

Contaminantes atmosféricos procedentes de centrales azucareros de la provincia de Holguín

Atmospheric pollutants from sugar mills from Holguín Province

Anel Hernández-Garces¹, Mirtha Reinoso-Valladares², Francisco Hernández-Bilbao³

¹Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cuba. anel@quimica.cujae.edu.cu

²Centro de Ingeniería e Investigaciones Químicas, Cuba. mirtha@inor.ciq.minem.cu

³IPROYAZ, Cuba. francisco.bilbao@iprofaz.azcuba.cu

Resumen

La introducción de bioeléctricas con bagazo como combustible pudiera contribuir a la solución de la contaminación atmosférica. Como precedente para la futura evaluación de las bioeléctricas este estudio estima el SO₂, los NO_x y el material particulado (MP) emitidos por generadores de vapor de centrales azucareros de la provincia de Holguín, a través de factores de emisión. Se obtuvieron valores de emisión inferiores a los de termoeléctricas y grupos electrógenos, pero varios órdenes superior a los de los generadores de vapor convencionales que emplean hidrocarburos como combustible. La verificación de las emisiones con las emisiones máximas admisibles de la NC/TS 803: 2010, para la categoría de fuentes existentes, comprueba que se superan los máximos legales para el MP y los NO_x de todas las chimeneas. No obstante, para el SO₂ ninguna de las emisiones sobrepasa el valor fijado.

Palabras clave: bioeléctricas; contaminantes atmosféricos; centrales azucareros; generador de vapor.

Abstract

The introduction of bioelectric stations with bagasse as fuel could contribute to the solution of air pollution. This study estimates the SO₂, NO_x and

particulate matter (PM) emitted by steam generators by sugar mills of Holguín province as a precedent for future evaluation of bioelectric plants. Lower emission values than those emitted by thermoelectric plants and power generators were obtained, but several higher sequences than those of conventional steam generators using hydrocarbons as fuel. It was concluded that verifying the emissions with the maximum admissible of NC / TS 803: 2010, for the category of existing sources showed that the legal maximums for MP and NO_x of all chimneys are higher. However, none of the emissions exceeds the value set for SO₂.

Keywords: bioelectric; atmospheric pollutants; sugar mills; steam generator.

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas ambientales más críticos del mundo lo constituye la contaminación del aire debido a la quema indiscriminada de hidrocarburos para la producción de energía. Esto implica la necesidad de profundizar en el conocimiento del impacto ambiental que producen los contaminantes, su prevención y control, así como en el establecimiento de medidas que contribuyan a reducir los niveles de contaminación en aras del desarrollo sostenible.

Una solución pudiera ser la diversificación de la matriz energética a partir del desarrollo del uso de energías renovables. En ese sentido, puede ser tomada en cuenta la agroindustria cañera, ya que brinda un potencial atractivo como fuente de cogeneración de energía eléctrica mediante la quema del bagazo (Nova 2013).

La política de desarrollo perspectiva de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía aprobada en Cuba en junio de 2014 estableció, entre otros propósitos, la instalación de bioeléctricas para generar 755 MW.

González-Corzo (2015) reporta una potencialidad anual de 5 000 GWh y evalúa cinco alternativas de ejecución. A la misma vez, Torres, Almazán y Hernández (2015) demuestran la factibilidad económica del empleo de los subproductos de la caña de azúcar como el bagazo y otros residuales de la cosecha que pueden ser empleados por las plantas bioeléctricas en la producción de energía, así como otros residuos de origen forestal o agrícola. Por otra parte, Jiménez y demás investigadores (2017) analizan los esquemas termo-energéticos de dos centrales de la provincia de Cienfuegos y estiman la posibilidad de incrementar la electricidad vendida al Sistema Eletroenergético Nacional.

Otros países aprovechan de igual modo el bagazo como combustible. Bocchi y Oliveira (2008) muestran que el bagazo es la biomasa más utilizada en Brasil para la generación de vapor. Shah, Soomar y Hussain (2016) ponen de ejemplo al bagazo de la caña de azúcar como un combustible alternativo capaz de reducir las emisiones contaminantes en comparación con los hidrocarburos.

A pesar de quemar biomasa cañera, las bioeléctricas emiten gases contaminantes (Domenech-López *et al.* 2011). Este peligro siempre está presente y depende, entre otros, de sistemas de tratamiento, del estado técnico de las calderas y de la composición de la biomasa.

