

Artículo Original

***DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA EMISIÓN DE
CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA EMITIDOS POR
CENTRALES AZUCAREROS VILLA CLAREÑOS***

***SPATIAL DISTRIBUTION OF THE EMISSION OF AIR POLLUTANTS TO THE
ATMOSPHERE EMITED BY SUGAR MILLS FROM VILLA CLARA***

Anel Hernández-Garces ^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-3666-1746>

Roy Peña-Cossío ² <https://orcid.org/0000-0001-7249-3156>

Francisco Hernández Bilbao ³ <https://orcid.org/0000-0003-0892-2416>

José A. González ⁴ <https://orcid.org/0000-0002-0879-5691>

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

² Centro de Investigación y Manejo Ambiental del Transporte (CIMAB), Carretera del Cristo No. 3, esquina Tiscornia, Casablanca, Regla, La Habana, Cuba.

³ Azcuba, Calle 23, No.171 entre N y O, La Habana, Cuba.

⁴ Instituto CRETUS, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Santiago de Compostela, Santiago de Compostela 15782, España.

Recibido: Septiembre 9, 2020; Revisado: Octubre 15, 2020; Aceptado: Diciembre 29, 2020

RESUMEN

Introducción:

La distribución espacial de los inventarios de emisiones tiene gran importancia en el análisis de estrategias de monitoreo especialmente en la evaluación de zonas comprometidas que excedan los límites legales.

Objetivo:

Desarrollar la distribución espacial de los contaminantes atmosféricos (dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y material particulado) emitidos por generadores de vapor de centrales azucareros villaclareños.

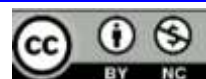
Materiales y Métodos:

Se procedió a calcular las emisiones con factores de emisión. Posteriormente, con el empleo del sistema de interpolación *Surfer 12* se elaboraron las distribuciones espaciales de cada uno de los contaminantes estimados.



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Anel Hernández-Garces, Email: anel@quimica.cujae.edu.cu



Resultados y Discusión:

Todas las chimeneas superan los límites establecidos para el material particulado. Lo mismo ocurre para los óxidos de nitrógeno con excepción del central Efraín Alfonso. Mientras, el dióxido de azufre no representa un problema. La zona con los centrales que más emiten está al sureste de la provincia.

Conclusiones:

La distribución espacial del inventario de emisiones procedente de la industria azucarera en la zona analizada, son una primera aproximación al conocimiento de un fenómeno del cual no existe información previa.

Palabras clave: central azucarero; contaminantes atmosféricos; distribución espacial; emisiones; generador de vapor.

ABSTRACT

Introduction:

The spatial distribution of emissions inventories has great importance in monitoring strategies analysis, especially in evaluation of compromised areas that exceed legal limits.

Objective:

To develop the spatial distribution of atmospheric pollutants (sulfur dioxide, nitrogen oxides and particulate matter) emitted by steam generators of Villa Clara sugar mills.

Materials and Methods:

The emissions were calculated with emission factors. Later, with the use of Surfer 12, the spatial distributions of each estimated pollutants were elaborated.

Results and Discussion:

All the stacks exceed established limits for particulate matter. The same occurs for nitrogen oxides with the exception of the Efraín Alfonso mill. Meanwhile, sulfur dioxide is not a problem. In the southeast of the province sugar mills have the higher emission values.

Conclusions:

Spatial distribution of emissions inventory from the sugar industry in the analyzed area is a first approximation to the knowledge of a phenomenon for which there is no prior information.

Keywords: sugar mill; air pollutants; spatial distribution; emissions; steam boiler.

1. INTRODUCCIÓN

La representación espacial de las fuentes y las emisiones atmosféricas en forma de mapas en una región, país o zona de este, son de suma utilidad (López, 2006). Permiten determinar la contribución de cada fuente en una región y su distribución espacial. Posibilitan, además, localizar las áreas con emisiones cuyos efectos nocivos puedan sumarse. Así, las políticas de reducción de emisiones pueden organizarse según la complejidad de cada localización.

La distribución espacial de los inventarios de emisiones tiene gran importancia en el análisis de estrategias de monitoreo, especialmente en la evaluación de zonas

comprometidas que excedan los límites legales.

En algunos casos, la distribución espacial es parte del proceso por medio del cual las emisiones estimadas son preparadas para usarlas como datos de entrada en determinados modelos de calidad del aire.

