

## Estimación de la carga contaminante por PM<sub>10</sub> en los municipios costeros, provincia Villa Clara, Cuba

### Estimation of the cargo contaminated by PM<sub>10</sub> in the municipalities Coastal, Villa Clara Province, Cuba



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

Vladimir Núñez Caraballo <sup>1\*</sup>, Guillermo Saura González <sup>1</sup>, Rosabel Rodríguez Rojas <sup>1</sup>, Meilyn Otero Martín <sup>1</sup>, Amaury Machado Montes de Oca <sup>1</sup>, Marisela Purón Arbolaez <sup>1</sup>, Inocencio Martínez Pérez <sup>1</sup>, Luis E. Pérez Borroto <sup>1</sup>, Osvaldo Cuesta Santos <sup>2</sup>, Idalberto Herrera Moya <sup>3</sup>, Mayra C. Morales Pérez <sup>3</sup>, Julio Pedraza Gárciga <sup>3</sup>, Daniellys Alejo Sánchez <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara, Villa Clara, Cuba.

<sup>2</sup>Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba.

<sup>3</sup>Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Villa Clara, Cuba.

**RESUMEN:** En este trabajo se muestra el inventario de emisiones atmosféricas de las 306 fuentes fijas distribuidas en los siete municipios costeros de la provincia de Villa Clara en el año 2018. El objetivo general fue cuantificar las emisiones del PM<sub>10</sub> a la atmósfera producidas por estas fuentes fijas. Se utilizó el método de cálculo basado en el factor de emisión para determinar la tasa del contaminante por fuentes. Los principales resultados fueron, actualizar el inventario de emisiones de las fuentes fijas en esta zona del territorio provincial, desglosado por municipios, Oaces y de acuerdo a la clasificación de estas fuentes teniendo en cuenta el impacto sobre la calidad del aire. Se logró determinar que el 80% de las fuentes fijas están bien ubicadas y emiten el 2% del total de este contaminante, el 17% están parcialmente bien ubicadas y emiten el 96% y por último el 3% están mal ubicadas y emiten el 2% de la carga. La emisión total del PM<sub>10</sub> fue de 2 191,5 t/año, representando el 75% del total provincial, de ello las fuentes fijas bien ubicadas emitieron 42,7 t/año, las parcialmente bien ubicadas 2 105,8 t/año y las mal ubicadas 43 t/año. Estos resultados proporcionan la información necesaria e imprescindible para las propuestas de acciones que contribuyan a reducir emisiones, minimizar episodios críticos de contaminación atmosférica y realizar la modelación de la dispersión del contaminante y su evaluación.

**Palabras clave:** PM<sub>10</sub>, fuentes fijas, clasificación de las fuentes fijas.

**ABSTRACT:** In this work the inventory of atmospheric emissions of the 306 fixed sources is shown distributed in the seven coastal municipalities of the county of Villa Clara in the year 2018. The general objective was to quantify the emissions from the PM<sub>10</sub> to the atmosphere taken place by these fixed sources. The calculation method was used based on the emission factor to determine the rate of the pollutant for sources. The main results were, to modernize the inventory of emissions of the fixed sources in this area of the provincial territory, removed by municipalities, Oaces and according to the classification of these sources keeping in mind the impact about the quality of the air. It was possible to determine that 80% of the fixed sources is well located and they emit 2% of the total of this pollutant, 17% is partially well located and they emit 96% and lastly 3% is not well located and they emit 2% of the load. The total emission of the PM<sub>10</sub> was of 2 191,5 t/year, representing 75% of the provincial total, of it the well located fixed sources emitted 42,7 t/year, those partially well located 2 105,8 t/year and the not well located 43 t/year. These results provide the necessary and indispensable information for the proposals of actions that they contribute to reduce emissions, to minimize critical episodes of atmospheric contamination and to carry out the modelation of the dispersion of the pollutant and its evaluation.

