

Emisiones atmosféricas provenientes de centrales azucareros de Holguín, Cuba: Una herramienta de gestión pública local

Atmospheric pollutants from sugar mills from Holguín, Cuba: A local public management tool



<http://opn.to/a/D77KL>

Yoell Marrero-Díaz ^{1*}, Elisa Beatriz Cruz-Estopiñan ¹, Miguel Suárez-Benítez ¹

¹Centro Meteorológico Provincial de Holguín, Holguín, Cuba

RESUMEN: Las elevadas emisiones de contaminantes hacia la atmósfera son la causa de diversos problemas ambientales en la actualidad, desde el nivel local, hasta la escala global. Para su evaluación, el estudio estimó el Dióxido de Azufre (SO₂), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), y el Material Particulado menor de 10 y 2,5 micrómetros (PM₁₀ y PM_{2,5}), emitidos por generadores de vapor de centrales azucareros de la provincia de Holguín. Se utilizó el método de cálculo basado en el factor de emisión para determinar la tasa de emisión de estos contaminantes. Como resultado fundamental se obtuvo que los generadores de vapor de los centrales azucareros evaluados emiten principalmente PM₁₀ (10 675,835 t/año), PM_{2,5} (5 330,389 t/año), y NO_x (903,456 t/año) y en menor medida SO₂ (376,440 t/año); valores de emisiones que superan 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 máximas admisibles con respecto a la NC/TS 803: 2017, para la categoría de fuentes existentes, demostró que se sobrepasan los valores establecidos para el PM₁₀ y PM_{2,5} de todas las chimeneas y en el caso de los NO_x sólo los centrales López Peña y Cristino Naranjo superan la norma, para el SO₂ ninguna de las emisiones sobrepasa el máximo valor fijado.

Palabras clave: Contaminación del aire, contaminantes primarios, generador de vapor, fuentes fijas, centrales azucareros.

ABSTRACT: The high emissions of pollutants into the atmosphere are the cause of various environmental problems today, from the local level, to the global scale. For its evaluation, the study estimated Sulfur Dioxide (SO₂), Nitrogen Oxides (NO_x), and Particulate Material smaller than 10 and 2.5 micrometers (PM₁₀ and PM_{2,5}), emitted by steam generators of sugar mills from the province of Holguin. The calculation method based on the emission factor was used to determine the emission rate of these pollutants. As a fundamental result it was obtained that the steam generators of the sugar mills evaluated emit mainly PM₁₀ (10 675,835 t / year), PM_{2,5} (5 330,389 t / year), and NO_x (903,456 t / year) and to a lesser extent SO₂ (376,440 t / year); emission values that exceed those of conventional steam generators that use hydrocarbons as fuel, but lower than those of thermoelectric and generator sets. The comparison of the maximum permissible emissions with respect to NC / TS 803: 2010, for the category of existing sources, showed that the values established for the PM₁₀ and PM_{2,5} of all chimneys are exceeded and in the case of NO_x only the López Peña and Cristino Naranjo plants exceed the standard, for SO₂ none of the emissions exceeds the maximum set value.

Key words: Air pollution, primary pollutants, steam generator, stationary sources, sugar mills.

*Autor para correspondencia: Yoell Marrero-Díaz. E-mail: yoell.marrero@hlg.insmet.cu

Recibido: 28/08/2019

Aceptado: 04/10/2019

INTRODUCCIÓN

Aunque el problema de la contaminación del aire se ha presentado desde el siglo XII en Inglaterra ([Hunt & Johnson, 1994](#)), este fenómeno se acrecentó en los últimos setenta años por el desarrollo económico e industrial ([Asimov, 1973](#)). También ha variado considerablemente su alcance desde hace unas décadas atrás en las que esta se abordaba a nivel local, en las ciudades y centros industriales donde podía ser controlada, hasta la etapa actual donde el enfrentamiento de muchos de sus problemas requiere de la concertación y la cooperación internacional ([López, 2006](#)).

Según [Hernández et al., \(2018\)](#), 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.

En tal sentido, los inventarios de emisiones a la atmósfera actualizados constituyen una buena herramienta para la gestión del medio ambiente atmosférico. Permite conocer la primera parte del ciclo de transmisión de contaminantes (las emisiones) con el fin de conocer la cantidad de contaminantes emitidos por las fuentes fijas o estacionarias, identificando a los contaminantes primarios o principales. Además de cuantificar las emisiones, también se identifican las fuentes y las instituciones responsables, con el fin de implementar medidas de control y establecer futuras estrategias de mitigación ([Cuesta et al., 2017](#)).