Varios investigadores han calculado las emisiones provenientes de la quema del bagazo. A partir de estudios de laboratorio donde miden SO_2 y NO_x , Gadi y demás colaboradores (2003) obtienen factores de emisión de varios biocombustibles y aclaran que el bagazo tiene los menores valores de todos los biocombustibles evaluados para SO_2 . Sin embargo, para los NO_x obtienen valores superiores. Más tarde, DIGESA (2005) precisa que el 73,7 % de las emisiones de óxidos de nitrógeno del Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas de la Cuenca Atmosférica de la ciudad peruana de Trujillo es atribuida a la industria azucarera, con 162 t/año, debido en su totalidad a la combustión del bagazo de caña de azúcar. Simultáneamente, Gil (2005) evalúa los efectos ambientales que produce la generación de energía a partir de bagazo en el central espiritano Melanio Hernández.

Kawashima y otros investigadores (2015) realizan el inventario de emisiones de las plantas de energía que queman bagazo de la caña de azúcar en Brasil. Investigaciones desarrolladas recientemente, utilizando factores de emisión, estimaron las emisiones provenientes de los centrales azucareros de Mayabeque, Ciego de Ávila, Cienfuegos, Sancti Spiritus, Guantánamo y Camagüey en Cuba (Hernández-Garces *et al.* 2016, 2018; Hernández-Garces, Reinosa y Hernández 2017a, 2017b, 2017c, 2017d) Mientras otros investigadores han calculado las emisiones bajo un enfoque climático (Reinosa *et al.* 2017).

Como objetivo de este trabajo se propone estimar mediante factores de emisión los contaminantes atmosféricos (SO_2 , NO_x y MP) emitidos por las calderas de centrales azucareros de la provincia de Holguín, como antecedente para la futura evaluación del impacto de las emisiones de las bioeléctricas sobre la calidad del aire

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta ocasión se eligieron los generadores de vapor de los centrales azucareros de la provincia de Holguín para sentar las bases de la evaluación de las emisiones de contaminantes a la atmósfera de las futuras bioeléctricas propuestas por la Política de Desarrollo de Fuentes Renovables antes mencionada. Esta zona cuenta, además, con una ciudad y un polo turístico susceptibles de ser afectados por estas emisiones, por lo que la elaboración del inventario de emisiones reviste una gran importancia para evaluar el impacto de las mismas.

A partir de la ecuación (1) recomendada por la Agencia de Protección de Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA 1998) se estimaron los contaminantes atmosféricos emitidos y se utilizaron los factores de emisión divulgados por esta agencia en la serie AP 42 para fuentes puntuales o estacionarias (EPA 1993).

$$E = A \cdot f \cdot \left[1 - \frac{\varepsilon}{100} \right] \quad (1)$$

Donde:

E : es la emisión (g/s),

A : es el consumo de combustible (kg/s),

f : es el factor de emisión no controlada (g/kg), y

ε : es la eficiencia de reducción de emisiones (%), cuando se utiliza tecnología de reducción. Como no existe tecnología de reducción de emisiones, entonces $\varepsilon = 0$.

Debido a la importancia del criterio con el que se establecen los niveles de calidad de aire y en el que se basan los documentos normativos, se incluyó al SO_2 pese a ser omitido por la EPA. Se considera entonces para el SO_2 el factor de emisión reportado por NPI (2011). Los factores de emisión tenidos en cuenta en el estudio se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Factores de emisión (EPA 1993; NPI 2011)

Sustancia	Factor de emisión (g/kg bagazo)
MP	7,8
NO_x	0,6
SO_2	0,25

Se ha reportado una composición similar para el bagazo en la que subestima la composición de azufre, ya que las emisiones de SO₂ provenientes de la quema de bagazo son escasas (EPA 1993). Considerando la norma potencial de caña del central (Tabla 2) y suponiendo que la misma generaba un 27 % de bagazo, se estimó la cantidad de bagazo quemado.

Tabla 2. Consumo de caña de los centrales

Central/Municipio	Número de chimeneas	Número de calderas	Consumo de caña (t/h)
Loynaz Echevarría/Cueto	1	2	168
López Peña/Báguano	1	2	168
Fernando de Dios/Báguano	1	2	168
Cristino Naranjo/Cacocún	1	3	240
Urbano Noris/Urbano Noris	1	2	240

Se sustrajo posteriormente un 8 %, cantidad almacenada en la casa de bagazo para un futuro arranque de la caldera (Tabla 3).

Tabla 3. Consumo de bagazo de las calderas

Central	Consumo de bagazo (t/h)	Temperatura salida gases de combustión (K)
Loynaz Echevarría	42	673
López Peña	42	493
Fernando de Dios	42	503
Cristino Naranjo	60	493
Urbano Noris	60	488

La temperatura de salida de los gases de combustión se promedió, ya que los centrales poseían más de una caldera emitiendo a través de una misma chimenea.