**Key words:** PM<sub>10</sub>, fixed sources, classification of the fixed sources.

\*Autor para correspondencia: Vladimir Núñez Caraballo. E-mail: [vladimir.nunez@vcl.insmet.cu](mailto:vladimir.nunez@vcl.insmet.cu)

Recibido: 06/08/2019

Aceptado: 27/08/2019

## INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire, como una de las causas del deterioro ambiental, es un factor de especial interés por los efectos nocivos que tiene en la salud, la economía y la calidad de vida de los seres humanos, así como en otros seres vivos y en sus ecosistemas. No obstante de que existen emisiones naturales que pueden agregar contaminantes a la atmósfera, las actividades antropogénicas de los asentamientos urbanos e industriales son las mayores fuentes de emisión de contaminantes a la atmósfera ([López, 2014](#)).

El material particulado ambiente está compuesto por una mezcla heterogénea de partículas de diferentes tamaños y composición química. Estas difieren de acuerdo con sus fuentes de emisión, formas, tamaños, mecanismos de formación y composición química y pueden caracterizarse por sus propiedades físicas y químicas. Mientras las propiedades físicas tienen efecto sobre el transporte y el depósito de las partículas en el sistema respiratorio humano, la composición química de las partículas determina el impacto de éstas sobre la salud. ([Semarnat, 2015](#))

El material particulado atmosférico puede clasificarse por sus propiedades aerodinámicas debido a que éstas gobiernan el transporte y remoción de partículas desde la atmósfera, condicionan su depósito dentro del sistema respiratorio y están asociadas con la composición química y las fuentes de partículas. Las propiedades aerodinámicas de las partículas están relacionadas con el “diámetro aerodinámico”. Este se define como el diámetro de una esfera con las mismas características aerodinámicas que la partícula. Por lo tanto, las partículas son muestreadas y descriptas sobre la base de su “diámetro aerodinámico”, usualmente llamado “tamaño de partículas”. El tamaño de las partículas en la atmósfera puede variar en cuatro órdenes de magnitud, desde  $10^{-3}$   $\mu\text{m}$  hasta algunas decenas de micrones. A las partículas cuyo diámetro aerodinámico es inferior a  $10 \mu\text{m}$  se la denomina  $\text{PM}_{10}$  y a las de diámetro aerodinámico inferior a

$2.5 \mu\text{m}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ , ([Semarnat, 2013](#), [2015](#); [Ramírez, 2018](#)).

Una de las herramientas empleadas para el estudio de la contaminación atmosférica en centros urbanos son los inventarios de emisión, ya que proporcionan información en un tiempo determinado sobre las cantidades de contaminantes que liberan a la atmósfera las diferentes fuentes de emisión ubicadas en un área geográfica. Con la información obtenida en un inventario de emisiones se puede evaluar el estado de la calidad del aire, estudiar los problemas de la contaminación atmosférica, evaluar la eficacia de las políticas de contaminación del aire y alimentar modelos de calidad de aire (U.S. EPA, 1999, 1999b).

En la literatura se encuentran dos principales aproximaciones para el desarrollo de los inventarios de emisiones: *top-down* (arriba-abajo) y *bottom-up* (abajo-arriba). La aproximación *bottom-up* o a microescala requiere un conocimiento detallado de los parámetros referidos a cada actividad emisora en cada celda (tipo de uso del suelo, aforos de tráfico, consumo de combustible, densidad de población, etc.), con el objetivo de estimar su contribución a las emisiones totales. Mientras que la aproximación *top-down* o a macroescala, calcula el total de las emisiones referidas a ciertas unidades administrativas para las cuales se dispone de datos relevantes y se distribuye entre las celdas haciendo uso de patrones locales de distribución apropiados (densidad de población, industriales o de tráfico, etc.) ([Peñaloza, 2010](#); Pachon, 2017)

Para calcular las emisiones se utilizan diversos métodos entre los que se encuentran balance de masa, factores de emisiones, cálculos ingenieriles y mediciones en la fuente, presentes en la [Norma Cubana 1049:2014](#). Lo más factible generalmente para determinar la emisión es mediante la aplicación de factores de emisión, los cuales estiman la tasa a la que es liberado un contaminante a la atmósfera, como un resultado de alguna actividad productiva ([DICTUC S.A., 2007](#); [Cuesta, 2018](#); [Núñez, 2018](#), [Peñaloza, 2010](#)).