Por otro lado, si los valores de las emisiones se dividen por el área de cada celda de una región, se obtendría entonces la densidad de emisiones y esta puede ser una herramienta regulatoria que permita comparar con límites legales establecidos en determinadas zonas.

Diversos autores que elaboran inventarios incluyen su distribución espacial. Zheng et al., (2009) lo emplearon en el inventario de contaminantes criterio procedentes de fuentes industriales y móviles en la zona del delta del río Pearl, China; (Kuenen et al., 2014) en el inventario de alta resolución para toda Europa con el fin de alimentar modelos de calidad de aire; Ho y Clappier, (2011) en el inventario de emisiones procedente de fuentes móviles en la ciudad Ho Chi Minh, Vietnam; Zhao et al., (2015) en el de fuentes industriales en Nanjing, China; Shahbazi et al., (2016) en el de contaminantes primarios en Teherán, Irán.

Mientras, Byeong-Uk et al., (2016) examinaron el efecto de diferentes fuentes antrópicas extranjeras, mediante un inventario de emisiones en la zona metropolitana de Seúl, Korea del Sur. A partir de su distribución espacial estimaron cambios en la capa de ozono mediante la reducción de emisiones. Luego, García-Reynoso y col., (2018) presentaron la distribución espacial del inventario de emisiones de México para el año 2008.

Por su parte, otros autores que también incorporan la distribución espacial en sus inventarios son Hua et al., (2019) en el de emisiones de ocho contaminantes en la ciudad de Wuxi, China y Singh et al., (2020) en el de contaminantes producto de la combustión de residuos agrícolas en el norte de la India.

Al respecto, la NC 1049, (2014) no refiere el tema. Como consecuencia, los autores cubanos que reportan inventarios de emisiones no incluyen la distribución espacial de los mismos (Domínguez, 2008; Rodríguez y col., 2013; Hernández-Garcés y col., 2016; Cuesta y col., 2017; Hernández-Garcés y col., 2017; Fonte y col., 2017; Hernández-Garcés y col., 2018; Frías y Barcia, 2019; Hernández-Garcés y col., 2019; Peña-Cossío y Hernández-Garcés, 2020; Hernández-Garcés y col., 2020; Núñez y col., 2020; Marrero y col., 2020).

A partir del análisis anterior, se propone como objetivo de este trabajo desarrollar la distribución espacial de los contaminantes atmosféricos (dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y material particulado) emitidos por generadores de vapor de centrales azucareros villaclareños, como caso de estudio precedente para incluir en la normativa cubana la distribución espacial como parte de los inventarios de emisión de contaminantes a la atmósfera.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Como estudio precedente para incluir la distribución espacial como parte de los inventarios de emisión de contaminantes a la atmósfera fueron elegidos los generadores de vapor de los centrales de la provincia Villa Clara, por ser la que cuenta con un mayor número de los mismos (Figura 1). No se tuvo en cuenta en el trabajo al George

Washington del municipio Santo Domingo porque en el momento del estudio no molía caña, solo quemaba fuel en la refinería de azúcar. Todos los datos empleados en el estudio se corresponden con la zafra 2016-2017.



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

A partir del esquema de trabajo desarrollado por Hernández-Garcés y col., (2016) se procedió a calcular las emisiones de los contaminantes atmosféricos con el empleo de factores de emisión. Los factores de emisión considerados en el estudio se muestran en las Tablas 1 y 2. Aunque es subestimado por la EPA (1993) se considera en el presente trabajo al SO_2 debido a la importancia de este contaminante criterio. Para este se toma el factor de emisión reportado por NPI (2001) ya que las otras oficinas regulatorias que propone la norma cubana tampoco los incluye.

Tabla 1. Factores de emisión (EPA, 1993)

<i>Sustancia</i>	<i>Factor de emisión (g/kg bagazo)</i>
MP	7,8
NO_x	0,6

Tabla 2. Factores de emisión (NPI, 2001)

<i>Sustancia</i>	<i>Factor de emisión (g/kg bagazo)</i>
SO_2	0,25

La composición elemental del combustible que alimenta a los generadores de vapor es bagazo. Chiquitico Fabregat en el momento del estudio no molía caña propia, quemaba una mezcla de bagazo y paja procedente de los excedentes de otros centrales. Esta mezcla se consideró en la metodología empleada como si fuera solo de bagazo.

