

# LAS BIOELÉCTRICAS CAÑERAS EN EL CONTEXTO CUBANO

Por **Dr. C. Jorge T. Lodos Fernández\***

\* Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (Icidca), Carretera Central y Vía Blanca, Guanabacoa, La Habana, Cuba.  
E-mail: jorgelodos@ceniai.inf.cu

## Resumen

Se describen bioeléctricas existentes, y se discuten las características que apoyan definir una estrategia, como eficiencia, consumo de vapor en proceso, biomasa alternativas, capacidad en zafra y no zafra, costo de la biomasa, electricidad e inversión, entre otras. Se concluye que la Bioeléctrica debe valorarse económica y ecológicamente, que hay que maximizar la producción de electricidad operando a la mayor presión y temperatura posibles, con turbo-generadores de extracción-condensación, y que la disponibilidad de biomasa es decisiva, pues regula su capacidad, duración de operación y rentabilidad. El distribuidor tiene que asimilar el BiokWh en cualquier momento y sitio en que se produzca.

*Palabras clave: Biomasa, caña, cogeneración, energía.*

---

## SUGARCANE BIOPOWER PLANTS IN CUBAN REALITY

### Abstract

Existing Biopower Plants are described as its characteristics are discussed in order to support an strategy, based on efficiency, steam process consumption, existing biomasses, power capacity during sugarcane campaign and out of it, and biomass, power and investment costs, among other conditions. It is concluded that the Biopower Plant has to be evaluated economically and as an environment-friendly energy producer, electricity production has to be maximized with the highest possible pressure and temperature and extracting-condensing turbo generators. Biomass availability is fundamental because it regulates capacity, campaign extension and profitability of the Plant. Grid has to purchase BiokWh at any moment and site.

*Keywords: Biomass, cane, cogeneration, energy.*

---

### 1. Introducción

La caña de azúcar tiene una gran capacidad para convertir energía solar en biomasa y es una de las más prometedoras fuentes de energía renovable disponibles por su magnitud [ISO, 2018]. El bagazo, que se obtiene en fábrica de azúcar y no disperso por el campo, se quema en calderas que producen vapor de agua con una presión de hasta 20-30 bar y una eficiencia del orden de 70 %. Para que este vapor pueda calentar, que es su objetivo «azucarero», hay que reducir su presión hasta 2-3 bar. Esto se hace en turbogeneradores baratos de «contrapresión», puesto que no hay vapor para condensar al utilizarse el total del mismo

(~50 % de la caña) en procesar los productos azucareros, y donde, simultáneamente, se produce electricidad, prácticamente sin costo [Rein, 2012].

Esta producción de vapor y electricidad tiene que ser balanceada con su consumo, o aparece bagazo sobrante, difícil de manejar por la fábrica y que puede afectar la producción de azúcar. Cuando se mejora la eficiencia termoeenergética, dentro de los límites de lo tradicional, se puede llegar a un índice de generación del orden de 40 kWh, con un consumo de 25-30 y una venta de hasta 10-15 kWh, por tonelada de caña procesada, apenas 50 % del potencial energético del bagazo.

Por otro lado, los distribuidores de electricidad la requieren todo el año (no solo en zafra), más en horario pico y menos de madrugada, pero a la fábrica de azúcar le «sobra» electricidad cuando la producción de azúcar lo permite y no cuando la demanda eléctrica la necesita. Si hubiese un comprador de toda la extra-electricidad que se produce a un precio razonable, se dan las condiciones para incrementar los parámetros de operación y la eficiencia del área energética de la fábrica de azúcar, y convertir al vapor y al bagazo sobrantes en más electricidad, deseablemente, durante todo el año [ISO, 2014].

Esta es la realidad cubana actual, pues el Sistema Electroenergético Nacional (SEN) puede asimilar BiokWh en cualquier momento y lugar, que balancea, por ejemplo, parando grupos electrógenos de capacidad similar distribuidos por todo el país. Por otro lado, independientemente de las coyunturas ocasionales nadie duda que el petróleo tenderá a agotarse, y que el cambio climático, cuyas consecuencias ya está viviendo la humanidad, hace más penoso sustituir los combustibles fósiles, en particular en la producción de electricidad, por renovables que no incrementen el efecto invernadero. Se han fortalecido las oportunidades para las bioeléctricas [Lodos, 2015], y consecuente con esto se ha decidido elevar la participación de la bioenergía cañera de 3 % actual, a 14 % en 2030.

El objetivo de este trabajo es analizar la experiencia existente y hacer propuestas de cómo adecuarla a las condiciones cubanas para maximizar la producción de bioelectricidad.

