

## Deterioro de la calidad del aire en la ciudad de Caibarién por el SO<sub>2</sub>, emitido de las fuentes fijas. Provincia Villa Clara, Cuba

Deterioration of air quality in the city of Caibarién by the SO<sub>2</sub>, issued from fixed sources. Villa Clara Province, Cuba



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

Vladimir Núñez Caraballo <sup>1\*</sup>, Guillermo Saura González <sup>1</sup>, Rosabel Rodríguez Rojas <sup>1</sup>, Meylin 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:** La evaluación de la calidad del aire urge en los momentos actuales con el propósito de preservar la salud de los humanos, este caso hace referencia a las emisiones del dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) por las 64 fuentes fijas del municipio de Caibarién, provincia de Villa Clara y su influencia en la ciudad, en el año 2018. El objetivo general fue evaluar la calidad del aire para SO<sub>2</sub> a partir de las emisiones a la atmósfera producidas por estas fuentes. Se utilizó el método de cálculo basado en el factor de emisión para determinar la tasa de los contaminantes de ambas fuentes y la modelación de la dispersión del contaminante para evaluar la calidad del aire. Los principales resultados fueron, el 69% de las fuentes fijas están bien ubicadas y emitieron el 1% del total, el 26% están parcialmente bien ubicadas y expulsaron el 96% y el 5% están mal ubicadas y emitieron el 3%. Las áreas con deterioro de la calidad del aire en la ciudad de Caibarién se ubican a sotavento de las fuentes fijas mal ubicadas, principalmente las tenerías, con categoría de "Mala" y "Deficiente" en 24 horas. Se proponen acciones que contribuyen a reducir el consumo de combustible, elevar la eficiencia energética, minimizar las emisiones y favorecer el transporte y dispersión del contaminante, influyendo positivamente en la elevación de la calidad del aire en las zonas afectas.

**Palabras clave:** Calidad del aire, fuentes fijas y dióxido de azufre.

**ABSTRACT:** The evaluation of the quality of the air urges in the current moments with the purpose of preserving the health of the humans, this case makes reference to the emissions of the dioxide of sulfur (SO<sub>2</sub>) for the 64 fixed sources of the municipality of Caibarién, county of Villa Clara and its influence in the city, in the year 2018. The general objective was to evaluate the quality of the air for SO<sub>2</sub> starting from the emissions to the atmosphere taken place by these sources. The calculation method was used based on the emission factor to determine the rate of the pollutants of both sources and the moderation of the dispersion of the pollutant to evaluate the quality of the air. The main results were, 69% of the fixed sources is well located and they emitted 1% of the total, 26% is partially well located and they expelled 96% and 5% they are not well located and they emitted 3%. The areas with deterioration of the quality of the air in the city of Caibarién are located to leeward of the not well located fixed sources, mainly the tanneries, with category of "Bad" and "Faulty" in 24 hours. They intend actions that contribute to reduce the consumption of fuel, to elevate the energy efficiency, to minimize the emissions and to favor the transport and dispersion of the pollutant, influencing positively in the elevation of the quality of the air in the areas affects.

**Key words:** Quality of the air, fixed sources and dioxide of sulfur.

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

Recibido: 06/08/2019

Aceptado: 24/09/2019

## INTRODUCCIÓN

La creciente sensibilización respecto al impacto de las actividades humanas en el medio ambiente y la salud pública ha dado lugar al desarrollo y la utilización de diferentes métodos y tecnologías para reducir los efectos de la contaminación. En este sentido, los gobiernos han adoptado medidas de carácter normativo y para minimizar los efectos negativos y garantizar el cumplimiento de las normas sobre calidad ambiental ([Semarnat, 2015](#); [Arbuniés, 2016](#)).

La contaminación del aire es una amenaza aguda, acumulativa y crónica para la salud humana y ambiente. La población está expuesta a contaminantes del aire en exteriores e interiores, específicamente en los ámbitos urbanos, lo que puede agravar diferentes afecciones a la población en dependencia de factores tales como magnitud, alcance y duración de la exposición, edad y susceptibilidad de cada persona, entre otros ([WHO, 2005](#); [Arbuniés, 2016](#)).

