

## Evaluación de las emisiones atmosféricas provenientes de grupos electrógenos en la provincia de Holguín, Cuba

### Evaluation of the atmospheric emissions from generating sets in the province of Holguín, Cuba



<https://eqrcode.co/a/5QzXGj>

Yoell Marrero Díaz <sup>1\*</sup>, Elisa Beatriz Cruz Estopiñan <sup>1</sup>,  
Anabel Reyes Mesa <sup>1</sup>

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

**RESUMEN:** En la actualidad la estimación de las emisiones atmosféricas desde fuentes fijas de combustión es una necesidad apremiante en la gestión de la calidad del aire, desde el nivel local hasta la escala global. Para su evaluación, el estudio estimó el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO) y el material particulado menor de 10 y 2.5 micrómetros (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>), emitidos por grupos electrógenos de la provincia de Holguín. Se utilizó el método de cálculo basado en el factor de emisión para determinar la tasa de emisión de estos contaminantes. Los resultados muestran que los grupos electrógenos evaluados emiten principalmente SO<sub>2</sub> (867,196 g/s), NO<sub>x</sub> (780,057 g/s) y CO (176,386 g/s) y en menor medida PM<sub>10</sub> (31,369 g/s) y PM<sub>2.5</sub> (15,762 g/s), valores de emisiones que no superan a los de generadores de vapor convencionales y termoeléctricas que emplean hidrocarburos similares y otros combustibles alternativos. La comparación de las emisiones máximas admisibles con respecto a la NC/TS 803: 2017, para la categoría de fuentes existentes, demostró que en algunos casos se sobrepasan los valores establecidos para todos los contaminantes estudiados.

**Palabras clave:** Contaminación del aire, contaminantes primarios, grupos electrógenos, fuentes fijas, inventario de emisiones.

**ABSTRACT:** At present, the estimation of atmospheric emissions from fixed sources of combustion is a pressing need in the management of air quality, from the local level to the global scale. For its evaluation, the study estimated sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>), carbon monoxide (CO) and particulate matter less than 10 and 2.5 micrometers (PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>), emitted by generator sets. Of the province of Holguín. The calculation method based on the emission factor was used to determine the emission rate of these pollutants. The results show that the evaluated generator sets mainly emit SO<sub>2</sub> (867,196 g/s), NO<sub>x</sub> (780,057 g/s) and CO (176,386 g/s) and to a lesser extent PM<sub>10</sub> (31,369 g/s) and PM<sub>2.5</sub> (15,762 g/s), emission values that do not exceed those of conventional and thermoelectric steam generators that use similar hydrocarbons and other alternative fuels. The comparison of the maximum admissible emissions with respect to NC/TS 803: 2017, for the category of existing sources, showed that in some cases the established values for all the pollutants studied were exceeded.

**Key words:** Air pollution, primary pollutants, generator sets, stationary sources, emissions inventory.

\*Autor para correspondencia: Yoell Marrero-Díaz. E-mail: [yoell.marrero@hlg.insmet.cu](mailto:yoell.marrero@hlg.insmet.cu)

Recibido: 20/01/2020

Aceptado: 06/07/2020

## INTRODUCCIÓN

El problema de la contaminación del aire ha venido en ascenso en las últimas décadas, siendo una constante en muchas ciudades y regiones en todo el mundo, lo que ha causado problemas de salud a la población y a los ecosistemas, los cuales continúan incrementándose (Núñez *et al.* 2018). La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que la exposición a los contaminantes atmosféricos está en gran medida fuera del control personal y requiere medidas de las autoridades públicas a nivel local, nacional e internacional (SEMARNAT 2013).

Los inventarios de emisiones se han ido desarrollando internacionalmente con elevada calidad y precisión, abarcando mayoritariamente casi todas las fuentes responsables de las emisiones según las zonas de estudios, dentro de los principales programas están el del *Industrial Pollution Control* (IPC), desarrollado por el Banco Mundial, la guía de técnicas rápidas de la Organización Mundial de la Salud (OMS) del año 1993, las técnicas de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) del año 1995, los métodos de la U.S. EPA (1997b, 1999) con bases de datos de factores de emisión de contaminantes atmosféricos AP-42 (U.S. EPA 1995a), el programa EMEP/CORINAIR, (acrónimo en inglés de European Monitoring and Evaluation Programme), perteneciente a la Agencia Europea de Medio Ambiente.