## Inventario de emisiones

Para la realización del inventario de emisiones se tiene en cuenta lo establecido en 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 especifica los datos tecnológicos que se han de tener en cuenta para la realización de un inventario de emisiones de contaminantes a la atmósfera generado por fuentes puntuales industriales, los mismos son:

- Identificación de los principales procesos productivos o auxiliares existentes en las fuentes contaminantes en el ámbito local.
- Clasificación por categorías según el tipo de contaminante que generan.
- Captación de los datos tecnológicos de las fuentes puntuales de ambas zonas.
- Cuantificación de las emisiones mediante la utilización de factores de emisión.
- Compilación y análisis de los resultados obtenidos para realizar el inventario.

## Método de los Factores de Emisión

El cálculo de las emisiones utilizando factores de emisión, constituye un método factible y económico, aplicado ampliamente a nivel internacional cuando no están disponibles los datos provenientes de muestreos de emisión de la fuente específica o monitoreo de emisión continua con una estación automática instalada

permanentemente sobre la fuente ([DICTUC S.A., 2007](#)).

A través de la [ecuación 1](#), se realiza el cálculo de las emisiones para fuentes fijas, esta se aplica cuando se disponen de los datos de cada variable, 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](#); [DICTUC S.A., 2007](#); [Núñez, 2013](#); 2018 [Cuesta, 2014, 2018](#)), a continuación se muestra la ecuación:

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

Donde:

E - Tasa de Emisión (t/año)

FE - Factor de emisión (t/m<sup>3</sup>)

A - Tasa de la actividad (consumo de combustibles, producción), en unidades de masa o volumen por tiempo (m<sup>3</sup>/año)

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

En esta investigación, los factores de emisión utilizados se muestran en las [tablas 1, 2, 3 y 4](#), estos provienen de diferentes orígenes, entre ellos; Compilación de factores de emisión de contaminantes atmosféricos (Emission Factor and Inventory Group) AP-42 ([U.S. EPA, 1995a](#)), además de otros estudios realizados por instituciones cubanas como la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV).

**Tabla 1.** Factores de Emisión para las calderas generadoras de vapor.

Contaminante	Factor de emisión (g/kg)		Referencia
	Fuel Oil	Diesel	
	Mediano Pesado		
PM <sub>10</sub>	2,6 2,85	0,83	AP-42

Fuente: Adaptado de AP-42, (1998)

**Tabla 2.** Factores de Emisión para Grupos electrógenos.

Contaminante	Factor de emisión (g/kg)	Referencia
	Diesel	
PM <sub>10</sub>	1,95	UCLV

Fuente: Adaptado de UCLV: [Núñez, \(2013\)](#)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la [figura 2](#) se muestra el inventario de fuentes fijas por municipios, siendo el total de estas 306, el municipio de mayor cantidad es Sagua la Grande con el 22% del total, seguido por Caibarién y Remedios con el 21 y 20% respectivamente. En todas las zonas de estudio el mayor número de fuentes fijas está representado por los Grupos Electrógenos de Emergencia (62%) y de Generación Distribuida el 17%.

En la siguiente figura se plasma la distribución de las fuentes fijas por municipios teniendo en cuenta su clasificación de acuerdo a los escenarios de dirección del viento y su incidencia en el deterioro de la calidad del aire ([Núñez, 2015](#)).

El 79% de las fuentes fijas se clasifican como bien ubicadas, representadas principalmente por los Grupos Electrógenos de Emergencia y en el municipio de Sagua la Grande se disponen del 25% de estas. El 17% del total se catalogan como parcialmente bien ubicadas representadas por los

centrales azucareros, refinerías de azúcar y Grupos Electrógenos de Generación Distribuida, en el municipio de Remedios se encuentran el 20% de las mismas y por último el 4% de las fuentes fijas se inscriben como mal ubicadas, destacándose las fábricas textiles, de conservas, emparadoras, tenerías y fundición de hierro, el municipio de Sagua la Grande tiene el 36% de ellas, [figura 3](#).

