

# ESTADO DEL ARTE EN LA COGENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN LA INDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR. PRIMEROS PASOS HACIA UNA INDUSTRIA SUCROENERGÉTICA

Ángel Rubio González\*, Pablo Roque Díaz,  
Centro de Estudio de Termoenergética Azucarera (CETA), UCLV;  
Félix Pérez Egusquiza,  
Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ), Filial Villa Clara.

Recibido: Enero/2006

Aprobado: Marzo/ 2006

En el presente trabajo se muestran los resultados de un estudio sobre el estado del arte en la cogeneración de electricidad con el empleo de la biomasa cañera como combustible. Se ha puesto énfasis en conocer la situación a nivel mundial y valorar las tecnologías empleadas, los costos inversionistas, las potencias alcanzadas y los parámetros del ciclo empleado. Se dan algunas consideraciones sobre la importancia y ventajas de la cogeneración en la industria de la caña de azúcar, y se valora el fenómeno mundial que está ocurriendo, que no es más que el hecho del surgimiento de una industria sucroenergética, a partir de la tradicional industria azucarera.

Palabras clave: Cogeneración, bagazo, biomasa, industria azucarera, energía.

## **STATE OF THE ART IN THE ELECTRICITY COGENERATION IN THE INDUSTRY OF THE CANE OF SUGAR. FIRST STEPS TOWARD AN INDUSTRY SUCROENERGETIC**

In the present paper the results of a study on the state of the art in the electricity cogeneration with the use of the sugar cane biomass as fuel are shown. It has put on emphasis in to know the international situation and to value the used technologies, the investment cost, the powers and the parameters of the used cycle. Some considerations on the importance and advantages of the cogeneration in the sugar cane industry are given, as well as, the fact that a sucroenergetic industry is starting from the traditional sugar industry.

Key words: Cogeneration, bagasse, biomass, sugar industry, energy.

### **INTRODUCCIÓN**

La situación energética que enfrenta el mundo de hoy no tiene comparación con nada de lo ocurrido en este aspecto en épocas pasadas. El

sobre-consumo de portadores energéticos fósiles y el pobre empleo relativo –de acuerdo a sus potenciales– de las fuentes renovables de energía, ha conducido al mundo a una situación energética insostenible. Los frecuentes aumentos del precio

\* Centro de Estudio de Termoenergética Azucarera (CETA), Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Carr. a Camajuaní, km 5 1/2, Santa Clara, CP 54830, Cuba.

Telef: +53 42 281194; Fax: +53 42 281608; E-mail: [arubio@uclv.edu.cu](mailto:arubio@uclv.edu.cu); [proque@uclv.edu.cu](mailto:proque@uclv.edu.cu)

## INTRODUCCIÓN

La situación energética que enfrenta el mundo de hoy no tiene comparación con nada de lo ocurrido en este aspecto en épocas pasadas. El sobre-consumo de portadores energéticos fósiles y el pobre empleo relativo —de acuerdo a sus potenciales— de las fuentes renovables de energía, ha conducido al mundo a una situación energética insostenible. Los frecuentes aumentos del precio del petróleo no son más que un reflejo de este fenómeno y no su causa como algunos pretenden hacer ver. La única alternativa real de solución es el empleo de las fuentes renovables de energía.

Las fuentes renovables de energía son diversas: solar, eólica, hidráulica, marina y la energía química de la biomasa. En la actualidad, resultan competitivas con las fuentes no renovables a nivel de sistemas eléctricos de potencia: la eólica, la hidráulica y la energía química de la biomasa. En el caso de la biomasa, cuyos orígenes son muy diversos, las más prometedoras, por su magnitud a nivel mundial, son las de origen forestal y las de origen en la caña de azúcar. En el concepto de biomasa procedente de la caña de azúcar se incluye su bagazo (fibra), sus residuos agrícolas (principalmente hojas), otros residuos industriales y la propia azúcar, todos estos componentes con una cierta humedad y contenido de sales (cenizas).