En tal sentido, Cuesta *et al.* 2017 consideran que los inventarios de emisiones a la atmósfera actualizados constituyen una buena herramienta para la gestión del medio ambiente atmosférico. Permite conocer la primera parte del ciclo de transmisión de contaminantes (las emisiones) con el fin de conocer la cantidad de contaminantes emitidos por las fuentes fijas o estacionarias, identificando a los contaminantes primarios o principales. Además de cuantificar las emisiones, también se identifican las fuentes y las instituciones responsables, con el fin de implementar medidas de control y establecer futuras estrategias de mitigación.

En el caso particular de Cuba las causas fundamentales que generan los problemas de contaminación atmosférica están asociadas a: errores de planificación territorial; uso de tecnologías obsoletas en industrias y el transporte; no existencia de tratamientos en las emisiones a la atmósfera; la educación ambiental e información a la comunidad (Cuesta *et al.* 2014; Cuesta 2015).

En la misma dirección, los estudios de Hernández *et al.* (2018) abordan que uno de los problemas ambientales más críticos del mundo lo constituye la contaminación del aire debido a la quema indiscriminada de hidrocarburos para la producción de energía. Esto implica la necesidad de profundizar en el conocimiento del impacto ambiental que producen los contaminantes, su prevención y control, así como en el establecimiento de medidas que contribuyan a reducir los niveles de contaminación en aras del desarrollo sostenible.

El primer inventario de emisiones realizado en las principales fuentes fijas de Cuba para el año base 2014 evidenció que la provincia de Holguín no tenía estimadas todas las emisiones de sus fuentes industriales (Cuesta *et al.* 2017). Estudios más recientes realizados en esta región del país muestran resultados de interés para la panorámica nacional (Marrero y Suárez 2018; Hernández *et al.* 2018). Sin embargo, los inventarios de emisiones deben entenderse como un proceso dinámico en continuo desarrollo y de carácter cíclico que deben ser periódicamente actualizados, a fin de disponer de información representativa.

En consecuencia, este trabajo se propone estimar mediante factores de emisión los contaminantes atmosféricos (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>) emitidos por grupos electrógenos de la provincia de Holguín, como antecedente para la modelación de la dispersión de contaminantes y futura evaluación del impacto de estas emisiones sobre la calidad del aire a escala local.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Características generales de la provincia de Holguín

La provincia de Holguín se encuentra ubicada al norte del oriente cubano, posee una extensión superficial de 9 215,7 Km<sup>2</sup> incluyendo los cayos adyacentes, posee 1 027 249 habitantes y una densidad de población de 111.5 Hab./Km<sup>2</sup>. Limita al norte con el Océano Atlántico, al sur con las provincias de Granma y Santiago de Cuba, al este con Guantánamo (por la zona de Baracoa) y al oeste con Las Tunas (ONEI 2016). Dentro de las principales fuentes de ingresos del territorio se encuentran la industria niquelífera con dos 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.

Para el estudio se eligieron 19 instalaciones generadoras de electricidad, 17 de ellas pertenecientes a la Empresa de Grupos Electrónicos y Servicios Eléctricos (GEYSEL), el resto corresponden a la Central Termoeléctrica

“Lidio Ramón Pérez”. Las Centrales Eléctricas Aislada poseen 1 ó 2 grupos electrógenos incorporados, en tanto las Centrales Eléctricas Baterías tienen entre 8 y 32 grupos electrógenos asociados, ubicados en 10 municipios, abarcando casi la totalidad de la provincia (Figura 1). Algunas de las fuentes de estudio se encuentran emplazadas en las cercanías de localidades pobladas, susceptible de ser afectada por estas emisiones; la elaboración del inventario de emisiones reviste gran importancia para evaluar el impacto de las mismas.