El Minem es el organismo central del estado con mayor número de fuentes fijas, 263, el 86% del total, de ellas el 84% se clasifican como bien ubicadas representadas principalmente por los Grupos Electrógenos de Emergencia y el 16% como parcialmente bien ubicadas constituidas por los Grupos Electrógenos de Generación Distribuida, [figura 4](#).

La estimación de las emisiones del PM<sub>10</sub> de las fuentes fijas de los siete municipios costeros, llegó a ser de 2 191,5 t/año, siendo el municipio de Remedios el máximo responsable con el 27% del total de estas, causado esencialmente por el central

**Tabla 3.** Factores de Emisión para Grupos electrógenos.

Contaminante	Factor de emisión (g/kg)		Referencia
	Fuel oil		
PM <sub>10</sub>	5,31		UCLV

Fuente: Adaptado de UCLV: [Núñez, \(2013\)](#)

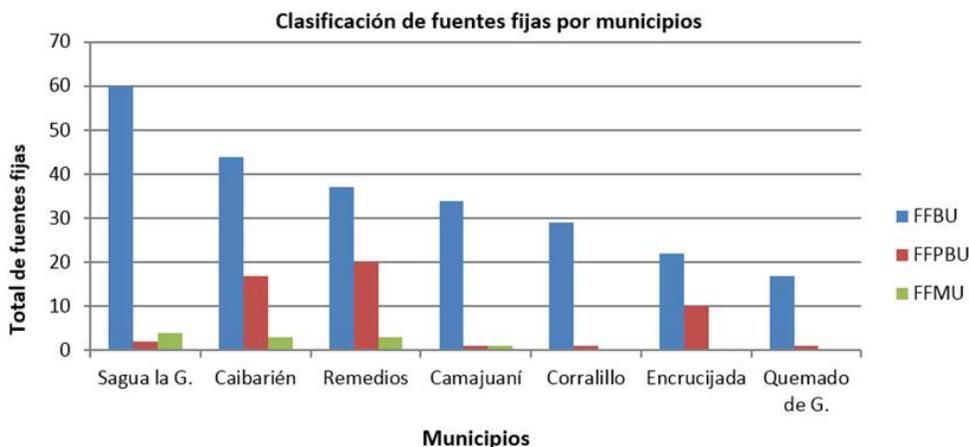
**Tabla 4.** Factores de emisión para la quema de bagazo en calderas de los centrales azucareros.

Contaminante	Factor de emisión Bagazo (g/kg)	Referencia
PM <sub>10</sub>	5,59	AP-42, EPA

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

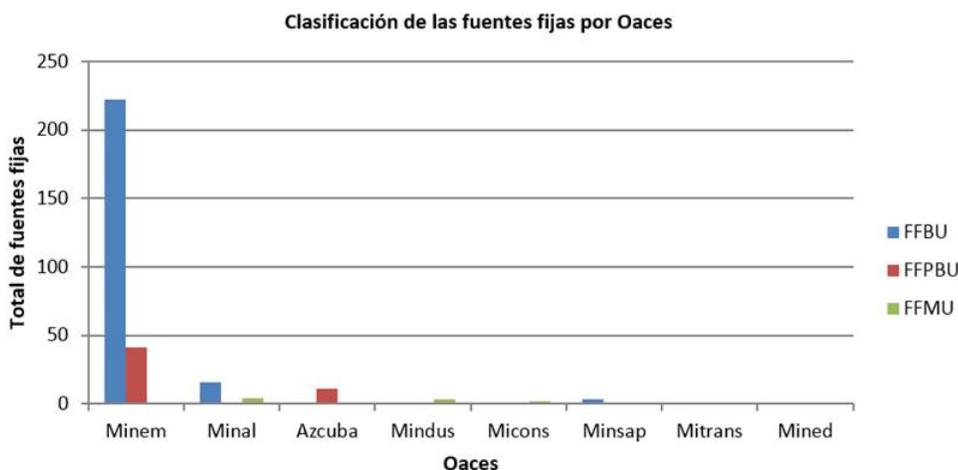


**Figura 2.** Inventario de fuentes fijas por municipios.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3.** Clasificación de las fuentes fijas por municipios.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.** Clasificación de las fuentes fijas por Oaces.

azucarero "Heriberto Duquezne" y la fábrica azúcar refino "Chiquitico Fabregat", [figura 5](#).

