

## PROYECTOS ENERGÉTICOS COMO VECTORES DE DESARROLLO ECONÓMICO DE LA PROVINCIA DE MISIONES

*Lic. Rodrigo Fernández (1), Ing. Eugenio Cruz (2), Ing. José Posluszny (2), Lic. Tirso Tannuri (2)*

[rafernandez@fce.unam.edu.ar](mailto:rafernandez@fce.unam.edu.ar)

- (1) Centro de Estudios de Energía para el Desarrollo – FCE UNaM
- (2) Centro de Estudios de Energía para el Desarrollo – FI UNaM

### RESUMEN

El objetivo de este documento es presentar de manera resumida los principales resultados del proyecto de investigación “Estudio de pre factibilidad de generación de energía eléctrica adicional en la Central Hidroeléctrica de Yacyretá a partir de biomasa de cultivos energéticos en su zona de influencia”, detallando los hallazgos fundamentales respecto a la posibilidad de propiciar en Misiones la instalación de un Circuito Integrado de Producción, que abarque desde la producción de cultivos energéticos, hasta la generación de electricidad a partir de etanol para fortalecer el Sistema Eléctrico Provincial.

**Palabras Clave:** Desarrollo Económico, Generación Eléctrica, Cultivos Energéticos, Etanol

### INTRODUCCIÓN

Durante el año 2012 el CEED realizó un proyecto de investigación denominado “Estudio de pre factibilidad de generación de energía eléctrica adicional en la Central Hidroeléctrica de Yacyretá (CHY) a partir de biomasa de cultivos energéticos en su zona de influencia”, cuyo objetivo principal consistía en la evaluación económica de un proyecto de generación basado en fuentes renovables, con el objetivo de reforzar el Sistema Eléctrico de la provincia de Misiones (SEP).

Como parte de la investigación el CEED conformó un grupo interdisciplinario encargado de: diseñar alternativas técnicamente viables, para la cadena de valor completa desde la plantación de los cultivos energéticos con características adecuadas a la zona de influencia de la CHY hasta bornes de salida de la nueva central de generación; evaluar su viabilidad económica para las condiciones óptimas de funcionamiento de cada alternativa; considerar el impacto ambiental del proyecto así como incluir en el diseño estrategias de minimización o neutralización del impacto ambiental; dimensionar el impacto social del proyecto en su zona de influencia.

## Jornadas Científico Tecnológicas

De todas las alternativas consideradas, se optó por una solución tecnológica que implicaba una combinación de proyectos que incluye dos etapas de generación de electricidad: una primera etapa como autogeneración dentro de una destilería de etanol y una segunda etapa como generación por aeroderivada a partir de la combustión del etanol, o alternativamente de gas natural para el momento en que finalizaran las obras del Gasoducto NOA-NEA. A este proyecto se lo ha denominado Circuito Integrado de Producción de Etanol y Electricidad, en el cual se evaluaron autónomamente dos familias de proyectos: una correspondiente a la Planta de Destilación y otra correspondiente a la Generación de Electricidad, cada una de ellas con diferentes capacidades de procesamiento anual de etanol, y sus combinaciones con plantas de generación de diferentes niveles de potencia instalada.

Los objetivos del proyecto de investigación, además de establecer la viabilidad económica de cada uno de los proyectos evaluados, fueron los de articular una solución integrada que al mismo tiempo permitiera: incorporar generación adicional por hasta 150 MW al SEP, que tuviera un elevado impacto en términos de ingreso a los pequeños productores, y que se complementara adecuadamente con las estrategias de desarrollo económico impulsadas por la Provincia.

### **METODOLÓGIA**

El proceso de investigación contempló una metodología de trabajo en la que se distinguen seis fases interrelacionadas:

**RECOPIACION DE INFORMACION:** En esta fase se utilizó el procedimiento clásico de investigación bibliográfica, basado en la revisión de trabajos de investigación, fuentes de información secundaria, datos estadísticos y toda otra información relevante relacionada tanto con las alternativas de cultivos energéticos aptos para su implantación en Misiones. Adicionalmente como parte de la recopilación se realizó un relevamiento de proveedores de tecnologías involucradas, tanto en los procesos de producción de combustibles de segunda generación, como en la generación de electricidad a partir de biomasa forestal, así como a las turbinas de gas flex (alimentadas con gas natural o bioetanol).