### 2. Materiales y métodos

Los materiales utilizados son bibliográficos, es decir, el análisis realizado y sus resultados están basados en el estudio de las Bioeléctricas existentes que utilizan biomasa de caña de azúcar, al menos en zafra, y de las ofertas más recientes de las mismas.

### 3. Resultados y discusión

Evidentemente, para producir más electricidad en una fábrica de azúcar, ya agotadas las posibilidades tradicionales, habría que utilizar calderas con la mayor eficiencia posible (más vapor por tonelada de biomasa), trabajar a la mayor presión y temperatura posibles (más electricidad por tonelada de vapor), reducir el consumo de vapor de proceso lo más posible (más vapor para condensar), utilizar turbogeneradores de extracción-condensación (para obtener más electricidad del vapor no utilizado en el proceso) y aprovechar la capacidad instalada (trabajar en no-zafra), elementos que se discutirán a continuación.

#### 3.1. Ejemplos de Bioeléctricas

**3.1.1. Islas Reunión y Mauricio.** Las primeras grandes Bioeléctricas anexas a centrales, de los noventa del siglo XX, con consumo de vapor en proceso menor de 40 %, presión superior a 80 bar y 520 °C, que queman bagazo y residuos de cosecha en zafra, y carbón en no-zafra, con 85 % de eficiencia y una inversión de 1 700 USD/kW [ISO, 2014].

**3.1.2. Bioeléctrica en desarrollo Jesús Rabí,** anexa a un Central que tendrá 4500 t/día de caña con destilería,

diseñada para 85 % de su capacidad en zafra (20 MW todo el año). La ingeniería básica se realizó previamente y se solicitó una planta completa para 62 bar, 500 °C y 85 % de eficiencia en la caldera, y un turbogenerador que extrae vapor a 2,8 bar. Se prevé trabajar 290 días, 180 en zafra y otros 86 con biomasa cañera y 24 con biomasa forestal. Entrega 75 kWh/t de caña en zafra y 100 GWh/año, con una inversión total de ~\$3000/kW (~1800 USD/kW en importación directa) [Gómez, 2012].

**3.1.3. Bioeléctrica Biopower,** empresa mixta anexa a un Central de 7000 t/día de caña, que llegará a 8300. Se licitó sin ingeniería básica previa, para que los licitantes maximizaran la producción de electricidad. Se diseñó para fuera de zafra y 100 % de la molida actual (85 % de la proyectada). La oferta ganadora fue de 85 bar, 520 °C y 85 % de eficiencia con dos calderas y un turbogenerador de 60 MW, que extrae vapor a 2,8 bar. Se prevé trabajar 290 días al año, 150 de zafra con bagazo apoyado con marabú, y 140 en no-zafra con marabú. En zafra entrega 110 kWh/t de caña y vende al SEN 350 GWh anuales, con una inversión total comparativa, de 2750 USD/kW [Macdonald, 2016].

En los últimos años se siguen construyendo Bioeléctricas anexas a centrales con 60-70 bar y hasta 520 °C, pero se ha incrementado la participación de Bioeléctricas de 80-90 y más bar y 520-540 °C, que ya es una tecnología constituida y predominante, operando con biomasa cañera en zafra y, como regla, completando el año con carbón. En la India, esta última opción es una obligación estatal [Lodos, 2015].

**3.2. La biomasa.** La biomasa natural de la Bioeléctrica es el bagazo que, sin embargo, no alcanza para todo el año, si no se reduce la potencia, lo que no es deseable porque contradice el objetivo de maximizarla. Cualquier residuo agrícola y forestal cercano puede ser aprovechado. Aun cuando sean «sobrantes» tienen un costo de recolección, transportación y preparación, en dinero y energía, que hay que considerar en el análisis. El marabú ocupa un lugar especial por su extensión y por la necesidad de limpiar los campos infestados, previo a la siembra de otros cultivos [Vidal, 2016]. Parece atractivo intercambiarlo por la limpieza del campo, cuyo costo, del orden de 25 USDd/t, se transferiría a la biomasa, que es el esquema de Biopower. Sin embargo, su disponibilidad se ha reducido por otros usos competitivos y no haber en cada Bioeléctrica. Otra opción es considerar la caña «energética» cubana, con el doble de fibra y bagazo, que crece en tierras no aptas para caña azucarera y se siembra, atiende y cosecha en no-zafra con equipos, tecnología y trabajadores existentes, extendiendo su uso. Puede picarse en trozos que se secan a la humedad del bagazo y se queman directamente sin que opere el Central, que era su principal desventaja [Campo-Zabala, 2006]. Otra opción son los cultivos energéticos, que debe desarrollar el Minagri, con plazos y precio por determinar. Si aun así la biomasa no fuese suficiente para completar el año, parecería necesario utilizar combustibles fósiles, que es lo usual internacionalmente. En este caso se logra un porcentaje predominante de energía renovable que sustituye importantes cantidades de combustibles fósiles. En