La agroindustria cañera brinda un potencial atractivo como fuente de cogeneración de energía eléctrica mediante la quema del bagazo ([Nova, 2013](#)). Esta alternativa constituye una práctica cada vez más extendida por diversos países. [Bocchi & Oliveira, \(2008\)](#) muestran que el bagazo es la biomasa más utilizada en Brasil para la generación de vapor. [Shah et al., \(2016\)](#) 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. Sin embargo, a pesar de quemar biomasa cañera, se emiten gases contaminantes ([Domenech 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.

En Cuba, la política de desarrollo perspectivo de las fuentes renovables y el uso eficiente de la energía aprobada en junio de 2014 estableció, entre otros propósitos, la instalación de bioeléctricas para generar 755 MW. [González, \(2015\)](#) reporta una potencialidad anual de 5 000 GWh y evalúa cinco alternativas de ejecución. A la misma vez, ([Torres et al., 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 et al., 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 Electroenergético Nacional.

En este contexto, también se han desarrolladas otras investigaciones, asociadas a la calidad del aire, utilizando factores de emisión para la estimación de las emisiones provenientes de los centrales azucareros de Mayabeque, Ciego de Ávila, Cienfuegos, Sancti Spiritus, Guantánamo y Caaguëy ([Hernández et al., 2016, 2018](#)); [Hernández et al., 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 (SO₂, NO_x, PM₁₀ y PM_{2,5}) emitidos por las calderas de centrales azucareros de la provincia de Holguín, como antecedente para la futura evaluación del impacto de estas emisiones sobre la calidad del aire a escala local.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características generales de la provincia de Holguín

La provincia de Holguín se encuentra ubicada al noroeste de la región oriental, limitando al norte con el Océano Atlántico; al sur con las provincias Guantánamo, Santiago de Cuba y Granma; al este con la provincia Guantánamo y al oeste con la provincia Las Tunas. Presenta una extensión territorial de 9 215.7 Km², posee 1 036 572 habitantes y una densidad de población de 112.4 hab/Km². La base económica fundamental es la industria niquelífera con tres plantas procesadoras de níquel y dos plantas procesadoras de cromo refractario; le sigue el turismo, considerado el tercer polo turístico del país por el número de instalaciones hoteleras, sus recursos naturales y paisajísticos (ONEI, 2016).

Para el estudio se eligieron los generadores de vapor de los centrales azucareros: Loynaz Echavarría, López Peña, Fernando de Dios, Cristino Naranjo y Urbano Noris, ubicados en los municipios Cueto, Báguanos, Cacocum y Urbano Noris, respectivamente (figura 1). Esta zona cuenta, además, con ciudades cercanas altamente

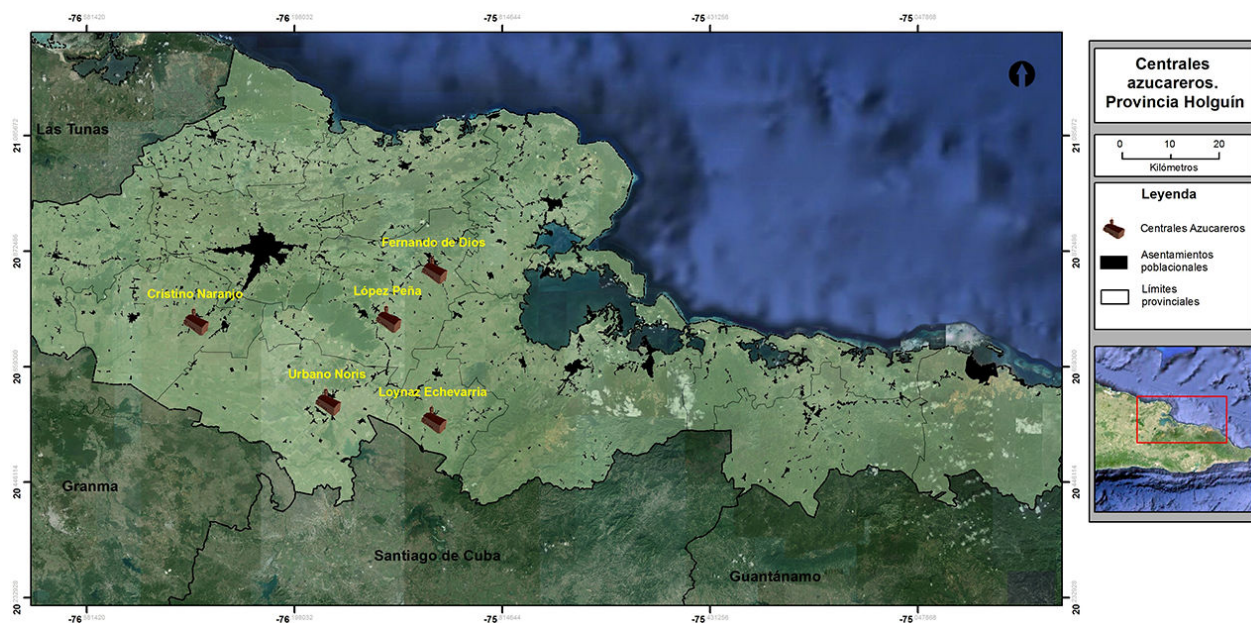
pobladas y un polo turístico susceptible de ser afectado por estas emisiones, por lo que la elaboración del inventario de emisiones reviste una gran importancia para evaluar el impacto de las mismas.