## DESARROLLO

### **La cogeneración en la industria de la caña de azúcar**

El concepto de cogeneración de calor y potencia eléctrica o mecánica, tradicionalmente utilizado, se limitaba al hecho de, en una misma instalación industrial, producir el calor y la potencia eléctrica o mecánica que se necesita en ella. Hoy día, el término cogeneración ha sumado una nueva acepción, siendo esta la idea de producir en una instalación industrial —no prevista originalmente en lo fundamental para estos fines— electricidad y calor para su comercialización en un sistema externo. Es con este concepto que se han desarrollado en la actualidad un gran número de proyectos para la cogeneración en la industria

azucarera a nivel mundial, empleando la biomasa cañera como combustible.

La combinación de los bajos precios actuales del azúcar con los altos precios del petróleo y, por ende, de la energía generada con él, ha creado una situación en la cual las posibles ganancias por la venta de electricidad están en un orden similar a las de la venta del azúcar; y si a esto se añade la real posibilidad de la producción de alcohol con fines de uso como combustible en el transporte, no es difícil reconocer que el empleo de la biomasa con origen en la caña de azúcar; para la formación de una industria eminentemente energética —y que ya está siendo reconocida bajo el nombre de industria sucroenergética— es una posibilidad real, tanto desde el punto de vista técnico como económico.<sup>24, 23</sup> En muchos países (India, Brasil, Sudáfrica y otros) se discuten o se dispone ya de marcos regulatorios y de estimulación para la cogeneración y Tarifas de compra-venta para la electricidad cogenerada.<sup>17</sup>

Los proyectos de cogeneración en la industria azucarera suman otras dos ventajas. Primera, el hecho de que al ser instalaciones diseminadas en diferentes puntos de la geografía, permiten la creación de un sistema eléctrico con generación distribuida, lo que es muy ventajoso por disminuir las pérdidas en la distribución de la energía y dar más fiabilidad al sistema en caso de desastres naturales o ataques terroristas. Segunda, cada nuevo proyecto hace una significativa contribución a la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.

El desarrollo de proyectos de cogeneración con el empleo de la biomasa, en la actualidad, es un fenómeno generalizado en una gran cantidad de países de Europa, Asia y América y emplean las más diversas biomásas.<sup>19, 20, 7</sup>

En la más reciente encuesta a nivel mundial de WADE<sup>29</sup> en el 2005, los potenciales de producción de electricidad con bagazo, en algunos de los principales países productores de caña de azúcar, en por ciento con respecto a sus demandas de electricidad, fueron: Cuba 25,93; Brasil 11,50; Colombia 9,19; Pakistán 8,34;

Tailandia 8,15; Filipinas 6,16; India 5,83; México 2,42; Australia 1,95 y China 0,72. Estos potenciales relativos significan en valores absolutos capacidades potenciales de mucho interés: Brasil 12 000 mW e India 5 000 mW.

En el reporte sobre cogeneración con bagazo de WADE<sup>29</sup> se aportan datos generales sobre potencialidades y consumos energéticos durante el proceso industrial que se presentan resumidamente en la tabla 1.

**Tabla 1**

	Unidades	Ciclo de bajos parámetros (P y T)	Ciclo de altos parámetros (P y T)
Potencial de energía disponible del bagazo	kWh/tc	60	370-510
Potencial de generación eléctrica	kWh/tc	20-30	90-160
		Proceso industrial con baja eficiencia. Alta demanda	Proceso industrial con alta eficiencia. Baja demanda
Demanda energética del proceso industrial azucarero. Calor	kg vapor/tc	500	380
Demanda energética del proceso industrial azucarero. Electricidad	kWh/tc	34,5	15

La valoración de estas cifras demuestra que el desarrollo de la cogeneración con bagazo de manera eficiente tiene dos retos técnicos fundamentales: elevar los parámetros del ciclo de las nuevas instalaciones y disminuir los consumos energéticos propios del proceso azucarero (y del alcoholero, de existir esta producción). Téngase presente que en la industria azucarera remolachera los consumos han sido ya reducidos a valores entre 200 y 160 kg vapor/t.

