

ESTRATEGIA PARA SUMINISTRAR ENERGÍA RENOVABLE TODO EL AÑO A PAÍSES CAÑEROS

Por **Dr. C. Jorge Lodos Fernández***, **Dra. C. Elena Vigil Santos**** e **Ing. Ricardo Campo Zabala*****

* Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), Carretera Central y Vía Blanca, Guanabacoa, La Habana.

E-mail: jorgelodos@ceniai.inf.cu

** Facultad de Física, Universidad de La Habana, Colina Universitaria, Vedado, Plaza, La Habana 10 400, Cuba.

E-mail: evigil@fisica.uh.cu

*** Filial La Habana, Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba (ATAC), Calle 19, No. 9, entre N y O, Vedado, La Habana 4, Código Postal 10400.

E-mail: camposabala@gmail.com

Resumen

En 27 países de Latinoamérica y el Caribe existen Centrales que procesan 1 500 MMTM anuales de caña y producen 450 MMTM de bagazo. El Central, quemando bagazo, cubre sus necesidades de vapor (calor) y electricidad con baja eficiencia y solo durante la zafra. Esto no atrae a distribuidores de electricidad que la compren a un precio adecuado y el Central no invierte para mejorar su eficiencia energética ni producir energía todo el año.

Se propone considerar la caña de alta fibra como «energética» y utilizarla como combustible después de zafra, quemándola entera sin pasarla por el Central, para evitar operarlo todo el año. Esto permite construir nuevas bioeléctricas de alta eficiencia con tecnología existente, que producirían sesenta y cinco veces más electricidad, venderían a la Red 470 000 GWh, salvarían 350 MMTM de «Créditos de carbón» y sustituirían 100 MMTM de combustible fósil anualmente. Las emisiones tendrían considerablemente menos óxidos de nitrógeno y de azufre que las de los combustibles fósiles.

Se reduce el costo del azúcar, se convierte en permanente el empleo temporal del equipamiento, la tecnología y los trabajadores agrícolas y energéticos, y se minimizan las pérdidas de electricidad por transmisión y distribución. El balance de divisas mejora al sustituir combustibles fósiles importados por locales.

Palabras clave: biomasa, caña de azúcar, caña energética y energía renovable.

STRATEGY TO SUPPLY ALL-YEAR ROUND RENEWABLE ENERGY TO SUGARCANE COUNTRIES

Abstract

There are sugar mills in 27 Latin American and Caribbean countries that process 1500 million tons of sugar cane per year and produce 450 million tons of bagasse. Bagasse is the fuel the sugar mills use to cover their heat and power needs. Power is produced with low efficiency and during sugarcane season only. Therefore, electricity distributors are not attracted to buy it at a good price and, as a consequence, sugar mills are not interested in investing to improve power efficiency and to produce it all year round.

It is proposed to consider high-fiber cane as «energy» cane to be used as fuel out of the sugar season and to be burnt whole, without extracting its juice, to avoid mill work out of season. New Biopower Plants could be built with up-to-date existing technology and high efficiency that allow 65 times more electricity and sell 470 000 GWh to the grid. The electricity potentially substitutes 100 million tons of fossil fuel and saves 350 million tons of carbon credits every year. Emissions will contain far less nitrogen and sulfur oxides than the ones from fossil fuels.

Sugar mills will reduce sugar cost. Temporal use of existing agricultural equipment, technology and workers would be extended to the whole year. Project minimizes transmission and distribution losses. Hard currency country balance will be improved with the substitution of imported fuel by local ones.

Keywords: biomass, sugarcane, energy cane, renewable energy.

1. Introducción

La industria del azúcar de caña en Latinoamérica y el Caribe comprende unas 600 fábricas en 27 países. Se procesan anualmente unos 1500 millones de toneladas métricas (MMTM) de caña para producir 70-80 MMTM de azúcar, 40-50 MMTM de alcohol [International Sugar Organization, 2018] y unas 450 MMTM de bagazo, la biomasa que queda al extraer el jugo de la caña. El bagazo es la fuente de vapor (calor) y electricidad del proceso, por lo que todas las fábricas tienen un área energética [Rein, 2012] (Tabla 1).