Inventario de emisiones

La Norma Cubana [NC 1049: 2014](#) “Guía de datos tecnológicos para el inventario de emisiones de los contaminantes atmosféricos desde fuentes industriales estacionarias”, establece los datos tecnológicos que se han de tener en cuenta para la realización un inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos generados por fuentes puntuales industriales.

La captación de los datos tecnológicos se realizó teniendo en cuenta los formularios establecidos en la referida NC, los cuales se emplearon para realizar hojas de cálculos en Excel y determinar las emisiones de contaminantes atmosféricos generados por cada fuente a partir de la utilización de factores de emisión, constituyéndose una gran base de datos.

La captación de datos tecnológicos tiene cierto grado de complejidad, ya que generalmente existen



Fuente: Elaboración propia a partir del programa ArcGIS versión 10.1
Figura 1. Ubicación de los centrales azucareros de la provincia de Holguín.

algunos datos que no se pueden adquirir de forma rutinaria en los centros industriales, lo que obliga a obtenerlos mediante cálculos (Rodríguez, 2007). A continuación, se detallan los formularios para la captación de datos tecnológicos en las fuentes fijas, pertenecientes a la [NC 1049:2014](#); solo en los casos necesarios se describen los procedimientos de cálculos empleados para obtener los datos que no fueron posible adquirir en las fuentes.

Información general del proceso (Formulario para la captación de datos para la estimación de las emisiones DE1).

- Organismo
- Nombre de la empresa
- Dirección
- Provincia
- Código de proceso industrial
- Número de fuentes puntuales
- Principal (es) contaminante (s) del proceso

Información estática para cada fuente estacionaria

- Es la información de carácter tecnológico y productivo básica necesaria para la realización de los cálculos de las emisiones (Formulario DE2).
- Año de puesta en marcha
- Operación anual (horas/año)
- Producción (diaria, mensual, anual)
- Altura de la fuente (m)
- Diámetro interior (m)
- Dispositivo de control de las emisiones (Sí/No)
- Temperatura de la mezcla gaseosa emitida (K)

Por otra parte, el flujo máximo del gas emitido (Q) se obtuvo mediante la metodología de cálculo propuesta por Rodríguez *et al.*, 2012.

$$V_{TH} = 22.4 * \left[\left(\frac{P_C}{12} + \frac{P_{H_2}}{2} + \frac{P_S}{32} - \frac{P_{O_2}}{32} \right) * \frac{n}{0,21} + \frac{P_{H_2}}{2} + \frac{P_{O_2}}{32} \right] \quad (1)$$

Donde:

V_{TH} - Volumen de gases húmedos en condiciones normales (0 °C y 760 mm de Hg) en Nm³/kg de combustible.

N - Coeficiente de exceso de aire = 1,2 en ausencia de mediciones.

$P_C P_{H_2} P_S P_{O_2}$ - son las composiciones elementales en tanto por uno de la materia prima, como se muestra en la [tabla 1](#).

El flujo volumétrico de gases húmedos (1) debe corregirse mediante la ecuación de los gases ideales para la temperatura de salida de los gases de la chimenea.

$$P_1 * V_1 = n * R * T \quad (2)$$

Donde:

P_1 - presión total del gas (atm)

V_1 - volumen del gas (m³)

n - número de moles del gas (kmol)

R - constante universal de los gases (atm m³/kmol K)

T - temperatura de los gases (°K)

Como n, R y P_1 son constantes, la [expresión \(2\)](#) queda como aparece en la [expresión \(3\)](#).

$$\frac{V_1}{T} = \frac{n * R}{P_1} \quad (3)$$

De la [expresión \(3\)](#) se obtiene la [expresión \(4\)](#).