2.1. Cálculo del consumo de combustible

Considerando la norma potencial de caña molida por el central (Tabla 3) y que la misma proporcionaba un 27% de bagazo, se calculó la cantidad de bagazo quemado.

Tabla 3. Consumo de caña de los centrales

<i>Central/Municipio</i>	<i># de chimeneas</i>	<i># de calderas</i>	<i>Consumo de caña (t/h)</i>
Efraín Alfonso/Ranchuelo	1	4	144
Heriberto Duquesne/Remedios	1	2	113
Abel Santamaría/Encrucijada	1	2	77
José María Pérez/Camajuaní	1	2	158
Perucho Figueredo/Encrucijada	1	2	143
Quintín Banderas/Corralillo	1	3	192
Chiquitico Fabregat/Remedios	1	1	*
Panchito Gómez Toro/Quemado de Güines	1	3	158
Héctor Rodríguez/Sagua la Grande	1	3	192
Carlos Baliño/Cifuentes	1	1	98

*: en el momento del estudio Chiquitico Fabregat no molía. Quemaba bagazo de otros centrales.

Luego se sustrajo la cantidad destinada a la casa de bagazo, un 8 % disponible para el arranque de la caldera (Tabla 4).

Tabla 4. Consumo de bagazo de los generadores de vapor

<i>Central</i>	<i>Consumo de bagazo (t/h)</i>	<i>Temperatura salida gases de combustión (K)</i>
Efraín Alfonso	36	463
Heriberto Duquesne	28	598
Abel Santamaría	19	623
José María Pérez	39	578
Perucho Figueredo	36	403
Quintín Banderas	48	443
Chiquitico Fabregat	12*	491
Panchito Gómez Toro	39	453
Héctor Rodríguez	48	473
Carlos Baliño	24	463

La temperatura de salida de los gases de combustión se promedió en el caso de los centrales que tuviesen más de una caldera emitiendo a través de la misma chimenea. Posteriormente, con las coordenadas de cada uno de los centrales, obtenidas a partir de *Google Maps* y con el empleo del sistema de interpolación de datos espaciales *Surfer 12*, se procedió a la elaboración de las distribuciones espaciales de cada uno de los contaminantes estimados.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 5 se muestran los resultados de las emisiones de los contaminantes atmosféricos emanados por los generadores de vapor objeto de estudio.

Tabla 5. Emisiones y flujos volumétricos

<i>Central</i>	<i>Emisiones (g/s)</i>			<i>Flujo de gases (m³/s)</i>
	<i>MP</i>	<i>NO_x</i>	<i>SO₂</i>	
Efraín Alfonso	77,4	6,0	2,5	103,5
Heriberto Duquesne	60,6	4,7	1,9	48,0
Abel Santamaría	41,5	3,2	1,3	34,3
José María Pérez	85,1	6,6	2,7	29,0
Perucho Figueredo	77,4	6,0	2,5	41,4
Quintín Banderas	103,2	7,9	3,3	91,0
Chiquitico Fabregat	24,9	1,9	0,8	22,5
Panchito Gómez Toro	85,1	6,6	2,7	80,2
Héctor Rodríguez	103,2	7,9	3,3	97,2
Carlos Baliño	52,9	4,1	1,7	16,3

Los resultados conseguidos de caudal y emisión son inferiores a los de termoeléctricas y grupos electrógenos, pero son varios órdenes superiores que los de los generadores de vapor convencionales que emplean hidrocarburos como combustible y que están instalados en distintas industrias e instituciones de la región (Núñez y col., 2013).

La norma NC/TS 803, (2010) establece las Emisiones Máximas Admisibles (EMA), las cuales se han establecido en dependencia de las características de las instalaciones que generan los contaminantes; para el caso de las calderas de vapor se distinguen diferentes clasificaciones, que se subdividen en correspondencia con el tipo de combustible que utiliza. Los generadores de vapor objeto de estudio de este trabajo se clasifican como c-1 (Calderas de vapor. Biomasa).

Se convirtieron los valores de concentración de los contaminantes a unidades de mg/Nm³ para realizar la comparación de las emisiones con la norma cubana NC/TS 803, (2010). Esta solo refiere los contaminantes SO₂, NO_x y material particulado.