Teniendo en cuenta la existencia de un significativo número de proyectos de cogeneración a nivel mundial en la industria azucarera y lo útil de valorar la generalización de algunas de sus características fundamentales, que sirvan de base y estimulen nuevos proyectos, se decidió emprender el estudio que se presenta en este trabajo, el cual tiene como objetivo valorar la situación en cuanto a:

- Tecnologías empleadas
- Costos inversionistas
- Potencias instaladas y
- Parámetros del ciclo empleado

### **Tecnologías empleadas y costos inversionistas**

En la actualidad existe un elevado número de tecnologías en procesos de evaluación a nivel de proyectos pilotos, que podrían valorarse como alternativas en los procesos inversionistas de cogeneración en la industria sucroenergética en el futuro, entre ellas se tiene: ciclos combinados con el empleo de la gasificación de la biomasa (diferentes variantes), ciclo Rankine orgánico y sistemas Stirling; sin embargo, realmente madura y comercial sólo se dispone de la tecnología del ciclo Rankine con sus dos variantes tradicionales: de turbina de contrapresión y turbina de extracción-condensación. En todos los proyectos estudiados se encontró el empleo de una de estas dos variantes, sin excepción.

Los proyectos con turbinas de extracción-condensación recurren generalmente a la variante de dos extracciones buscando mejor compensación entre el consumo en los sistemas de potencia y la demanda del proceso de cocción y evitar el empleo de válvulas reductoras por sus indeseables pérdidas, aunque los hay también con una sola extracción.

Los proyectos se apoyan en todos los casos en el bagazo como combustible fundamental, pero la mayoría opera con un combustible complementario en los períodos fuera de zafra, para aumentar las horas de operación anual y buscar disminuir el tiempo de recuperación de la inversión. Las alternativas empleadas como combustible complementario son diversas: carbón, petróleo (fuel oil) bagazo almacenado y/o comprado a otros ingenios, residuos agrícolas cañeros y otras biomásas. En ningún caso estudiado se encontró el empleo en volúmenes significativos de la llamada caña energética (caña de alto contenido de fibra).

En lo referido a la combustión del bagazo y demás biomásas, todos los proyectos recurren a los sistemas de parrilla (lecho fijo) a pesar de los importantes avances existentes en la combustión en lecho fluidizado.

En la tabla 2 se dan las cifras por países de los proyectos que se conocieron durante el presente estudio y se asegura no son los únicos existentes. En todos los casos se trata de proyectos en que se asume un compromiso comercial de entrega de electricidad y no de simple interconexión para entregas en casos de sobrantes.<sup>26, 10, 27, 3, 17, 15</sup>

**Tabla 2**

País	Proyectos ejecutados y en operación	Proyectos en estudio	Potencia de proyectos en estudio
Brasil	10	40	1 286
India	9	38	335
Isla de la Reunión	2	-	
Guatemala	5	-	
Guadalupe	1	-	
Mauricio	2	-	
Australia	1	-	
Sudáfrica	1	-	
Pakistán	2	-	
Tailandia	8	-	
Costa Rica	1	-	
Honduras	-	6	41
Cuba	-	3	80
Kenya	-	1	18
TOTAL	42	88	1 760

Los diferentes casos estudiados, de los cuales se dispuso de una buena información, pueden verse en el Anexo I.

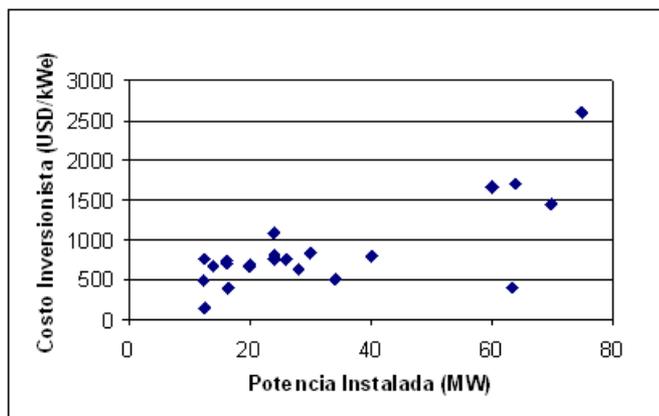
En la figura 1, puede apreciarse la relación entre el costo inversionista y la potencia eléctrica de salida instalada, de cada uno de los proyectos en particular. El estudio de esta figura permite llegar a varias conclusiones:

Los proyectos de remodelación de instalaciones existentes cuando la complejidad es baja o media presentan costos inversionistas entre 400 y 1 150 USD/kWe instalado.