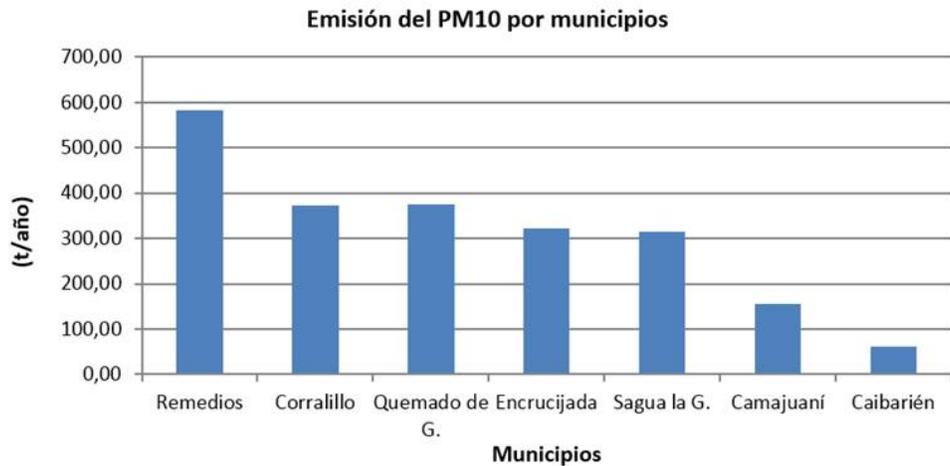
En la [figura 6](#), se expresa que las emisiones del PM<sub>10</sub> de las fuentes fijas según su clasificación por Oaces dan lugar a que las fuentes parcialmente bien ubicadas de Azcuba emitan el 92% del total de este contaminante, es decir 1 938 t/año, causado por los cuatro centrales azucareros y las dos refinerías de azúcar.

Las mayores emisiones por municipios del PM<sub>10</sub> son originadas por las fuentes fijas parcialmente bien ubicadas, el cual llega a ser de 2 105,8 t/año, representando el 96% del total, en el municipio de Remedios es donde más se expulsan con 582,1 t/año, el 28% entre estos territorios. Las fuentes

responsables en todos los casos son los centrales azucareros y refinerías de azúcar. Estos resultados se evidencian en la [figura 7](#).

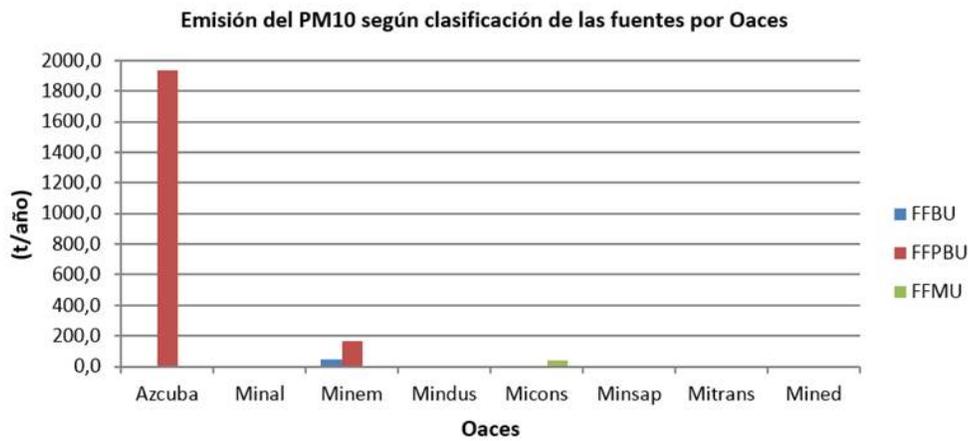
La carga total del PM<sub>10</sub> emitido, proporcionó un per cápita anual de 16,73 kg /habitantes en Quemado de G., ubicándolo en el primer lugar, seguido por Corralillo y Remedios con 13,65 y 12,78 kg /habitantes respectivamente.