En la Tabla 6 se observa que ninguna de las emisiones resultantes de SO₂ sobrepasa las EMAs establecidas en la norma cubana. La mayor contribución, lógicamente es el MP, causados fundamentalmente por el tipo de combustible que se emplea, el bagazo (Gil, 2005). Todas las chimeneas superan los límites establecidos para este contaminante. Sería necesario determinar el valor real de estas emisiones con detectores de gases para validar estos resultados. Mientras que, para los NO_x, salvo el Efraín Alfonso, todas las chimeneas superan los límites establecidos.

La modelación de la dispersión de estas emisiones pudiera estimar la región de influencia y las consecuencias de las inmisiones de los contaminantes analizados (Hernández-Garces y col., 2015; Ordoñez-Sánchez y col., 2018).

Tabla 6. Comparación normativa de las emisiones

<i>Central</i>	<i>Emisiones (mg/Nm³)</i>		
	<i>MP</i>	<i>NO_x</i>	<i>SO₂</i>
EMA Fuentes existentes	400	100	1000
Efraín Alfonso	1275,1	98,1	40,9
Heriberto Duquesne	2762,3	212,5	88,5
Abel Santamaría	2761,0	212,4	88,5
José María Pérez	5522,7	424,8	177,0
Perucho Figueredo	2758,3	212,2	88,4
Quintín Banderas	1839,3	141,5	59,0
Chiquitico Fabregat	9387,4	722,1	300,9
Panchito Gómez Toro	1841,5	141,7	59,0
Héctor Rodríguez	1839,8	141,5	59,0
Carlos Baliño	5514,5	424,2	176,7

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 de emisiones y las acciones de mitigación. A continuación, se muestra la distribución espacial de las emisiones a lo largo de la zona de estudio (Figuras 2, 3 y 4).