### Inventario de emisiones

La Norma Cubana (NC: 1049, 2014) “Guía de datos tecnológicos para el inventario de emisiones de los contaminantes atmosféricos desde fuentes industriales estacionarias”, establece los datos tecnológicos que se han de tener en cuenta para la realización un inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos generados por fuentes puntuales industriales. La captación de los datos tecnológicos se realizó teniendo en cuenta los formularios establecidos en el Anexo B de la referida NC, los cuales se emplearon para realizar

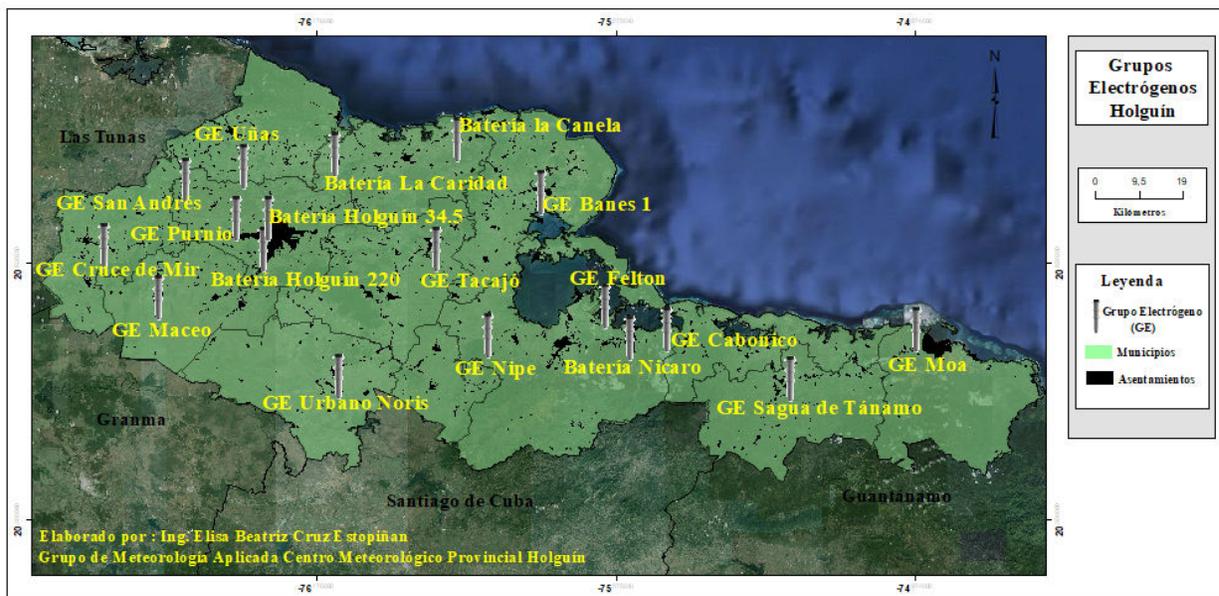


Figura 1. Ubicación de grupos electrógenos en la provincia de Holguín

hojas de cálculos en Excel y determinar las emisiones de contaminantes atmosféricos generados por cada fuente a partir de la utilización de factores de emisión, constituyéndose una gran base de datos.

La captación de datos tecnológicos tiene cierto grado de complejidad, ya que generalmente existen algunos datos que no se pueden adquirir de forma rutinaria en los centros industriales, lo que obliga a obtenerlos mediante cálculos (Rodríguez 2007). Solo en los casos necesarios se describen los procedimientos de cálculos empleados para obtener los datos que no fueron posible adquirir en las fuentes.

### Requisitos generales

Información general del proceso (Formulario para la captación de datos para la estimación de las emisiones DE1).

- Organismo
- Nombre de la empresa
- Dirección
- Provincia
- Código de proceso industrial
- Número de fuentes puntuales
- Principal (es) contaminante (s) del proceso

### Información estática para cada fuente estacionaria

Es la información de carácter tecnológico y productivo básica necesaria para la realización de los cálculos de las emisiones (Formulario DE2).

- Año de puesta en marcha
- Operación anual (horas/año)
- Producción (diaria, mensual, anual)
- Altura de la fuente (m)
- Diámetro interior (m)
- Dispositivo de control de las emisiones (Sí/No)
- Temperatura de la mezcla gaseosa emitida (K)

El **flujo máximo del gas emitido (Q)** se obtuvo mediante métodos teóricos para calcular parámetros tecnológicos, utilizando la metodología de cálculo descrita por (Rodríguez et al. 2012).

$$V_{TH} = 22.4 * \left[ \left( \frac{P_C}{12} + \frac{P_{H_2}}{2} + \frac{P_S}{32} - \frac{P_{O_2}}{32} \right) * \frac{n}{0.21} + \frac{P_{H_2}}{2} + \frac{P_{O_2}}{32} \right] \quad (1)$$

Donde:

$V_{TH}$  - Volumen de gases húmedos en condiciones normales (0 °C y 760 mm de Hg) en Nm<sup>3</sup>/kg de combustible.

