

Emisión a la atmósfera de contaminantes procedentes de centrales azucareros en Artemisa

Emission to the atmosphere of pollutants from sugar mills of Artemisa

Anel Hernández-Garcés^{1,*}, Mirtha Reinosá Valladares², Francisco Hernández Bilbao², Janet Canciano Fernández²

¹ Universidad Tecnológica de la Habana, José Antonio Echeverría (CUJAE). Calle 114 No. 11901 e/ Ciclovía y Rotonda, Marianao. La Habana, Cuba.

² Centro de Ingeniería e Investigaciones Químicas. La Habana, Cuba.

*Autor de correspondencia: anel@quimica.cujae.edu.cu

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) 

Recibido: 18 octubre 2019 **Aceptado:** 5 febrero 2020 **Publicado:** 25 febrero 2020

Resumen

Actualmente, el estudio de la contaminación atmosférica se ha convertido en un tema de especial interés a escala internacional. El uso de energías renovables es una opción para reducir las emisiones de gases contaminantes. En este trabajo se estimaron el SO₂, los NO_x y el material particulado (MP) provenientes de los generadores de vapor de centrales azucareros de la provincia Artemisa (Cuba) mediante factores de emisión. Como resultado se obtuvieron valores de emisión inferiores a los de termoeléctricas y grupos electrógenos pero varios órdenes superior que los de los generadores de vapor convencionales que emplean hidrocarburos como combustible. La comprobación de las emisiones con las emisiones máximas admisibles de la norma NC/TS 803 de 2010, para la categoría de fuentes existentes patentizó que para el MP y los NO_x de todas las chimeneas superan los máximos legales, mientras que para el SO₂ ninguna de las emisiones excede el valor establecido.

Palabras clave: emisiones, central azucarero, contaminantes atmosféricos, generador de vapor, biomasa cañera

Abstract

Today, the study of atmospheric pollution has become a subject of special interest in an international scale. The use of renewable energy is an option to reduce emissions of pollutant gases. In this work SO₂, NO_x and particulate matter (PM) emitted by steam boilers from sugar mills in the province of Artemisa (Cuba) were estimated using emission factors. As a result, lower emission levels were obtained than thermoelectric but several orders higher than those of conventional steam boilers that use hydrocarbons as fuel. Checking of the emissions with the Maximum Permissible Emissions of the standard NC/TS 803 of 2010, for the Existing Sources category did notice that for the MP and the NO_x, all the chimneys exceed the legal maximums. Nevertheless, for the SO₂ none of the emissions exceeds the established levels.

Keywords: emissions, sugar mill, air pollutants, steam boiler, bagasse

1. Introducción

El estudio de la contaminación atmosférica se ha convertido en un tema de especial interés a escala internacional debido a que la contaminación del aire se ha ido incrementando considerablemente con el crecimiento exponencial de la población mundial, desarrollo de las sociedades industriales y la quema indiscriminada de hidrocarburos para la producción de energía. Esto pone de manifiesto la necesidad de profundizar en el conocimiento del impacto ambiental, su prevención y control, así como en el establecimiento de medidas que reduzcan los niveles de contaminación para lograr un desarrollo sostenible.

El uso de energías renovables pudiera ser una opción para reducir las emisiones de gases contaminantes. En ese sentido, debe ser tenida en cuenta la agroindustria cañera ya que brinda un potencial atractivo como fuente de cogeneración de energía eléctrica mediante la quema de bagazo [1]. Como consecuencia, fue aprobada la Política de Desarrollo Perspectivo de las Fuentes Renovables y el Uso Eficiente de la Energía en Cuba en junio de 2014 que propuso, entre otros, la instalación de 755 MW en bioeléctricas. De igual manera, se ha estimado una potencialidad anual de 5 000 GWh generados por la agroindustria cañera en Cuba [2]. A la par, se ha destacado que un eventual aumento en la producción de energía a partir de bagazo podría en muchos casos significar un aumento en la producción de azúcar [3]. Mientras, se analizaron los esquemas termoenergéticos de dos centrales de la provincia de Cienfuegos y evaluaron la posibilidad de incrementar la electricidad entregada al sistema eletroenergético nacional [4].