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (4)$$

Despejando V_2 se obtiene la [expresión \(5\)](#).

$$V_2 = \frac{V_1}{T_1} * T_2 \quad (5)$$

Donde:

V_2 - flujo volumétrico corregido (m³/kg)

Tabla 1. Composición elemental de la materia prima (bagazo)

Combustible	Composición química (%)						
	C	H	O	N	S	Humedad	Cenizas
Bagazo	47,68	5,01	42,43	0,35	0,50	0,0	4,02

Fuente: Díaz (2008)

T_1 - temperatura en condiciones normales (0 °C o 273 K)

T_2 - temperatura de salida de los gases de la chimenea (K)

$V_1 = V_{TH}$ (Nm³/kg)

Con el resultado de la [expresión \(5\)](#), sustituyéndola en [\(6\)](#), se obtiene el flujo máximo del gas emitido (Q) en m³/s

$$Q = V_2 * C \quad (6)$$

Donde:

Q - Flujo máximo del gas emitido: Máximo del gas por unidad de tiempo emitido a través de la chimenea o conducto de emisión (m³/s).

C - Consumo de bagazo (kg/s)

Método de los Factores de Emisión. Modelo Básico Simplificado para un Estimado de Emisión

Este método se utiliza con frecuencia para calcular las emisiones cuando no están disponibles datos de monitoreo específico para la fuente. El modelo básico simplificado para el estimado de emisión, consiste en el producto de al menos dos variables: estadística de actividad (o datos de actividad) y un factor de emisión (FE) típico promedio para la actividad ([López, 2006](#)).

El cálculo de las emisiones por esta vía, constituye el mejor o el único método disponible, a pesar de sus limitaciones, cuando no existen mediciones automáticas continuas. En general, se considera apropiado utilizar factores de emisión cuando los materiales que se emplean se consumen o combinan químicamente en los procesos, o cuando se producen bajas pérdidas de material, por liberación a la atmósfera, en comparación con las cantidades que se tratan en proceso ([DIGESA, 2005](#)) citado por [Sosa \(2016\)](#).

A partir de la [ecuación \(7\)](#) recomendada por la Agencia de Protección de Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA) 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, 1998](#)).

$$E = A * FE * (1 - EC/100) \quad (7)$$

Donde:

E - Emisión (g/s)

FE - Factor de emisión (g/kg)

A - Tasa de la actividad (consumo de combustibles, producción), en unidades de masa o volumen por tiempo (kg/s)

EC - Eficiencia de control de la emisión (%)

Como no existe tecnología de reducción de emisiones, entonces EC= 0 y la [ecuación \(7\)](#) queda de la siguiente manera:

$$E = A * FE \quad (8)$$

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 SO₂ pese a ser omitido por la EPA. Se considera entonces para el SO₂ el factor de emisión reportado por [NPI \(2011\)](#). Los factores de emisión tenidos en cuenta en el estudio se muestran en la [Tabla 2](#).

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, 1998](#)). Considerando la norma potencial de caña del central y según los datos de consumo reales reportados por las entidades evaluadas para el año 2018, se obtuvo la cantidad de bagazo quemado. La temperatura de salida de los gases de combustión se promedió a partir de los datos de operación recogidos para el estudio, y teniendo en cuenta que

Tabla 2. Factores de emisión para la quema de bagazo en calderas de los centrales azucareros

Contaminante	Factor de emisión (g/kg bagazo)	Referencia
NO _x	0,60	EPA
PM ₁₀	7,09	EPA
PM _{2,5}	3,54	EPA
SO ₂	0.25	NPI

Fuente: AP-42, (1998) y [NPI, \(2011\)](#).

los centrales poseían más de una caldera emitiendo a través de una misma chimenea (Tabla 3 y 4).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las emisiones de los contaminantes atmosféricos, producidas por las calderas estudiadas se muestran en la Tabla 5. Los valores de 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 Hernández *et al.*, (2018), quienes cuantificaron las emisiones en estudios similares para estas instalaciones pero en años precedentes.

Los valores mayores se corresponden, además, con los más altos consumos de bagazo.