$n$  - Coeficiente de exceso de aire = 1,2 en ausencia de mediciones.

$P_C, P_{H_2}, P_S, P_{O_2}$  - son las composiciones elementales en tanto por uno de la materia prima, como se muestra en la [tabla 1](#).

**Tabla 1.** Composición elemental de la materia prima (combustible)

Combustible	Composición química (%)				
	C	H	O	N	S
Diesel	84,4	13,9	0,6	0,5	0,7
Fuel Oil	85,2	10,8	0,6	0,5	1,9

**Fuente:** Empresa Comercializadora Combustibles de Matanzas.

El flujo volumétrico de gases húmedos (1) debe corregirse mediante la ecuación de los gases ideales para la temperatura de salida de los gases de la chimenea.

$$P_1 * V_1 = n * R * T \quad (2)$$

Donde:

$P_1$  - presión total del gas (atm)

$V_1$  - volumen del gas (m<sup>3</sup>)

$n$  - número de moles del gas (kmol)

$R$  - constante universal de los gases (atm m<sup>3</sup>/kmol K)

$T$  - temperatura de los gases (K)

Como  $n, R$  y  $P_1$  son constantes, la expresión (2) queda como aparece en la expresión (3).

$$\frac{V_1}{T} = \frac{n * R}{P_1} \quad (3)$$

De la expresión (3) se obtiene la expresión (4).

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (4)$$

Despejando  $V_2$  se obtiene la expresión (5).

$$V_2 = \frac{V_1}{T_1} * T_2 \quad (5)$$

Donde:

$V_2$  - flujo volumétrico corregido ( $m^3/kg$ )

$V_1 = V_{TH}$  ( $Nm^3/kg$ )

$T_1$  - temperatura en condiciones normales ( $0\text{ }^\circ\text{C}$  o  $273\text{ K}$ )

$T_2$  - temperatura de salida de los gases de la chimenea ( $K$ )

Con el resultado de la expresión (5), sustituyéndola en (6), se obtiene el flujo máximo del gas emitido ( $Q$ ) en  $m^3/s$

$$Q = V_2 * C \quad (6)$$

Donde:

$Q$  - Flujo máximo del gas emitido: Máximo del gas por unidad de tiempo emitido a través de la chimenea o conducto de emisión ( $m^3/s$ ).

$C$  - Consumo de combustible ( $kg/s$ )

### 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).

La ecuación (7) es recomendada por la Agencia de Protección de Medio Ambiente de Estados Unidos (U.S. EPA, siglas en inglés) para estimar los contaminantes atmosféricos emitidos.

$$E = A * FE * (1 - EC/100) \quad (7)$$

Según arreglos a la ecuación (7) por concepto de energía y cantidad de equipos (motores), dado que un emplazamiento puede tener asociado más de un grupo electrógeno, queda de la siguiente manera:

$$E = A * FE * HRS\_OP\_AÑO * (1 - EC/100) * NRO\_EQPS \quad (8)$$

Donde:

$E$  - Emisión ( $g/s$ )

$FE$  - Factor de emisión ( $g/kWh$ )

$A$  - Tasa de la actividad (capacidad de generación), en unidades de energía ( $kWh$ )

$HRS\_OP$  - Horas de operación al año ( $h/año$ )

$NRO\_EQPS$  - Número de equipos (cantidad de motores en el emplazamiento)

$EC$  - Eficiencia de control de la emisión (%). Como no existe tecnología de reducción de emisiones, entonces  $EC=0$  y la ecuación (8) queda de la siguiente forma:

$$E = A * FE * HRS\_OP\_AÑO * NRO\_EQPS \quad (9)$$

Los factores de emisión utilizados en el trabajo se obtuvieron a través de las fuentes siguientes: Compilación de factores de emisión de contaminantes atmosféricos (*Emission Factor and Inventory Group*) AP-42 (U.S. EPA 1998). Los reportados por la Agencia Ambiental Europea (EMEP/CORINAIR 2007) y algunos factores de emisión propios de Cuba, ya que para los motores de Fuel Oil no existen valores disponibles en las bases de datos internacionales, los cuales fueron calculados por el Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (Meneses et al. 2018) (Tabla 2).