**IDENTIFICACION DE ESPECIES DE VALOR ENERGETICO:** Se identificaron especies forestales y de caña de azúcar que mejor se adaptaban a las tierras disponibles, así como a las condiciones climáticas misioneras. Posteriormente, se estimó la superficie de tierra que debería ser destinada a los cultivos para abastecer los diferentes módulos de potencia propuestos para la fase de generación. Adicionalmente a la estimación de las áreas de cultivo, se evaluaron distintas configuraciones de unidades productivas con capacidad de abastecer la demanda de materia prima para cada módulo de potencia, estableciendo cuencas de suministro potenciales.

**LOGISTICA DE SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE A LA CENTRAL:** Se evaluaron distintos emplazamientos para la central de generación, así como la logística de transporte de los combustibles hasta la central, incluyendo la posibilidad de transporte por vía fluvial a partir de las márgenes del perilago de Yacyretá, contemplando la provisión de material desde las márgenes derecha e izquierda. Se evaluó también la posibilidad de suministro de material biomásico de la zona de influencia, como ser desperdicios de la actividad foresto-industrial y plantaciones con fines energéticos en otras cuencas más distantes.

## Jornadas Científico Tecnológicas

**IMPACTO AMBIENTAL:** Para cada una de las alternativas se realizó una evaluación prospectiva del impacto ambiental, comparándose para cada una de las alternativas de generación la emisión de gases de efecto invernadero (tn CO<sub>2</sub>/MWh), así como otros efectos negativos como los derivados de la disposición final de las materias primas utilizadas (vinazas en caso de producción de etanol).

**ESTUDIO DE COSTOS Y RENTABILIDAD ECONÓMICA:** Se realizó el estudio de costos de toda la cadena de valor, comenzando desde la producción de la materia prima (cultivos energéticos) hasta llegar a los bornes de salida para cada una de las configuraciones de tecnología de generación.

**IMPACTO EN EL DESARROLLO REGIONAL:** Como criterio general que atravesó cada fase de diseño de los proyectos evaluados se consideraron las alternativas con mayor impacto entre productores pequeños a medianos, así como aquellas con mayores posibilidades de generación de empleo. Se consideró la viabilidad de las cuencas potenciales de producción de cultivos energéticos. Se elaboró un esquema basado en un circuito integrado de producción y generación que implicara utilización total de las vinazas, evitando en todo momento la generación de efluentes contaminantes en la zona de influencia.

## RESULTADOS

### Alternativas consideradas

La revisión de la literatura reveló que, desde el punto de vista tecnológico, la generación de energía eléctrica a partir de la biomasa en la actualidad no presenta barreras tecnológicas. Sin embargo, el principal limitante resulta ser la disponibilidad del recurso biomásico en cantidades suficientes para alcanzar los objetivos de generación propuestos.

Dado el factor limitante, se evaluaron distintos cultivos energéticos, para establecer la mejor alternativa al mayor módulo de potencia a considerar en el estudio: 150 MW. Las condiciones edáficas y climáticas de Misiones las alternativas se pueden subdividir en dos grandes clases: plantas C3 como los bosques energéticos (coníferas, eucaliptos, leucaena, etc.) con una productividad de 30-40 tn/ha.año, o plantas C4 como la caña de azúcar, el sorgo y el maíz que presentan una productividad de 60-100 tn/ha.año.

La posibilidad de desarrollar exitosamente cultivos de caña de azúcar, y de sorgo dulce y granífero en la región de Misiones y Corrientes, así como en zonas aledañas al perillago de Yacyreta en la margen derecha del río Paraná, llevaron a analizar la factibilidad económica de producir bioetanol en un módulo de 300.000 lt/día y 750.000 lt/día, con tecnología de punta y autogeneración en módulos de potencia de 25 MW, 60 MW y 80MW.

Las unidades de autogeneración de mayor potencia permitían que la planta de etanol, que trabajaría unos 340 días por año, estuviera en condiciones de inyectar los excedentes de energía en el Sistema Eléctrico Provincial. Sin embargo, la potencia excedente de entre 45 MW y 60 MW, necesitaba ser complementada para alcanzar la potencia de 150 MW a considerar en el estudio; por esta razón se analizaron alternativas de generación eléctrica con turbinas aeroderivadas (en módulos de potencia de entre 24 MW y 150MW) alimentadas con gas natural y con bioetanol durante 4 horas/día en las horas de consumo pico de gas natural; vendiéndose al mercado el excedente del alcohol producido.