El objetivo básico del control de la contaminación atmosférica es establecer un plan de control de la calidad del aire o un plan de reducción de la contaminación atmosférica que abarque los siguientes aspectos; descripción del área en cuanto a topografía, meteorología y socioeconomía, inventario de emisiones, comparación con los límites de emisión, inventario de las concentraciones de contaminantes atmosféricos, concentraciones simuladas de contaminantes atmosféricos, comparación con las normas sobre la calidad atmosférica, inventario de efectos sobre la salud pública y el medio ambiente, análisis de las causas, medidas de control entre otros ([Herrera, 2014](#); [Semarnat, 2013](#); Granada-Aguirre, 2014; [Núñez, 2013, 2014, 2018a](#)).

La vigilancia de la calidad del aire tiene como objetivo conservar la pureza ambiental estableciendo los límites tolerables de contaminación y dejando en manos de las administraciones locales y los contaminadores el diseño y la adopción de medidas para garantizar que no se supere ese grado de contaminación. (Granada-Aguirre, 2014; [Querol, 2018](#))

El inventario de emisiones incluye miles de compuestos, pero la concentración atmosférica de muchos de ellos no puede ser controlada por razones económicas. El uso de modelos de dispersión puede ayudar a estimar las concentraciones de los compuestos más importantes e identificar la causa de unos niveles extraordinariamente altos de contaminación. En la fase de planificación de los proyectos, permite anticipar la contribución al estrés ambiental y optimizar las condiciones de emisión. Utilizando el modelo de dispersión y los parámetros meteorológicos adecuados, pueden estimarse y compararse los porcentajes y medias anuales con las normas y directrices sobre la calidad atmosférica y aplicar medidas de control y reducción (Núñez, 2008; [Huertas, 2010](#); [Herrera, 2014](#); [Querol, 2018](#)).

En Cuba se evalúan las concentraciones máximas admisibles por la [NC 1020: 2014](#) y el Índice de Calidad del Aire por la [NC 111: 2004](#).

En los últimos años en Cuba se han ido desarrollado estudios de calidad del aire a través de la modelación de la dispersión de los contaminantes que se emiten de las fuentes fijas, principalmente en las capitales de provincia destacándose la Habana, Villa Clara y Pinar del Río, ([Cuesta, 2003, 2014](#); [Núñez, 2015, 2018a](#)).

El grupo de calidad del aire del Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara es actualmente el principal instrumento de gestión para dirigir las líneas de acción en materia de contaminación atmosférica en este territorio. Para proteger la salud humana de los efectos nocivos causados por la contaminación atmosférica, el mismo tiene como objetivo proponer, identificar y jerarquizar acciones para reducir los niveles de contaminación del aire de manera gradual, hasta alcanzar niveles que eviten que la población, especialmente los grupos más vulnerables, se exponga a niveles de contaminación riesgosos ([Núñez, 2013, 2014, 2018, 2018a](#)).

El problema a resolver en esta investigación es: la no existencia de la evaluación de la calidad del aire a partir del inventario de emisiones de fuentes en el municipio de Caibarién provincia de Villa

Clara. Se propone como objetivo general: evaluar la calidad del aire para el  $\text{SO}_2$  partir de las emisiones a la atmósfera producidas por las fuentes fijas en la ciudad de Caibarién.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Características generales del municipio de Caibarién en la provincia de Villa Clara

La provincia de Villa Clara se encuentra en la región central de Cuba. Limita al norte con el Golfo de México, el estrecho de la Florida y el Canal Viejo de Bahamas. Al sur limita con las provincias de Sancti Spíritus y Cienfuegos. El municipio de Caibarién, conocido como “La Villa Blanca”, está situado en la costa norte de la provincia de Villa Clara y tiene una extensión territorial de 425,5 km<sup>2</sup>, siendo el municipio más pequeño de la provincia, tiene una población de 38 479 habitantes y la densidad de 115 hab/km<sup>2</sup>. Limita al este con el municipio de Yaguajay provincia de Sancti Spíritus, al sur con Remedios, al oeste con Camajuaní y al norte con la Bahía de Buenavista. La ciudad de Caibarién está seccionada en 3 Consejos Populares.

### Contaminante primario estudiado

En la zona de estudio los contaminantes primarios están dados principalmente por la quema de combustibles fósiles, en este caso diesel y Fuel Oil. El contaminante evaluado fue el  $\text{SO}_2$ .