La potencialidad energética del bagazo es superior a la energía real que genera en la inmensa mayoría de las fábricas de azúcar de la región. Esto se debe a que, como regla, no hay compradores para la extra-electricidad, porque la industria azucarera es:

1. Cíclica (trabaja medio año y no puede sustituir capacidades de Termoeléctricas), y
2. Continua (no puede adaptarse a picos eléctricos o caídas de demanda).

Debido a esto, los distribuidores de electricidad no la consideran como un aliado estratégico y solo están dispuestos a pagar por el poco kWh «cañero», que eventualmente se produce, 5-6 centavos. Esto hace que la industria produzca solo la energía que consume durante la campaña

azucarera, teniendo como objetivo el no tener que comprar electricidad externa. Así, en la caldera solo se produce el vapor que requiere el proceso (se trabaja con baja eficiencia), o habría que desechar bagazo, cuya manipulación y almacenamiento son complejos, generan gastos y peligro de incendio. En el turbogenerador de contrapresión, de menor precio y que no condensa, se reduce la presión del vapor de la caldera y se genera vapor de calentamiento y la electricidad que consume el proceso. Si «sobra» alguna electricidad, puede venderse a cualquier precio, pues su costo está incluido en el del azúcar. Las bioeléctricas asociadas a fábricas de azúcar de caña, de alta eficiencia y que trabajan todo el año, lo hacen con bagazo en la campaña azucarera y, el resto del año, generalmente con carbón, como en Guatemala y la India, por ejemplo [International Sugar Organization, 2014]. La inversión es atractiva a costa de producir energía no renovable alrededor de 50 % del tiempo. No existe una estrategia para superar esta situación, aprovechar la energía total que contiene el bagazo y extender la producción de electricidad renovable a todo el año, en forma económicamente atractiva [International Council of Science ICSU, 2014].

El objetivo de este trabajo es formular una estrategia para utilizar variedades de caña y tecnologías de combustión conocidas, que permitan aprovechar el contenido energético del bagazo durante la zafra y producir energía renovable y rentable todo el año.

Tabla 1. Potencial energético ilustrativo de la caña en la región

Indicador	Campaña usual		Campaña adicional	
Extensión	~150 días		~150 días	
Caña	Azucarera		Energética	
Consumo, toneladas	1 500 000 000		750 000 000	
Indicador	Actual	Futuro	Actual	Futuro
Potencia instalada, MW	14 000	90 000	0	90 000
MW térmicos para proceso	25 000	20 000	0	0
MW eléctricos para proceso	12 000	10 000	1500	1500
MW para autoconsumo	0	9000	0	9000
MW para vender	2000	51 000	0	79 500
Venta, GWh	7200	183 600	0	286 200
Venta total anual	7200 GWh (actual) y 469 800 GWh (futuro)			

^a Algunas Bioeléctricas operan todo el año con bagazo comprado y carbón.

^b La fábrica de azúcar compra esta electricidad a la Red.

3. La estrategia energética

En los últimos 20 años se han dedicado importantes esfuerzos a desarrollar variedades de caña con alto contenido de fibra para la producción de derivados. Esta caña tiene el doble de fibra y bagazo que las variedades de caña azucareras, se acerca a las variedades originales y, correspondientemente, tiene menos jugo y azúcar, requiere menos atenciones culturales y crece en suelos más pobres, con rendimientos similares y una mayor eficiencia en la conversión de la radiación solar. Aun cuando en algunos casos se les ha llamado «energéticas», el término se relaciona más con la producción de alcohol a partir de su fibra (celulosa), sustituyendo alimentos como materia prima, que a la producción de energía en sí [Matsuoka *et al.*, 2014, y Carvalho-Netto *et al.*, 2014]. Cuando se ha sugerido utilizarlas para apoyar la generación de vapor en el proceso azucarero, siempre se procesa en la fábrica de azúcar y se utiliza su bagazo como un combustible eventual, añadido para compensar desbalances [Campo-Zabala, 2006].