La capacidad de generación y horas de operación en cada fuente se obtuvo a partir de los datos de operación recogidos para el estudio durante el año 2019. Las temperaturas a la salida de los gases de combustión, en el caso de las chimeneas de los grupos electrógenos de Félton y Moa, se recopilaron de estudios precedidos realizados por CUBAENERGÍA, mientras que el resto corresponde a los datos teóricos según la tecnología de cada motor de combustión interna (Tabla 3).

**Tabla 2.** Factores de emisión de contaminantes emitidos a la atmósfera según el tipo de combustible utilizado

Tecnología	Combustible	Contaminante	Factor de emisión (g/kWh)
Motores Combustión Interna Baterías Hyunday 4 x2.7 MW	Fuel Oil # 5	NO <sub>x</sub>	2,353
		SO <sub>2</sub>	2,959
		CO	0,518
		PM <sub>10</sub>	0,105
		PM <sub>2,5</sub>	0,053
		NO <sub>x</sub>	2,590
Motores Combustión Interna MAN 18.4 MW	Fuel Oil # 5	SO <sub>2</sub>	3,372
		CO	0,597
		PM <sub>10</sub>	0,105
		PM <sub>2,5</sub>	0,053
		NO <sub>x</sub>	1,562
		SO <sub>2</sub>	4,0
Motores Combustión Interna MTU serie 2000 0.92 MW	Diesel	CO	0,568
		PM <sub>10</sub>	0,063
		PM <sub>2,5</sub>	0,031
		NO <sub>x</sub>	1,696
		SO <sub>2</sub>	0,585
		CO	0,360
Motores Combustión Interna MTU serie 4000	Diesel	PM <sub>10</sub>	0,063
		PM <sub>2,5</sub>	0,031

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las emisiones de los contaminantes atmosféricos producidos por los grupos electrógenos se muestran en la [Tabla 4](#). Los valores de caudal y emisión estimados fueron inferiores a los de termoeléctricas y generadores de vapor convencionales localizados en distintas industrias e instituciones de la región que emplean hidrocarburos similares y otros combustibles alternativos ([Marrero, Cuesta, & Suárez 2017](#); [Hernández-Garces et al. 2018](#)). Este resultado confirma estudios puntuales realizados a estas instalaciones mediante campañas de muestreo en años precedentes (Gamma S.A y CUBAENERGÍA 2018, 2019). Los valores mayores se corresponden, además, con los más altos consumos de combustibles y horas de operación.

Los contaminantes más emitidos a la atmósfera corresponden al SO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>, los que representan el 46 y 42% respectivamente, seguido por un 9% del CO. En menor medida se emite PM<sub>10</sub> con un 2% y

PM<sub>2,5</sub> con solo el 1% de las emisiones totales ([Figura 2](#)). El comportamiento de las emisiones por contaminantes en cada grupo electrógeno evaluado se muestra en las figuras de la [3](#) a la [7](#). Se evidencia que las instalaciones que más inciden en las emisiones son los grupos electrógenos Holguín 220, Moa, Felton y Nipe, debido al elevado consumo de combustible utilizado, las horas de operación y la no existencia de tratamientos de las emisiones a la atmósfera.

### Emisiones máximas admisibles de contaminantes a la atmósfera

Las Emisiones Máximas Admisibles (EMA) se analizaron en correspondencia con las características de las instalaciones, según lo establecido en la ([NC/TS 803, 2017](#)). Los grupos electrógenos evaluados se subdividen en dependencia del combustible que utilizan: (d-1) Diesel y (d-2) Fuel Oil, para este tipo de instalaciones la norma solo evalúa los contaminantes SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>.

**Tabla 3.** Parámetros y datos de operación de las fuentes objeto de estudio

Fuentes	No Motores/ Chimeneas	Horas de operación (h/año)	Capacidad Generación 1 motor (MWh)	T (K)	Consumo de combustible (kg/ año)
Batería Holguín 34,5	8	7478	1,88	693	2281475
GE San Andrés	1	566	1,88	693	171263
Baterías Holguín 220	30	29856	1,88	693	8895021
GE Uñas	2	1278	1,88	693	372818
GE Maceo	1	786	1,88	693	235184
GE Cruce de Mir	2	1627	1,88	693	479043
GE Lote Seco	1	499	0,92	853	81647
GE Urbano Noris	2	1341	1,88	693	397320
GE Tacajó	2	672	0,92	853	112074
Baterías Nipe	16	21553	1,88	693	6480811
Batería Nicaro	6	9702	1,88	693	3378913
Batería la Caridad	7	9696	1,88	693	2940369
Batería la Canela	7	9488	1,88	693	2880935
GE Banes 1	2	676	1,88	693	201849
GE Purnio	1	724	0,92	853	118117
GE Cabonico	1	661	1,88	853	106956
GE Sagua	2	1194	1,88	853	291608
Baterías Felton	24	14332	2,5	533	18707800
GE Moa	10	37283	18,4	661	105707900