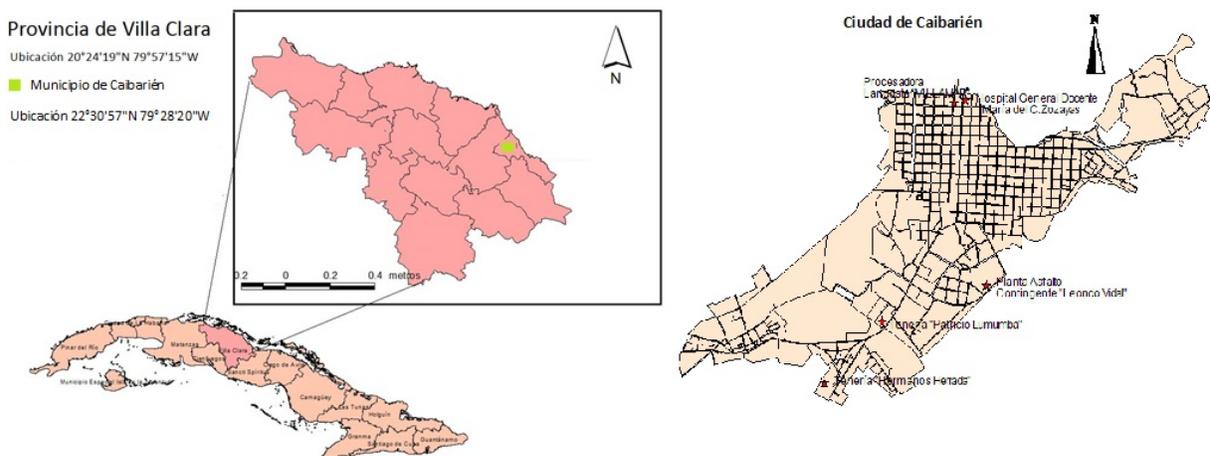
## Inventario de emisiones

El inventario de emisiones es una lista lo más completa posible de las fuentes contaminantes y sus emisiones en una determinada zona, estimadas con la mayor exactitud posible para todas las fuentes emisoras localizadas, lineales y zonales (difusas) (Martínez, 2012; Herrera, 2014; Granada-Aguirre, 2014; Marrero, 2018, Núñez, 2018)

Para la realización del inventario de emisiones se cumplió con 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”, recopilando la siguiente información; 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; datos de producción y consumo de combustible; características de las fuentes; condiciones de operación; datos de población, referencias para los factores de emisión utilizados, identificación de los métodos utilizados para calcular las emisiones.

### Método de los Factores de Emisión

El cálculo de las emisiones para fuentes fijas se realizó a través de la ecuación 1, esta se aplica cuando se tienen los datos de cada variable y es apropiado utilizar factores de emisión cuando los materiales que se emplean se consumen o



Fuente: Elaboración propia a partir del programa Surfer versión 8.0  
**Figura 1.** Mapa provincial de Villa Clara, especificando el municipio de Caibarién.

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), 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.

**Principales dificultades de las fuentes estudiadas que dan lugar a mayores emisiones del contaminante y mal transporte y dispersión de este.**

- Deficiencias en el recubrimiento térmico de tuberías, válvulas y accesorios.
- Salideros de vapor.
- Temperatura del agua de alimentación a las calderas baja.
- Baja altura de la chimenea.

En este trabajo, los factores de emisión utilizados, [tablas 1](#) y [2](#), provienen de diferentes orígenes, primeramente de la compilación de factores de emisión de contaminantes atmosféricos

(Emission Factor and Inventory Group) AP-42 (U.S. EPA, 1995a, 1995b, 1995c), además de otros estudios realizados por instituciones cubanas como la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV).

### Modelación de la dispersión del contaminante

El método aplicado para la modelación de la dispersión de contaminantes es el implementado por la U.S. EPA, a través del software ISCST3 Versión 3.15 ® para Windows® confeccionado por la Lakes Environmental Software™ de la U.S. EPA, los datos meteorológicos utilizados corresponden a la estación Meteorológica de Caibarién, representativos para la zona de estudio.

No se tuvieron en cuenta para la modelación las emisiones de los Grupos Electrónicos de Emergencia por ser despreciables, ya que trabajan muy pocas horas en el mes, el combustible que utilizan es diesel y están dispersos por todo el municipio y los Grupos Electrónicos de Generación Distribuida por estar ubicados fuera de la población.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El inventario de fuentes fijas en el municipio de Caibarién es de 64, el 7% del inventario provincial, de ellas el 69% se clasifican como bien ubicadas, el 26% como parcialmente bien ubicadas y el 5% mal ubicadas, [figura 2](#).