Los contaminantes más emitidos a la atmósfera corresponden al material particulado PM₁₀ y PM_{2.5}, los que representan el 62 y 31% de las emisiones generales, respectivamente, seguido por un 5% de los NO_x y el SO₂ con el 2% de las emisiones totales (Figura 2). El comportamiento de los contaminantes en los centrales azucareros evaluados se muestran en las figuras 3, 4 y 5, se evidencia que las industrias que más inciden en las emisiones son los centrales azucareros Fernando de Dios, Cristino Naranjo y Urbano Noris, debido al elevado consumo de bagazo utilizado. Con el propósito de evaluar el comportamiento para un año de producción se convirtieron los valores de emisiones a t/año.

Tabla 3. Consumo de bagazo de los centrales para el año 2018

Central / Municipio	Consumo de bagazo (t/h)
Loynaz Echevarría/Cueto	7.462
López Peña/Báguanos	8.270
Fernando de Dios/Báguanos	22.438
Cristino Naranjo/Cacocum	17.407
Urbano Noris/Urbano Noris	21.663

Tabla 4. Número de calderas y temperatura salida gases de combustión

Central	Número de Chimeneas	Número de calderas	Temperatura salida gases de combustión (K)
Loynaz Echevarría	1	2	670
López Peña	1	2	483
Fernando de Dios	1	2	503
Cristino Naranjo	1	3	483
Urbano Noris	1	2	483

Tabla 5. Emisiones y flujos volumétricos para el año 2018

Central	Emisiones (g/s)		Flujo de gases m ³ /s		
	NO _x	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	
Loynaz Echevarría	2.487	1.036	29.391	14.675	33,890
López Peña	2.757	1.149	32.577	16.265	27,079
Fernando de Dios	7.479	3.116	88.382	44.129	76,507
Cristino Naranjo	8.704	3.626	102.849	51.352	56,994
Urbano Noris	7.221	3.009	85.328	42.604	70,927
Total	28.648	11.936	338.527	169.025	-