GE- Grupo Electrógeno

1MWh equivale a 1000 kWh

Con el fin de comparar las emisiones con respecto a esta norma, se convirtieron los valores de concentración de los contaminantes a unidades de mg/Nm<sup>3</sup> (Tabla 5). Como resultado se obtuvo que las Baterías Holguín 220 sobrepasan entre 2 y 3 veces los límites normativos para todos los contaminantes, mientras que los grupos electrógenos Nipe y Moa exceden entre 1 y 2 veces el máximo valor fijado, excepto para el PM<sub>2.5</sub>. En el caso de las Baterías Felton solo superan las emisiones de NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>.

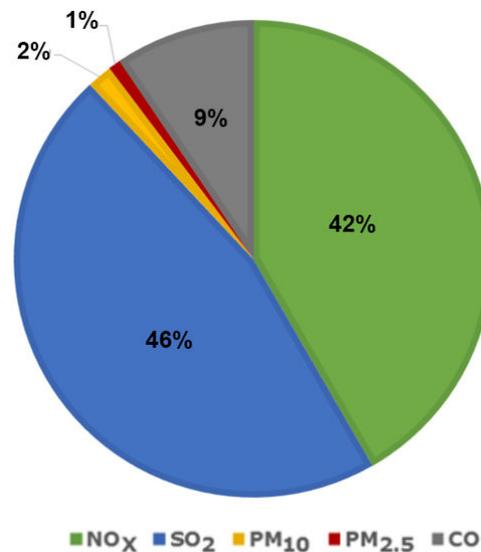
La dispersión es un proceso de dilución que mezcla el aire ambiente con el penacho de partículas, gobernado principalmente por la turbulencia atmosférica (López 2006). Como resultado de la dispersión, las emisiones obtenidas en este trabajo pudieran influir básicamente en zonas cercanas. Sin embargo, no deben afectar a las comunidades vecinas a los emplazamientos si se

tiene en cuenta la altura y orientación del escape de las chimeneas. El área de influencia y los efectos de la inmisión de los contaminantes evaluados pudiera estimarse a través de la modelación de la dispersión de estas emisiones (Hernández-Garces et al. 2015).

