

Inventario de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas de Holguín-Cuba, 2016

Inventory of atmospheric emissions of the main Holguin fixed sources-Cuba, 2016



<http://opn.to/a/b115b>

Yoell Marrero-Díaz¹, Osvaldo Cuesta-Santos², Miguel Suárez-Benítez¹

¹Centro Meteorológico Provincial, Holguín, Cuba

²Centro de Contaminación y Química de la Atmósfera, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba

RESUMEN: Las elevadas emisiones de contaminantes hacia la atmósfera son la causa de muchos problemas ambientales en la actualidad, desde el nivel local, hasta la escala global. La provincia de Holguín no está ajena a esta situación, razón por la cual es imprescindible cuantificar las emisiones producidas por las principales fuentes fijas, lo cual constituye el objetivo de la investigación tomando como año de estudio el 2016. Los contaminantes primarios evaluados fueron: Dióxido de Azufre (SO₂), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Monóxido de Carbono (CO) y material particulado menor de 10 y 2,5 micrómetros (PM₁₀ y PM_{2.5}). Se utilizó el método de cálculo basado en el factor de emisión para determinar la cantidad de toneladas de estos contaminantes emitidos a la atmósfera. Como resultados fundamentales se obtuvo el inventario de emisiones de 71 fuentes fijas y la identificación de zonas con una marcada influencia en la contaminación del aire, siendo los municipios de Moa y Mayarí las que más inciden en esta problemática. La emisión de SO₂ es de alrededor de 109 mil toneladas al año, lo que representa el 78 % de los contaminantes primarios. Los NO_x con una emisión de casi 12 mil toneladas es el segundo en cantidad con un 8 % del total. El PM₁₀ representa el 5 % de las emisiones, con más de 6 mil toneladas. Estos resultados permiten sentar las bases para realizar futuras investigaciones relacionadas con la modelación de la dispersión de estos contaminantes. Además, el inventario de emisiones constituye un referente para una gestión orientada a minimizar los riesgos asociados a la contaminación del aire en la provincia de Holguín.

Palabras clave: Contaminación del aire, contaminantes primarios, emisiones, fuentes fijas.

ABSTRACT: The high emissions of pollutants into the atmosphere are the cause of many environmental problems today, from the local level, to the global scale. The province of Holguín is not immune to this situation, which is why it is essential to quantify the emissions produced by the main fixed sources, which is the objective of the research taking 2016 as the year of study. The primary pollutants evaluated were: Dioxide of Sulfur (SO₂), Nitrogen Oxides (NO_x), Carbon Monoxide (CO) and particulate material less than 10 and 2.5 microns (PM₁₀ and PM_{2.5}). The calculation method based on the emission factor was used to determine the amount of tons of these pollutants emitted into the atmosphere. As fundamental results, the inventory of emissions from 71 fixed sources and the identification of areas with a marked influence on air pollution was obtained, with the municipalities of Moa and Mayarí most influencing this problem. The emission of SO₂ is around 109 thousand tons per year, which represents 78% of the primary pollutants. The NO_x with an emission of almost 12 thousand tons is the second in quantity with 8% of the total. The PM₁₀ represents 5% of the emissions, with more than 6 thousand tons. These results allow laying the foundations for future research related to the modeling of the dispersion of these pollutants. In addition, the emissions inventory is a reference for a management aimed at minimizing the risks associated with air pollution in the province of Holguin.

Key words: Air pollution, primary pollutants, emissions, fixed sources.