lo que se refiere al precio del bagazo con ~50 % de humedad, su promedio en Brasil es ~27 USD/t y, en la India 12-14. Cuando se intercambia por el vapor de proceso y la electricidad que necesita el Central, su precio expresado como el ingreso dejado de percibir es de unos 30-35 USD/t. Todo indica que un precio de ~30 USD/t (60 USD/t de biomasa seca) es satisfactorio para todos los participantes. Será necesario almacenar biomasa 3-4 días para garantizar la estabilidad de su suministro a la caldera. El almacenamiento del bagazo está técnicamente resuelto, aunque es complejo por su baja densidad (gran área), por el riesgo de incendio y por su manipulación, que incrementa las pérdidas. Su densidad a granel es ~0,1, que puede duplicarse si se empaca, quintuplicarse si se seca a 30 % de humedad y empaca o briquetea, y hasta decuplicarse si se seca al 10-15 % y se peletiza. Mientras más se seque y compacte, mayor densidad tendrá pero mayor será la inversión, el costo y el consumo de energía asociados. La experiencia existente es que empacar y briquetear son analizables, pero no peletizar, que es muy costoso y alto consumidor de energía [Lodos, 2015].

**3.3. La caldera.** Existen en operación centenares de calderas que convierten bagazo y otros combustibles en vapor con una eficiencia mayor de 85 %, por lo que los problemas vinculados al diseño del horno y a aprovechar el calor liberado, precalentando o secando, según corresponda, la biomasa, el agua o el aire que alimentan la caldera, aun para una mezcla de biomasa y carbón con diferente granulometría, humedad, peso específico etc., están resueltos. En cualquier caso, alcanzar una eficiencia de 85 % o más, trabajando con temperaturas en el rango de 480-540°C es normal, lo que se corresponde con producir 2,2-2,4 vapor/bagazo con 50 % de humedad [ISO, 2014]. La caldera debe diseñarse para quemar el 100 % del bagazo teórico a producir, aun cuando su promedio sea inferior, porque tiene que enfrentar momentos prolongados de 100 % de molienda. El criterio conservador azucarero probablemente reclame considerar el tener la caldera duplicada, «para garantizar la zafra», lo que técnica y económicamente no siempre se justifica. Es evidente que mientras mayor sea la presión de trabajo y la temperatura del vapor, mayor será la eficiencia de la caldera y la producción de electricidad. En los últimos 10 años se han sumado Bioeléctricas con más de 85 bar en decenas de fabricas de azúcar, por ejemplo, dos en los EE.UU. y tres en Tailandia (100-110 bar y 510 - 520 °C), siete en Guatemala, una en El Salvador y una en Cambodia (~110 bar y 540 °C) y más de 15 en la India con 87-125 bar y 515-540 °C. Aunque ya están disponibles calderas que queman en lecho fluidizado cualquier biomasa y tecnologías de gasificación y ciclo combinado que suministran 200-240 kWh/t de caña [Rein, 2012], no es de esperar que la conservadora industria azucarera sea pionera de estos desarrollos.

**3.4. El agua de alimentación de la caldera.** Bajo las condiciones anteriores de presión y temperatura, el agua de alimentación de la caldera tiene que tener calidad de ósmosis inversa, por lo que la desmineralización por intercambio iónico es insuficiente. Además, hay que obtener un

retorno de condensados del vapor de baja presión enviado a la fábrica de azúcar del orden de 90 %, que es la práctica existente y que es indispensable lograr. La calidad del condensado debe corresponderse con la calidad del vapor recibido.

**3.5. El turbo-generador.** Siempre que haya vapor sobrante, será indispensable disponer de un turbogenerador que lo condense. Este turbogenerador operará también durante la zafra. Entonces, el problema se reduce a cómo se suministra el vapor de proceso: 1. Un único turbogenerador de extracción-condensación, que trabaja todo el tiempo, con una extracción a proceso en zafra, o 2. Dos turbogeneradores especializados, uno de contrapresión que trabajará solo en zafra y otro de condensación que trabajará el tiempo que sea necesario. Esta última alternativa, probablemente, exija calderas asociadas a cada turbogenerador. El supuesto ahorro en los turbogeneradores especializados se pierde en la economía de escala, además de que se reduce la generación fuera de zafra. Es un esquema simple y natural al azucarero, que sigue operando con sus turbogeneradores de contrapresión, y asimila el vapor sobrante con un turbogenerador de condensación. Considera, además, que «garantiza mejor la zafra», porque ve duplicado los equipos, lo que ni técnica ni económicamente es cierto, pues no son intercambiables. Lo que sí es cierto, es que esta alternativa encarece la inversión unitaria, reduce la entrega de electricidad y cabría analizarla, si solo se va a operar en zafra.