El organismo central del estado con mayor número de fuentes fijas es el Minem, con 57, el 89% del total, de ellas el 70% se clasifican como bien ubicadas representadas principalmente por los

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

| Contaminante    | Factor de emisión (g/kg) |        | Referencia |
|-----------------|--------------------------|--------|------------|
|                 | Fuel Oil                 | Diesel |            |
| SO <sub>2</sub> | 51,65                    | 57,41  | 11 AP-42   |

Fuente: Adaptado de AP-42, (1998) Núñez, (2011)

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

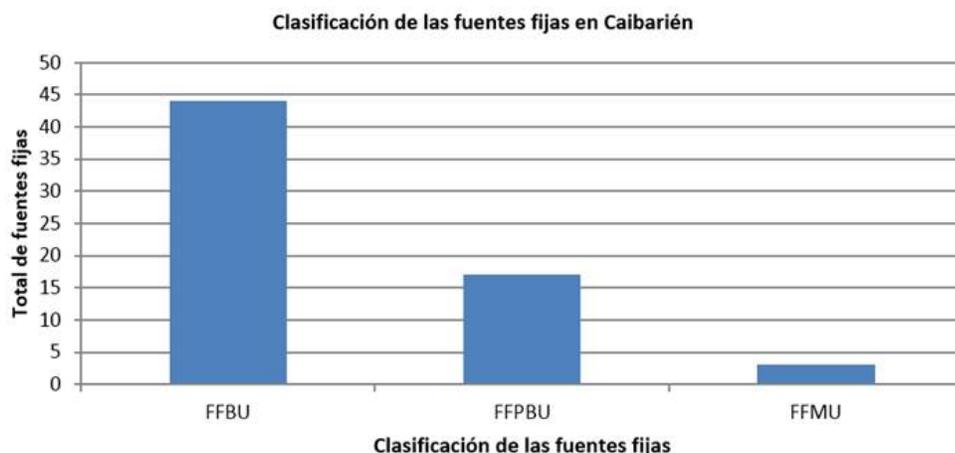
| Contaminante    | Factor de emisión (g/kg) |          | Referencia |
|-----------------|--------------------------|----------|------------|
|                 | Diesel                   | Fuel Oil |            |
| SO <sub>2</sub> | 4,16                     | 27,4     | UCLV       |

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

**Tabla 3.** Datos de las fuentes fijas ubicadas en la ciudad para la modelación de la dispersión.

| No | Nombre de las fuentes                           | Coordenadas |        | t (°C) | h (m) | H de la base (m) | σ (m) | v (m/s) | E (g/s) SO <sub>2</sub> |
|----|---|-------------|--------|--------|-------|------------------|-------|---------|-------------------------|
|    |   | X           | Y      |        |       |                  |       |         |                         |
| 1  | Empresa Confitera Caibarién "Guaní"             | 660651      | 301306 | 180    | 8     | 5                | 0,6   | 1,8     | 0,11                    |
| 2  | Tenería "Patricio Lumumba"                      | 656645      | 298324 | 200    | 16    | 5                | 0,6   | 1,7     | 3,36                    |
| 3  | Tenería "Hermanos Herrada"                      | 656019      | 297684 | 195    | 15    | 5                | 0,6   | 1,6     | 5,18                    |
| 4  | Hospital General Docente "María del C. Zozayas" | 657559      | 300661 | 190    | 7     | 5                | 0,7   | 1,5     | 0,09                    |
| 5  | Procesadora Langosta "VILLAMAR"                 | 657559      | 300661 | 195    | 7     | 5                | 0,4   | 2       | 0,2                     |
| 6  | Planta Asfalto Contingente "Leoncio Vidal"      | 658555      | 298290 | 210    | 16    | 5                | 0,4   | 1,8     | 2,69                    |
| 7  | Cadena del pan                                  | 656845      | 298524 | 170    | 8     | 5                | 0,4   | 2       | 0,01                    |

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



Fuente: Elaboración propia.