Los proyectos de remodelación de alta complejidad y de nuevas instalaciones se mueven en valores inversionistas entre los 1 400 y 1 700 USD/kWe instalado. El proyecto Okeelanta en EE. UU. es una excepción con 2 600 USD/kWe.

Los costos inversionistas tienden a aumentar con la potencia de la instalación. Esto puede parecer contradictorio con el concepto universalmente aceptado de razón de escala, pero la explicación está en la necesidad de empleo, para grandes potencias, de tecnologías modernas (no totalmente maduras) y el obligatorio salto en la automática de la instalación, no típico en la industria azucarera.

La Unión es un ejemplo de alta potencia con bajo costo pero esto responde al empleo, sobre todo, de equipamiento de segunda mano.



**Figura 1. Costo inversionista vs. potencia instalada**

En la tabla 3 se muestran resumidamente los datos de dos de los más recientes estudios realizados. Las significativas diferencias entre ellos pueden deberse, entre otras cuestiones, a los diferentes costos de proyectos y equipos cuando hay o no hay capacidad interna en el país para afrontar este tipo de construcción.

País	Datos básicos	Costo Inversionista USD/kWe	Ref.	Año
Kenya	Potencia 18 mW		31	2005
	- 45 bar	1 400		
	- 60 bar	1 800		
	- 82 bar	3 100		
Sudáfrica	Potencia 38 mW		25	2005
	- 80 bar	1 300		

Resulta interesante la comparación de los costos inversionistas empleando bagazo como combustible y los costos inversionistas con otras biomásas, en especial la de origen forestal.

En<sup>30</sup> se presentan 14 casos estudiados en Suecia, con biomasa forestal, donde para rangos de potencia eléctrica de salida entre 8 y 39 mW, los costos inversionistas están entre 1 307 y 2 014 USD/kWe usando combustión en parrilla y 1 910 y 12 860 USD/kWe usando combustión en lecho fluidizado. En<sup>19</sup> se presenta uno de los estudios más

recientes en Europa, donde un grupo seleccionado de 9 casos con potencias eléctrica de salida entre 17,2 y 40 mW, presenta costos inversionistas entre 1 590 y 5 260 USD/kWe, sólo un caso del año 1996 presenta una cifra baja de 1 193 USD/kWe. No es difícil concluir que las inversiones con biomasa forestal en Europa tienden a resultar más caras que las inversiones con bagazo en otros países. Las inversiones con lechos fluidizados resultan también más costosas en general.

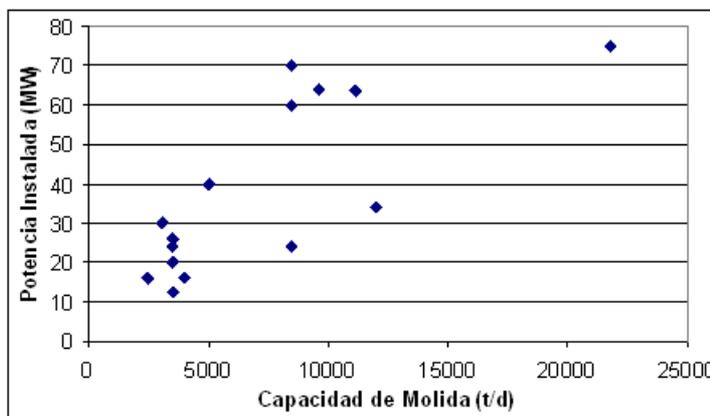
**Potencia en función de la capacidad de molienda**

El estudio de la potencia instalada en función de la capacidad de molienda del ingenio azucarero se realizó mediante la figura 2.

