

## EVALUACIÓN PRELIMINAR DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL USO DE BIOMASA EN LAS FÁBRICAS DE AZÚCAR CUBANAS.

**Dr. Pedro Julio Villegas Aguilar<sup>1</sup>; Dr. Oscar Cruz Fonticiella<sup>1</sup>; Dr. Ángel Rubio González<sup>1</sup>;  
Ing. Bernardo Bucki Wasserman<sup>2</sup>; Ing. Félix Pérez Egusquiza<sup>3</sup>; Ing. Eugenio Bonnet<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Centro de Estudios de Energía y Tecnologías Ambientales (CEETA), Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, 54830, CUBA. Teléfono: 53 42 281194-Fax: 53 42 281608-Email: [pjva@uclv.edu.cu](mailto:pjva@uclv.edu.cu)

<sup>2</sup>Grupo de Estudios sobre Energía (GESE), Unidad Académica Confluencia. UTN. Plaza Huincul, 8318, Neuquén, ARGENTINA. Teléfono: 54 299 4963292 - Email: [ingbucki@speedv.com.ar](mailto:ingbucki@speedv.com.ar)

<sup>3</sup>Delegación Provincial del Ministerio de la Industria Azucarera en Villa Clara, CUBA. Teléfono: 53 42 202310 Email: [perfeccionamiento@delegacion.vc.minaz.cu](mailto:perfeccionamiento@delegacion.vc.minaz.cu)

<sup>4</sup>Centro de Estudios e Investigación de la Energía Solar (CEIES). Juan José Silva1246 – 3600. Formosa, ARGENTINA. Teléfono: 54 – 03717 – 15672050. Email: [cedesolar@yahoo.com.ar](mailto:cedesolar@yahoo.com.ar)

### RESUMEN

En este trabajo se aborda la factibilidad de la utilización de los residuos agrícolas cañeros (RAC), una fuente energética renovable hasta el momento poco utilizada, en lugar del habitualmente usado fuel oil, en la producción de energía para el funcionamiento de las centrales azucareras, en el proceso de obtención de azúcar, así como en refinado y producción de otros derivados. Estos recursos, específicamente RAC, permiten la producción de energía eléctrica, la cual además del abasto a la industria contribuye también de una manera importante a la red energética nacional. Además, se hace un análisis del costo de transporte de estos recursos. A todo esto se le suma, el efecto positivo sobre el medio ambiente que ejercen todos estos combustibles que permitirán hacer de Cuba uno de los destinos turísticos más importantes del Caribe y el mundo.

**Palabras claves:** caña de azúcar, energía eléctrica, recursos renovables, impacto ambiental

### I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo aborda el impacto ambiental de los combustibles fósiles en la producción de azúcar así como las características principales de la biomasa azucarera y residuos agrícolas cañeros (RAC), con vistas a su potencial uso como fuente de energía renovable no contaminante al medio ambiente, que permite la reserva de los escasos combustibles fósiles y naturales, además de mantener una estable producción de azúcar, la cual puede seguirse llevando a cabo, pues la misma reporta ganancias a la economía cubana si se aprovechan al máximo todos los productos colaterales de este proceso, además de mantener la cultura azucarera cubana, la cual ha caracterizado históricamente, siendo un símbolo de cubanía.

Partiendo de la hipótesis de que es posible usar los RAC como fuente de energía renovable, no contaminante al medio ambiente, con un nivel de eficiencia capaz de permitir el abastecimiento energético de las centrales azucareras durante la mayor parte del año en Cuba, pues la caña tiene posibilidades para sustituir los combustibles fósiles causantes de las lluvias ácidas, el efecto invernadero, entre otras consecuencias nocivas para la humanidad, y teniendo en cuenta que Cuba tiene potencial para producir gran parte de su energía a partir de la caña, siempre que se alcance un conocimiento y control sistemático de todos los aspectos que inciden sobre el empleo eficiente de éstos recursos, haciendo que el pueblo cubano y el turismo que visite la isla respiren una atmósfera más limpia a partir de una materia prima renovable.

