiempo previsto para su desarrollo: 60 minutos).
6. Después, cada grupo deberá explicar su propuesta y razonamiento (en un máximo de 15 minutos por grupo).
7. Durante las exposiciones, cambiando los papeles autoadhesivos y su contenido, se podrán realizar modificaciones en la idea de modelo de negocio para mejorar la propuesta.

**Materiales para la dinámica:**

- Lienzo de Modelo Canvas con un ejemplo de negocio exitoso.
- Lienzo del Modelo Canvas en tamaño A2 para cada grupo.
- Papeles autoadhesivos tipo Post-it.
- Lapiceras.
- Cronómetro.

## CAPITULO N° 4: RESULTADOS

### 4.1 Resultados energéticos

#### 4.1.1 Estimación de la producción de residuos de caña de azúcar de los pequeños productores cañeros de la Cooperativa CAL 306 Ltd.

La cooperativa tiene 100 ha de sus asociados localizados en la llanura deprimida con un rendimiento cultural promedio de 55 t por hectárea. El residuo agrícola luego de efectuarse la cosecha en verde debe quedar 15 a 20 días de secado en campo para aumentar su poder calorífico. Utilizado el coeficiente de biomasa residual promedio entre variedades definido por Romero et al. (2018), existe una disponibilidad total de 755 t de RAC seco perteneciente a los pequeños productores de la Cooperativa CAL 306 Ltd (tabla 6).

No todo los RAC disponibles en el campo puede recolectarse ya que existen varios factores a tomar en cuenta asociados al manejo agrícola, según el autor Mario Muñoz Solares (2017), las principales ventajas de dejar los RAC en el campo son:

- Protección del suelo superficial contra la erosión causada por el viento y la escorrentía de las lluvias.
- Favorece la actividad microbiana en el suelo, producción de nutrientes por la descomposición de materia orgánica.
- Guarda la humedad del suelo al no filtrar los rayos del sol y mantener a menor temperatura los suelos, evita la evaporación natural.
- Mejor control de malezas.

Por otra parte existen desventajas por no recolectar los RAC, tales como:

- Riesgos de incendio después de la cosecha.
- Dificultades para llevar a cabo algunas labores agrícolas.
- Desperdicio del poder energético que pudiera utilizarse en las plantas de energía de los ingenios. Cuando se decide re-quemarlos, existe una producción directa de CO<sub>2</sub>.

→ Al dejar que los RAC se descompongan naturalmente, hay producción de metano (CH<sub>4</sub>), que es un gas de efecto invernadero.

Según informes de la EEAOC, en la llanura deprimida, la presencia de capas freáticas estacionales cercanas a la superficie del suelo, provocan suelos fríos y excesos de agua que resultan determinantes en la brotación del cañaveral. Por ello, es conveniente y necesario recolectar porcentajes superiores al 70% del RAC (Casen et al., 2015). Es decir que la cooperativa proveería aproximadamente 528,5 t de residuo por año proveniente de los pequeños productores cañeros, disponibles para ser aprovechados (tabla 6).

**Tabla 6.** Toneladas de RAC potencial de la Cooperativa CAL 306 Ltd.

|  |       |      |
|--|-------|------|
|  | 100   | Ha   |
| Rendimiento cultural promedio                      | 50    | t/ha |
| Caña cosechada                                     | 5000  | t    |
| RAC potencial (151 Kg RAC por t de caña cosechada) | 755   | t    |
| t RAC recolectable (70% del RAC potencial)         | 528,5 | t    |

#### 4.1.2 Estimación de la tasa de retorno energético (TRE)

La energía invertida en el proceso ( $E_{inv}$ ) se compone únicamente por los litros de gasoil consumidos en la etapa logística de recolección, ya que la energía necesaria para arrancar el gasificador se considera despreciable. La  $E_{inv}$  está representada por la ecuación 14.

$$E_{inv} = I_{gasoil} * RAC_{recolectable} \quad \text{Ecuación 14}$$

donde  $I_{gasoil}$  son los litros de gasoil incorporados en el subsistema 1.

$$E_{inv} = 132,03[\text{KWh} / \text{tRAC}] * 528,5 [\text{tRAC}]$$

$$E_{inv} = \mathbf{69,84} [\text{MWh}]$$

El factor de conversión esta dado por 1 Kilovatio [kW] = 0,001 Megavatio [MW].

La energía eléctrica obtenida ( $EE_{obt}$ ) de la biomasa de los pequeños productores de caña de azúcar se define por la ecuación 15:

$$EE_{obt} = E_{e(bs)} * RAC_{recolectable} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$EE_{obt} = 0,588 [/\text{kgKWhKg}] * 528.500 [\text{kgKg}]$$

$$EE_{obt} = \mathbf{310,76} [\text{MWh}]$$

Donde el factor de conversión esta dado por 1 Kilovatio [KW] = 0,001 Megavatio [MW].

La energía térmica obtenida ( $ET_{obt}$ ) de la biomasa de los productores de caña de azúcar estará dada por la ecuación 16.

$$ET_{obt} = \eta_c * PCI_{RAC} * RAC_{recolectable} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$ET_{obt} = 0,964 * 10.495 [\text{KJ/Kg}] * 528.500 [\text{Kg}]$$

$$ET_{obt} = 5.346.929.630 [\text{KJ}]$$

$$ET_{obt} = \mathbf{1.491,79} [\text{MWh}]$$

Donde 1kJK equivale a  $2,7778 * 10^{-7}$  MWh

En la tabla 7 se resumen los resultados obtenidos.