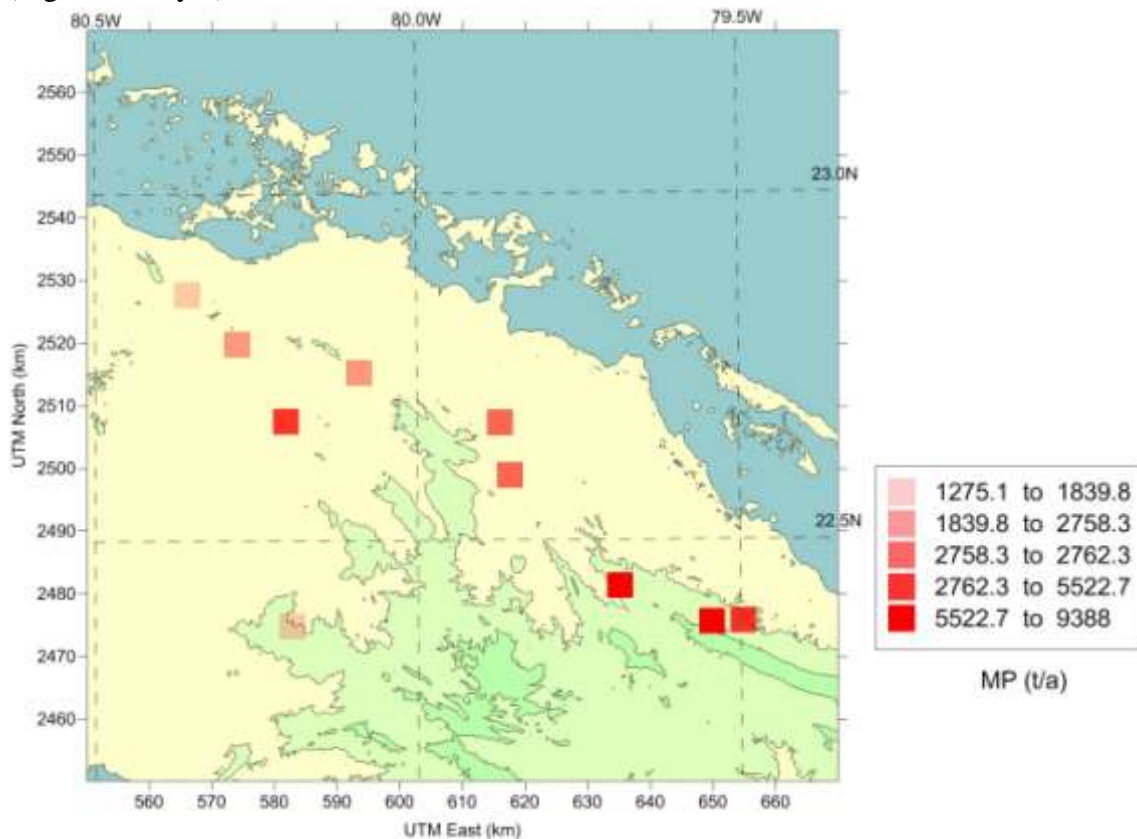


Figura 2. Distribución espacial de MP en la zona de estudio

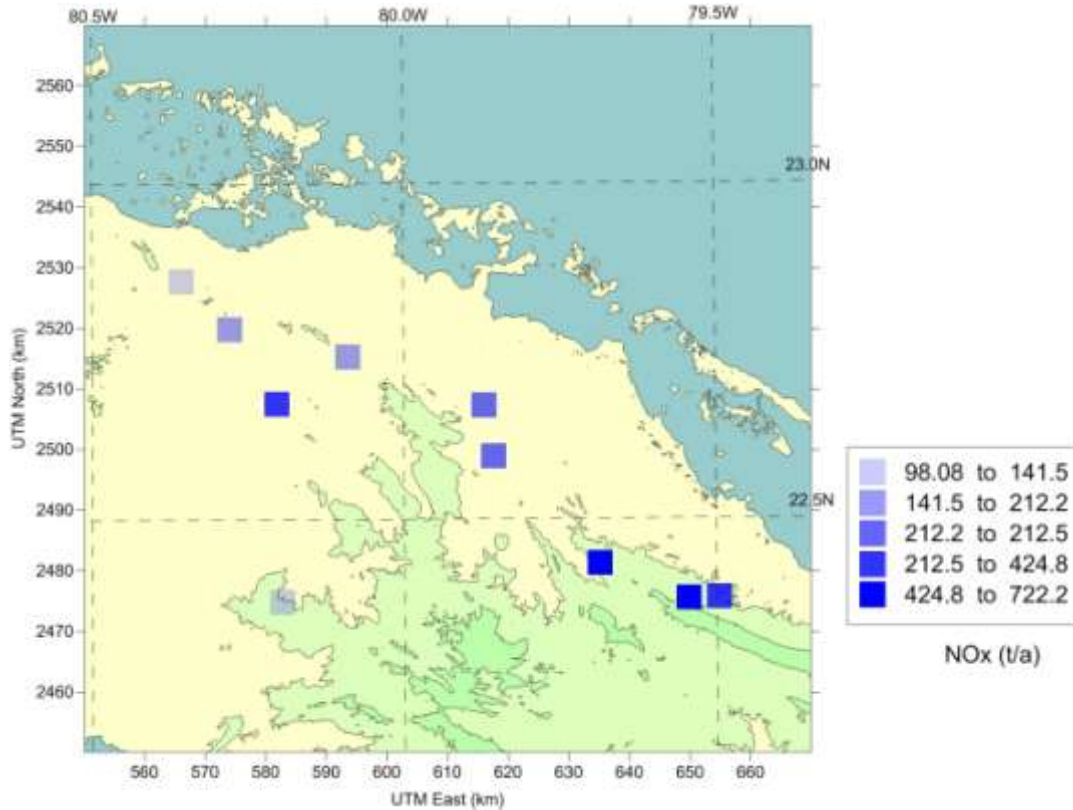


Figura 3. Distribución espacial de NO_x en la zona de estudio

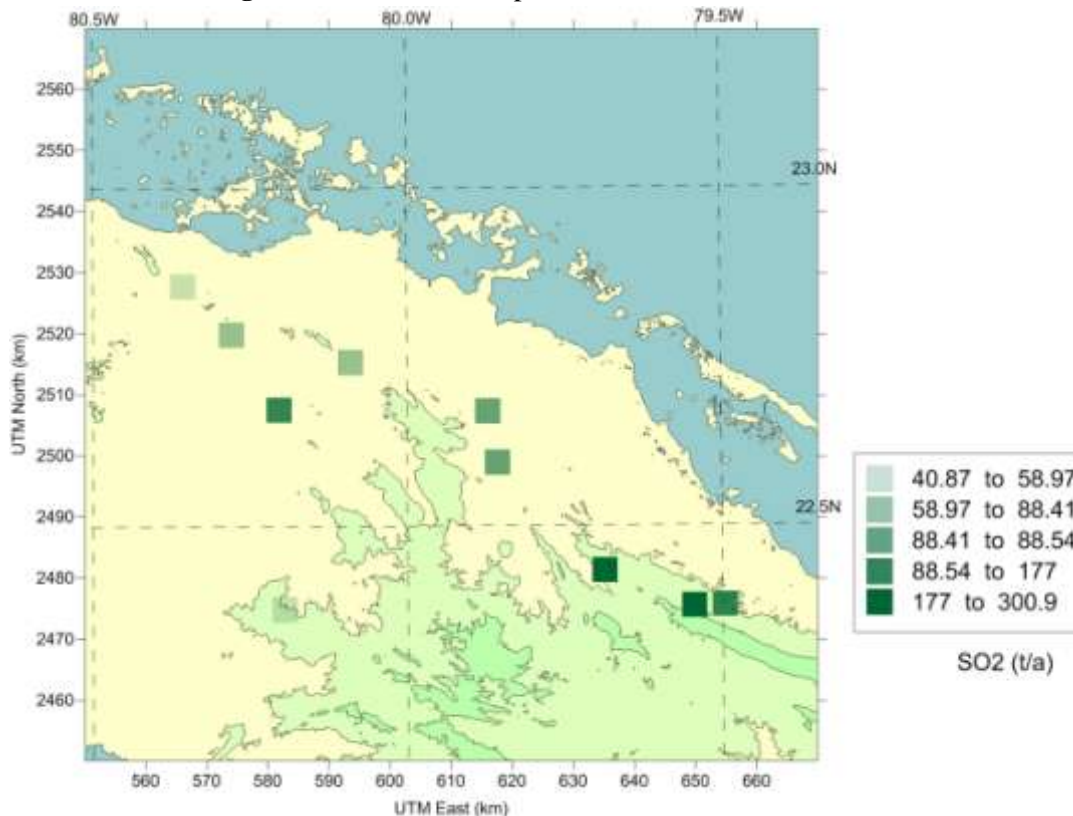


Figura 4. Distribución espacial de SO₂ en la zona de estudio

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 los centrales que más emiten está al sureste de la provincia, específicamente en los municipios Camajuaní y Remedios.

4. CONCLUSIONES

1. El estudio de la dispersión de contaminantes en una región depende, entre otros, del inventario de las fuentes existentes. Los resultados de este estudio son novedosos ya que no existen antecedentes del conocimiento de la emisión de contaminantes atmosféricos procedente de la industria azucarera en la zona analizada. Son un aporte y una primera aproximación válida al conocimiento de un fenómeno del cual no existe información.
2. Como la práctica nacional para confeccionar los inventarios de emisiones no incluye a la distribución espacial, la incorporación de los mismos a este trabajo también es novedosa.