El consumo combustible, en kg/s, se calculó considerando la masa de combustible gastado estimada anteriormente. Por otra parte, el flujo de gases se obtuvo por medio de la ecuación (2):

$$Q = V \cdot C \quad (2)$$

Donde:

Q: es el flujo de los gases de combustión (Nm³/s) para condiciones normales (0 °C y 760 mmHg),

V : es el volumen de gases húmedos (Nm^3/kg) para condiciones normales, y
 C : es el consumo de combustible en kg/s .

Por otra parte, el volumen de gases V se determinó según la ecuación (3):

$$V = 22,4 \left[\left(\frac{P_C}{12} + \frac{P_{H_2}}{2} + \frac{P_S}{32} - \frac{P_{O_2}}{32} \right) \frac{n}{0,21} + \frac{P_{H_2}}{2} + \frac{P_{O_2}}{32} \right] \quad (3)$$

Donde:

P_C , P_{H_2} , P_S y P_{O_2} son las composiciones en tanto por uno de un combustible formado por carbono, hidrógeno, azufre y oxígeno, y, n es el coeficiente de exceso de aire. En este caso $n=1+\text{exceso de aire}$.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las emisiones de los contaminantes atmosféricos, producidas por las calderas estudiadas se muestran en la Tabla 4.

Los valores de caudal y emisión estimados fueron inferiores a los de termoeléctricas y grupos electrógenos, pero varios órdenes superior que los de los generadores de vapor convencionales localizados en distintas industrias e instituciones de la región que emplean hidrocarburos como combustible (Marrero y Suárez 2017). Este resultado es coherente con lo reportado por Neto y Ramon (2002), quienes cuantificaron las toneladas de NO_x dejadas de emitir por la quema de emisiones fósiles. Los valores mayores se corresponden, además, con los más altos consumos de bagazo.

Tabla 4. Emisiones y flujos volumétricos

Central	Emisiones (g/s)			Flujo de gases (m^3/s)
	MP	NO_x	SO_2	
Loynaz Echevarría	90,3	6,9	2,9	80,7
López Peña	90,3	6,9	2,9	59,1
Fernando de Dios	90,3	6,9	2,9	60,3
Cristino Naranjo	128,9	9,9	4,1	126,7
Urbano Noris	129,2	9,9	4,1	86,6

Se han analizado las Emisiones Máximas Admisibles (EMA) en dependencia de las características de las instalaciones (NC/TS 803: 2010). Los generadores de vapor analizados en este trabajo se clasifican como c-1 (Calderas de vapor. Biomasa). Esta norma solo concierne a los contaminantes SO_2 , NO_x y MP.

Los tres primeros centrales coinciden en sus valores de emisión, pues estos se estimaron a partir de la norma potencial que era idéntica para dichos centrales. De igual manera ocurre con los últimos dos con norma potencial muy similar. La diferencia en los flujos de gases se debe al tipo de calderas y al nivel de mantenimiento de las mismas, así como sus diversos esquemas de emisión.

Con el fin de contrastar las emisiones con esta norma se convirtieron los valores de concentración de los contaminantes a unidades de mg/Nm^3 . Como resultado se obtuvo que todas las chimeneas sobrepasan los límites normativos para el MP y los NO_x (Tabla 5).

Naturalmente, el mayor aporte es del MP causado por el uso de bagazo como combustible. Por otra parte, ninguna de las emisiones de SO_2 supera la EMA establecida en la norma cubana debido al bajo contenido de azufre en el bagazo quemado. Estas estimaciones deben ser validadas determinando el valor real de las emisiones con analizadores de gases de combustión.

Tabla 5. Comparación normativa de las emisiones

Central	Emisiones (mg/Nm^3)		
	MP	NO_x	SO_2
EMA Fuentes existentes	400	100	1 000
Loynaz Echevarría	2 758,3	212,2	88,4
López Peña	2 757,3	212,1	88,4
Fernando de Dios	2 759,3	212,3	88,4
Cristino Naranjo	1 838,6	141,4	58,9
Urbano Noris	2 665,9	205,1	85,4

La dispersión puede ser causada por el aire circulando alrededor de obstáculos e irregularidades de la superficie, como pueden ser colinas y árboles; o por la diferencia en la velocidad y dirección del viento entre dos alturas sobre el terreno; o por burbujas de aire que ascienden debido al calentamiento diurno de la superficie. La dispersión es un proceso de dilución que mezcla el aire ambiente con el penacho de partículas, gobernado principalmente por la turbulencia atmosférica (López 2006).