**Tabla 7.** Resultados obtenidos para las entradas y salidas de las alternativas de transformación en estudio

|                             |          |     |
|-----------------------------|----------|-----|
| RAC <sub>recolectable</sub> | 528,5    | t   |
| E <sub>inv</sub>            | 69,84    | MWh |
| EE <sub>obt</sub>           | 310,76   | MWh |
| ET <sub>obt</sub>           | 1.491,79 | MWh |

Para el cálculo de la TRE utilizamos la ecuación 1:

$$TRE = \frac{\text{Energía obtenida}}{\text{Energía invertida}}$$

La tasa de retorno energético obtenida para la producción de energía eléctrica (TRE<sub>eléctrica</sub>) resulto en:

$$TRE_{eléctrica} = 310,76 \text{ [MWh]} / 69,84 \text{ [MWh]}$$

$$TRE_{eléctrica} = 4,45 \text{ [MWh/MWh]}$$

Por su parte, la tasa de retorno energético para la producción de energía térmica (TRE<sub>térmica</sub>) resulto en:

$$TRE_{térmica} = 1.491,79 \text{ [MWh]} / 69,84 \text{ [MWh]}$$

$$TRE_{térmica} = 21,36 \text{ [MWh/MWh]}$$

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 8 a continuación.

**Tabla 8.** TRE para la producción de energía eléctrica y térmica a partir

|                          |       |
|--------------------------|-------|
| TRE <sub>eléctrica</sub> | 4,45  |
| TRE <sub>térmica</sub>   | 21,36 |

Podemos observar que la relación entre la energía obtenida y la ingresada para el aprovechamiento térmico es aproximadamente cinco veces mayor que la relación obtenida para el aprovechamiento eléctrico, (ver ecuación 17) ya que para el primer caso se tiene en cuenta la energías química y sensible del gas caliente al quemarlo directamente en calderas.

Por este motivo se seleccionó la alternativa con mayor TRE, la producción de

energía térmica a partir de la gasificación del RAC, para el análisis del modelo de negocio.

$$\frac{TRE_{térmica}}{TRE_{eléctrica}} = 4,8 \quad \text{Ecuación 17}$$

#### 4.1.3 Calculo del CO<sub>2</sub> mitigado por el reemplazo de combustible fósil

Para obtener las toneladas de CO<sub>2</sub> evitadas por el reemplazo de combustible utilizamos la ecuación 11.

$$ECO_2 = 0,02166 \text{ tCO}_2/\text{MWh} \cdot 1.491,79 \text{ MWh}$$

$$ECO_2 = 32,31 \text{ t CO}_2$$

Las emisiones de CO<sub>2</sub> proveniente del consumo de gasoil en el subsistema logística la calculamos mediante la ecuación 12.

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ Gasoil} = 13,23 \text{ l/tRAC} \cdot 528,5 \text{ tRAC} \cdot 0,00265 \text{ t CO}_2/\text{l}$$

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ Gasoil} = 18,53 \text{ t CO}_2$$

Para calcular las emisiones evitadas netas del sistema utilizamos la ecuación 13

$$\text{Emisiones netas evitadas} = 32,31 \text{ t CO}_2 - 13,78 \text{ t CO}_2$$

$$\text{Emisión neta} = 13,78 \text{ t CO}_2$$

*Tabla 9. Emisiones de CO2 equivalente del sistema.*

| <b>Emisiones</b>   | <b>[tCO<sub>2</sub> equivalente]</b> |
|--|--------------------------------------|
| Emisiones CO <sub>2</sub> Gasoil   | 18,53                                |
| Emisiones CO <sub>2</sub> evitadas por el reemplazo de combustible fósil | 32,31                                |
| Emisiones netas evitadas del sistema                                     | 13,78                                |

Con la implementación de la tecnología de gasificación para un aprovechamiento térmico se evitarían incorporar a la atmosfera 13,78 t CO<sub>2</sub> equivalente por año, colaborando en la mitigación del cambio climático.

## **4.2 Resultados del taller participativo en territorio**

Como resultado del taller participativo con los productores de la cooperativa y técnicos de terreno del Ministerio de Desarrollo Productivo de la provincia, se propone el siguiente modelo de negocio basado en la tecnología con TRE más alta, la generación de energía térmica.

### **4.2.1 Propuesta de un modelo de negocio energéticamente eficiente.**

#### **1-Propuesta de valor:**

El modelo de negocio (figura 15) propone la creación de una nueva unidad productiva en la cooperativa CAL 306 Ltd.: Recolección, enfardado y gasificación de la maloja de caña de azúcar.



La biomasa recolectada será gasificada para generar energía térmica por medio de la combustión directa del mismo, para abastecer en primer lugar a la unidad avícola familiar integrada (UAFI), perteneciente a la cooperativa cañera CAL 306 Ltd. En segundo lugar puede ser utilizada para cubrir otras necesidades energéticas de la zona como por ejemplo, un proyecto de producción de azúcar mascabo de la misma cooperativa. También como alternativa para la venta de fardos de RAC excedentes.

Para nuestro caso de estudio lo que genera valor social y medioambiental es la materia prima, ya que es un material que se considera un residuo y que se puede recuperar para generar un nuevo producto (figura 14). A esto se añade el origen renovable de la materia prima y el contexto social de los productores, a los que se les brinda una salida de negocio digna.

*Figura 14. Fotografía de RAC de caña de azúcar en campo.*



Con la valorización de los recursos biomásicos de los pequeños productores cañeros de la zona este de la provincia se espera:

- Disminuir los costos energéticos para dicho emprendimiento.
- Generar nuevas fuentes de ingresos.

- Solucionar problemas ambientales, mediante la disminución de la quema de rastrojos de caña y el CO<sub>2</sub> a la atmosfera.
- Creación de puestos de trabajo en toda la cadena de valor.
- Sustitución de combustible fósil por energía renovable.
- Cambio de paradigma en la producción y comercialización de la energía.
- Sentar las bases de la economía circular.

Como contrapartida uno de los problemas que puede ocasionar este modelo es la erosión o afectar el reciclado de nutrientes del suelo si es que se realiza un mal manejo en la recolección del residuo, sin respetar el porcentaje de recolección recomendado para la zona agroecológica.

## **2- Segmento de usuarios finales:**

La Cooperativa CAL 306 será el principal usuario final de esta propuesta de valor. Esta cooperativa posee un criadero de pollos parrilleros y esta pronta a instalar una planta de faena (UAFI), y una planta de producción de azúcar mascabo.