3. La evaluación de los contaminantes atmosféricos emitidos por los generadores de vapor de los centrales azucareros analizados, arrojó resultados de emisión varios órdenes mayor que los de los generadores de vapor convencionales que emplean hidrocarburos como combustible pero inferiores a los de termoeléctricas y grupos electrógenos.
4. La verificación de las emisiones con las EMA de la NC/TS 803, (2010), para la categoría de fuentes existentes demostró que ninguna de las emisiones sobrepasa los valores normativos para el SO₂. Mientras, para el MP y el NO_x todas las chimeneas superan los máximos fijados con excepción del Efraín Alfonso para el segundo de los contaminantes mencionados.

AGRADECIMIENTOS

A los especialistas de generación de vapor de los grupos técnicos, a Miñoso del Efraín Alfonso, a Wilfredo del Heriberto Duquesne, a Fabregat del Abel Santamaría, a Juan Carlos del José María Pérez, a Justo del Perucho Figueredo, a Fábregas e Ignacio del Quintín Banderas, a Bernardo del Chiquitico Fabregat, a Juan Trujillo del Panchito Gómez Toro, a Niroleibis del Héctor Rodríguez y a Hanoy Suárez del Carlos Baliño; por el suministro de los datos y especificaciones con que se realizó este trabajo.