El bagazo es igualmente empleado como combustible en otros países. Se reporta que el mismo era la biomasa más utilizada en Brasil para la generación de vapor. Por otra parte, es un ejemplo como un combustible alternativo capaz de reducir las emisiones contaminantes en comparación con los hidrocarburos [5]. No obstante, la quema de biomasa cañera no exonera a las bioeléctricas de producir gases contaminantes [6]. Siempre está presente esta posibilidad y depende, entre otros, de la existencia de sistemas de tratamiento, del estado técnico de las calderas y de la composición de la biomasa.

Se ha reportado el estudio de las emisiones provenientes de la quema del bagazo [7]. A partir de estudios de SO_2 y NO_x , se obtuvieron factores de emisión de varios biocombustibles, y el bagazo tuvo los menores valores para SO_2 . No obstante, para los NO_x alcanzaron valores superiores. Se reporta el inventario de emisiones de las plantas de energía que consumen bagazo de la caña de azúcar en Brasil [8]. Recientemente, otros investigadores han estimado las emisiones desde el punto de vista climático [9].

La provincia Artemisa (Cuba) cuenta con dos centrales de los que no se conoce la carga de contaminantes emitida a la atmósfera, y por consiguiente, no se puede evaluar el impacto que las mismas provocan sobre la calidad del aire. La medida de las emisiones en fuentes estacionarias es el sistema más seguro para determinar la naturaleza y cantidad de contaminantes emitidos a la atmósfera. Existen varios sistemas de medición puntual, siendo el más usado cuando están presentes las partículas como contaminantes la sonda isocinética. Esta sonda se introduce mediante un orificio en la chimenea para realizar la medición. Estos equipos son caros y son pocos los que existen en Cuba.

Por otro lado, los factores de emisión son valores representativos que relacionan la cantidad de un contaminante expulsado a la atmósfera con una actividad asociada a la liberación de este contaminante. Estos facilitan la estimación de emisiones de diversas fuentes de contaminación del aire y son considerados como representativos para todas las instalaciones en la categoría de la

fuelle. Son además una alternativa para países como Cuba donde son escasas las tecnologías para la determinación de emisiones a la atmósfera.

El objetivo de este trabajo es estimar mediante factores de emisión los contaminantes atmosféricos (SO_2 , NO_x y MP) originados en las calderas de centrales azucareros de Artemisa como precedente para la evaluación del impacto de las bioeléctricas sobre la calidad del aire.

2. Materiales y Métodos

Fueron elegidos los generadores de vapor de los centrales de la provincia Artemisa para sentar las bases de la evaluación de las futuras bioeléctricas (Figura 1). Todos los datos empleados en el estudio se corresponden con la zafra azucarera 2016-2017.



Fig.1 Localización de los centrales en la zona de estudio

Los contaminantes atmosféricos emitidos se estimaron a partir de la ecuación (1), recomendada por la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos (EPA) [10], y se utilizaron los factores de emisión divulgados por esta agencia en la serie AP 42 para fuentes puntuales o estacionarias [11].

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

siendo:

E : Emisión (g/s).

A : Consumo de combustible (kg/s).

f : Factor de emisión no controlada (g/kg).

ϵ : Eficiencia de reducción de emisiones (%), cuando se utiliza tecnología de reducción.

Debido a que no existe tecnología de reducción de emisiones, entonces $\epsilon = 0$.

La EPA omite al SO_2 [11], pese a ello, se incluye en el presente trabajo debido a la importancia de este contaminante, que entre otros aspectos establecen los niveles de calidad de aire y en los que se basan los documentos normativos. Con este fin se considera entonces el factor de emisión

reportado por NPI [12] para el SO₂. Los factores de emisión tenidos en cuenta en el estudio se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Factores de emisiones

Sustancia	Factor de emisión (g/kg bagazo)	Referencia
MP	7,8	[11]
NO _x	0,6	
SO ₂	0,25	[12]

A partir de la norma potencial de caña del central azucarero (Tabla 2) y considerando que la misma producía un 27% de bagazo, se estimó la cantidad de bagazo empleado como combustible. Luego, se sustrajo un 8%, cantidad almacenada en la casa de bagazo para un arranque ulterior de la caldera. Se promedió la temperatura de salida de los gases de combustión, ya que los centrales contaban con más de una caldera emitiendo a través de una misma chimenea.