La cooperativa cuenta con un galpón de crianza de pollos parrilleros comunitario, produce un volumen de 1200 pollos por mes. Además se dedican a la producción de gallinas ponedoras, con un plantel aproximado de 1500 aves.

La calefacción es un factor clave en la cría avícola ya que una temperatura adecuada y constante disminuye el riesgo de enfermedades de los animales y de una caída de la producción. Se estima que el consumo medio de este tipo de emprendimientos es de 0,060 Kg GLP/cabeza. (GLP = gas licuado de petróleo). El costo de calefacción representa solamente el 3% del costo final de la carne de pollo, pero a nivel de la granja, puede representar hasta un 30% del costo variable de cada crianza (FAO, 2020).

Los frigoríficos de aves pertenecen a empresas avícolas integradas, que operan en todas las etapas de la cadena de producción (granjas de reproductores, granjas de ponedoras, plantas de incubación de huevos, granjas de cría de aves, frigoríficos, plantas de alimentos). En los frigoríficos o en plantas anexas de rendering (tratamiento del subproducto generado en los mataderos de aves de corral para transformarlos en proteínas

valiosas, minerales y aceites) se procesan los residuos de la faena. Otras plantas elaboran los alimentos para gallinas de postura y pollos de engorde. En ambas etapas hay demandas de calor importantes, al igual que en los galpones de crianza de los pollos y ponedoras.

Las plantas de faena avícola consumen agua caliente para escaldado de aves y lavado diario de las instalaciones. Para este fin, se estima un uso de 60 Kcal/Kg de ave faenada. Por otra parte, las operaciones de rendering consumen vapor en autoclaves que esterilizan y deshidratan los residuos de la faena (vísceras, plumas, huesos y descartes): se estima un consumo de 250 Kcal/Kg de aves faenadas. Además, en la pelletización del alimento balanceado se utiliza vapor como acondicionante (FAO, 2020).

La demanda potencial de energía en la granja avícola se estima en la tabla 10.

**Tabla 10.** Demanda de energía térmica en la unidad avícola familiar.

| <b>Etapas del proceso productivo</b> | <b>Consumo térmico (Kcal/Kg de ave faenada)</b> | <b>Consumo térmico Kcal</b> |
|--------------------------------------|---|-----------------------------|
| Cría avícola                         | 220 kcal/kg                                     | 10.550.400                  |
| Escaldado de aves y limpieza         | 60 kcal/kg                                      | 5.400.000                   |
| Rendering                            | 250 kcal/kg                                     | 1.296.000                   |
| Total                                |   | 17.246.400                  |

Desde finales de la zafra 2018, esta cooperativa realiza experiencias de fabricación de azúcar mascabo. Cuenta con una capacidad de cocimiento de jugo de 3500 litros por jornada de elaboración, con lo cual se obtienen entre 40 a 50 Kg de este tipo de azúcar dependiendo del rendimiento fabril del cañaveral.

La Cooperativa ha gestionado de manera exitosa la construcción de una fábrica de azúcar mascabo, cuya capacidad productiva estimada es de 180 toneladas por zafra. El proyecto se encuentra aprobado y se espera el desembolso de los fondos para dar paso a su inicio. El gas generado podría ser el combustible para abastecer de calor y vapor para este emprendimiento.

Otro segmento de usuarios son las empresas productoras de piensos para ganado

ya que el RAC de caña es un recurso apto para la alimentación de ganado de bajos requerimientos si se suplementa con fuentes adicionales de energía (almidón, melaza) y de proteínas (proteínas verdaderas y nitrógeno no proteico). (INTA, 2013).

### **3. Relación con el usuario final y 4. Canales.**

En este modelo, el segmento de clientes está conformado por el dueño del negocio, la cooperativa, por lo que se propone como herramienta una mesa de diálogo donde se reúnen los diferentes actores, asociados a la cooperativa, instituciones gubernamentales y organizaciones locales para dialogar, compartir saberes y lograr acuerdos pertinentes al funcionamiento, administración, aspectos legales, técnicos, financieros, personal, etc.

Este espacio será el principal canal de articulación donde se trabajará con el gobierno local, para dar a conocer el modelo de negocio a todos los asociados a la cooperativa y a los habitantes de la zona.

### **5. Actividades clave:**

Las actividades claves dentro de este modelo de negocio se relacionan con el proceso productivo desde la recolección de la materia prima hasta la producción y utilización de la energía térmica.

Como alternativa para la recolección de RAC utilizaremos el enfardado por los beneficios mencionados anteriormente. Un modelo de enfardadora prismática existente en el mercado, elabora fardos de 90 cm de alto 120 cm de ancho y 210 cm de largo, con un peso de 470 kg. Con el RAC disponible en la cooperativa se elaborarían 574 fardos por campaña. La productividad de la enfardadora es de 40 fardos/h, es decir, un poco más de lo que puede cargar un camión (36 fardos).

El fardo se carga en el camión mediante un brazo cargador, y el traslado de la biomasa enfardada se efectúa través de un flete en camión que puede cargar hasta 36 fardos. Los lotes de los asociados están localizados en un radio de 6 km a la planta procesadora. Según los autores Paredes *et al.*, (2016) el costo del flete, considerando una distancia entre 30 a 50 km representa un 30% del costo unitario de cada fardo, por lo que

para el caso de estudio el costo de transporte no sería tan preponderante en el costo total ya que las distancias son significativamente menores.

La ventana de producción del RAC va de mediados de abril principio de mayo hasta los meses de octubre y noviembre, por lo que es necesario el almacenamiento de los fardos de RAC para mantener las características energéticas del mismo. Se estima el armado de 1124 fardos de 470 Kg y una dimensión de 90 cm de alto 120 cm de ancho y 210 cm de largo. Para conservar los fardos y evitar pérdidas por pudriciones, pestes o incendio es necesario un correcto almacenamiento garantizando una base seca durante todo el año. La cooperativa posee espacio físico para la construcción de un galpón de almacenamiento cercano a la planta de gasificación

La energía térmica será aprovechadas en la producción avícola de la cooperativa. El gas alimenta una caldera humo tubular para la generación de vapor y el calor que se produce al quemar el gas de síntesis se puede distribuir a los galpones a través de sistemas de agua caliente o de aire caliente.