La estrategia que se propone prevé considerar la caña de alto contenido de fibra como «energética» para producir electricidad y convertir las áreas energéticas de las fábricas de azúcar en «Bioeléctricas», con altos parámetros de operación y eficiencia; que trabajen con bagazo cuando procesan caña «azucarera», y quemem directamente caña «energética» el resto del año, lo que es totalmente novedoso. La estrategia debe considerar, para que sea viable: 1. Gestionar la caña energética, 2. Disponer de más vapor para producir electricidad, 3. Introducir turbogeneradores de extracción-condensación, 4. Evaluar técnico-económicamente los resultados y 5. El impacto medioambiental [Lodos, J., 2015].

4. Gestionar la caña energética

Las variedades existentes de caña de alto contenido de fibra se evaluarán como «energéticas» y se adaptarán a las condiciones de suelos y clima de los sitios del Caribe y del continente americano donde crece la caña de azúcar. Como resultado, se propondrán sistemas para la extensión de las variedades con recomendaciones para la preparación del suelo, siembra, cultivo, irrigación, drenaje, fertilización, protección, cosecha y manipulación de las mismas. Aunque la caña cosechada en los sitios puede servir de semilla para su extensión, su cantidad será insuficiente. Por ello, se gestionará la instalación de «Bio-fábricas», como la existente en Cuba, para suministrar masivamente vitro-plántulas vigorosas libres de patógenos. El precio de la caña energética pudiera ser similar al de la caña azucarera, aun cuando su costo será inferior.

5. Disponer de más vapor para producir electricidad

Elevar la eficiencia de generación de la caldera de ~70 % actual a más de 85 % con tecnología conocida, y reducir el consumo del proceso de ~50 % actual a ~40 %, sin grandes inversiones, aporta 50 % de vapor sobrante para producir electricidad. El diseño del horno para quemar directamente «briquetas» de caña energética evita:

1. Procesar caña energética en la fábrica fuera de zafra limitando su mantenimiento.

2. Producir «miel» de poca pureza con precio incierto que no compensa su costo.
3. Gastar energía en extraer, procesar y concentrar el jugo de la caña energética.

Habría que estudiar la cinética de secado de las briquetas que entregan las cosechadoras y las condiciones de su almacenamiento. Las pruebas preliminares indican que almacenarla una semana baja su humedad de 65 % a 50 %, que es la del bagazo.

6. Introducir turbogeneradores de extracción-condensación

El 50 % de vapor sobrante mencionado es capaz de producir hasta 25 % más de electricidad al condensarse. Por ello hay que sustituir los turbogeneradores de contrapresión por los de extracción-condensación, que condensan el vapor que no va a proceso. Son más caros, pero su costo se paga con la extra-electricidad que producen.

7. Evaluar técnico-económicamente los resultados

Cuando llegue el momento de implementar los resultados de la estrategia, se necesitarán tres importantes financiamientos para: 1. Extender la caña energética, 2. Construir las Bioeléctricas y 3. Enfrentar las inversiones inducidas [Macdonald, A., 2016].

7.1. Extender la caña energética

Durante la campaña con caña energética, en la región se procesarían 750 MMTM de ella, previamente sembrada en 11,5 MM de nuevas hectáreas, aunque en suelos de menor exigencia de riego y fertilización. La extensión de las nuevas variedades energéticas exigirá un financiamiento de unos 20 000 MMUSD, que se recuperarían vendiendo la caña energética a la Bioeléctrica, a un precio similar al de la caña azucarera.