Tabla 2. Consumo de caña de los centrales azucareros

Central/Municipio	No. de chimeneas	No. de calderas	Consumo de caña (t/h)	Consumo de bagazo (t/h)	Temperatura gases de combustión (K)
Harlem/Bahía Honda	1	2	96	24	573
30 de Noviembre/San Cristóbal	1	4	333	83	503

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

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

siendo:

Q: Flujo de los gases de combustión (m³/s) para condiciones normales.

V: Volumen de gases húmedos (Nm³/kg) para condiciones normales.

C: Consumo de combustible (kg/s).

Mientras, el volumen de gases V se determinó con los valores reportados por la EPA, según la ecuación (3):

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

siendo:

P_C , P_{H_2} , P_S y P_{O_2} : Composiciones en tanto por uno de un combustible formado por carbono, hidrógeno, azufre y oxígeno.

n : Coeficiente de exceso de aire. En este caso $n=1+\text{exceso de aire}$.

3. Resultados y Discusión

Los valores de caudal y emisión estimados (Tabla 3) son varios órdenes superiores que los de los generadores de vapor convencionales, localizados en distintas industrias e instituciones de la región que emplean hidrocarburos como combustible pero son inferiores a los de termoeléctricas y grupos electrógenos. Esta conclusión concuerda con trabajos anteriores que estimaron las toneladas de NO_x dejadas de expulsar a la atmósfera por la quema de combustibles fósiles [13]. De igual modo, los mayores valores se corresponden con los consumos más altos de bagazo.

Tabla 3. Emisiones y flujos volumétricos

Central	Emisiones (g/s)			Flujo de gases (m^3/s)
	MP	NO_x	SO_2	
Harlem	51,58	3,97	1,65	39,21
30 de Noviembre	179,40	13,80	5,75	239,74

Los generadores de vapor estudiados se clasifican como c-1 (Calderas de vapor. Biomasa) [14]. Esta norma solo restringe a los contaminantes SO_2 , NO_x y material particulado. Se obtuvo como resultado de la comparación con la norma que todas las chimeneas sobrepasan los límites normativos para el MP y los NO_x (Tabla 4). Lógicamente, el mayor aporte es del MP originado 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 4. Comparación normativa de las emisiones

Central	Emisiones (mg/Nm^3)		
	MP	NO_x	SO_2
EMA Fuentes existentes	400	100	1000
Harlem	2761,8	212,4	88,5
30 de Noviembre	1379,1	106,1	44,2

La dispersión es un proceso de dilución que mezcla el penacho de partículas con el aire ambiente gobernado principalmente por la turbulencia atmosférica y puede ser causada por el aire circulando alrededor de obstáculos e irregularidades de la superficie, o por la diferencia en la velocidad y/o dirección del viento entre dos alturas sobre el terreno o por burbujas de aire que ascienden debido al calentamiento diurno de la superficie. Las emisiones estudiadas, como resultado de la dispersión, deben influir básicamente en zonas rurales para las cuales se supone un uso agrícola del suelo. No deben afectar a las comunidades vecinas a los centrales si se tiene en cuenta la altura de las chimeneas. Los efectos de la inmisión de los contaminantes y el área de influencia evaluados pudieran estimarse a través de la modelación de la dispersión de las mismas [15, 16].

Se deben considerar alternativas para la reducción de los contaminantes emitidos. Entre las opciones para dicha reducción, se considera la gasificación del bagazo como una opción altamente eficiente para la generación de electricidad [17]. Se reporta también la torrefacción del bagazo con la consiguiente reducción de las emisiones de SO_2 y NO_x [18]. Para las partículas, el tratamiento de las emisiones con un lavador de gases es una propuesta atractiva. Otras alternativas para partículas son las cámaras de decantación por gravedad, los ciclones e hidrociclones, los separadores húmedos, los electrofiltros y los filtros de mangas.