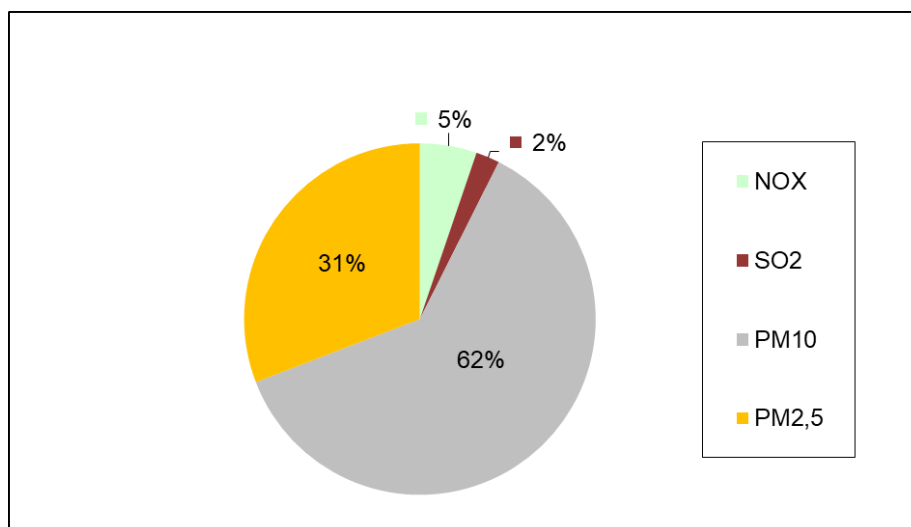


Figura 2. Distribución porcentual de los contaminantes primarios evaluados

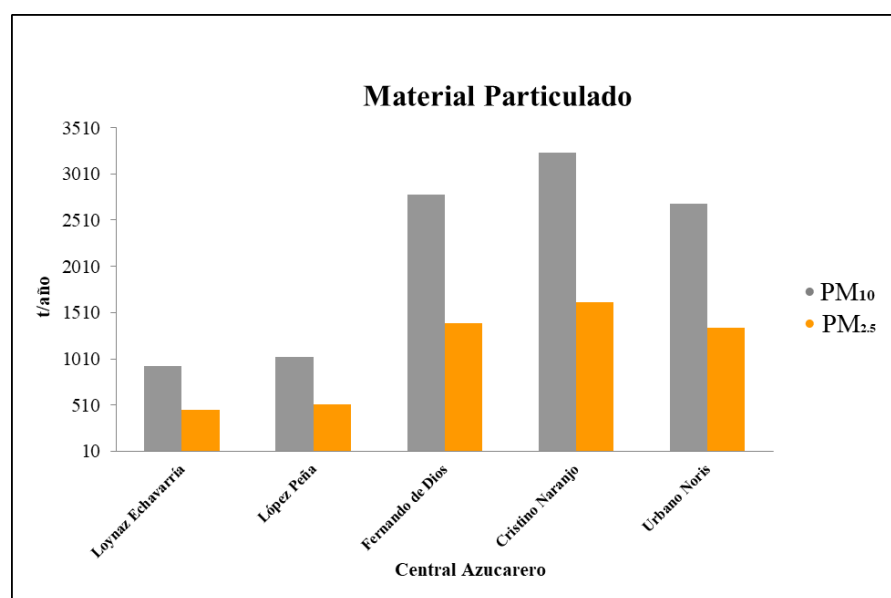


Figura 3. Emisiones de PM₁₀ y PM_{2,5} en t/año por central azucarero

Emisiones máximas admisibles de contaminantes a la atmósfera

Las Emisiones Máximas Admisibles (EMA) se analizaron en correspondencia con las características de las instalaciones, según lo establecido en la [NC/TS 803: 2017](#). Los generadores de vapor evaluados se clasifican como c-1 (Calderas de vapor. Biomasa), para este tipo de

instalaciones la norma evalúa los contaminantes SO₂, NO_x, PM₁₀ y PM_{2,5}.

Con el fin de comparar las emisiones con respecto a esta norma, se convirtieron los valores de concentración de los contaminantes a unidades de mg/Nm³. Como resultado se obtuvo que todas las chimeneas sobrepasan los límites normativos para el material particulado PM₁₀ y PM_{2,5}, y en el