En este caso resultan también interesantes varias de las conclusiones que se derivan del estudio de esta figura, entre ellas se tiene:

Existe una lógica dependencia entre la potencia instalada y la capacidad de molienda del ingenio, en la medida que aumenta esta última la potencia puede ser mayor, sin embargo, en los ingenios de gran tamaño existen dos tendencias, una resulta conservadora y se tiende a mover en potencias inferiores a los 40 mWe, mientras que la otra es retardadora y va a potencias entre 60 y 70 mWe.

En términos generales tienden a primar potencias entre los 15 y los 40 mWe con cierta independencia relativa de la capacidad de molienda del ingenio.

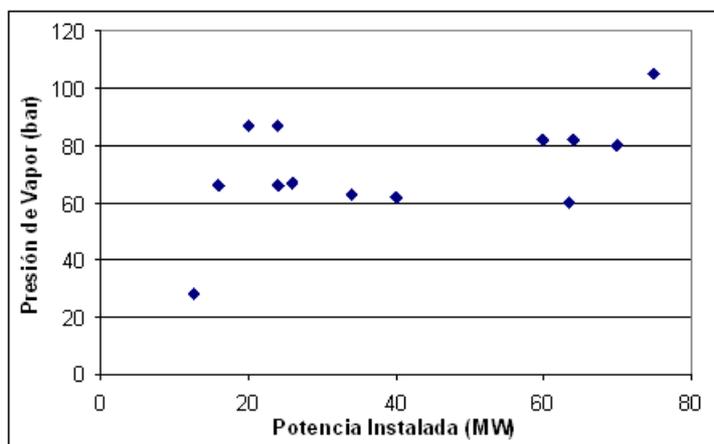


**Figura 2. Potencia instalada vs. capacidad de molienda**

**Parámetros del ciclo**

Los parámetros del ciclo, como es conocido, tienen una gran influencia en la eficiencia general de la instalación, por lo que su incremento en las nuevas instalaciones es de suma importancia. Resulta un elemento limitante de este incremento la presencia en las cenizas de la combustión de óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) y de álcalis (especialmente K<sub>2</sub>O), estos elementos reducen el punto de fusión de las cenizas volantes, lo que provoca incrustaciones y corrosión a altas temperaturas y obliga al diseño de calderas más grandes para reducir la temperatura y velocidad de los gases a la salida del horno. Por suerte, el bagazo es una de las biomásas en que este efecto es menos marcado.<sup>32</sup> Otro elemento limitante del incremento de los parámetros es el incremento del costo inversionista y el alargamiento del tiempo de recuperación de la inversión. En algunos casos, como en Brasil, el sobrepasar los 60 bar implica la importación de tubos, por lo que el costo inicial inversionista se eleva sustancialmente.

Del análisis de la figura 3, donde se valora la información sobre las presiones empleadas, se extraen las conclusiones siguientes:



**Figura 3. Presión de vapor vs. potencia instalada**

En los casos de instalaciones de hasta 40 mWe la tendencia predominante es al uso de presiones en el rango de 60 bar con algunas excepciones que emplean presiones en el orden de los 80 bar.

En los casos de instalaciones de gran potencia, por encima de los 60 mWe, lo normal es el empleo de presiones del orden de los 80 bar. El

proyecto Okeelanta de nuevo es una excepción al emplear una presión de 105 bar, la mayor encontrada, y La Unión otra excepción por emplear solo 60 bar, lo cual es lógico por tratarse de una remodelación y el uso de varios turbogeneradores de diferentes potencias.

Existen muy pocos casos en que al remodelar la instalación se han mantenido en presiones bajas y tradicionales en ingenios azucareros (del orden de los 28 bar).

Estudiando la información del Anexo I se pueden valorar también algunas conclusiones sobre las temperaturas empleadas:

Para presiones en o sobre los 80 bar las temperaturas empleadas están en el rango de los 515 a 520 °C.

Para presiones en el rango de 60 a 70 bar las temperaturas típicamente empleadas están en el rango de 480 a 495 °C.