La visualización de los datos en una zona geográfica posibilita conocer en qué zona se originan las emisiones, dónde se producen los mayores valores y si pudiera existir alguna relación entre ellas. De esta manera se facilitaría la gestión de la calidad del aire, las medidas de reducción emisiones y las acciones de mitigación. Las Figuras 2, 3 y 4 muestran la distribución espacial de las emisiones a lo largo de la zona de estudio.

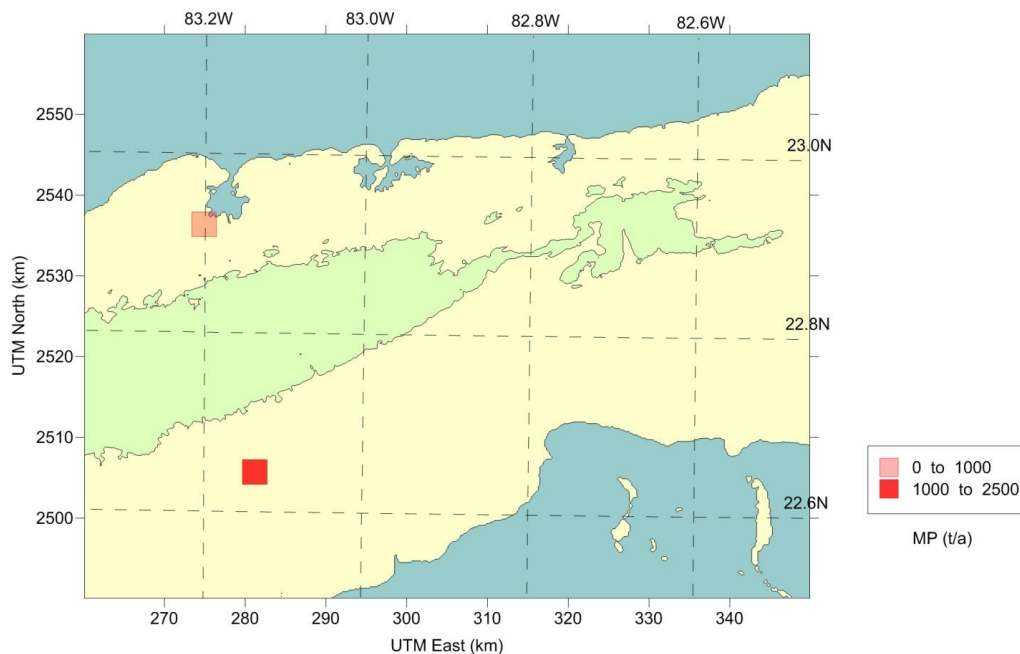