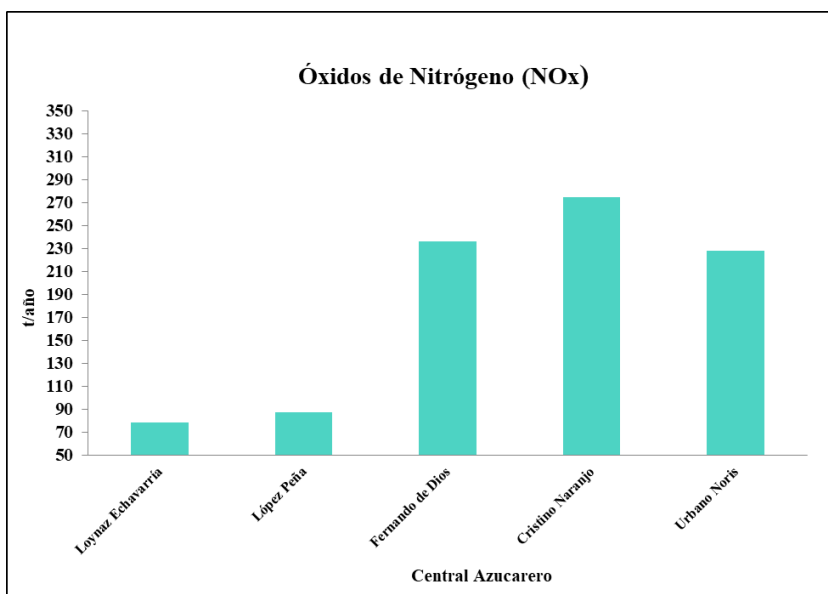


Figura 4. Emisiones de NO_x en t/año por central azucarero

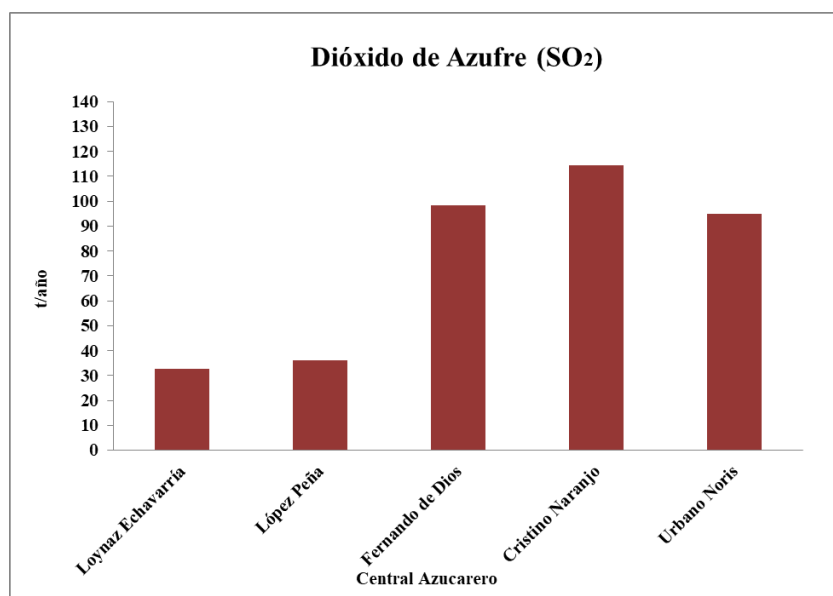


Figura 5. Emisiones de SO₂ en t/año por central azucarero

caso de los NO_x sólo los centrales López Peña y Cristino Naranjo superan la norma ([Tabla 6](#)).

El mayor aporte lo constituye el PM₁₀ y PM_{2,5} causado por el elevado consumo de bagazo utilizado como combustible. Por otra parte, ninguna de las emisiones de SO₂ supera la EMA

establecida en la norma cubana, debido al bajo contenido de azufre en el bagazo quemado.

Algunas de las alternativas de solución a la emisión de contaminantes que pudieran valorarse, están relacionadas, por ejemplo, con la propuesta de gasificación del bagazo como una opción limpia y altamente eficiente para la generación de

Tabla 6. Comparación normativa de las Emisiones Máximas Admisibles

Central	Emisiones (mg/Nm ³)			
	NO _x	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}
EMA Fuentes existentes	100	1 000	300	300
Loynaz Echevarría	73,394	30,581	867,271	433,023
López Peña	101,809	42,421	1203,046	600,675
Fernando de Dios	97,761	40,734	1155,211	576,791
Cristino Naranjo	152,714	63,631	1804,569	901,012
Urbano Noris	10,181	42,420	1203,046	600,675

electricidad (Torres, Almazán y Hernández, 2015). Así como la torrefacción del bagazo con la consiguiente reducción de las emisiones de SO₂ y NO_x (Ren et al., 2017). Y para las partículas, Cassula y demás investigadores (2015) proponen el tratamiento de las emisiones con un lavador de gases.

CONCLUSIONES

1. Los generadores de vapor de los centrales azucareros pertenecientes a la Provincia de Holguín emiten principalmente PM₁₀ (10 675,835 t/año), PM_{2,5} (5 330,389 t/año), y NO_x (903,456 t/año) y en menor medida SO₂ (376,440 t/año); valores de emisiones que superan a los de los generadores de vapor convencionales que emplean hidrocarburos como combustible, pero menores a los de termoeléctricas y grupos electrógenos.
2. La comparación de las Emisiones Máximas Admisibles con respecto a la NC/TS 803: 2017, para la categoría de fuentes existentes, demostró que para el PM₁₀ y PM_{2,5} emitidos por todas las chimeneas se sobrepasan los valores establecidos y en el caso de los NO_x sólo los centrales López Peña y Cristino Naranjo superan la norma. Sin embargo, para el SO₂ ninguna de las emisiones supera el máximo legal.
3. El inventario de emisiones en los centrales azucareros de la provincia de Holguín permite sentar las bases para futuras investigaciones, tomando como base la metodología utilizada, por lo que constituye un referente para una gestión ambiental, orientada a minimizar los riesgos asociados a la contaminación atmosférica en las localidades estudiadas.

REFERENCIAS

Asimov, I. 1973. *La Revolución Industrial Introducción a la Ciencia*. Plaza & Janes.

Bocchi, B. & 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*.

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.

Cuesta, O.; Sosa, C.; Iraola, C.; González, Y.; Nuñez, V.; Hernández, A. F.; Lamorú, C. I.; Sardiñas, S. B.; Zamora, Y. G. & Castillo, D. P. 2017. “Inventario nacional de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas”. *Revista Cubana de Meteorología*, 23(2): 178-190.

DIGESA 2005. *Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos*. Dirección General de Salud Ambiental. Perú. .