El esquema de gasificación está integrado por el gasificador de lecho fijo, la caldera y la aplicación final. Con los sistemas de agua caliente, el agua puede ser canalizada a través de intercambiadores de calor, un radiador simple y un ventilador o a través de una serie de tuberías para calentar el aire en los galpones.

En los sistemas de aire caliente, la unidad de calefacción saca el aire del galpón, lo calienta y después lo devuelve caliente al galpón. Entonces, el aire caliente se distribuye por todo el galpón a través de un sistema de conductos o a través de ventiladores de circulación.

El vapor generado podría ser utilizado en la planta de rendering generando otros subproductos.

Como se mencionó anteriormente la demanda térmica de la unidad avícola es de 17.246.400 kcal lo que equivale a 72.158.937,60 KJ, por lo tanto los kg de RAC recolectable para cubrir estos requerimientos térmicos la obtenemos a partir de la ecuación 16.

$$ET_{\text{obt}} = \eta_c * PCI_{\text{RAC}} * RAC_{\text{recolectable}} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$72.158.937,60 \text{ KJ} = 0,964 * 10.495 \text{ [KJ/Kg]} * \text{RACrecolectable [Kg]}$$

$$\text{RACrecolectable} = 7132,32 \text{ kg}$$

Los 7132,32 kg de RAC recolectable corresponden a 1,5 hectáreas de cultivo de caña de azúcar, es decir que con las hectáreas restantes se podría abastecer a otros emprendimientos productivos enfocando el negocio en la venta de energía para cubrir las necesidades de la zona, de la misma manera se podría generar ingresos con la venta de fardos de RAC para la industria forrajera.

## 6. Recursos clave:

### -Recursos físicos:

- Galpón: La cooperativa cuenta con un galpón que podría acondicionarse para instalar la miniplanta de gasificación.
- Tractor de 170 HP.
- Enfardadora prismática.
- Planta de gasificación.
- Acondicionamiento del galpón avícola.
- Galpón para almacenamiento de fardos.

### -Recursos humanos:

- Mano de obra capacitada para la recolección de la biomasa.
- Mano de obra capacitada para la operación y mantenimiento de la planta de gasificación.

### -Recursos financieros:

- Subvención para la instalación y puesta en marcha de la planta.
- Subsidio para la adquisición de la enfardadora.

## 7. Socios clave:

Para que el negocio sea sostenible es clave el trabajo con el gobierno provincial y comunal, para garantizar el acceso a financiamientos, subsidios y diferimientos impositivos.

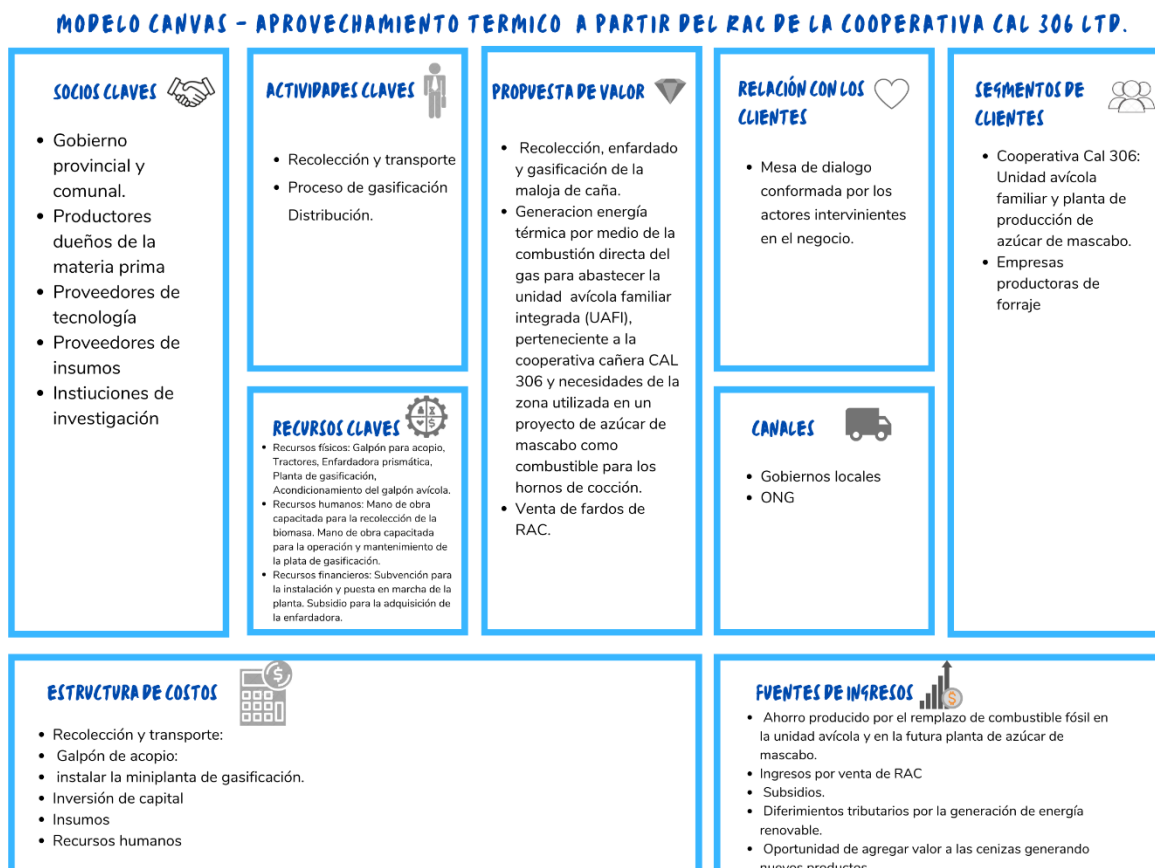
Otro socio a tener en cuenta son los pequeños productores proveedores de la materia prima, por lo que es necesario garantizar la continuidad de la misma para el funcionamiento del proceso.