**3.6. ¿Diseñar para zafra o para no zafra?** Cualquiera que sea la capacidad nominal que se desee, siempre habrá diferencias entre zafra y no zafra, porque en zafra se cogenera y una parte importante del vapor que se entrega al proceso sin llegar a condensarse, lo que no sucede fuera de zafra. Si el turbogenerador se diseña para no zafra, estará ~25 % sobredimensionado en zafra y las calderas trabajarán todo el tiempo con la misma capacidad: Es el caso de Biopower. Si el turbogenerador se diseña para zafra, trabajará todo el tiempo con la misma potencia y las calderas estarán sobredimensionadas y consumirán 25 % menos de biomasa fuera de zafra: Es el caso de Rabí. Un elemento adicional a tomar en cuenta es que es más fácil operar la caldera a menor capacidad que el turbogenerador. Para una cantidad fija de biomasa, la electricidad que se producirá en ambas variantes es similar, pero en el diseño para zafra la campaña fuera de zafra es más larga con menos días para incrementar producción, si aparece más biocombustible. Siempre que exista esa posibilidad parece más conveniente diseñar para no-zafra. Cuando hay limitaciones importantes en la disponibilidad de biomasa, que no se resolverán en un plazo razonable de tiempo, probablemente es mejor diseñar para zafra. Desde el punto de vista económico, la inversión, cuando se diseña para no zafra, será hasta 5 % mayor, pero el costo de operación se reduce y, al extenderse la campaña eléctrica, la extra electricidad producida es capaz de compensar este incremento.

**3.7. El tiempo de operación.** Para maximizar la producción de electricidad, utilizar y recuperar plenamente la

inversión, e ir al encuentro de los distribuidores de electricidad, es necesario operar la Bioeléctrica todo el año con biomasa o, inclusive parte del tiempo con combustible fósil. Esto, como se mencionó, no debe descartarse, inclusive, es lo más utilizado en la mayoría de las Bioeléctricas en operación, en las que, de todas formas, casi la mitad de la energía producida es renovable, lo que no deja de ser un importante logro.

**3.8. El consumo de vapor en proceso.** Este es el principal «ladrón» de electricidad de la Bioeléctrica. Actualmente, todo el vapor se utiliza en el proceso con un índice de consumo de ~50 % de la caña molida. Este indicador en los líderes de la industria de azúcar de remolacha es inferior a 30 %. Lo más importante para vender más electricidad al SEN en zafra, es reducir el consumo de vapor del proceso azucarero a los alrededores de 40 %. Esto puede lograrse con una inversión media que no puede descartarse que sea financiada «a fondo perdido» por la Bioeléctrica, si la extra-producción de electricidad debida al ahorro la compensa adecuadamente. Cada tonelada de vapor al proceso que no pueda bajar de ~2 bar a condensación, deja de producir unos 120 kWh.

**3.9. El medioambiente.** La razón fundamental de producir bioenergía renovable es no incrementar el CO<sub>2</sub> atmosférico, pues se devuelve el que la caña absorbió al crecer. Cada BioMWh vendido salva ~ 0,8 toneladas de «créditos de carbón». Esto frecuentemente, es retórico y el análisis se basa en resultados económicos vinculados al precio del kWh y al ahorro de combustible fósil en las Termoeléctricas. Sin embargo, su importancia para el entorno justifica premiarlo, por ejemplo, con donaciones y ventajas fiscales.

**3.10. La Inversión.** Frecuentemente se confunde el valor de la inversión con el costo de los equipos principales o de una «planta completa», que no incluye el terreno, la construcción y montaje y gran parte de la documentación técnica, o solo se considera el valor de lo importado. La inversión para una Bioeléctrica todo incluido, es ~\$2800/kW de potencia instalada (~3 200 USD/kW de potencia vendida) y los ejemplos existentes en Cuba lo confirman. Estos valores son inferiores al fotovoltaico, con una inversión

por kW vendido del orden de 5 000 USD [Stolik, 2018]. Para recuperar esa importante inversión hay que operar todo el año, que es también interés del SEN. En general, se necesitan 2-3 años de gracia, mientras se negocia, diseña y construye la Bioeléctrica, y cinco o seis años más para reembolsar el financiamiento y recuperar la inversión. Aunque el precio del kWh es el elemento fundamental para el reembolso, el valor del combustible fósil ahorrado es otro elemento a considerar. También debería considerarse económicamente su efecto positivo sobre el medioambiente. El resto de las condiciones del préstamo, como su costo y garantías, son una parte decisiva de las discusiones que hacen viable al negocio. Lo que en una empresa cubana es un ejercicio enmascarado por la existencia de la doble moneda, en una empresa mixta es la razón de su existencia, y un costo del dinero algo más elevado o la ausencia de una garantía apropiada, pueden hacer fracasar al negocio.