Fig.2 Distribución espacial de MP en la zona de estudio

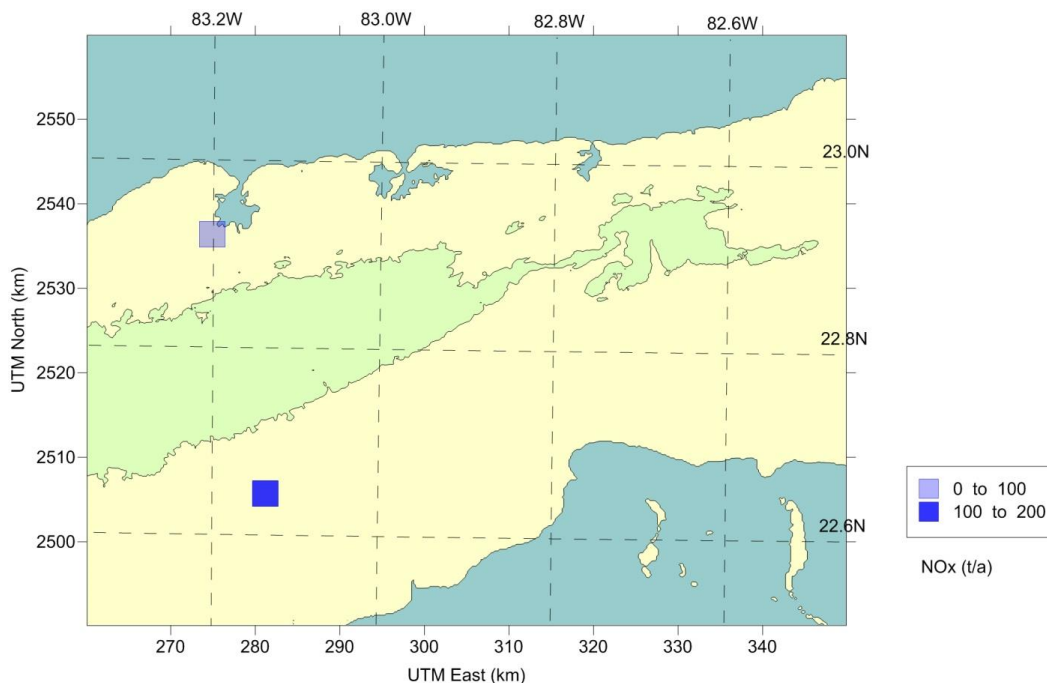


Fig.3 Distribución espacial de NOx en la zona de estudio

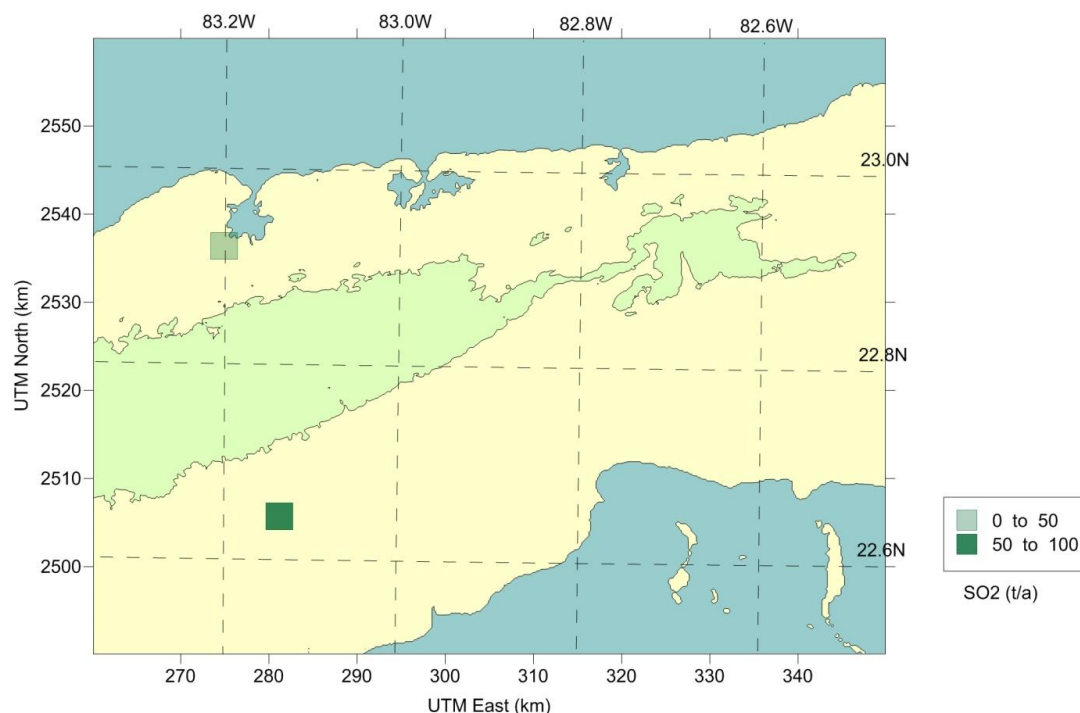


Fig.4 Distribución espacial de SO_2 en la zona de estudio

Como se puede apreciar, para las tres especies estudiadas, coinciden las zonas de mayores valores de emisión ya que esta depende de la cantidad de combustible gastado. La zona con el central que más emite está al suroeste de la provincia.