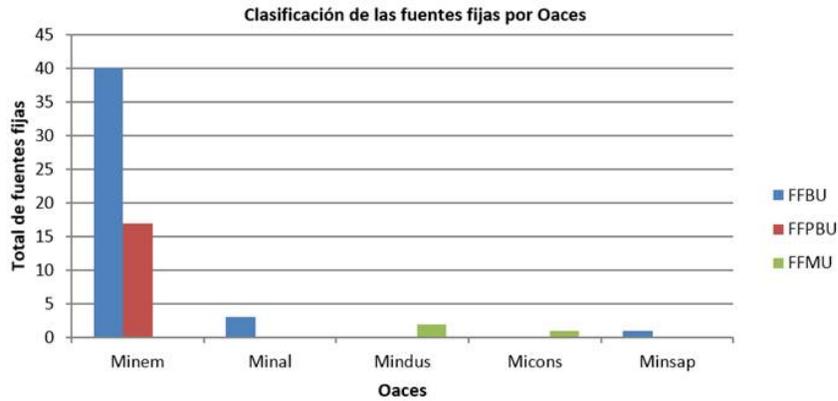
**Figura 2.** Clasificación de las fuentes fijas en el municipio de Caibarién.

Grupos Electrónicos de Emergencia y el 30% como parcialmente bien ubicadas constituidas por los Grupos Electrónicos de Generación Distribuida, [figura 3](#).

Las emisiones del SO<sub>2</sub> originadas por las fuentes fijas en el municipio de Caibarién que representan el 7% del inventario general llegaron a ser de 293,78 t/año, el 12% del total provincial, de ellas las que se clasifican como bien ubicadas expulsan el 1%, las parcialmente bien ubicadas emiten el 96% y las mal ubicadas el 3%, [figura 4](#).

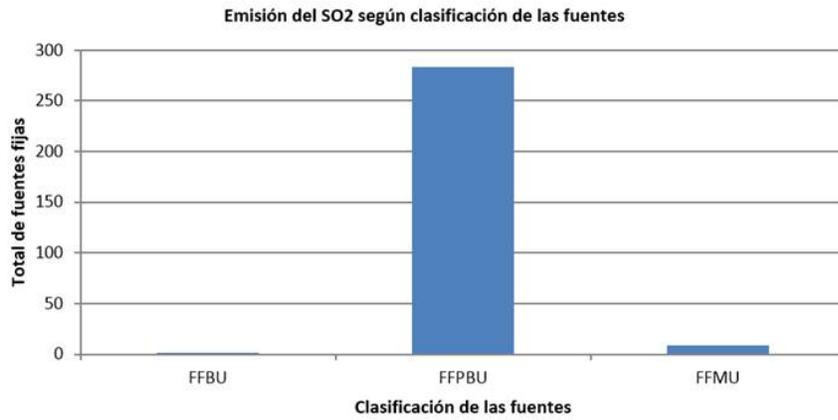
Esta carga total de gases contaminantes dio lugar a un per cápita anual en este municipio de 7,65 kg / habitantes.

En la [figura 5](#), el SO<sub>2</sub> alcanzan valores máximos de 130 µg/m<sup>3</sup> en 24 horas, a sotavento de la tenería Hermanos Herradas y Patricio Lumumba, superando en 2.88 veces la concentración máxima admisible según [NC 1020: 2014](#), para una categoría de calidad del aire de "Mala", según [NC 111: 2004](#). Bajo estas condiciones la norma, establece que ocurre un aumento de la frecuencia y gravedad de los efectos adversos en grupos de alta susceptibilidad y en la población general. Además se extienden zonas más extensas con categoría de calidad del aire de "Deficiente", En estas condiciones surge según la norma un ligero incremento en la frecuencia y severidad de los efectos adversos agudos y crónicos en la población