**CONCLUSIONES**

1. Existe un acelerado proceso mundial que tiene como finalidad convertir los tradicionales ingenios azucareros en centrales energéticas cañeras para la generación y comercialización de electricidad en sistemas externos. Este fenómeno está dando origen a una industria sucroenergética en la cual la producción de energía eléctrica (y alcohol) toma tanto o más peso económico que la propia producción de azúcar.
2. En todos los casos se está utilizando solo el ciclo Rankine de potencia con empleo de turbinas de contrapresión o extracción condensación, en este último caso con una o dos extracciones. La combustión del bagazo y otras biomásas se realiza en todos los casos en sistemas de parrilla.
3. Los costos inversionistas en casos de remodelaciones de baja o media complejidad

**Centro Azúcar 33(2): abril-junio, 2006**

se mueven en el rango de 400 a 1 150 USD/kWe instalado, mientras que en los casos de remodelaciones de alta complejidad o nuevas instalaciones se mueven normalmente en el orden de los 1 400 a 1 700 USD/kWe instalado.

4. Las potencias instaladas generalmente están entre 15 y 40 MW, solo algunas grandes

instalaciones han ido a potencias entre 70 y 80 MW.

5. Los parámetros predominantes del ciclo son:  
 -Presiones en el rango de los 60 bar, con temperaturas de 480 a 495 °C.  
 -Presiones en el rango de los 80 bar, con temperaturas de 515 a 540 °C.

**Anexo 1**

No.	Nombre (Ref. Bibl.)	País	Año	Potencia (m.) P y t (bar y °C)	Combustible Capac. Mol (tc/d)	Costo Total (MM USD)	Costo Inv. Espec. (USD/kWe)
1	Bois Rouge (9, 10)	Isla de la Reunión	1992	60 (82 y 520)	Bagazo y carbón (caña integral) 8 500	100	1 660
2	Le Gol (10)	Isla de la Reunión	1995	64 (82 y 520)	Bagazo y carbón (caña integral) 9 600	110	1 700
3	Santa Adelia (11)	Brasil	2003	34 (63 y -)	Bagazo 12 000	17	500
4	Godavari (12)	India	2002	24 (66 y 445)	Bagazo (almacena) 8 500	26	1 083
5	Mysore (13)	India	2003	28 (-)	Bagazo	18,18	641
6	Jeyppore (13)	India	2003	16,3 (-)	--	6,45	396
7	Davangere (14 y 15)	India	2004	24 (87 y 515)	Bagazo y otras biomasas 3 500	18,29	762
8	M/s Sugar (15)	India	2004	26 (67 y 495)	Bagazo, otras bio- masas y carbón 3 500	18,9	762
9	Shree (15)	India	2004	20 (87 y 515)	Bagazo y residuos agricolas cañeros 3 500	13,8	690
10	El Viejo (16)	Costa Rica	1991	12,5 (28 y -)	Bagazo 3 500	1,748	139,9
11	Rocky Pont (17)	Austra- lia	2001	30 (-)	Bagazo y residuos Forestales 3 100	25	833
12	Belle-vue (18 y 19)	Islas Mauricio	2000	70 (80 y -)	Bagazo y carbón 8 500	101	1 443
13	Le Moule (20)	Guadalu- pe	1998	64 (-)	Bagazo y carbón 8 000	--	--
14	Barral-cool (21)	Brasil	--	15 (21 y -)	Bagazo --	--	--
15	Sta. Cândida (22)	Brasil	2003	27 (42 y -)	Bagazo --	--	--
16	Rana Sugars (12 y 24)	India	2005	40 (62 y 480)	Bagazo y otras biomasas 5 000	32	800
17	Sagar Sugars (12 y 24)	India	2003	16 (66 y 485)	Bagazo y residuos Cañeros 2 500	12	750