Los actores privados serán los proveedores de la tecnología e insumos para garantizar la factibilidad técnica del negocio.

En los modelos de negocios que trabajan con pequeños productores existe una variedad de actores, organizaciones de productores, entidades públicas y organizaciones sin ánimo de lucro. Si alguno de estos actores posee demasiado dominio sobre la cadena, es posible afectar la inclusividad y competitividad del modelo. Estos socios no deben dominar el modelo, sino proveer sus servicios y asesorías para favorecer la toma de decisiones en beneficio de los actores directos (FAO, 2019).

## **8. Fuentes de ingreso:**

- Al ser la cooperativa dueña del recurso renovable, el ingreso se canaliza en el remplazo de combustible fósil en la unidad avícola y en la futura planta de azúcar mascabo.
- Venta de fardos de RAC.
  
- Oportunidad de cogenerar e inyectar energía eléctrica a la red obteniendo beneficios fiscales dispuestos por la ley nacional N° 27.424 de generación distribuida.
- Diferimientos tributarios por la generación de energía renovable.
- Oportunidad de generación de subproductos con las cenizas del proceso de gasificación, como bloques de construcción.



**Figura 15** Modelo Canvas: Aprovechamiento térmico a partir del RAC de la Cooperativa CAL 306 Ltd.

## 9. Estructuras de costos:

La misma estará distribuida entre:

- Recolección y transporte: Esta tarea representa el 30% del total de la logística (Paredes *et al.* 2016); por ese motivo resulta fundamental optimizar la carga de los equipos de transporte a través de la elección de la enfiadora y la carga al camión. Se estima un total de 15 viajes aproximadamente en un radio de 6 km.
- Galpón: La cooperativa cuenta con un galpón que podría acondicionarse para instalar la miniplanta de gasificación.
- Galpón para almacenamiento de fardos.



- Inversión de capital: El financiamiento necesario para la inversión de capital puede encausarse a través de organismos financieros que promueven la generación de energía renovable.
- Insumos varios.
- Recursos humanos provenientes de las familias de las cooperativas y de la zona.

#### **4.2.2 Análisis FODA del modelo de negocio**

Se realizó un análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas) a la propuesta energéticamente más eficiente, (aprovechamiento térmico del RAC) para una evaluación de la mejor alternativa desde un punto de vista de la estrategia agro-económica innovadora y del potencial factor de desarrollo local.

##### **Fortalezas**

- Disponibilidad de la materia prima.
- Cercanía los lotes por lo que se puede instalar la planta a donde está el recurso, minimizando los costos de transporte.
- Trayectoria de trabajo cooperativo de CAL 306.
- Buena relación con el gobierno local.
- Capacidad de gestión de financiamiento.
- Capacidad de resolución de conflictos.
- Capacidad de mano de obra para la recolección y traslado de la materia prima.
- Solución integradora, compatible con otras actividades e industrias locales.

##### **Oportunidades**

- Subsidios.
- Capacidades técnicas de instituciones tecnológicas del sector público como la EEAOC, INTA, INTI.

- Planta modelo para impulsar la transformación cañera hacia la agroenergía.
- Cartera de financiamiento para iniciativas que promueven la generación de energía renovable, mitigación al cambio climático, bioeconomía y economía circular. Podemos mencionar algunas convocatorias que se encuentran abiertas:

- Programa de Apoyo a la Promoción de Instrumentos de Mitigación de Riesgos y Financiamiento de Inversiones en Energía Renovable y Eficiencia Energética financiado con recursos del Fondo Verde para el Clima (GCF) y administrado por el BID.

- Programa de inserción económica de los productores familiares del norte argentino (PROCANOR), financiado por el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA).

- Desarrollo Armónico con Equilibrio Territorial financiado por el Fondo Financiero para el Desarrollo de los Países de la Cuenca del Plata (Fon Plata).

### **Debilidades**

- Falta de capacidades técnicas para el manejo del proceso de gasificación.
- Falta de capacidades técnicas para la administración económica del negocio.
- Antecedentes de falta de continuidad en proyectos bioenergéticos al terminar el apoyo de financiación y/o incentivos estatales.
- Ventana estrecha de producción de RAC por lo que existe la necesidad de generar un stock de materia prima para abastecer la demanda.

### **Amenazas**

- Falta de una política pública/plan estratégico específico provincial.
- Economía inestable.
- Legislación.
- Falta de proveedores de tecnología específica.

- No existe una regulación de los precios de residuos agrícolas genera inestabilidad ya que tienden a generar volatilidad debido al alto valor que tienen en la cadena productiva de otras industrias.
- Los subsidios a la energía eléctrica y combustibles fósiles: generan una barrera de entrada para la generación de energía a partir del uso de la biomasa.

En la tabla 11 se describen las externalidades positivas que genera el modelo de negocio, es decir aquellos beneficios para la sociedad y el ambiente generada por la actividad productiva.

*Tabla 11. Externalidades positivas producidas por el modelo de negocio.*

| Categoría | Beneficio                          | Descripción  |
|-----------|------------------------------------|--|
| Económico | Generación térmica                 | Para la cooperativa CAL 306 quien se convierte en usuario final del servicio energético disminuyendo costos en los emprendimientos productivos.  |
|           | Creación de empleo                 | Generación de empleos de calidad y sostenibles en el tiempo asociados a la logística del suministro y procesamiento de la materia prima vinculadas a un modelo de negocio renovable permitiendo el desarrollo rural de la localidad. |
| Social    | Generación de capacidades técnicas | Mejora la calificación de los recursos humanos como especialistas en el manejo de tecnologías para el aprovechamiento energético.  |
|           | Mejora de calidad de vida          | El aumento de ingresos influye en la calidad de vida de las personas, ya que se traduce en la adquisición de nuevos bienes y servicios.  |

|           |                          |  |
|-----------|--------------------------|--|
| Ambiental | Emisiones CO2 evitadas   | Uno de los principales resultados del aprovechamiento energético de los residuos agrícolas es el número de toneladas de CO2 evitadas a la atmósfera. |
|           | Quema de caña            | Evita la quema del residuo y los problemas que esta conlleva.  |
|           | Valorización del residuo | Transformación de un pasivo ambiental en un activo económico.  |

## CONCLUSIONES

De las tendencias actuales del mercado y procesos disponibles para convertir materias primas orgánicas en un producto que se puede utilizar para generar electricidad o calor, la gasificación es la vía seleccionada que mejor se adapta a las características de la biomasa residual de la cosecha de caña de azúcar y a las particularidades socioeconómicas y culturales del sector cañero de la provincia de Tucumán por ser una tecnología madura, en etapa de mejora de rendimientos y reducción de costos, con proveedores de tecnología a nivel nacional e internacional que actualmente puede competir con las energías derivadas de combustibles fósiles.