Como resultado de la dispersión, las emisiones estudiadas en este trabajo deben influir básicamente en zonas rurales para las que se supone un uso agrícola del suelo. No deben afectar a las comunidades vecinas a los centrales si se tiene en cuenta que la altura de las chimeneas supera

los 60 m. El área de influencia y los efectos de la inmisión de los contaminantes evaluados pudiera estimarse a través de la modelación de la dispersión de estas emisiones (Hernández-Garces *et al.* 2015).

Deben valorarse alternativas de solución a la emisión de contaminantes. Torres, Almazán y Hernández (2015) proponen la gasificación del bagazo como una opción limpia y altamente eficiente para la generación de electricidad. Mientras, Ren y demás investigadores (2017) evalúan la torrefacción del bagazo con la consiguiente reducción de las emisiones de SO₂ y NO_x. Para las partículas, Cassula y restantes investigadores (2015) presentan el tratamiento de las emisiones con un lavador de gases

4. CONCLUSIONES

- Los contaminantes atmosféricos procedentes de los generadores de vapor de centrales azucareros holguineros son varios órdenes superiores a los de los generadores de vapor convencionales que emplean hidrocarburos como combustible, pero menores a los de termoeléctricas y grupos electrógenos.
- La comparación de las emisiones con las EMA de la NC/TS 803: 2010, para la categoría de fuentes existentes, demostró que para el MP y los NO_x de todas las chimeneas se sobrepasan los valores fijados. No obstante, para el SO₂ ninguna de las emisiones supera el máximo legal.
- La metodología desarrollada en este estudio puede servir de referente para la evaluación de las emisiones de contaminantes a la atmósfera de las bioeléctricas planificadas por la Política de Desarrollo de Fuentes Renovables

5. AGRADECIMIENTOS

A los especialistas Fermín Batista, del Loynaz Echevarría; a Luis Daniel Landrove, del López Peña; a Leonardo Pupo, del Fernando de Dios; a Juan Carlos Aviñeira, del Cristino Naranjo y a José Ignacio del central Urbano Noris por el suministro de los datos y especificaciones con que se realizó este trabajo.

6. REFERENCIAS

- Bocchi, B. y Oliveira, S. 2008: *Estudo de viabilidade de cogeração de uma unidade de extração de óleo de palma integrada a uma usina de biodiesel. PME 2600-Projeto integrado III*. Trabalhos de formatura engenharia mecânica. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 10 p.

- Cassula, D. A.; Zanzini, J. C.; Dos Santos, J. y Da Silva, T. L. 2015: Estudo sobre a eficiência energética de fontes renováveis no Brasil: avaliação da utilização da biomassa da cana-de-açúcar na cogeração de energia elétrica no setor sucroenergético. Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, ENGEMA XVII. São Paulo.
- Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) 2005: Inventario de emisiones de fuentes fijas cuenca atmosférica de la ciudad de Trujillo, Perú. Disponible en: <http://sial.segat.gob.pe/download/file/fid/54134>
- Domenech-López, F.; Lorenzo-Acosta, Y.; Lorenzo-Izquierdo, M. y Esquivel-Baró, L. 2011: Diagnóstico preliminar de las emisiones gaseosas en la industria de los derivados de la caña de azúcar. *ICIDCA. Sobre los derivados de la caña de azúcar*, 45(3): 30-37.
- Environmental Protection Agency (EPA) 1993: Emission factor documentation for AP-42 section 1.8 Bagasse combustion in sugar mills. Disponible en: <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch01/bgdocs/b01s08.pdf>
- Environmental Protection Agency (EPA) 1998: Emissions Factors y AP-42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors.
- Gadi, R.; Kulshrestha, U. C.; Sarkar, A. K.; Garg, S. C. y Parashar, D. C. 2003: Emissions of SO₂ and NO_x from biofuels in India. *Tellus B*, 55(3): 787-795.
- Gil, Z. 2005: *Estudio del impacto ambiental del uso del bagazo como fuente de energía en centrales azucareros en Cuba. Estudio de caso "Melanio Hernández"*. Tesis doctoral. Universitat de Girona.
- González-Corzo, M. 2015: La agroindustria cañera cubana: transformaciones recientes. New York: Bildner Center. Disponible en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=WMf0CQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT1&dq=GONZ%C3%81LEZ-CORZO,+M.+2015:+La+agroindustria+ca%C3%B1era+cubana:+transformaciones+recientes.+Bildner+Center.&yots=X892_uQat8&ysig=Axgdeipw9wNfKdtN44-ZlhwJyBs
- Hernández-Garces, A.; Jauregui, U.; Souto, J.; Casares, J.; Saavedra, S.; Guzmán, F. y Torres, A. 2015: Estado actual de los modelos de dispersión atmosférica y sus aplicaciones. *UCE Ciencia. Revista de Postgrado*, 3(2): 1-17.
- Hernández-Garces, A.; Reinoso Valladares, M.; Ordoñez, Y. C.; Barcelona, L. y Hernández, F. 2016: Contaminantes atmosféricos procedentes de centrales azucareros. *Ecosolar*, 56: 1-7.
- Hernández-Garces, A.; Reinoso, M. y Hernández, F. 2017a: Contaminantes atmosféricos procedentes de centrales azucareros avileños. *Universidad y Ciencia*, 6(2): 17-26.