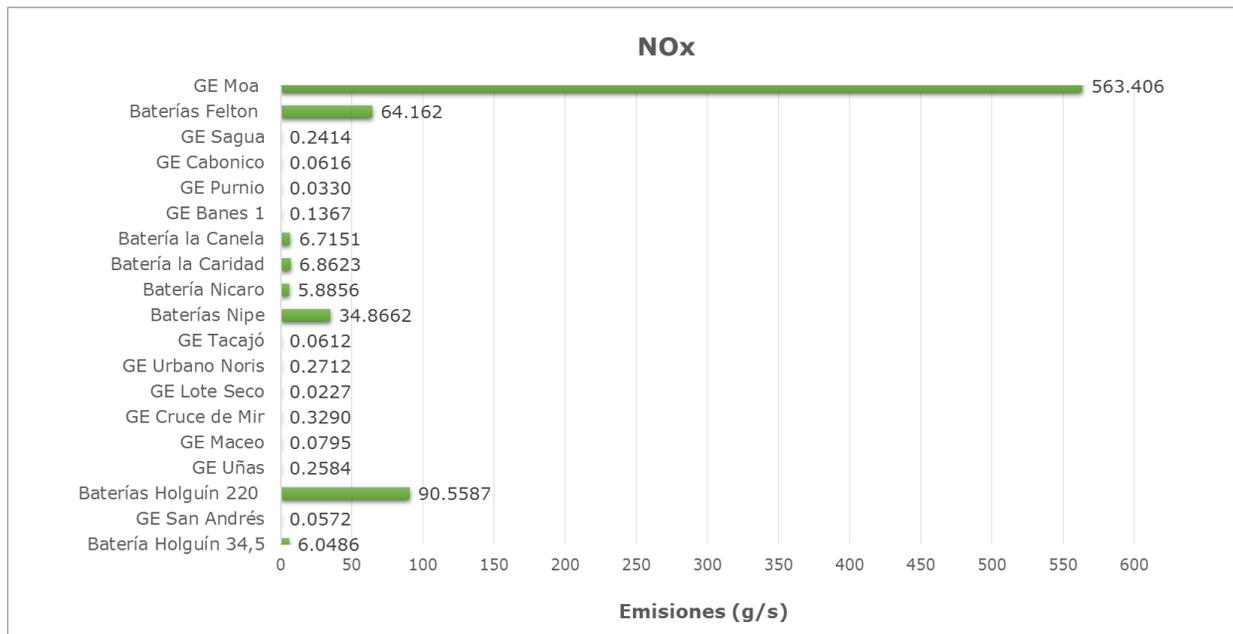
Algunas de las alternativas de solución para reducir la emisión de contaminantes que pudieran valorarse, están relacionadas, por ejemplo, con la propuesta de mejoramiento de la calidad de los combustibles o la aplicación de sistemas duales (líquido-gas), éste último permite diversificar la matriz energética empleando combustibles alternativos y mezclas líquido-gas, práctica que se ha extendido en muchas partes del mundo por sus propiedades de combustión limpia y sus bajas emisiones. Otras de las soluciones, según Cassula et al. 2015, puede ser el tratamiento de las emisiones con un lavador de gases.

**Tabla 4.** Emisiones y flujos volumétricos

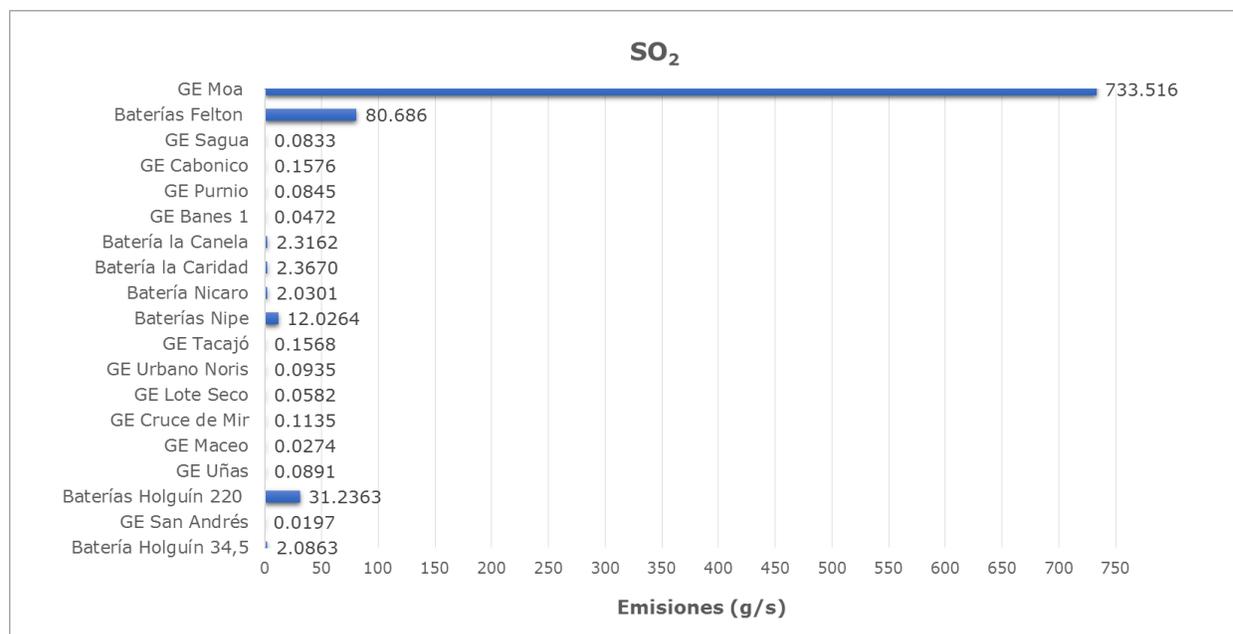
Fuentes	Emisiones (g/s)					Flujo de gases (m <sup>3</sup> /s)
	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	CO	
Batería Holguín 34,5	6,049	2,086	0,225	0,111	1,284	3,329
GE San Andrés	0,057	0,020	0,002	0,001	0,012	0,250
Baterías Holguín 220	90,559	31,236	3,364	1,655	19,222	12,979
GE Uñas	0,258	0,089	0,010	0,005	0,055	0,544
GE Maceo	0,079	0,027	0,003	0,001	0,017	0,343
GE Cruce de Mir	0,329	0,113	0,012	0,006	0,070	0,699
GE Lote Seco	0,023	0,058	0,001	0,0005	0,008	0,147
GE Urbano Noris	0,271	0,094	0,010	0,005	0,058	0,580
GE Tacajó	0,061	0,157	0,002	0,001	0,022	0,201
Baterías Nipe	34,866	12,026	1,295	0,637	7,401	9,456
Batería Nicaro	5,886	2,030	0,219	0,108	1,249	4,930
Batería la Caridad	6,862	2,367	0,255	0,125	1,457	4,290
Batería la Canela	6,715	2,316	0,249	0,123	1,425	4,204
GE Banes 1	0,137	0,047	0,005	0,002	0,029	0,295
GE Purnio	0,033	0,084	0,001	0,001	0,012	0,212
GE Cabonico	0,062	0,158	0,002	0,001	0,022	0,192
GE Sagua	0,241	0,083	0,009	0,004	0,051	0,524
Baterías Felton	64,162	80,686	2,863	1,445	14,125	18,776
GE Moa	563,406	733,516	22,841	11,529	129,866	131,573
Total	780,057	867,196	31,369	15,762	176,386	-