### II. DESARROLLO

Teniendo en cuenta el marco circunstancial previamente definido, se mostrarán algunas de las bondades de los RAC en sustitución del petróleo combustible.

El sistema de cosecha de caña de azúcar en Cuba impone características muy importantes a los RAC. La caña es cortada en más de 70% mecanizadamente y las máquinas empleadas tienen una eficiencia de limpieza de la caña de algo más del 55%. Esto hace que quede en el campo más de la mitad de los RAC y que hacia las estaciones de limpieza neumáticas (EL) vaya algo menos del 50% (De Armas y González, 1986).

En estas instalaciones los RAC son separados de la caña y se acumulan en grandes plazoletas, donde son incineradas a la atmósfera sin utilidad alguna. Por otro lado la parte de la caña que es cortada manualmente, en casi su totalidad, es enviada a los Centros de Acopio (CA) que son instalaciones donde la caña se pica en pequeños trozos, limpiada neumáticamente y trasbordada a carros de ferrocarril. En estas instalaciones los RAC separados de la caña también son acumulados en grandes plazoletas e incinerados en su gran mayoría sin utilidad práctica.

Los CA y EL procesan alrededor de 680t/día de caña y producen de 35-40 t/día de RAC. En todo el país hay unas 915 estaciones de este tipo. Partiendo de estas características técnicas, es fácil razonar entonces que en la plazoleta de cada CA y EL se concentran e incineran entre 4000 y 6000 t de RAC en cada zafra.

## II.1. COMPARACIÓN ENTRE LOS RAC Y EL BAGAZO EN EL PROCESO DE COMBUSTIÓN

A continuación se expresarán algunos criterios comparativos los dos residuos fibrosos de la agroindustria azucarera, el bagazo y los RAC (Sinclair y Anderson, 1997):

- El bagazo tiene mayor calor de combustión (para humedad = 0%) dado sobre todo por tener los RAC mayor contenido de ceniza, sin embargo, como el bagazo se quema con cerca del 50% de humedad y los RAC tiene un proceso de secado natural (hasta aproximadamente un 20%) los RAC entregan mas energía por unidad de masa quemada.
- Los RAC introducen más cenizas en el horno, esto incrementa los residuos que hay que extraer y acorta los periodos de limpieza, recarga los sistemas de separación de sólidos volátiles e incrementa la contaminación ambiental por material particulado.
- En general las propiedades de los RAC son muy parecidas a las del bagazo y a muchas otras biomásas. Otra característica muy importante de los RAC es su densidad, pues esta decide extraordinariamente sobre su costo de transportación. En condiciones originales en las plataformas de los CA y EL los RAC presentan una densidad de 30-40 kg/m<sup>3</sup>, con aproximadamente 40% de humedad.

En la Tabla 1 se refleja la rentabilidad energética de RAC transportados a granel y sin procesar con una densidad (d) de 50 Kg/m<sup>3</sup>

**Tabla 1.** Rentabilidad energética de RAC transportados a granel y sin procesar con una d = 50 kg/m<sup>3</sup>.

Tipo de transporte	Índice de consumo	Masa de RAC transportada por unidad de (t)	Distancia recorrida	Relación energía obtenida / energía consumida en transporte
Locomotora diesel con 20 carros	0.00320galones/t.km	5.0	100	34/1
Locomotora de vapor con 20 carros	0.02895galones/t.km	5.0	100	3.7/1
Camión gasolina 6t	2.11km/litro	1.0	40	9.1/1
Camiones diesel 14t	2.70km/litro	2.3	40	30/1
Camión de diesel 7t	3.50km/litro	1.0	40	16/1
Camión de diesel con remolque de 20t	2.0km/litro	3.3	40	31/1
Tractor de diesel con dos carretas	20km/litro	3.0	4.0	284/1

## II.2. PERSPECTIVAS DE EMPLEO DE LOS RAC COMO COMBUSTIBLES EN CUBA

Las perspectivas para el incremento sostenido de los RAC como combustible en Cuba son amplias y se fundamentan en varios factores, entre ellos:

- La necesidad de reducir el consumo de fuel oil en las refinerías de azúcar y destilerías de alcohol anexas a centrales azucareras, usando los RAC como combustible complementario. Esta ampliamente demostrada la factibilidad económica y dominadas las diferentes variantes técnicas a emplear.
- El interés de muchas centrales de generar electricidad después de concluida la zafra, para lo cual necesitan como combustible, no solo el bagazo que puedan ahorrar sino todos los RAC que puedan almacenar.
- La decisión en el país de montar centrales termoeléctricas anexas a centrales azucareras que necesitaran un combustible complementario, que alternativamente pueden ser los RAC.
- La diversificación de la producción azucarera, planteada como estrategia maestra de la industria azucarera para las próximas décadas, reclamara combustible adicional para el funcionamiento de diferentes producciones y los RAC pueden indiscutiblemente ser una buena alternativa. Dentro de esta diversificación concebir la industria azucarera como una industria sucro-energética es muy atractiva (Llanes y Torres, 1994).

Otro elemento, que sí no de inmediato, en un futuro impulsará el empleo de los RAC como combustible, es su condición de biomasa renovable anual, que hace que su combustión no incremente el efecto invernadero, ni las lluvias ácidas y de hecho contribuye a la preservación del medio ambiente (Driscoll, 1994).

En Cuba y las pequeñas islas tropicales esto es obligado por:

- El fin de los combustibles fósiles
- El aumento de los precios como parte de ese proceso.
- Los incentivos o multas por el protocolo de Kyoto o similares.
- La necesidad de una atmósfera limpia en países que dependen del turismo.

La energía renovable es la única vía de garantizar un futuro prometedor, debido a que crea total independencia de los combustibles fósiles al garantizar la producción de electricidad (cogeneración) y con ello sustituye el petróleo, o de otro modo, la obtención de alcohol para mezclarlo con diesel y gasolina para minimizar la importación de éstos insumos, téngase en cuenta que 1 tonelada de caña equivale a 1.2 barriles de petróleo (Roque Díaz, 2004).

## II.3. IMPACTO AMBIENTAL. EMISIONES DE CO<sub>2</sub>

Un aspecto indisolublemente asociado a la energía es la contaminación ambiental que provoca, la cual constituye una de las causas de emisión de los gases del efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, CO), que provienen en gran medida de la amplia variedad de actividades asociadas a la obtención, transformación y utilización de la energía. Por otra parte la crisis del petróleo de 1973

contribuyó a fomentar a escala internacional la preocupación por el uso de la energía, lo que conduce, entre otras, a las siguientes propuestas:

- Necesidad del incremento en la productividad de los recursos, desarrollando bienes en forma sostenible o de productos ecoeficientes.
- Empleo de la innovación industrial como parte del desarrollo sostenible.
- Reducción en la intensidad del uso de los recursos, tomando en consideración el amplio potencial de reserva de que aún se dispone.
- Búsqueda de nuevas fuentes de energía que permitan ampliar su número y la utilización de los combustibles a base de biomasa y celdas solares.
- Empleo más eficiente de los portadores energéticos para la transportación.

Dentro de este panorama de indispensable incremento en la eficiencia en el uso de portadores energéticos y en la búsqueda de fuentes de energía alternativas, una de las ramas de la agricultura que resulta atractiva para este propósito es la agroindustria de la caña de azúcar atendiendo a que este cultivo brinda diversas alternativas para la obtención de energía de manera renovable y a la alta eficiencia de esta gramínea en la producción de biomasa a partir de la energía solar.

### II.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA OBTENCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Para evaluar el impacto ambiental de la obtención de energía de forma renovable a partir la caña de azúcar, puede utilizarse el siguiente conjunto de condiciones:

- $\Sigma$  residuos = 0
- $\Sigma$  energía  $\approx$  0
- $\Sigma$  CO<sub>2</sub> < 0
- $\Sigma$  combustibles fósiles  $\approx$  0

Para el análisis del cumplimiento de estas condiciones en el caso de la caña de azúcar, se seleccionó un esquema de producción de azúcar y energía eléctrica, cuyo impacto ambiental en términos de emisión-fijación de CO<sub>2</sub>, así como el balance de energía (entrega-demanda) se presenta y discute seguidamente.