Las emisiones de las fuentes fijas que más repercusión pueden tener en el deterioro de la calidad del aire sobre los asentamientos poblacionales son las parcialmente bien ubicadas y las mal ubicadas.



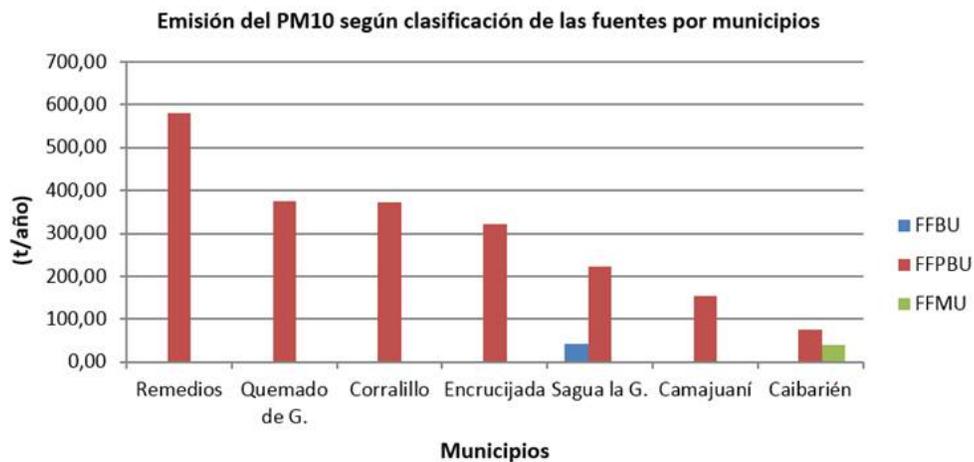
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 5.** Emisión del PM<sub>10</sub> por municipio.



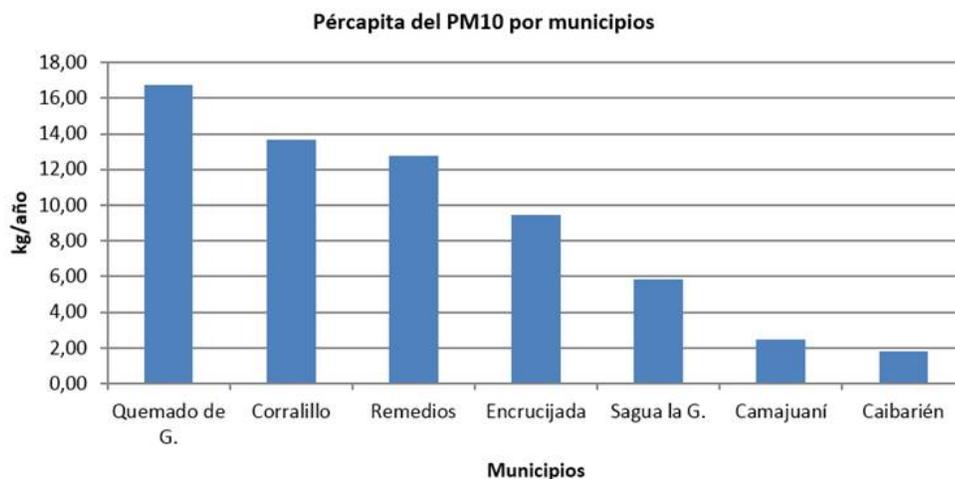
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 6.** Emisión del PM<sub>10</sub> según clasificación de las fuentes fijas por Oaces.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 7.** Emisión del PM<sub>10</sub> según clasificación de las fuentes fijas por Oaces.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 8.** Pércapita del PM<sub>10</sub> por municipios.