4. Conclusiones

El estudio de la dispersión de contaminantes en una región depende, entre otros, del inventario de las fuentes existentes. Para ello se necesitan equipos costosos. Los resultados de este estudio son novedosos ya que no existen antecedentes del conocimiento de la dispersión de contaminantes atmosféricos en la zona analizada; son un aporte y una primera aproximación válida al conocimiento de un fenómeno del cual no existe información. Se analizaron los contaminantes atmosféricos procedentes de los generadores de vapor de centrales azucareros de Artemisa, Cuba. Se obtuvieron como resultado valores de emisión varios ordenes superior que los de los generadores de vapor convencionales que emplean hidrocarburos como combustible pero inferiores a los de termoeléctricas y grupos electrógenos. La comparación de las emisiones con las EMA de la NC/TS 803 de 2010. Para la categoría de fuentes existentes evidenció que para el MP y los NO_x de todas las chimeneas se superan los valores legales. Sin embargo, para el SO_2 ninguna de las emisiones excede el máximo establecido.

Agradecimientos

A los especialistas Lázaro Iglesias del Harlem y a Manuel Pérez de 30 de noviembre, por el suministro de los datos y especificaciones con que se realizó este trabajo.

Referencias

1. Nova, A., *Importancia económica y estratégica de la agroindustria de la caña de azúcar para la economía cubana. Transforming the Cuban Economic Model*. Bildner Center for Western Hemisphere Studies. The Graduate Center, 2013. New York.
2. González-Corzo, M., *La agroindustria cañera cubana: transformaciones recientes*. Bildner Center for Western Hemisphere Studies, 2015. New York.
3. Centeno, F.O., *Avaliação da combustão de bagaço e palha de cana-de-açúcar numa fornalha de caldeira industrial AMD a partir da modelagem por CFD*. Tesis de Doctorado. Instituto de Engenharia Mecânica, 2015. Universidade Federal de Itajubá, Brasil,
4. Jiménez, R., et al., *Potencialidades de entrega de energía eléctrica en dos centrales azucareros de la provincia de Cienfuegos*. Centro Azúcar, 2017. **44**(2): p. 60-68.
5. Shah, S.A., et al., *Comparative Emission Analysis of Bituminous Coal, Sugarcane Bagasse and Rice Husk*. Sindh University Research Journal-SURJ (Science Series), 2016. **48**(3): p. 685-688.
6. Domenech-Lopez, F., et al., *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, 2011. **45**(3): p. 30-37.
7. Gadi, R., et al., *Emissions of SO₂ and NO_x from biofuels in India*. Tellus B, 2003. **55**(3): p. 787-795.
8. Kawashima, A.B., et al., *Estimates and Spatial Distribution of Emissions from Sugar Cane Bagasse Fired Thermal Power Plants in Brazil*. Journal of Geoscience and Environment Protection, 2015. **3**(6): p. 72-76.
9. Reinoso, M., et al., *Inventario de emisiones de dióxido de carbono procedentes de centrales azucareros de la provincia Mayabeque*. Ecosolar, 2017. **57**: p. 13-16.
10. EPA. *Emissions Factors & AP-42. Compilation of Air Pollutant Emission Factors*, 1998.
11. EPA. *Emission factor documentation for AP-42, section 1.8. Bagasse combustion in sugar mills*, 1993.
12. National Pollutant Inventory. *Emission estimation technique manual for Combustion in boilers*. Version 3.6, 2001.
13. Neto, V., et al., *Análises de opções tecnológicas para projetos de co-geração no setor sucro-alcooleiro*. Contract NO. DE-AC36-99GO10337. 2002, Brasília.
14. Oficina Nacional de Normalización. *Calidad del aire-emisiones máximas admisibles. De contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor*. NC/TS 803. 2010.
15. Hernández-Garces, A., et al., *Estado actual de los modelos de dispersión atmosférica y sus aplicaciones*. UCE Ciencia. Revista de Postgrado, 2015. **3**(2): p. 1-17.
16. Ordoñez-Sánchez, Y.C., et al., *Aplicación de modelos simplificados para la dispersión de contaminantes atmosféricos. Caso de estudio*. Revista Cubana de Química, 2018. **30**(1): p. 90-103.
17. Torres, A., et al., *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, 2015. **42**(1): p. 1-8.
18. Ren, X., et al., *Carbon, sulfur and nitrogen oxide emissions from combustion of pulverized raw and torrefied biomass*. Fuel, 2017. **188**: p. 310-323.

Conflicto de Intereses

No existe ningún conflicto de intereses entre los autores, ni de los autores con otras entidades vinculadas al contenido del artículo.