REFERENCIAS

- Byeong-Uk, K., Okgil, K., Hyun, K., & Soontae, K., Influence of fossil-fuel power plant emissions on the surface fine particulate matter in the Seoul Capital Area, South Korea., *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol. 66, No. 9, 2016, pp. 863-873.
- Cuesta, O., Sosa, C., Ramírez, C.I., González, Y., Núñez, V., Fonte, A., Imbert, C., Barcia, S., Gómez, Y. & Portal, D., Inventario nacional de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas., *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 23, No. 2, 2017, pp. 178-190.
- Domínguez, S., Inventario de emisión para los contaminantes del aire, emitidos por fuentes puntuales de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Metalúrgico, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba, 2008.
- EPA., Environmental Protection Agency, Emission factor documentation for AP-42, section 1.8, Bagasse combustion in sugar mills., 1993, pp. 1-71.

- Fonte, A., Cuesta, O., & Sosa, C., Estimación de emisiones contaminantes atmosféricas en la provincia de Camagüey desde fuentes fijas., *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 23, No. 1, 2017, pp. 57-77.
- Frías, A., & Barcia, S., Inventario de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas de la ciudad de Cienfuegos., *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 25, No. sp, 2019, pp. 290-303.
- García-Reynoso, J.A., Mar-Morales, B.E., & Ruiz-Suárez, L.G., Modelo de distribución espacial, temporal y de especiación del inventario de emisiones de México (año base 2008) para su uso en modelización de calidad del aire (DiETE)., *Revista internacional de contaminación ambiental*, Vol. 34, No. 4, 2018, pp. 635-649.
- Gil, Z., Estudio del impacto ambiental del uso del bagazo como fuente de energía en centrales azucareros en Cuba. Estudio de caso “Melanio Hernández”., Tesis presentada en opción al Grado Científico de Doctor en Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible, Universitat de Girona, España, 2005.
- Hernández-Garcés, A., Jauregui Haza, U., Souto González, J., Casares Long, J., Saavedra Rodríguez, S., Guzmán Martínez, F., & Torres Valle, A., Estado actual de los modelos de dispersión atmosférica y sus aplicaciones., *UCE Ciencia. Revista de Postgrado*, Vol. 3, No. 2, 2015, pp. 1-17.
- Hernández-Garcés, A., Reinosá, M., Ordoñez, Y.C., & Hernández, F., Contaminantes atmosféricos procedentes de centrales azucareros., *Ecosolar*, Vol. 56, 2016, pp. 1-7.
- Hernández-Garcés, A., Reinosá Valladares, M., & Hernández Bilbao, F., Contaminantes atmosféricos emitidos por centrales azucareros cienfuegueros., *Universidad y Sociedad*, Vol. 9, No. 2, 2017, pp. 70-74.
- Hernández-Garcés, A., Reinosá, M., & Hernández, F., Contaminantes atmosféricos procedentes de centrales azucareros de la provincia de Holguín., *Minería y Geología*, Vol. 34, No. 3, 2018, pp. 360-370.
- Hernández-Garcés, A., Reynosa-Valladares, M., Hernández-Bilbao, F., & Canciano-Fernández, J., Emisión de contaminantes atmosféricos procedentes de centrales azucareros santiagueros., *Tecnología Química*, Vol. 39, No. 2, 2019, pp. 390-402.
- Hernández-Garcés, A., Trujillo, J., Reinosá, M., Canciano, J., & Hernández, F., Inventario nacional de contaminantes de la calidad del aire que proceden de la quema de bagazo., *ICIDCA sobre los derivados de la caña de azúcar*, Vol. 54, No. 1, 2020, pp. 17-20.
- Ho, B.Q., & Clappier, A., Road traffic emission inventory for air quality modelling and to evaluate the abatement strategies: A case of Ho Chi Minh City, Vietnam., *Atmospheric environment*, Vol. 45, No. 21, 2011, pp. 3584-3593.
- Hua, H., Jiang, S., Sheng, H., Zhang, Y., Liu, X., Zhang, L., & Chen, T., A high spatial-temporal resolution emission inventory of multi-type air pollutants for Wuxi city., *Journal of Cleaner Production*, Vol. 229, 2019, pp. 278-288.
- Kuenen, J.J.P., Visschedijk, A.J.H., Jozwicka, M., & Denier Van Der Gon, H.A.C., TNO-MACC_II emission inventory; a multi-year (2003–2009) consistent high-resolution European emission inventory for air quality modelling., *Atmos. Chem. Phys*, Vol. 14, No. 20, 2014, pp. 10963-10976.
- López, C., Introducción a la gestión de la calidad del aire. Modelación de la calidad del aire., *Instituto de Meteorología*, 2006, pp. 1-703.