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

Recibido: 10/5/2017

Aceptado: 20/6/2018

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es un proceso complejo determinado por múltiples factores. En la actualidad este tema reviste gran relevancia ya que existe un marcado deterioro de la calidad del aire. De ahí que los retos del siglo XXI impulsan a las naciones a instrumentar políticas encaminadas a prevenir, minimizar y controlar las emisiones de contaminantes a la atmósfera y la reducción o eliminación de las modalidades de producción y consumo ambientalmente insostenibles. En los últimos años se han realizado investigaciones para conocer los mecanismos que intervienen en tan complejo proceso. En materia de inventario de emisiones a nivel internacional se han desarrollado numerosos estudios entre los que destacan: el programa EMEP/CORINAIR (acrónimo en inglés de European Monitoring and Evaluation Programme) perteneciente a la Agencia Europea de Medio Ambiente, el cual ha tenido una amplia difusión por Europa y otras regiones del mundo; la compilación de factores de emisión de contaminantes atmosféricos AP-42 ([U.S. EPA, 1995a](#)), ampliamente divulgada y utilizada a nivel mundial; el software Industrial Pollution Control (IPC), desarrollado por el Banco Mundial, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) del año 1995; también destacan los trabajos [U.S. EPA \(1997b, 1999\)](#), entre otros.

En el contexto nacional se han desarrollado estudios en este sentido, los que fundamentalmente se han dirigido a conocer las emisiones de gases de efecto invernadero, apareciendo reflejado en los trabajos de [López et al. \(2003, 2004, 2005, 2006\)](#); [Valdés, \(2014\)](#); [Carrillo et al. \(2015, 2016\)](#). Más reciente se han desarrollado los trabajos de [Rodríguez et al., \(2009\)](#); [Cuesta, \(2010\)](#); [Núñez et al. \(2011\)](#) y [Cuesta et al. \(2012, 2014\)](#), estando encaminados estos últimos a cuantificar las emisiones de fuentes fijas industriales.

Según estos autores entre las causas fundamentales que generan los problemas de calidad del aire en zonas urbanas en Cuba se encuentran:

- Errores en la planificación territorial en cuanto a la ubicación física de los asentamientos humanos e industrias.
- Utilización de tecnologías obsoletas en las actividades productivas y en otras fuentes como el transporte automotor (el cual no es abordado esta investigación).
- La no existencia de tratamientos elementales en las emisiones de contaminantes a la atmósfera.
- Carencia de normas técnicas sobre emisiones en algunos sectores.
- Insuficiente educación ambiental e información disponible en la comunidad sobre los efectos de los contaminantes atmosféricos sobre la salud humana y los ecosistemas en general.

De lo anterior se deriva como problema a resolver: el escaso conocimiento disponible sobre las emisiones a la atmósfera de las principales fuentes fijas en localidades de Holguín. Se propone como objetivo general: cuantificar las emisiones a la atmósfera de diversos contaminantes, producidas por las principales fuentes fijas en la provincia de Holguín.

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 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, 2015).

Para la realización de la investigación se seleccionaron 13 municipios (Figura 1), tomando como año base el 2016. La selección de estas localidades se basó en la existencia de diversas fuentes fijas industriales emisoras de contaminantes a la atmósfera debido a su potente actividad industrial. El municipio de Antilla no posee grandes industrias, por lo que no se tuvo en cuenta en el inventario.

2.2 Contaminantes primarios estudiados

En las zonas de estudio los contaminantes primarios emitidos a la atmósfera son producto de la quema de combustibles fósiles, principalmente el petróleo y sus derivados, y de la quema de biomasa en centrales azucareros en algunas localidades. Los contaminantes evaluados fueron: Dióxido de Azufre (SO₂), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Monóxido de Carbono (CO) y material particulado menor de 10 y 2,5 micrómetros (PM₁₀ y PM_{2,5}).