7.2. Construir las Bioeléctricas

El índice de inversión de la Bioeléctrica como expansión del área energética de la fábrica, estará entre 1300 y 1500 USD/kW de potencia instalada. Algunas facilidades podrán ser utilizadas, y las calderas y turbo generadores existentes se venderán como equipos de segunda mano. La inversión en la Bioeléctrica será de unos 120 000 MMUSD, que se recuperarían con la venta de la electricidad.

7.3. Inversiones inducidas

Incluyen la construcción de Bio-fábricas con un costo de ~1 MMUSD cada una, que se recupera con la venta de vitro-plantas, la reducción del consumo de vapor y electricidad de la fábrica de azúcar y la conexión a la Red eléctrica, por ~5 MMUSD cada una, para un total de ~6000 MMUSD, que se recuperarán con la venta de la electricidad.

7.4. Resultados

El costo y el ingreso ilustrativos asociados a la producción de electricidad en una Bioeléctrica de 90 MW asociada a una fábrica de azúcar de 10 000 toneladas de caña diarias de capacidad, aparecen en la tabla 2. El negocio se hace atractivo para un precio de 9,0 centavos por kWh,

inferior al que actualmente pagan los distribuidores de electricidad en las Bioeléctricas existentes [International Sugar Organization, 2014] y comparable con el del kWh fotovoltaico [Stolik, 2018]. Además, pudiera gestionarse una reducción fiscal de impuestos, al menos mientras se reembolsa el préstamo.

La Estrategia pudiera aplicarse en cada sitio en tres a cinco años, compatible con el desarrollo de la caña energética y la construcción de las Bioeléctricas. La inversión de 120 MMUSD se ejecuta en 24 meses, con 25 % de capital social (30 MMUSD), 75 % de deuda (90 MMUSD), 5 % de interés y siete años de reembolso, logrables en inversiones para utilidades. Bajo estas condiciones, la inversión se recupera en siete años, con una tasa interna de retorno del orden de 15 %. Ya constituida la Bioeléctrica, los ingresos por venta de electricidad serán del mismo orden de magnitud que los ingresos por la venta del azúcar y alcohol, convirtiendo a la fábrica de azúcar de caña en una real e importante productora de alimento y energía.

Se abriría un nuevo y muy importante frente de negocios con oportunidades para inversores, financistas, agencias del medioambiente, empresarios cañeros y azucareros, distribuidores de electricidad, suministradores de

ingeniería y de equipos agrícolas y energéticos, ejecutores de proyectos «llave en mano» (EPC), operadores y administradores de plantas (O&M), con una magnitud del orden de 150 000 MMUSD.

Otras ventajas serían convertir en permanente el empleo de equipos, tecnología y trabajadores agrícolas, utilizar la experiencia existente en operación de áreas energéticas e incorporar tierras ociosas de baja calidad, a la producción. La comunidad se beneficiaría, además, por el acceso a electricidad a bajo costo. También mejorará el balance de divisas de cada país al sustituir combustibles fósiles importados por combustibles locales.

Para extender la caña energética y definir la reducción de su humedad durante el almacenaje según sus condiciones climáticas, se pueden utilizar las Estaciones Cañeras existentes en la mayoría de los países del área. La adecuación del horno de la caldera a quemar bagazo y caña energética eficientemente, tiene que ser coordinada con los fabricantes de calderas, que deben asumir su costo ante las perspectivas de negocios que les abre la estrategia. Todo esto se facilita en la región porque se trata de mejorar fábricas existentes, donde las diferencias entre países, idiomas y culturas ya fueron superadas.