De acuerdo con *Hall et al., (2014)*, se considera admisible, una TRE de 2:1, para procesar, transportar y utilizar la energía obtenida. Por lo tanto, aquellas fuentes de energía con TRE superiores o iguales a este valor son aceptables para estudiar una alternativa de negocio. Del cálculo de las TRE para el aprovechamiento térmico y eléctrico del gas de síntesis, se obtiene una TRE<sub>eléctrica</sub> de 4,45 y una TRE<sub>térmica</sub> de 21,36.

Se concluye que la relación entre la energía obtenida y la ingresada para la generación térmica es aproximadamente cinco veces mayor que la relación obtenida para el aprovechamiento eléctrico, ya que para el primer caso se tiene en cuenta la entalpia del gas caliente al quemarla directamente en caldera con lo cual la eficiencia global del proceso será mayor.

Si bien ambas TRE son viables se selecciona para este análisis la TRE térmica debido a las necesidades de calor que presentan los emprendimientos de la cooperativa.

A partir de las conclusiones de los talleres participativos realizados en territorio y teniendo como principal indicador de sustentabilidad la TRE calculada para el proceso de gasificación, se propone un modelo energéticamente sustentable, de tipo cooperativo, cuya propuesta de valor se basa en aprovechar un residuo agrícola para convertirlo en energía térmica a través del proceso de gasificación para ser utilizado en la unidad avícola familiar de la cooperativa, generando beneficios económicos, sociales y ambientales para la comunidad.

Este modelo de producción de energía a partir de residuos agrícolas de cosecha de

caña de azúcar permite potenciar la diversificación de la matriz energética local, incrementando los ingresos de los pequeños productores y dinamizando las economías familiares.

Concluimos que la energía térmica obtenida de la gasificación del RAC recolectable de los productores cañeros de 1,5 hectáreas es suficiente para cubrir la demanda calórica de la unidad avícola familiar y con las hectáreas restantes es posible abastecer a otros emprendimientos productivos como la producción de azúcar mascabo y otras necesidades de la zona enfocando el negocio en la venta de energía. Con el aprovechamiento energético del RAC recolectable de esta cooperativa se evitaría incorporar a la atmosfera 13,78 t CO<sub>2</sub> equivalente por año, colaborando en la mitigación del cambio climático.

Desde el punto de vista metodológico la tasa de retorno energético es un indicador significativo de sustentabilidad de los proyectos energéticos, proporciona un resultado numérico que se puede comparar fácilmente con otros cálculos similares.

En la actualidad todavía existen incertidumbres involucradas en torno a la obtención de la TRE por lo que se recomienda complementar la investigación con datos del consumo energético de subproductos y actividades asociadas, con el fin de obtener un estudio más detallado sobre la tasa de retorno. Del mismo modo, es preciso incluir otro tipo de análisis para evaluar el impacto ambiental, como el análisis de ciclo de vida.

La metodología participativa para el diseño del modelo de negocio, fue muy efectiva y ayudo a detectar debilidades y fortalezas del sector y a su vez se consiguió involucrar a los principales actores para garantizar el éxito del mismo.

Se recomienda profundizar en el análisis de factibilidad técnico económica para el modelo propuesto y garantizar ayuda de tipo económica y de generación de capacidades. La misma puede materializarse en forma de subvenciones o incentivos gubernamentales, financiamiento por parte de donantes y políticas públicas que fomenten el desarrollo de la cadena de valor de la maloja de la caña para que deje de ser considerado un residuo y se convierta en un producto energético incorporando los principios de la bioeconomía circular al sistema productivo agrario de la provincia de Tucumán.

Como interrogante se plantea la posibilidad de instalación de micro plantas de generación de energía térmica y/o eléctrica en territorio, adaptadas a los recursos disponibles y necesidades energéticas de la zona, administradas por los habitantes de la misma siguiendo el patrón de localización de lotes cañeros, para satisfacer la demanda local ya sea de emprendimientos familiares, pymes y hasta demanda residencial de calor y electricidad. Esto plantea un cambio de paradigma en la generación de energía, acercar la generación al recurso y a la demanda evitando costosos desplazamientos y grandes almacenes de biomasa, brindando un medio para transformar el medio rural hacia la agroenergía.

En base a la TRE calculada y a las emisiones evitadas, podemos afirmar que la producción de energía a partir de la gasificación del RAC de caña de azúcar es una tecnología que permite potenciar la diversificación de la matriz energética local, incrementando los ingresos de los pequeños productores, cerrando el círculo del sistema productivo y contribuyendo de esta forma a la sostenibilidad ambiental por el reemplazo de combustible fósil y disminución de la quema de dicho residuo.

## ANEXO

Preguntas disparadoras para el análisis de cada bloque del lienzo Canvas  
(Bellanca et al, 2013).

→ **Propuesta de valor:**

- ¿Qué valor proporcionamos a los usuarios finales?
- ¿Cuál (o cuáles) de los problemas de nuestros usuarios finales vamos a ayudarle a resolver?
- ¿Qué paquetes de productos y servicios ofrecemos a cada segmento de usuarios finales?
- ¿Qué necesidades de los usuarios finales satisfacemos?
- ¿Qué problemas sociales o ambientales resolvemos?
- ¿Creamos otros riesgos sociales y ambientales?
- ¿Cómo se beneficia la comunidad en general?