Domenech, F.; Lorenzo, Y.; Lorenzo, M. & Esquivel, 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). 1998. *Emissions Factors y AP-42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors*. .
- González, M. 2015. *La agroindustria cañera cubana: transformaciones recientes*. Bildner Center, Available: <https://books.google.es/books?hl=es_ylr=_yid=Wmf0CQAAQBAJ_yoi=fnd_ypg=PT1ydq=GONZ%C3%81LEZ-CORZO,+M.+2015:+La+agroindustria+ca%C3%B1era+cubana:+transformaciones+recientes.+Bildner+Center._yots=X892_uQat8_ysig=Axgdeipw9wNfKdtN44-ZlhwJyBs>.
- Hernández, A.; Reinoso, M. & Hernández, F. 2017a. “Contaminantes atmosféricos procedentes de centrales azucareros avileños”. *Universidad&Ciencia*, 6(2): 17-26.
- Hernández, A. & Hernández, F. 2017c. “Contaminantes atmosféricos procedentes de centrales azucareros espirituanos”. *Márgenes*, 5(2): 1-11.
- Hernández, A.; Reinoso, M. & Hernández, F. 2017d. “Contaminantes atmosféricos procedentes del central azucarero “Argeo Martínez”, Guantánamo, Cuba”. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 21(3): 7-14.
- Hernández, A.; Reinoso, M. & Hernández, F. 2018. “Contaminantes atmosféricos procedentes de centrales azucareros de la provincia de Holguín”. *Minería y Geología*, 34(3): 360-370, ISSN: 1993-8012.
- Hernández, A.; Reinoso, M.; Ordoñez, Y. C.; Barcelona, L. & Hernández, F. 2016. “Contaminantes atmosféricos procedentes de centrales azucareros”. *Ecosolar*, 56: 1-7.
- Hernández, F. 2017b. “Contaminantes atmosféricos emitidos por centrales azucareros cienfuegueros”. *Universidad y Sociedad*, 9(5): 70-74.
- Hunt, D. & Johnson, C. 1994. *Sistemas de Gestión Medioambiental*. España: Mc Graw Hill.
- Jiménez, R.; Lorenzo, J.; Monteagudo, J. P.; Pérez de Alejo, H.; Álvarez, R. & 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.
- López, C. M. 2006. *Introducción a la gestión de la calidad del aire*. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología.
- Marrero, Y.; Cuesta, O. & Suárez, M. 2017. “Inventario de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas de Holguín-Cuba, 2016”.
- National Pollutant Inventory (NPI). 2011. *Emission estimation technique manual for Combustion in boilers, Version 3.6*. .
- NC: 1049. 2014. *Guía de datos tecnológicos para el inventario de emisiones de los contaminantes atmosféricos desde fuentes industriales estacionarias*. La Habana: Oficina Nacional de Normalización.
- NC/TS 803. 2017. *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”. *Ponencia presentada en “ Transforming The Cuban Economic Model .” Bildner Center for Western Hemisphere Studies, The Graduate Center, CUNY, New York*.
- ONEI. 2016. *Anuario Estadístico de Holguín*. Available: <http://www.one.cu/publicaciones/provincias_masin/holguin.htm >, [Consulted: August 21, 2019].
- Reinoso, M.; Hernández, A.; Ordoñez, Y. C. & 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.

- Rodríguez, D. 2007. "Sistema Automatizado de Gestión de Información sobre Fuentes Contaminantes SAGIFC".
- Rodríguez, D.; Echevarría, L.; Cuesta, O. A.; Sánchez, A. & Gato, A. L. 2012. "Métodos teóricos para calcular parámetros tecnológicos de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por fuentes fijas. Caso de estudio ciudad de Pinar del Río". *Nereis. Interdisciplinary Ibero-American Journal of Methods, Modelling and Simulation.*, (4): 19-30.
- Shah, S. A.; Soomar, M. & Hussain, A. 2016. "Comparative Emission Analysis Of Bituminous Coal, Sugarcane Bagasse and Rice Husk". *Sindh University Research Journal-SURJ (Science Series)*, 48(3).
- Sosa, C. 2016. "Gestión de la contaminación del aire en un municipio industrial. Caso de estudio: Mariel".
- Torres, A.; Almazán, O. & 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". *Centro Azúcar*, 42(1): 1-8, ISSN: 2223-4861.

Yoell Marrero-Díaz. Centro Meteorológico Provincial de Holguín, Holguín, Cuba. E-mail: yoell.marrero@hlg.insmet.cu

Elisa Beatriz Cruz-Estopiñan. Centro Meteorológico Provincial de Holguín, Holguín, Cuba. E-mail: Elisa.Cruz@hlg.insmet.cu

Miguel Suárez-Benítez. Centro Meteorológico Provincial de Holguín, Holguín, Cuba. E-mail: Miguel.Suarez@hlg.insmet.cu

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Los autores de este trabajo declaran presentar una participación igualitaria en la concepción, ejecución y escritura de la investigación.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)