2.3 Inventario de emisiones

López (2006), citado por Cuesta *et al.* (2014), plantea que los estimados de emisiones

son normalmente reunidos en bases de datos denominadas “inventarios de emisiones”. Constituyen un listado de las emisiones de contaminantes por fuentes emisoras o categorías de fuentes, compilado para un área geográfica establecida y para un intervalo de tiempo específico. En estos, se incluye entre otras las siguientes informaciones:

- Localización de las fuentes emisoras. Coordenadas geográficas;
- Área geográfica cubierta por el inventario;
- Intervalo de tiempo para el cual son representativas las emisiones del inventario;
- Factores de emisión;
- Resultados de mediciones y los métodos utilizados;
- Datos de producción y otras características de la actividad;
- Características de las fuentes;
- Condiciones de operación –para el caso de las fuentes antrópicas;
- Datos de población, empleo, economía etc., vinculados a las emisiones;
- Textos para cada categoría de fuente donde se incluyen, entre otros, los procedimientos utilizados para captar los datos, las fuentes de los datos, referencias para los factores de emisión utilizados, identificación de los métodos utilizados para calcular las

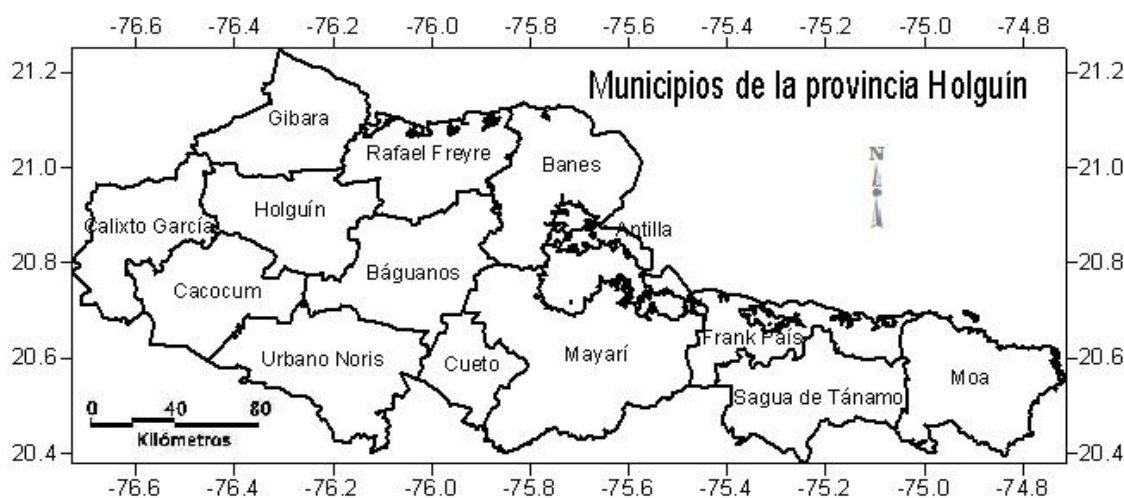


Figura 1. Mapa provincial de Holguín. Fuente: Elaboración propia a partir del programa Surfer versión 8.0

emisiones, documentación de todas las asunciones hechas, identificación de las fuentes no incluidas en el inventario, listado de referencias y cualquier observación que contribuya a la transparencia del resultado obtenido.

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

2.3.1 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 \(2016\)](#).

Según [López \(2006\)](#) y [Cuesta et al. \(2014\)](#), la ecuación más utilizada por el método de factores de emisión es la siguiente:

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

donde:

E - Tasa de Emisión, en toneladas al año (t/año)

FE - Factor de emisión (t/m³)

A - Tasa de la actividad (consumo de combustibles, producción), en unidades de masa o volumen por tiempo (m³/año)

EC - eficiencia de control de la emisión (%).
EC= 0 si no hay técnicas de control operando en la fuente.

Cuando se utiliza un factor de emisión “controlado” (obtenido tomando en cuenta la técnica instalada para la reducción de emisiones) la expresión queda entonces:

$$E = A \times FE \quad (2)$$

Para el caso específico de esta investigación, los factores de emisión empleados (ver [Tablas 1, 2 y 3](#)) provienen de diversas fuentes, las cuales son: Compilación de factores de emisión de contaminantes atmosféricos (Emission Factor and Inventory Group) AP-42 ([U.S. EPA, 1995a](#)) y del software Industrial Pollution Control (Control de Contaminación Industrial) ([IPC, 1995](#)) desarrollado por el Banco Mundial, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS). Además de otros estudios realizados por instituciones cubanas como CUJAE y CUBAENERGIA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El inventario de emisiones de las principales fuentes fijas de Holguín, se realizó tomando como año de estudio el 2016, el mismo abarcó 13 municipios de la provincia, lo que representa alrededor de 71 fuentes fijas. Se obtuvo información tecnológica y de producción que permitió sentar las bases para conocer las emisiones de cada municipio ([Tabla 4](#)). El inventario muestra las emisiones generadas por la industria de la energía (termoeléctricas, grupos electrógenos), centrales azucareros, hornos, incineradores y las calderas que producen energía en diversos procesos industriales y de servicios. El conocimiento de estas emisiones constituye una valiosa herramienta de gestión ambiental para el control y mitigación de la contaminación atmosférica en el territorio.

Tabla 1. Factores de Emisión para las instalaciones de calderas

Contaminante	Factor de emisión (kg/m ³)		Referencia
	Fuel Oil	Diesel	
NO _x	5,63	3,44	AP-42
SO ₂	75,16	42,49	AP-42
PM ₁₀	2,42	0,28	AP-42
PM _{2.5}	1,82	0,19	AP-42
CO	0,60	0,60	AP-42
COVDM	0,042	0,049	AP-42

Fuente: Adaptado de [AP-42 \(1998\)](#)

Tabla 2. Factores de Emisión para Grupos electrógenos (para 4 motores)

Contaminante	Factor de emisión (g/KW-h)		Referencia
	Fuel Oil	Diesel	
NO _x	42,59	17,0	CUJAE/CUBAENERGIA
SO ₂	22,43	16,0	CUJAE/CUBAENERGIA
PM ₁₀	0,42	0,25	AP42/CUBAENERGIA
PM _{2.5}	0,21	0,125	AP42/CUBAENERGIA
CO	2,07	1,44	CUJAE/CORINAIR
COVDM	0,183	0,180	CORINAIR

Fuente: Adaptado de CUJAE: [González, \(2010\)](#); CUBAENERGIA: [Fonseca et al., \(2012\)](#); [AP-42, \(1998\)](#); CORINAIR

Tabla 3. Factores de emisión para la quema de bagazo en calderas de los centrales azucareros

Contaminante	Factor de emisión	Referencia
	Bagazo (kg/t)	
NO _x	0,52	AP-42, EPA
PM ₁₀	7,09	AP-42, EPA
PM _{2.5}	3,54	AP-42, EPA

Fuente: [AP-42, \(1998\)](#); [Núñez, \(2011\)](#).

Estudios recientes realizados por el Centro de Contaminación y Química de la Atmósfera ([CECONT, 2014](#)) del Instituto de Meteorología, relacionados con las emisiones de contaminantes provenientes de fuentes fijas de Cuba, evidencian que el contaminante que más se emite a la atmósfera es el SO₂, aspecto que coincide con los resultados obtenidos en esta investigación a nivel provincial ([Figura 2](#)).

Como se muestra en la [Tabla 4](#), los municipios de Moa, Mayarí, Holguín,

Báguanos y Urbano Noris, son los que más emiten contaminantes atmosféricos, incidiendo la industria niquelífera, el sector de la energía y los centrales azucareros. En el municipio de Moa se contabilizaron un total de 19 fuentes de emisiones (calderas, hornos y grupos electrógenos), de ellas 9 corresponden a la industria del níquel y el resto al sector de la energía. Estas industrias consumen un alto volumen de combustibles fósiles (fuel oil y Diesel) alrededor de 1 302 752.74 t/año. En el

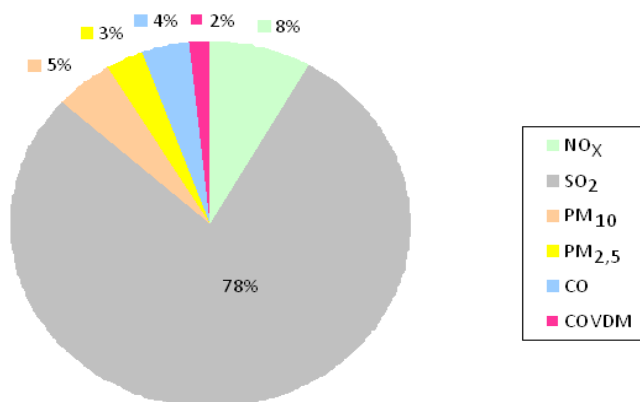


Figura 2. Distribución porcentual de los contaminantes primarios.