#### II.3.1.1. FORMACIÓN DE BIOMASA EN LA CAÑA AZÚCAR

El nivel de fijación total de CO<sub>2</sub> durante la formación de la biomasa cañera, está dado por dos contribuciones: partes aéreas (tallos, cogollos, hojas) y raíces, en tanto su magnitud depende de la composición y del aporte a la biomasa total de la planta de cada una de las partes. Sin embargo, considerando la complejidad del proceso de fotosíntesis puede proponerse un modelo de primera aproximación para estimar la fijación de CO<sub>2</sub>, cuyas hipótesis son:

- La composición vegetativa de la caña en términos de materia seca es: 70% caña molible, 19% cogollo y paja y 11% raíces.
- La composición de las diferentes partes de la planta se considera homogénea.

#### II.3.1.2. EMISIONES DE CO<sub>2</sub>

Las operaciones del proceso de producción de azúcar seleccionado que provocan emisiones de CO<sub>2</sub> al medio ambiente, pueden agruparse en las categorías de impacto siguientes: las que representan un aporte neto al nivel de CO<sub>2</sub> en la atmósfera al provenir del empleo de combustibles fósiles como son la cosecha, transportación, fertilización y uso de plaguicidas y herbicidas, y las asociadas al proceso fabril azucarero, donde la fuente de energía es el bagazo y las emisiones de CO<sub>2</sub> están compensadas por la fijación del mismo por el cultivo. A continuación se presentan los resultados de ambas vertientes para el caso de estudio seleccionado.

##### II.3.1.2.1. EMISIONES DE CO<sub>2</sub> EN LA COSECHA

Una forma de cuantificar la contribución al nivel de CO<sub>2</sub> por esta causa, es determinar la cantidad de petróleo equivalente que requieren estas actividades lo que se muestra en la Tabla 2, y calcular cuánto representa en términos de emisión de CO<sub>2</sub> la combustión del petróleo cuya composición aproximada es: C: 85.7%; H: 10.5%; O: 0.92% y S: 2.8%. Si los índices porcentuales anteriores se dividen por el peso atómico respectivo (C: 12; H: 1; O: 16; S: 32) se obtiene la composición empírica de éste, a partir de la cual se puede establecer la siguiente ecuación de reacción, donde se aprecia que por cada kg de petróleo se emiten 7.14 kg de CO<sub>2</sub>. Esto puede expresarse según la ecuación (1) (Mesa, 1997).



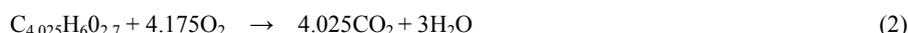
**Tabla 2.** Cantidad de petróleo equivalente (P<sub>eq</sub>) para las actividades de cosecha.

Actividad	Cantidad (kg/tm)	Valor calórico (MJ/kg)	P <sub>eq</sub> (kg)
Transportación y fertilización	6.0	39.7	6.0
Herbicidas y pesticidas	0.154	229.33	0.89

##### II. 3.1.2.2. EMISIONES DE CO<sub>2</sub> DURANTE EL PROCESO

El proceso que emite CO<sub>2</sub> en el esquema de producción de azúcar seleccionado es la combustión del bagazo en la caldera.

Mediante un procedimiento análogo al cálculo de la combustión del petróleo se obtiene para el bagazo la siguiente ecuación:



De lo anterior se obtiene que la cantidad de CO<sub>2</sub> emitido durante la combustión del bagazo sea de 0.885 kg de CO<sub>2</sub>/kg de con bagazo 50% humedad.