- Agricultural Development Biomass Energy Systems and Technology Project DHR-5737-A-00-9058-00, August, 1994.
11. FEEM. Centrale Bagasse-Charbon de Belle Vue: Maurice, Oct. 2005.
12. Ganga, R. C.: Biomass as fuel: Problems and prospects. 14th European Biomass Conference and Exhibition. Biomass for Energy Industry and Climate Protection, París, Francia, Oct., 2005.
13. GEP-ABC Cogeneration units: and update Cane Cogen India. Vol. XV, Junio, 2003. <http://www.renewingindia.org/newsletter/canecogen/current/Cane-15.pdf>.
14. Lorena León, A.: Cogeneración eléctrica en la azucarera El Viejo S.A. Reunión regional centroamericana para la producción de electricidad con biomasa, MOntevideo, Uruguay, 1995. <http://www.fao.org/documents/showcdr.asp?urlfile=/docrep/T2363S/T2363S00.htm>
15. Mbuti, P. and D. Yuko: Renewable in Kenya's electricity industry: a review of geothermal and cogeneration technologies, 2005. <http://www.afrepren.org/Pubs/Occasional Papers/pdf/op26.pdf>
16. Misión de trabajo a la Isla de la Reunión. Documento Interno. Ministerio de la Industria Azucarera en Cuba, Noviembre de 1999.
17. Morand, A.: Bagasse cogeneration - Global review and potential. WADE [aurelie.morand@localpower.org](mailto:aurelie.morand@localpower.org). Junio de 2004.
18. Natu, S. C.: "Bagasse based cogeneration, India marching ahead" *International Sugar Journal* GB, July, 2005
19. Novak-Zdravkovic, A. and J. De Ruyck: Small-Scale power generation from biomass. 14th European Biomass Conference and Exhibition. Biomass for Energy Industry and Climate Protection, París, Francia, Oct., 2005.
20. Obemberger, I. and G. Thek: TEchno-economic evaluation of selected decentralized CHP application based on biomass combustion in IEA partner countries. Final Report. Bioenergiesysteme GmbH. Graz, Austria, marzo de 2004.
21. Press release. Rueil Malmaison. 30 de junio de 1998. [http://www.groupecharbonnages.fr/version\\_anglaise/News/19980630.html](http://www.groupecharbonnages.fr/version_anglaise/News/19980630.html).
22. Project Monitor. India's First Newspaper on Projects. Oct. 2005. <http://www.projectsmonitor.com/detail-news.asp?newsid=8525>.
23. Roque Díaz, P.; E. Wall; G. Wall: National exergy balance of Cuba: Pointing towards a true sustainable development. Proceeding of 1st. Conference on Engineering Education, Technology and Environment, CEETE'03. Jimma, Etiopía, 2003.
24. Roque Díaz, P.; F. Pérez Egusquiza; A. Rubio González and A. Verdecia Fonseca: The sucroenergy alternative for the sustainability of the Cuban energy supply system. 14th European Biomass Conference and Exhibition. Biomass for Energy Industry and Climate Protection, París, Francia, oct., 2005.
25. Sims, R. e H.: "Bagasse and green waste cogen plant; Rocky Point Sugar Mill", *Australia Journal: Cogeneration and onsite Power Production*. Jan-Feb., 2002.
26. Sivestrin, C. R.: Perspectivas e oportunidades de industria de cogeneracao da energia no Estado de Sao Paulo. Memorias, II Forum Europeo, Sao Paulo, BRasil, Oct., 2004.
27. Torres, J.; A. Rubio; R. Llanes: Sugar cane biomass: electricity and alcohol, today and tomorrow. 14th European Biomass Conference and Exhibition Biomass for Energy Industry and Climate Protection. París, Francia, Oct., 2005.
28. Usina Barralcool S/A. Web pag., Oct. 2005. <http://www.barralcool.com.br>

29. WADE: World survey of decentralized energy. <http://www.localpower.org> Marzo, 2005.
30. Wahlund, B.; J. Yan; M. Wastermark: "Comparative Assesment of Biofuel-Based CHP Generation Plants in Sweden". Proceeding of the First World Conference on Biomass, SEvilla España, 2000.
31. Wienese, A.: Renewable energy an update. Internal communication. Sugar Milling Research Institute, south Africa (awienese@smri.org) May, 2005.
32. Wiltsee, G: Lessons learned from existing biomass power plant. NREL, Colorado, EE.UU., Feb., 2000. (<http://www.nrel.gov/docs/fv00osti/26946.pdf>)