Tabla 4. Emisiones por municipios de los contaminantes primarios en (t/año) para el 2016.

Municipios	No. Fuentes	NO _x	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	COVDM
HOLGUÍN	19	83.71	599.80	16.04	11.86	8.59	0.81
BÁGUANOS	2	103.30	25.60	1 393.63	695.83	2 063.97	737.11
GIBARA	1	1.37	1.29	0.02	0.01	0.12	0.01
MOA	19	6 919.51	72 754.32	2 539.09	1 959.03	850.73	258.14
CUETO	1	0.55	0.51	0.01	0.004	0.05	240.90
MAYARÍ	11	4 191.34	36 034.70	1 356.41	1 069.49	559.46	237.86
SAGUA	3	2.05	1.93	0.03	0.02	0.17	0.02
FRANK PAÍS	2	2.02	1.90	0.03	0.01	0.17	0.02
RAFAEL FREYRE	2	23.36	21.98	0.34	0.17	1.98	0.25
CACOCUM	2	1.94	1.83	0.03	0.01	0.16	0.02
URBANO NORIS	3	100.84	25.75	1 345.49	671.80	1 992.76	711.66
BANES	5	3.68	3.46	0.05	0.03	0.31	0.04
CALIXTO GARCÍA	1	1.71	1.61	0.03	0.01	0.15	0.02
TOTAL	71	11 435.38	109 474.69	6 651.20	4 408.28	5 478.61	2 186.86

municipio Mayarí las principales emisiones son debidas al proceso de combustión estacionaria de grupos electrógenos (8) pertenecientes a la Central Termoeléctrica ubicada en Felton y a las Centrales Eléctricas (3) de la Unidad Empresarial de Base (UEB) Geysel, diseminadas en varios sitios del mencionado municipio. El consumo de combustibles en estas fuentes es de aproximadamente 499 709.84 t/año, o sea menos de la mitad del

consumo de las fuentes situadas en el municipio Moa.

Las industrias ubicadas en los municipios de Holguín, Báguanos y Urbano Noris, emiten cantidades relativamente menores de contaminantes. Aunque el municipio de Holguín posee un elevado número de fuentes estacionarias (10 calderas, 4 hornos y 5 grupos electrógenos), el consumo de combustibles es bajo, en comparación con los volúmenes

citados anteriormente, no se sobrepasan las 16 000 t/año. Un aspecto significativo a señalar son los Centrales Azucareros ubicados en los municipios de Báguanos y Urbano Noris, grandes emisores de PM₁₀ y PM_{2.5}, debido a la utilización de la biomasa para la obtención de energía, estas fuentes aportan el 41.18 y 31.02 % de las emisiones totales de estos contaminantes, respectivamente. Se utilizan 386 328.79 t/año de bagazo en el proceso de combustión.

Emisiones de SO₂

El SO₂ es el compuesto de azufre que se emite en mayores cantidades hacia la atmósfera. Los municipios de Moa y Mayarí emiten alrededor de 11 110.85 t/año, lo que representa el 99,37 % de estas emisiones en la provincia. Los mayores valores de emisiones se observan en las calderas y hornos pertenecientes a la industria del níquel, con 5 381.58 t/año. La causa fundamental de estas altas emisiones lo constituye el elevado consumo de crudo cubano, asociado a otros factores ya mencionados anteriormente, aspectos que convierten a la provincia en la mayor emisora del referido contaminante a nivel nacional con más de 109 000 t/año, teniendo en cuenta los estudios realizados por el [CECONT \(2014\)](#), donde la provincia de Artemisa emite aproximadamente 70 000 t/año

de SO₂, seguida de Camagüey con 45 000 t/año y Cienfuegos con casi 40 000 t/año.