### 3.1.2.3. BALANCE DE CO<sub>2</sub> Y ENERGÍA

Una vez determinadas las cantidades de CO<sub>2</sub> emitidas y fijadas por cada una de las actividades del esquema seleccionado, corresponde evaluar el impacto ambiental de esta alternativa para la obtención energía renovable. (Cabello, 1988; Lois, 1988) Para esto se seleccionó un esquema de producción combinado y energía eléctrica cuyos resultados productivos, balance energético y de CO<sub>2</sub> son:

- Productos finales: azúcar 48 kg/tci y electricidad 9.8 kwh/tci.
- Se puede obtener una cierta cantidad de combustible líquido (alcohol) de forma renovable.
- Los residuales se utilizan como abono orgánico, lo cual elimina los residuos del proceso.
- Existe un excedente de 240 kg de RAC/tci, que puede destinarse a la generación de energía eléctrica o para la alimentación animal. Esta última variante tiene la ventaja adicional de que la alimentación animal no compete con la humana
- El balance de CO<sub>2</sub> es marcadamente ventajoso: fijación neta de 183.5 Nm<sup>3</sup>.
- El balance de energía de este esquema es favorable
- Es posible obtener por cada tonelada de caña integral una pequeña cantidad de energía eléctrica cogenerada.

## IV. CONCLUSIONES

- De acuerdo con los trabajos de investigación reportados, los RAC recolectados en Cuba presentan alrededor de los cuatro millones de toneladas disponibles cada año como combustible de adecuadas propiedades que podrían procesarse, de manera rentable, en varios tipos de instalaciones que existen en el país.
- El modelo para estimar la cantidad de CO<sub>2</sub> fijada por la caña de azúcar durante el proceso de biomasa permite obtener este índice en el esquema de producción seleccionado, el cual ilustra como el empleo de la caña de azúcar para obtener energía renovable es muy atractivo, atendiendo a que es posible alcanzar este objetivo con un balance favorable en los términos de reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente.

## V. REFERENCIAS

1. Cabello, A. Hacia una estrategia del uso de la caña para alimentación animal, Subproductos y Derivados de la Agroindustria Azucarera, pp :291-313, colección GEPLACEA, Serie diversificación, **1988**.
2. De Armas, C.; González, L. La caña de azúcar como fuente de energía, La Industria de los Derivados de la Caña de Azúcar, pp. 57-89, Editorial Científico-Técnica, La Habana, **1986**.
3. Driscoll, W. Combustibles para el futuro, *Facetas*, No. 130, pp. 76-78, enero de **1994**.
4. Llanes, J.; Torres, J. Caña de azúcar, ¿azúcar o energía? Hacia un sistema energético sustentable, *Memorias del Taller Económico Ambiental*, Kingston, Jamaica, **1994**.
5. Lois, J. Preparación, almacenamiento y conservación del bagazo para la industria de derivados, Subproductos y Derivados de la Agroindustria Azucarera, pp. 39-62, colección GEPLACEA, Serie diversificación, **1988**.
6. Mesa, J. La agroindustria azucarera dentro de un marco de Desarrollo Sostenible, *Tesis de Maestría en Economía*, Universidad de la Habana, **1997**.
7. Noa, H. Economía y desarrollo perspectivo de los derivados de la Caña de Azúcar, La Industria de los Derivados de la Caña de Azúcar, pp. 5-56, Editorial Científico-Técnica, La Habana, **1986**.
8. Roque Díaz, P. Realidades y perspectivas de la suroenergética cubana: estudio termoeconómico comparativo. *Memorias de la Conferencia Internacional de Ingeniería Mecánica – COMEC'2004*, organizada por la Universidad Central de Las Villas y la Universidad Otto von Guericke de Alemania en Santa Clara, Cuba, en noviembre del **2004**.
9. Sinclair, T. R.; Anderson, D. L. Factores limitantes de la producción de caña de azúcar (III). Potencial teórico de producción, *International Sugar Journal*, 59, 10, pp. 8-9, marzo de **1997**.

## ABSTRACT

This work is about the feasibility of the use of sugar cane agricultural residues (SCAR), a little used renewable energy source until the moment, in the production of energy for the operation of the sugar cane mills, instead of the habitually used fuel oil, in the process of sugar cane obtaining, as well as in refined and production of other sugar cane derivatives. These resources, specifically SCAR allows the production of electricity, which in addition to the industry supply, also contributes of an important way to the national power network. Besides, an analysis of the transportation cost of these resources is making. To all this the positive effect on the environment do all these fuels is added, that will allow making of Cuba one of the most important tourist destinies of Caribbean and world.

**Key words:** sugar cane, electricity, renewable resources, and environmental impact