## Jornadas Científico Tecnológicas

Aún cuando se consideraron varios emplazamientos para la destilería y las aeroderivadas, se optó por la instalación de ambas en el Parque Industrial Posadas, de forma que la cuenca cañera comprendería un radio de unos 60 km alrededor del mismo. Por las características del sorgo granífero que puede ser almacenado en silos se puede ampliar la frontera agrícola a distancias mayores. El diseño de la destilería se pensó para la producción de bioetanol con caña de azúcar (180 días) y sorgo, que a pesar de elevar las inversiones iniciales, posibilitaba que la destilería funcionara un mayor número de días al año.

### Características de la Planta de Destilación de Etanol

Se consideraron dos escalas de producción para la Planta de Destilación de Etanol: una pequeña de 300.000 litros / día de Etanol 96°, y otra de 750.000 litros / día, esta última en una escala similar a los proyectos que actualmente se desarrollan en Brasil. En ambos casos se consideró, por un lado la posibilidad de producir etanol anhidro para su uso en mezclas de combustible, por otro lado el procesamiento de efluentes, lo cual implicó el armado de un circuito integrado con distintas unidades de negocio para la producción y venta de subproductos que minimizaran la generación de efluentes de disposición final.

En ambas escalas de producción, los subproductos que se obtienen a partir del reprocesamiento de la materia prima utilizada en la producción de etanol son los siguientes: Levaduras a partir del procesamiento de la caña de azúcar; Granos Secos de Destiladores o DDGS (por sus siglas en inglés) a partir del procesamiento de granos (de sorgo o maíz en este caso); Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>) a partir de la fermentación de las vinazas, Biogas que resulta también de la fermentación de las vinazas; COMPOST con fertilizante. Respecto a la producción de biogás, cabe señalar que la misma sería utilizada como combustible de la propia caldera de la planta de destilación, en un circuito cerrado.

La autogeneración implicó estudiar proyectos de potencia mínima para abastecer las destiladores, así como diseños con equipamiento de mayor potencia con su impacto en costos de inversión, así como complicaciones logísticas y mayores costos del combustible a utilizar durante todo el año. Debe señalarse que los módulos de autogeneración que implican la utilización del RAC como combustible, permiten atenuar el impacto negativo de la quema de los residuos de la cosecha, con lo cual debe considerarse como medida de atenuación de impacto ambiental.

La viabilidad ambiental de la destilería se incluyó como restricción tecnológica desde el comienzo, de forma que los residuos que genera el proceso de obtención del etanol a partir de la caña de azúcar, pudieran ser utilizados como combustible para cogeneración y como fertilizantes principalmente para el cultivo de la caña de azúcar. La vinaza resulta el principal efluente debido a su cantidad y características, las alternativas de tratamiento existentes permiten un aprovechamiento integral, reduciendo a cero el efluente industrial.

### Impactos en la Generación de Empleo

El desarrollo de una cadena de valor en los biocombustibles, etanol en este caso, presenta un gran potencial para la creación de oportunidades de trabajo y generación de empleo. La cantidad exacta de puestos de trabajo, así como la calidad de los empleos generados, dependerá en última instancia del patrón tecnológico adoptado, así como de la agroindustria base para la producción de materia prima, la demanda de mano de obra de los sistemas bioenergéticos es relativamente mayor a la de los sistemas de energías fósiles. Estudios realizados en Brasil señalan que en ese país la producción de etanol de caña de azúcar

## Jornadas Científico Tecnológicas

necesita alrededor de 20 horas-hombre por tonelada equivalente de petróleo, mientras que la industria petrolera convencional requiere 100 veces menos trabajadores, cerca de 0.2 horas-hombre para producir la misma cantidad de energía.

Otros estudios realizados en Brasil, sobre la calidad de los puestos de trabajo generados en el sector, se puede concluir que: aproximadamente el 30% de este total correspondía a trabajadores con capacitación específica (agricultura e industria); un 10% presentaban algún entrenamiento (conductores de tractores, por ejemplo), y un 60% eran de baja calificación (cortadores de caña, entre otros).