- Marrero, Y., Cruz, E.B., & Reyes, A., Emisiones atmosféricas provenientes de grupos electrógenos en la provincia de Holguín, Cuba., *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 26, No. 4, 2020, pp. 268-277.
- NC 1049., Guía de datos tecnológicos para el inventario de emisiones de los contaminantes atmosféricos desde fuentes industriales estacionarias., 2014, pp. 1-12.
- NC/TS 803., Especificación Técnica. Calidad del aire- emisiones máximas admisibles de contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor., 2010, pp. 1-18.
- [NPI], National Pollutant Inventory., Emission estimation technique manual for Combustion in boilers, Version 3.6, 2001, pp. 1-51.
- Núñez, V., Rodríguez, R., Herrera, I., Pedraza, J., Morales, M.C., Sanches, D.A., Villarreal, D. & Herrera, A., Carga contaminante emitida a la atmósfera por las fuentes fijas principales en la provincia de Villa Clara., *Centro Azúcar*, Vol. 40, No. 2, 2013, pp. 39-46.
- Núñez, V., Saura, G., Rodríguez, R., Otero, M., Machado, A., Purón, M., Martínez, I., Pérez, L.E., Cuesta, O., Herrera, I., Morales, M.C., Pedraza, J., & Alejo, D., Estimación de la carga contaminante por PM 10 en los municipios costeros, provincia Villa Clara, Cuba., *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 26, No. 1, 2020, pp. 1-9.
- Ordoñez-Sánchez, Y.C., Reinos-Valladares, M., Hernández-Garces, A., & Canciano-Fernández, J., Aplicación de modelos simplificados para la dispersión de contaminantes atmosféricos. Caso de estudio., *Revista Cubana de Química*, Vol. 30, No. 1, 2018, pp. 90-103.
- Peña-Cossío, R., & Hernández-Garces, A., Inventario de las fuentes fijas que producen contaminantes atmosféricos en la bahía de La Habana., *Revista Cubana de Ingeniería*, Vol. 11, No. 1, 2020, pp. 31-37.
- Rodríguez, D., Echevarria, L., Cuesta, O., Collazo, A., Sánchez, A., Nuñez, V., Miló, M.V., & Gato, A.L., Inventario de emisiones de contaminantes en las fuentes fijas de las zonas urbanas de Pinar del Río y Santa Lucía., *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 19, No. 1, 2013, pp. 68-82.
- Shahbazi, H., Taghvaei, S., Hosseini, V., & Afshin, H., A GIS based emission inventory development for Tehran., *Urban Climate*, Vol. 17, 2016, pp. 216-229.
- Singh, T., Biswal, A., Mor, S., Ravindra, K., Singh, V., & Mor, S., A high-resolution emission inventory of air pollutants from primary crop residue burning over Northern India based on VIIRS thermal anomalies., *Environmental Pollution*, Vol. 266, 2020, pp. 115-132.
- Zhao, Y., Qiu, L.P., Xu, R.Y., Xie, F.J., Zhang, Q., Yu, Y.Y., & Li, W.Q., Advantages of a city-scale emission inventory for urban air quality research and policy: the case of Nanjing, a typical industrial city in the Yangtze River Delta, China., *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 15, 2015, pp. 12623-12644.
- Zheng, J., Zhang, L., Che, W., Zheng, Z., & Shasha Yin, A highly resolved temporal and spatial air pollutant emission inventory for the Pearl River Delta region, China and its uncertainty assessment., *Atmospheric Environment*, Vol. 43, No. 32, 2009, pp. 5112-5122.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Dr.C. Anel Hernández-Garces. Realizó el estudio, análisis y escritura del artículo.
- M.Sc. Roy Peña-Cossío. Colaboró con el análisis de los resultados y la escritura del artículo.
- Lic. Francisco Hernández Bilbao. Colaboró con el análisis de los resultados y la escritura del artículo.
- Dr.C. José A. González. Participó en el diseño conceptual de la investigación y en la discusión y análisis de los resultados.