**3.11. El costo/precio del BiokWh.** El costo total de operación del BiokWh es ~4 ¢/kWh (casi seis en zafra y menos de tres en no-zafra). El precio asciende a 10 ¢/kWh (necesario para reembolsar la deuda y su interés) y a 15, para recuperar también la inversión. Posteriormente puede descender a 10 ¢/kWh de nuevo [Macdonald, 2016], compatibles con los del kWh fotovoltaico [Stolik, 2018].

**3.12. El índice de generación.** La experiencia real de la industria azucarera aparece en la tabla. Se aprecia claramente que, dentro del esquema tradicional, es posible vender electricidad y el bagazo sobrante empieza a ser un problema. Cuando se instalan calderas de alta presión, temperatura y eficiencia, y turbogeneradores de extracción-condensación, el índice de generación crece significativamente (nuevo esquema).

#### 4. Conclusiones

La disponibilidad de biomasa regula la capacidad y rentabilidad de la Bioeléctrica. Hay que evaluar la caña energética y el marabú.

Debe tenderse a presiones y temperaturas superiores a los 80 bar y 520 °C, que es una tecnología ya generalizada, que multiplica el índice de generación actual.

Tabla 1: Índice de generación para diferentes esquemas

Bar/t°C	kWh/t caña	Comentarios y venta de kWh/t caña	
		En zafra	En no-zafra
10 /~200 °C	<20	Esquema tradicional: compra	0
18/~300 °C	~25	Esquema tradicional: balanceado	0
28/~350 °C	~40	Esquema tradicional (centrales «nuevos»): Vende 10, bagazo sobrante es problema	0
60-70/<520 °C	~100	Nuevo esquema: Vende ~75	Vende ~95
80-100/>520 °C	~175	Nuevo esquema: Vende ~90	Vende ~150

Se beneficia el medioambiente con energía que no incrementa el efecto invernadero.

Se beneficia la fábrica de azúcar con más garantía de estabilidad en su operación y menor costo del área energética que libera los equipos existentes para otros usos.

Se beneficia el SEN que adquiere electricidad a un precio inferior a su costo evitado y no tiene que realizar una importante inversión en termo-generación

La principal reserva para incrementar la generación es reducir el consumo de vapor del proceso a ~40 % y extender la zafra.

## 5. Referencias bibliográficas

- CAMPO-ZABALA, R. (2006). «Caña energética cubana (*Saccharum spp*) y sus perspectivas para la producción de Biomasa», en Memorias del IX Congreso Latinoamericano de Botánica, República Dominicana, 19-25 de junio.
- GÓMEZ, R. (2012). «Condiciones generales de licitación del Proyecto Planta Bioeléctrica 20 MW UEB Central Jesús Rabí». Azuimport, 6 páginas.
- INTERNATIONAL SUGAR ORGANIZATION ISO (2014). «Outlook for Co-generation in Cane Sugar Industries», MECAS (14)17, 38 páginas.
- INTERNATIONAL SUGAR ORGANIZATION ISO (2018). *Sugar Year Book*. ISBN 978-92-990045-9-3.
- LODOS, J. (2015). «La estrategia de desarrollo de Bioeléctricas dos años después: 2013-2015, Memorias de Diversificación 2015, Sección Energía». 4 páginas.
- MACDONALD, A. (2016). «Anexo II de la Resolución 224/2014 del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente». 36 páginas.
- REIN, P. (2012). *Ingeniería de la caña de azúcar*, 1ª edición en español. ISBN 978-3-87040-142-9. Verlag Dr. Albert Bartens KG, Berlín, Alemania.
- STOLIK, D. (2018). «Ventajas y desventajas de la energía fotovoltaica». En *Energía y Tú*. No. 82, abril-junio, pág. 9.
- VIDAL, A. ET AL. (2015). «Inventario para el aprovechamiento de las áreas cubiertas de marabú del municipio Carlos Manuel de Céspedes, Camagüey». 46 páginas.