Emisiones de NO_x

Un comportamiento similar presentan los NO_x, las fuentes ubicadas en los municipios de Moa y Mayarí aportan el 60.51 y 36.61 % de estas emisiones, respectivamente. Las calderas y hornos resultaron las mayores emisoras de este contaminante, con más de 8 000 t/año, lo cual equivale al 72.18 % del total de estas emisiones, incidiendo las fuentes asociadas a la industria del níquel.

Emisiones de PM

Por su parte, la combustión de fósiles en la industria niquelífera y el sector de la energía, la quema de biomasa para la obtención de azúcar y sus derivados, son las causas fundamentales que contribuyen a la emisión de material particulado menor de 10 y 2.5 micrómetros ([Figura 3](#)). El municipio de Moa resultó el mayor emisor, con 2 539.09 t/año de PM₁₀ y 1 959.03 t/año de PM_{2.5}, lo cual equivale a 38.17 y 44.44 % de las fuentes fijas analizadas, respectivamente.

Emisiones de CO

El inventario nacional de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas, realizado por el [CECONT \(2014\)](#), mostró que

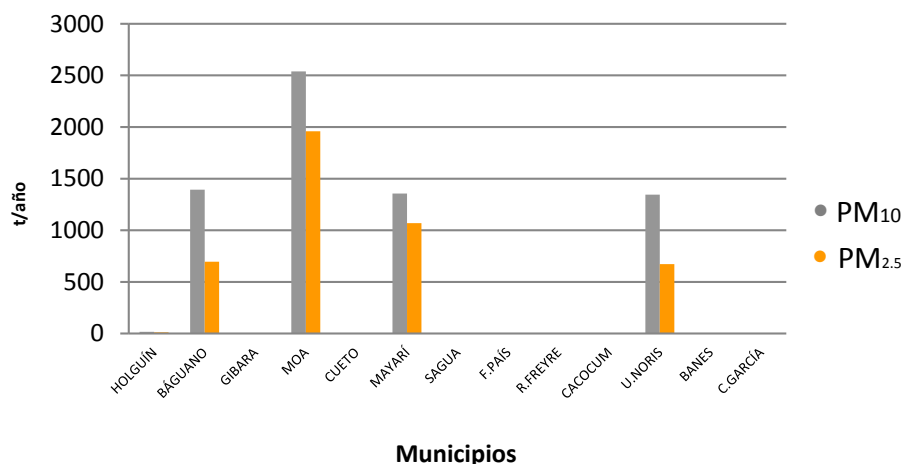


Figura 3. Emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5} en t/año por municipios.

la provincia de Holguín es una de los territorios que más emite CO a la atmósfera. Las causas fundamentales están relacionadas con la utilización de tecnologías obsoletas en las actividades productivas, la no eficiencia de la combustión en las calderas, debido al mal estado técnico de las mismas, la no existencia de tratamientos elementales en las emisiones de contaminantes a la atmósfera, entre otras. Los municipios de Báguanos y Urbano Noris son los que más inciden en esta problemática, en

ellos se concentra el 74.5 % (4 056.73 t/año) de las emisiones totales (Figura 4).

Emisiones de COVDM

Los contaminantes menos emitidos a la atmósfera en la provincia son los COVDM, incidiendo las mayores emisiones en los municipios de Báguano y Urbano Noris, vinculados a la quema de biomasa en la industria azucarera (Figura 5).