## CONCLUSIONES

- El municipio con mayor número de fuentes fijas parcialmente bien ubicadas es Remedios con el 20% del total, representadas por los centrales azucareros, refinерías de azúcar y Grupos Electrógenos de Generación Distribuida.
- El 36% de las fuentes fijas se inscriben como mal ubicadas en el municipio de Sagua la Grande, siendo este el primero del territorio estudiado, destacándose la fábrica de conservas, fundición de hierro y matadero bovino.
- El Ministerio de Energía y Minas es el organismo con mayor número de fuentes fijas, el 86% del total, de ellas el 84% se clasifican como bien ubicadas representadas principalmente por los Grupos Electrógenos de Emergencia y el 16% como parcialmente bien ubicadas constituidas por los Grupos Electrógenos de Generación Distribuida.
- En el municipio de Remedios se emite la mayor cantidad del PM<sub>10</sub>, el 28% del total, provocado esencialmente por las fuentes parcialmente bien ubicadas, en este caso el central azucarero "Heriberto Duquezne" y la fábrica azúcar refino "Chiquitico Fabregat".
- Las fuentes parcialmente bien ubicadas de Azcuba emitan el 92% del total del PM<sub>10</sub>

causado por los cuatro centrales azucareros y las dos refinерías de azúcar.

- Las propuestas de acciones para reducir y minimizar emisiones que influyan en el deterioro de la calidad del aire, deben priorizarse en las fuentes fijas parcialmente bien ubicadas y las mal ubicadas.

## REFERENCIAS

- 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. (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 Santos, O et al. (2018). Emisiones de contaminantes provenientes de fuentes fijas y su contribución a la contaminación atmosférica. Proyecto de Innovación Tecnológica. Cecont, Instituto de Meteorología, Cítma, La Habana, Cuba.
- DIGESA (2005). Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos. Perú, Dirección General de Salud Ambiental.

- DICTUC S.A. (2007). Actualización del Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos en la Región Metropolitana 2005. Santiago de Chile.
- 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.
- López Vicuña D., (2014). Gobernanza estratégica para la gestión de la calidad del aire en el estado de Baja California. Tesis en opción al grado de Maestro en Administración Integral del Ambiente. El Colegio de la Frontera Norte. Tijuana, B.C., México.
- 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 V. et al. (2011). Fuentes fijas responsables de las máximas emisiones de SO<sub>2</sub> en la provincia de Villa Clara, Cuba, en el primer semestre 2011. 6to. Congreso Cubano de Meteorología. La Habana 2011Cuba, ISBN: 978-959-7167-23-2.
- Núñez V. et al. (2013). Carga contaminante emitida a la atmósfera por las fuentes fijas principales en la provincia de Villa Clara. Revista Centro Azúcar. No 2 del 2013. ISSN:2223-4861.
- Núñez V. et al. (2014). Emisiones a la atmósfera de material particulado de centrales azucareros y refinerías de azúcar en la provincia de Villa Clara. Cuba. Revista ICIDCA. Vol. 48 No. 2 de 2014.
- Núñez, V. et al. (2015). Metodología de diagnóstico técnico ambiental en fuentes fijas industriales para prevenir y mitigar los Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica y el impacto a la salud humana. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Técnicas. Facultad de Química y Farmacia. Departamento de Ingeniería Química. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Cuba.
- Núñez V. et al. (2018). Inventario de emisiones de fuentes fijas y móviles, municipio Ranchuelo, provincia Villa Clara, Cuba. Revista Cubana de Meteorología, Vol. 24, No. sp, 2018, E-ISSN: 0864-151X.
- Peñaloza Pabón, N.E., (2010). Distribución espacial y temporal del inventario de emisiones provenientes de las fuentes móviles y fijas de la ciudad de Bogotá, D.C. Tesis en opción al grado de Maestría en Ingeniería Ambiental. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, Bogotá, D.C.
- Ramírez, O., *et al.* (2018). Chemical composition and source apportionment of PM<sub>10</sub> at an urban background site in a high-altitude Latin American megacity (Bogota, Colombia). Environ. Pollut. 233, 142-155.
- Semarnat (2013). Calidad del aire: una práctica de vida. Cuadernos de divulgación ambiental. Primera edición 2013. 28 p.
- Semarnat (2015). Programa de gestión para mejorar la calidad del aire en la Zona Metropolitana de San Luis Potosí-Soledad de Graciano Sánchez. Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental. San Luis Potosí: ProAire.

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/)