La estimación prospectiva del impacto en la generación de empleo se realizó con el criterio de captar las posibles soluciones tecnológicas que adoptarían los distintos productores (baja mecanización para pequeños y alta mecanización para medianos), en línea con lo observado en Brasil en los estudios de campo. La cantidad de trabajos directos se calculó entre 9.000 y 16.000 y los indirectos entre 30.000 y 50.000, según escala de la destilería, 300 kL/día y 750 kL/día respectivamente.

### El Circuito Integrado de Producción como Respuesta a los Problemas de Misiones

En el PTR 2009-2011 se realizó un diagnóstico en el cual los Consejos Locales Asesores del INTA señalaron un conjunto de problemas. El Circuito Integrado provocaría en el entramado socio-productivo de la potencial cuenca productora, adicionalmente al número de puestos de trabajo generados, el efecto de reforzar algunas de las oportunidades de potenciación del agro misionero, como por ejemplo:

- Implantación de una nueva cadena productiva y comercial y desarrollo de una actividad alternativa a las tradicionales en la Provincia
- Generación de un ámbito para el desarrollo de la asociatividad a partir de las actividades de capacitación desarrolladas por el INTA
- Encuadramiento de las actividades en el marco de los biocombustibles, los cuales no tienen impactos negativos en la percepción social
- Posibilidad de introducción de técnicas adecuadas de manejo de suelo, y promoción de la fertirrigación para elevar los rindes
- Revalorización del trabajo en el campo, y complementación mediante desarrollo de infraestructura específica con la colaboración del PROSAP
- Se viabilizaría el incremento del uso de alimentos balanceados y complementos alimenticios, producidos en el propio circuito integrado

## CONCLUSIONES

Sobre la elección del tipo de cultivo energético, en una fase temprana del estudio se descartó la alternativa de generación de electricidad con plantas C3 sobre la base de las necesidades energéticas, así como por su menor impacto potencial en la economía misionera, ya que la propia necesidad de superficie para el cultivo tendería a la promoción de grandes explotaciones, antes que favorecer las pequeñas y medianas.

## Jornadas Científico Tecnológicas

La conclusión general del estudio respecto al proyecto autónomo de la destilería de mayor escala señala que esta alternativa resulta ser la mejor decisión, tanto desde el punto de vista estrictamente económico, como respecto a la ambiental y en función de los efectos socioeconómicos positivos en la provincia de Misiones. Por otro lado, incluso en pequeña escala, la destilería resulta viable desde el punto de vista económico, incluso frente a escenarios volátiles en términos de precios de materias primas y de venta de combustible, y resistiría en cualquiera de sus escalas la provisión de etanol al costo de producción a las aeroderivadas en caso de que estas fuesen construidas.

El impacto potencial de la instalación de la destilería de etanol implicaría la generación de entre unos 40.000 a 73.000 puestos de trabajo, los cuales considerando las inversiones involucradas en cada escala de producción, implicarían un costo de generación de empleo en la agroindustria de entre 13.000 y 17.000 dólares por puesto de trabajo generado.

Un comentario final respecto al impacto en el SEP, en el año 2010, la energía facturada a los usuarios finales en la provincia de Misiones alcanzó los 1.374 GWh. El proyecto de destilería de 300.000 litros/día con autogeneración de 25 MW implica una generación que representa el 11% del consumo misionero actual, en cambio los proyectos de destilería de 750.000 litros/día con autogeneración de 60 MW y 80 MW, implican una generación anual que representaría el 26% y 38%, respectivamente de la energía anual consumida en el 2010. Este aporte sería equivalente a una generación de base, ya que la destilería estaría aportando los excedentes de energía eléctrica a los largo de la totalidad del ciclo productivo, diseñado para funcionar durante 340 días al año.

Por otra parte, los proyectos de las aeroderivada fueron evaluados bajo un esquema de despacho de 8.000 horas, alimentado con gas natural proveniente del gasoducto NOA/NEA y utilizando etanol durante 4 horas al día. En el caso del proyecto de aeroderivadas de 150 MW, la energía generada vado este esquema de despacho llegaría a representar el 87% de la energía consumida en el 2010. Finalmente cabe destacar que este proyecto permitiría optimizar el uso de la capacidad instalada de transporte del gasoducto, sobre todo en los primeros años de funcionamiento y hasta que se concretaran las obras de distribución en los principales aglomerados urbanos de Misiones.