- Hernández-Garces, A.; Reinoso, M. y Hernández, F. 2017b: Contaminantes atmosféricos emitidos por centrales azucareros cienfuegueros. *Universidad y Sociedad*, 9(2): 70-74.
- Hernández-Garces, A.; Reinoso, M. y Hernández, F. 2017c: Contaminantes atmosféricos procedentes de centrales azucareros espirituanos. *Márgenes*, 4(4): 1-11.
- Hernández-Garces, A.; Reinoso, M. y Hernández, F. 2017d: Contaminantes atmosféricos procedentes del central azucarero "Argeo Martínez", Guantánamo, Cuba. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 21(3): 7-14.
- Hernández-Garces, A.; Reinoso, M.; Ordoñez, Y. C. y Hernández, F. 2018: Evaluación de las emisiones de contaminantes de centrales azucareros en Camagüey. *Monteverdia*, 11(1): 12-20.
- Jiménez, R.; Lorenzo, J.; Monteagudo, J. P.; Pérez, H.; Álvarez Delgado, R. y Carreño, D. D. 2017: Potencialidades de entrega de energía eléctrica en dos centrales azucareros de la provincia de Cienfuegos. *Centro Azúcar*, 44(2): 60-68.
- Kawashima, A. B.; De Morais, M. V. B.; Martins, L. D.; Urbina, V.; Rafee, S. A. A.; Capucim, M. N. y Martins, J. A. 2015: Estimates and Spatial Distribution of Emissions from Sugar Cane Bagasse Fired Thermal Power Plants in Brazil. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 3(6): 72-76.
- López, C. 2006: Introducción a la gestión de la calidad del aire. Modelación de la calidad del aire. Instituto de Meteorología.
- Marrero, Y. y Suárez, M. 2017: Inventario de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas de Holguín. Seminario-Taller de Contaminación Atmosférica CONTAT 2017. La Habana.
- National Pollutant Inventory (NPI) 2011: Emission estimation technique manual for Combustion in boilers, Version 3.6.
- Neto, V. C. y Ramón, D. 2002: Análises de opções tecnológicas para projetos de co-geração no setor sucro-alcooleiro. Contract NO. DE-AC36-99GO10337. Brasília, DF. Disponible en: http://www.ie.ufrj.br/oldroot/infosucro/estudos/bim_CorreaNeto_OpcoesCogeracao.pdf
- NC/TS 803. 2010: Calidad del aire—emisiones máximas admisibles. De contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor. La Habana: Oficina Nacional de Normalización.
- Nova, A. 2013: Importancia económica y estratégica de la agroindustria de la caña de azúcar para la economía cubana. *Transforming The Cuban Economic Model*. New York: Bildner Center.

- Reinosa, M.; Hernández-Garces, A.; Ordoñez, Y. C. y Hernández, F. 2017: Inventario de emisiones de dióxido de carbono procedentes de centrales azucareros de la provincia Mayabeque. *Ecosolar*, 57: 13-16.
- Ren, X.; Sun, R.; Meng, X.; Vorobiev, N.; Schiemann, M. y Levendis, Y. A. 2017: Carbon, sulfur and nitrogen oxide emissions from combustion of pulverized raw and torrefied biomass. *Fuel*, 188: 310-323.
- Shah, S. A.; Soomar, M. y Hussain, A. 2016: Comparative Emission Analysis of Bituminous Coal, Sugarcane Bagasse and Rice Husk. *Sindh University Research Journal-SURJ (Science Series)*, 48(3): 685-688.
- Torres, A.; Almazán, O. y Hernández, B. 2015: Estudio de factibilidad económica de un proyecto de generación eléctrica, a partir de la gasificación de bagazo en un central azucarero cubano. *Revista Centro Azúcar*, 42(1): 1-8.

Recibido: 16/10/17

Aceptado: 09/03/18

Anel Hernández-Garces, Doctor en Ingeniería Química y Ambiental. Profesor Auxiliar. Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, Cuba anel@quimica.cujae.edu.cu