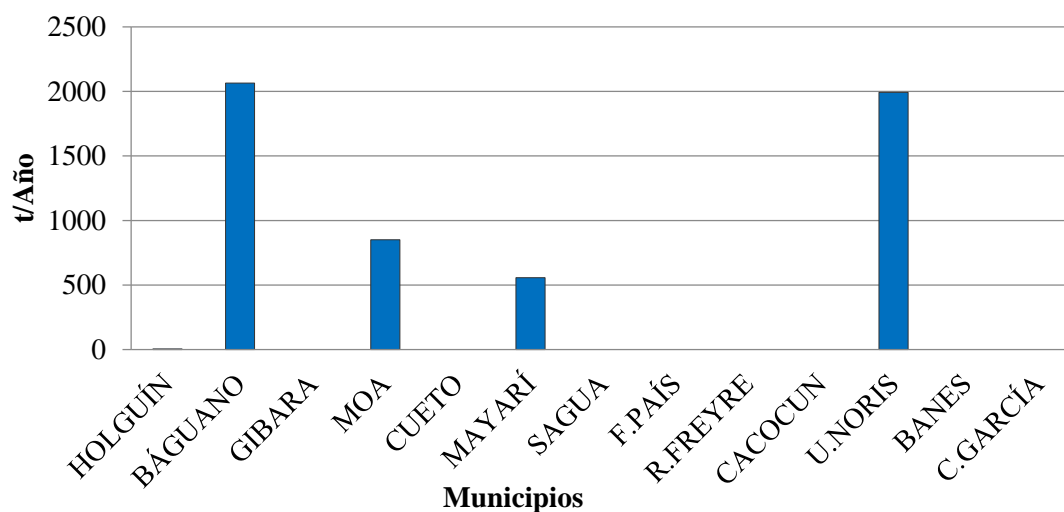


Figura 4. Emisiones de Monóxido de Carbono en t/año por municipios.

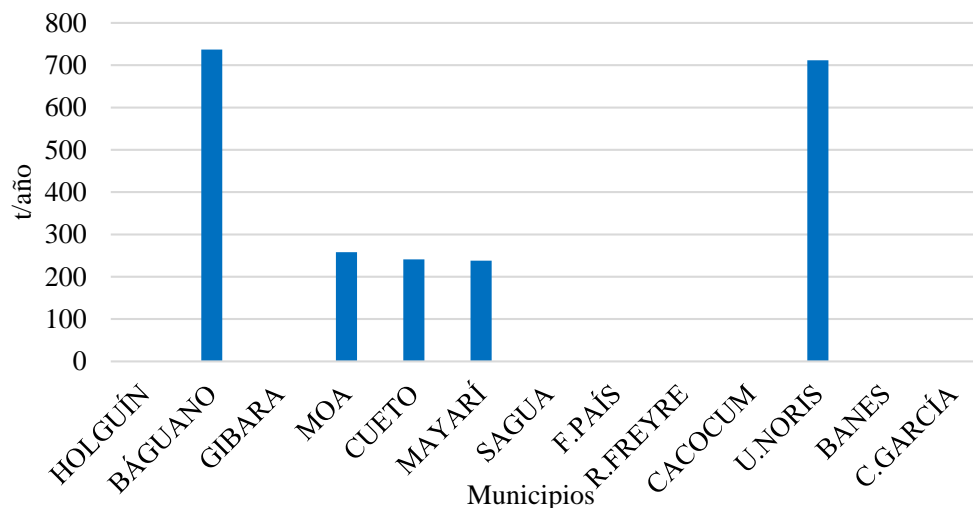


Figura 5. Emisiones de COVDM en t/año por municipios.

CONCLUSIONES

1. Las fuentes contaminantes pertenecientes a la Provincia de Holguín emiten principalmente SO₂ (109 474.69 t/año) y NO_x (11 435.38 t/año), y en menor medida COVDM (2 186.86 t/año).
2. Los municipios que más repercuten en esta problemática son Moa, Mayarí, Holguín, Báguanos y Urbano Noris, debido a una fuerte actividad industrial, por lo cual se concentra el mayor volumen de emisiones a la atmósfera, incidiendo el polo niquelífero, el sector de la energía y la industria azucarera.
3. El inventario permite sentar las bases para futuras investigaciones, por lo que constituye un referente para una gestión ambiental, orientada a minimizar los riesgos asociados a la contaminación atmosférica en la provincia de Holguín.