→ **Segmento de usuarios finales:**

- ¿Para quién creamos valor?
- ¿Quiénes son nuestros usuarios finales más importantes?
- ¿Existen normas, comportamientos o actitudes locales hacia la innovación y riesgo que puedan afectar a la propuesta de valor (por ejemplo, normas, actitudes, etc. hacia diferentes opciones/tecnologías energéticas)?
- ¿Cómo afectan las preferencias de los usuarios finales, prácticas y relaciones de género a la propuesta de valor?

→ **Canales:**

- ¿A través de qué canales quieren ser contactados nuestros segmentos de usuarios finales?
- ¿Cómo se integran nuestros canales?



- ¿Cómo los integramos con las rutinas y preferencias de los usuarios finales?
- ¿Existen canales informales y cómo interactúan con la cadena de suministro?

→ **Relación con el cliente:**

- ¿Qué tipo de relación espera cada uno de nuestros usuarios finales que establezcamos y mantengamos con ellos?
- ¿Esperan los usuarios finales que el sector público o privado les preste servicios?

→ **Recursos clave:**

- ¿Qué recursos clave requieren nuestras propuestas de valor, canales de distribución, relaciones con los usuarios finales, fuentes de ingresos y alianzas?
- ¿Están todos los recursos al alcance?
- ¿Qué servicios de apoyo pueden necesitarse?

→ **Actividades clave:**

- ¿Qué actividades clave requieren nuestras propuestas de valor, canales de distribución, relaciones con los usuarios finales y fuentes de ingresos?
- ¿Qué actividades contribuyen más a la propuesta de valor?
- ¿Qué actividades mejorarían la propuesta de valor, pero no son esenciales?
- ¿Hay alguna actividad que pueda interrumpir la cadena de suministro y las relaciones de poder existentes?
- ¿Hay posibilidades de conflicto?
- ¿Qué otros riesgos sociales y ambientales crean las principales actividades?

→ **Socios clave:**

- ¿Quiénes son nuestras principales partes interesadas?
- ¿Qué recursos clave adquirimos de ellos?

- ¿Qué actividades clave realizan?
- ¿Qué esperan de nosotros?
- ¿Cómo se comparte el valor a través de la cadena de suministro, incluyendo a los usuarios finales?
- ¿Cómo encaja la propuesta de valor con las políticas y las estrategias del gobierno existentes?

#### **8- Fuentes de ingreso:**

- ¿De dónde provendrán las fuentes de ingresos?
- ¿Pueden pagar los usuarios finales? ¿Total o parcialmente?
- ¿Cuánto contribuye cada fuente de ingresos a los ingresos totales?
- ¿Se dispone de subsidios/incentivos de los programas de donantes/gobierno?
- ¿Puede ofrecer la sociedad civil recursos en especie (humanos, físicos, financieros)?
- ¿Pueden los usuarios finales ofrecer recursos en especie (humanos, físicos)?

#### **9. Estructuras de costos:**

- ¿Cuáles son los costos más importantes inherentes a nuestro modelo de suministro?
- ¿Qué recursos clave son los más caros?
- ¿Qué actividades clave son las más caras?



## BIBLIOGRAFÍA

- Arteaga Pérez, L. E., Casas Ledón, Y., Cabrera Hernandez, J. y Rodríguez Machín, L. (2014). *Gasificación de biomasa para la producción sostenible de energía. Revisión de las tecnologías y barreras para su aplicación*. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <https://www.researchgate.net/publication/264541344>
- Aceitera General Deheza*. (s.f.). Recuperado el 09 de 08 de 2021, de [www.agd.com.ar](http://www.agd.com.ar)
- Anesini, A. (2013). Electricidad a partir de residuos de madera. La experiencia del INTI en el Chaco. *Producción forestal*, 22-24. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss\\_desarrollo\\_foresto\\_industrial/\\_archivos/revista-produccion-forestal/05.pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss_desarrollo_foresto_industrial/_archivos/revista-produccion-forestal/05.pdf)
- Bellanca, R., & Garside, B. (2013). Diseño de modelos de suministro de energía: un enfoque orientado a las personas que viven en la pobreza. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <https://pubs.iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/16551SIIED.pdf?>
- Bragachini, M., Saavedra, A., Méndez, J., Mathier, D., y Sosa, N. (2018). La biomasa y la bioenergía distribuida para el agregado de valor en origen. *CIENCIA E INVESTIGACIÓN - TOMO 68 N° 2*. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <http://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2018/05/2-Bragachini-cei68-2-3.pdf>
- Cammesa. (2020). *Informe anual*. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <https://microfe.cammesa.com/static-content/CammesaWeb/download-manager-files/Informe%20Anual/INFORME%20ANUAL%202020%20VF.pdf>
- Casen, S., Romero, E., Leggio, F., Torres Bugeau, A., Perez, D., Paredes, V., y Feijoo, E. (2015). Manejo de los residuos agrícolas de la cosecha de caña de azúcar: disponibilidad potencial y alternativas de enfardado. *Avance Agroindustrial* 36 (4). Recuperado el 09 de 08 de 2021, de *Avance Agroindustrial* 36 (4): <https://www.avance.eaac.gob.ar/>
- Castelao Caruana, M. E. (2020). Configuración de la industria de bioenergía eléctrica y térmica

en Argentina: ¿dónde, cuándo, cómo y quién? *H-industri@*(27), 55-78. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <http://ojs.econ.uba.ar/index.php/H-ind/article/view/1960>

de Castro Carranza, C. (2012). *Una crítica al concepto de la TRE (Tasa de Retorno Energético)*. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <http://www.eis.uva.es/energiasostenible/?p=373>

FAO. (2019). *Guía de modelo de negocios inclusivos*. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <http://www.fao.org/3/CA3004ES/ca3004es.pdf>

FAO. (2020). *Modelos de negocios para proyectos de energía térmica de biomasa. Colección de informes técnicos N°10*. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de [http://www.probiomasa.gob.ar/\\_pdf/10-Modelos-negocios-para-proyectos.pdf](http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/10-Modelos-negocios-para-proyectos.pdf)

Feijoo, E. (2018). *Análisis de diferentes opciones logísticas para el uso de los residuos agrícolas de la caña de azúcar con fines energéticos en la provincia de Tucumán*.