Tabla 2. Indicadores ilustrativos de una Bioeléctrica de 90 MW, anexa a una fábrica de azúcar de 10 000 t de caña/día de capacidad

Indicador	Unidades	Año 3	Año 9	Año 10
Caña energética	25 U\$/t por 675 000 t	16 875,0	16 875,0	16 875,0
Salario medio	20 000 U\$/año, 50 trabajadores	1000,0	1000,0	1000,0
Mantenimiento	1-5 % anual de la inversión	1200,0	3600,0	6000,0
Insumos	~5 % del costo	1100,0	1300,0	1500,0
Agua	0.20 U\$/m ³ por 200 m ³ /hora	300,0	300,0	300,0
Otros gastos	~5 % del costo	1100,0	1300,0	1500,0
Costo de operación		21 575,0	24 375,0	27 175,0
Ventas	90 U\$/MWh 470 GWh	42 300,0	42 300,0	42 300,0
Ganancia bruta, mil U\$		20 725,0	17 925,0	15 125,0
Ganancia retenida para pago de deuda, mil U\$		17 400,0	13 230,0	0,0
Ganancia antes de impuestos, mil U\$		3325,0	4695,0	15 125,0
Impuesto sobre la ganancia, 25 %, mil U\$		831,3	1173,7	3781,3
Dividendos. Mil U\$		3241,7	3521,3	11 343,7
Intereses	5 % de la deuda, mil U\$	4500,0	630,0	0
Reembolso	Mil U\$/año	12 900,0	12 600,1	0

8. El impacto medioambiental

La electricidad vendida salvaría unos 350 MMTM de «Créditos de carbón» y sustituiría 100 MMTM de combustible fósil. El humo tendrá menos hollín y menos óxidos de nitrógeno y azufre que en las Termoeléctricas. Mejorar el acceso a energía distribuida de bajo costo en las poblaciones rurales, las más vulnerables y de menor consumo en la región, contribuye al concepto de «energía sostenible para todos» y mejora su calidad de vida.

9. Conclusiones

Como resultado de la estrategia se dispondrá de caña energética para operar todo el año las bioeléctricas. La potencialidad de la región permitiría vender 470 000 GWh, salvar 350 MMTM de «Créditos de carbón» y sustituir 100 MMTM de combustible fósil. La Estrategia pudiera implementarse en cada sitio en tres a cinco años, compatible con el desarrollo de la caña energética y la construcción de las bioeléctricas. Se necesitarán 11,5 MMha de tierras de baja calidad para la caña energética, cuyo precio será similar al de la azucarera, y unos 150 000 MMUSD para sembrarla, construir las bioeléctricas y asumir las inversiones inducidas. La inversión se recupera en siete años con una TIR de 15 %.

10. Bibliografía

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.

- CARVALHO-NETTO, O. ET AL. (2014). «The potential of the energy cane as the main biomass crop for the cellulosic industry». *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 1:20.
- INTERNATIONAL COUNCIL OF SCIENCE ICSU (2014). «Committee On the way to the UNCCC COP 21: ICSU LAC Office contribution for the ICSU's position on Global Climate Change. Sustainable Energy for All». Annual Report.
- INTERNATIONAL SUGAR ORGANIZATION (2014). «Outlook for Co-generation in Cane Sugar Industries», MECAS (14)17, November.
- INTERNATIONAL SUGAR ORGANIZATION (2018). *2018 Sugar Year Book*. ISBN 978-92-990045-9-3.
- LODOS, J. (2015). «La estrategia de desarrollo de Bioeléctricas dos años después: 2013-2015», en Memorias de Diversificación 2015, Sección Energía. 4 páginas.
- MACDONALD, A. Y EQUIPO TÉCNICO DE LA EMPRESA MIXTA BIOPOWER S.A. (2016). «Anexo II de la Resolución 224/2014 del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente». 36 páginas.
- MATSUOKA, S., A. KENNEDY, E. DOS SANTOS, A. TOMAZELA Y L. RUBIO (2014). «Energy Cane: Its Concept, Development, Characteristics, and Prospects», *Advances in Botany*, Volume 2014, Article ID 597275.
- 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). «Energía fotovoltaica, autos y autobuses eléctricos». En revista *Energía y Tú*. No. 84, octubre-diciembre, pág. 16. La Habana: Ed. Cubasolar.