REFERENCIAS

- Cuesta, O. et al. (1996). Calidad del aire y asma bronquial en la Ciudad de la Habana, Memorias Primer Congreso de Contaminación Atmosférica en Países en Desarrollo, pp 123 - 130, San José, Costa Rica.
- Cuesta, O. et al. (2003). Calidad del aire en la zona de la ribera este de la bahía de La Habana. Memorias publicadas en el Congreso Iberoamericano de Meteorología, 2003. La Habana. ISSN 959-270-014-1.
- Cuesta, O. et al. (2012). Evaluación de la calidad del aire en ciudades de Cuba. Publicación Electrónica, ISBN, 978-959-282-079-1, Memorias de la Convención Internacional Trópico 2012, La Habana, 14 - 18 de Mayo de 2012.
- Cuesta, O. et al. (2014). Diagnóstico del medio ambiente atmosférico producto de las principales fuentes fijas de la Ciudad de La Habana. Proyecto de Innovación Tecnológica. CECONT, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.
- Cuesta, O. y Wallo A. (2010). Fuentes de contaminación atmosférica y su relación con la calidad del aire. Publicación Electrónica, ISBN, 978-959-261-317-1, Memorias de la Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura, Ciudad de La Habana, 29 noviembre al 3 de diciembre de 2010.
- DIGESA. (2005). Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos. Dirección General de Salud Ambiental. Perú.
- EMEP/CORINAIR (2007). Guía para la realización del inventario de emisiones atmosféricas de la Agencia Europea de Medioambiente.
- EPA. (1995a). Compilation of air pollutant emission factors. Emission factor documentation for Stationary Internal Combustion Sources. AP-42, Section 3.0.1
- EPA. (1995b). Compilation of air pollutant emission factors. Emission factor documentation for Portland Cement Manufacturing. AP-42, Section 11.6.1
- EPA. (1995c). Compilation of air pollutant emission factors. Emission factor documentation for Portland Cement Manufacturing. AP-42, Section 11.6.2
- EPA. (1998). Compilation of air pollutant emission factors, volume 1: Stationary point and area sources, fifth edition, AP-42. US Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards. Research Triangle Park, Carolina del Norte.
- Fonseca et al., (2012). Air quality study, comparison between the proposed and actual scenarios of generator sets in Havana, by using CALPUFF model. Air Pollution - Monitoring, Modelling, Health and Control, ISBN 978-953-51-0381-3.
- González, M. (2010): Estudio de la calidad del aire en el entorno de la CUJAE. Tesis presentada en opción al título de Máster en Ingeniería en Saneamiento Ambiental. pp. 55, ISPJAE, MES, La Habana.
- López, C. (2006). Introducción a la Gestión de la Calidad del Aire. Instituto de

Meteorología. Centro de Contaminación y Química Atmosférica. La Habana.

NC 1049: 2014. Guía de datos tecnológicos para el inventario de emisiones de los contaminantes atmosféricos desde fuentes industriales estacionarias. Oficina Nacional de Normalización (ONN). Cuban National Bureau of Standards.

Núñez, C. (2011). Fuentes fijas responsables de las máximas emisiones de SO₂ en la provincia de Villa Clara, Cuba. Publicación Electrónica, ISBN, 978-959-282-079-1,

Memorias de la Convención Internacional Trópico 2012, La Habana, 14 – 18 de Mayo de 2012.

Oficina Nacional de Estadística e Información. ONEI. (2015). Anuario Estadístico de Holguín. Edición 2016.

Sosa, C. (2016). Gestión de la contaminación del aire en un municipio Industrial. Caso de estudio: Mariel. Instituto de Meteorología. Centro de Contaminación y Química Atmosférica. La Habana.

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

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/)