Franck Colombes, F., y Paz, D. (2018). *La gasificación como alternativa para generación distribuida de energía eléctrica a partir de biomasa residual de Tucumán, argentina*. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <https://caim2018.com.ar/gestor/wp-content/uploads/2018/10/291.pdf>

*Identidad y Desarrollo*. (2019). Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <https://identidadydesarrollo.com/talleres-participativos/>

Internacional Energy Agency. (2020). *Bioenergy Power Generation*. Paris. Recuperado el 18 de 08 de 2021, de <https://www.iea.org/reports/bioenergy-power-generation>

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2018). *Censo Agropecuario*. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de [https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018\\_resultados\\_definitivos.pdf](https://www.indec.gob.ar/ftp/cuadros/economia/cna2018_resultados_definitivos.pdf)

Internacional Energy Agency. (2017). *Technology Roadmap. Delivering Sustainable Bioenergy*. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <https://www.iea.org/>

Internacional Energy Agency. (2020). *Informe de seguimiento: Generación de energía*

*bioenergética*. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <https://www.iea.org/reports/bioenergy-power-generation>

International Agency Renewable Energy. (2020). *Reduce. Reuse. Recycle. Remove*. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <https://www.iea.org/>

International Renewable Energy Agency. (2021). *Renewable capacity highlights*. Abu Dhabi. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Apr/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Highlights\\_2021.pdf?la=en&hash=1E133689564BC40C2392E85026F71A0D7A9C0B91#:~:text=31%20March%202021&text=Renewable%20generation%20capacity%20increased%20by,2%20GW%20\(%2](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Apr/IRENA_RE_Capacity_Highlights_2021.pdf?la=en&hash=1E133689564BC40C2392E85026F71A0D7A9C0B91#:~:text=31%20March%202021&text=Renewable%20generation%20capacity%20increased%20by,2%20GW%20(%2)

Iñiguez, K., Nadal, G., Dubrovsky, H., y Bouile, D. (2018). *Eficiencia Energética en Argentina, apostando por conformar un sector energético más sostenible y eficiente en Argentina*. Recuperado el 09 de 08 de 2021

*Lorenzati SA*. (09 de 08 de 2021). Obtenido de [www.lorenzati.com/gtb](http://www.lorenzati.com/gtb)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Segunda Contribución Determinada a Nivel Nacional de la República Argentina*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, República Argentina. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/contribucion-nacional>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, R. A. (2016). *Primera revision de su Contribución Determinada a Nivel Nacional*. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/internacionales>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, República Argentina. (2017). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero*. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <https://inventariogei.ambiente.gob.ar/files/inventario-nacional-gei-argentina.pdf>

Ministerio de Desarrollo Productivo, Gobierno de Tucumán. (s.f.). *RIDES*. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <https://rides.producciontucuman.gov.ar/>

- Ministerio de Energía y Minería. (2018). *Emisiones de CO2 a la atmósfera por parte de centrales térmicas de generación eléctrica en el año 2018*. Obtenido de [http://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/sig/mapas\\_tematicos/01\\_emisiones\\_co2\\_centrales\\_termicas/met\\_co2\\_centrales\\_2018.pdf](http://www.energia.gob.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/sig/mapas_tematicos/01_emisiones_co2_centrales_termicas/met_co2_centrales_2018.pdf)
- Ministerio de Energía y Minería. (2019). *Cálculo del factor de emisión de la red 2013 a 2019*. Recuperado el 08 de 09 de 2021, de <http://datos.minem.gob.ar/dataset/calculo-del-factor-de-emision-de-co2-de-la-red-argentina-de-energia-electrica>
- Ministerio de Energía y Minería. (s.f.). *Precios adjudicados del Programa RenovAr. Rondas 1, 1.5 y 2*. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <https://www.minem.gob.ar/www/833/25871/precios-adjudicados-del-programa-renovar>
- Muñoz Solares, M. (2017). *Potencial de los Residuos Agrícolas de Cosecha de Caña de Azúcar, como un biocombustible*. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <https://www.researchgate.net/publication/320087116>
- Muñoz Solares, M. (2019). Gasificación y torrefacción de residuos agrícolas de la cosecha de caña, tecnologías para diversificar los biocombustibles de la agroindustria azucarera. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <https://www.researchgate.net/publication/337445412>
- Murphy , D., Hall , C., Dale, M., & Cleveland , C. (2011). Order from Chaos: A Preliminary Protocol for Determining the EROI of Fuels. *Sustainability*. doi:10.3390/su3101888
- Naciones Unidas. (2015a). *Acuerdo de París*. Recuperado el 08 de 09 de 2021, de [https://unfccc.int/sites/default/files/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf)
- Naciones Unidas. (2015b). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Agencia Internacional de la Energía (IEA). (2017). *How2Guide for Bioenergy*. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <http://www.fao.org/3/a-i6683e.pdf>

- Paredes , M. V., Pérez, D. R., Casen, S., & Romero, R. E. (2016). *Factibilidad técnica-económica de la recolección y enfiado del residuo agrícola de cosecha de caña de azúcar (RAC) para su utilización con fines energéticos en Tucumán en la zafra 2015*. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <https://1library.co/document/ydx5lvez-asociacion-argentina-de-economia-agraria.html>
- Paz, D. (2015). Usos termicos de la biomasa. Especializacion en energia bioenergetica. UTN-FRT. (Diapositivas de Power Point).
- Proyecto PNUD INT/14/K05. (2016). *Informe final 2016. Gasificación de biomasa residual de cosecha de caña para producir energía eléctrica*. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de [https://www.g77.org/pgtf/finalrpt/INT-14-K05\\_FinalReport.pdf](https://www.g77.org/pgtf/finalrpt/INT-14-K05_FinalReport.pdf)