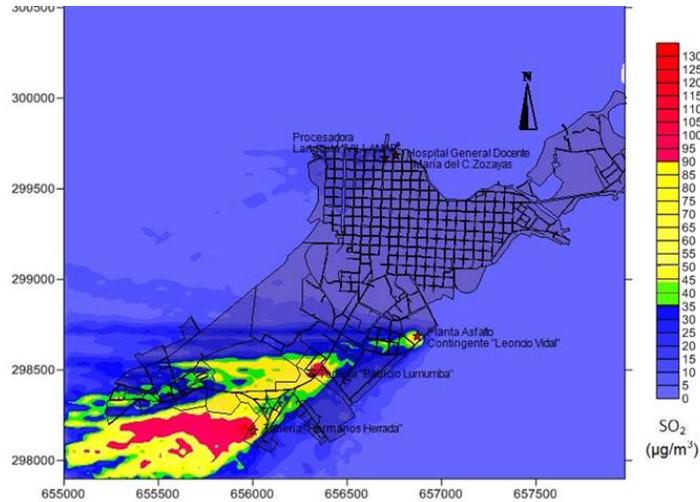
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Clasificación de las fuentes fijas por Oaces.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. Emisión del SO<sub>2</sub> según clasificación de las fuentes fijas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Dispersión del SO<sub>2</sub> en 24 horas emitido por las fuentes fijas en la ciudad de Caibarién.

general y principalmente en personas con enfermedades cardiovasculares, respiratorias y alérgicas y en otras de elevada susceptibilidad, solo detectables mediante investigaciones muy específicas y sensibles.

### **Propuestas de recomendación para disminuir el consumo de combustible, la emisión de contaminantes a la atmósfera y elevar la calidad del aire**

1. Aislar termicamente, las tuberías, codos y válvulas con deficiencias de este parámetro.
2. Reparar los salideros de vapor.
3. Realizar el análisis energético para elevar la temperatura del agua de alimentación de la caldera al menos en 20 °C.
4. Elevar la altura de la chimenea de 15 a 24 m en la caldera generadora de vapor con el objetivo de favorecer el transporte y dispersión de los contaminantes, contribuyendo a elevar la calidad del aire.

### **CONCLUSIONES**

- De las 64 fuentes fijas existentes en el municipio de Caibarién, el 5% se clasifican como mal ubicadas, siendo estas las responsable del deterioro de la calidad del aire en determinadas zonas de la ciudad.
- El Mindus es el organismo responsable de las fuentes fijas mal ubicadas que causan disminución de la calidad del aire en algunas áreas de la ciudad.
- De las 293,78 t/año de SO<sub>2</sub> que son emitidas a la atmósfera, el 3% es originado por las fuentes fijas mal ubicadas y este es el que contribuye al detrimento de la calidad del aire en parte de la trama urbana de la ciudad.
- El cumplimiento de las medidas propuestas puede dar lugar a elevar la calidad del aire en las zonas afectadas de la ciudad.

### **REFERENCIAS**

Arbuniés y Lekunberri (2016). LIFE+VIDA. Universidad de Navarra. España.

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.

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.

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.

Herrera, J., (2014). Inventario de emisiones de contaminantes criterio de Costa Rica en 201. Revista de Ciencias Ambientales (Trop J Environ Sci). (Diciembre, 2014). EISSN: 2215-3896. Vol 48(2): 5-19:

Huertas, J. et al. (2010). Modeling Dispersion of PM<sub>10</sub> and PST in the Cesar Department Mining Region, Colombia by Using ISC and AERMOD. ASME 2010 Power Conference (POWER2010), Paper no. 27356, pp.97-112. ISBN: 978-0-7918-4935-4.

NC 111: 2004. Calidad del Aire-reglas para la Vigilancia de la calidad del Aire en Asentamientos Humanos. Norma Cubana.

- Oficina Nacional de Normalización (ONN). Cuban National Bureau of Standards.
- NC 1020: 2014. Calidad del Aire-Contaminantes-Concentraciones Máximas Admisibles y Valores Guías en zonas Habitables. Oficina Nacional de Normalización (ONN). Cuban National Bureau of Standards.
- 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. (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.
- Núñez V. et al. (2018a). Evaluación de la calidad del aire para los óxidos de nitrógeno, municipio Santo Domingo, provincia Villa Clara, Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 24, No. sp, 2018, E-ISSN: 0864-151X.
- Martínez, M., (2012): Inventario de las emisiones y modelación de dispersión y transporte de los contaminantes atmosféricos en el municipio Cerro, La Habana. Tesis de Diploma para el título de Licenciado en Geografía. Pp. 57, Universidad de La Habana, MES, La Habana.
- Querol, X. (2018). La calidad del aire en las ciudades. Un reto mundial. Fundación Gas Natural Fenosa. ISBN: 978-84-09-01905-2. Depósito legal: M-14874-2018.
- 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.
- WHO (2005). Air Quality guidelines global update. Bonn, Germany.

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/)