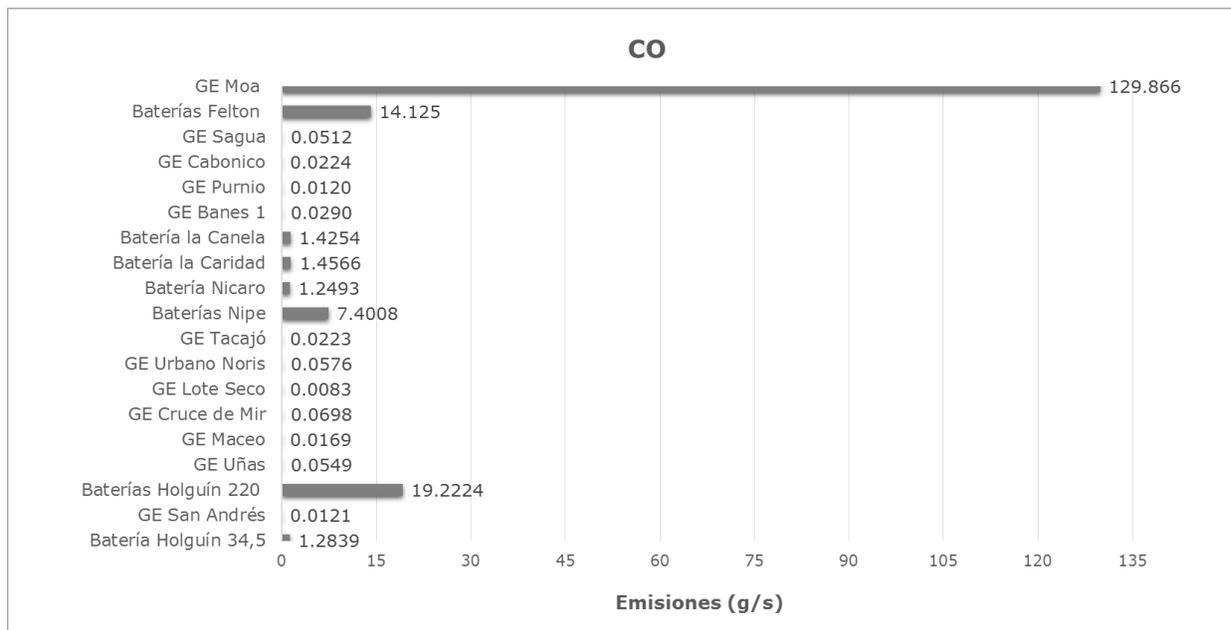
**Figura 2.** Distribución porcentual de los contaminantes primarios evaluados



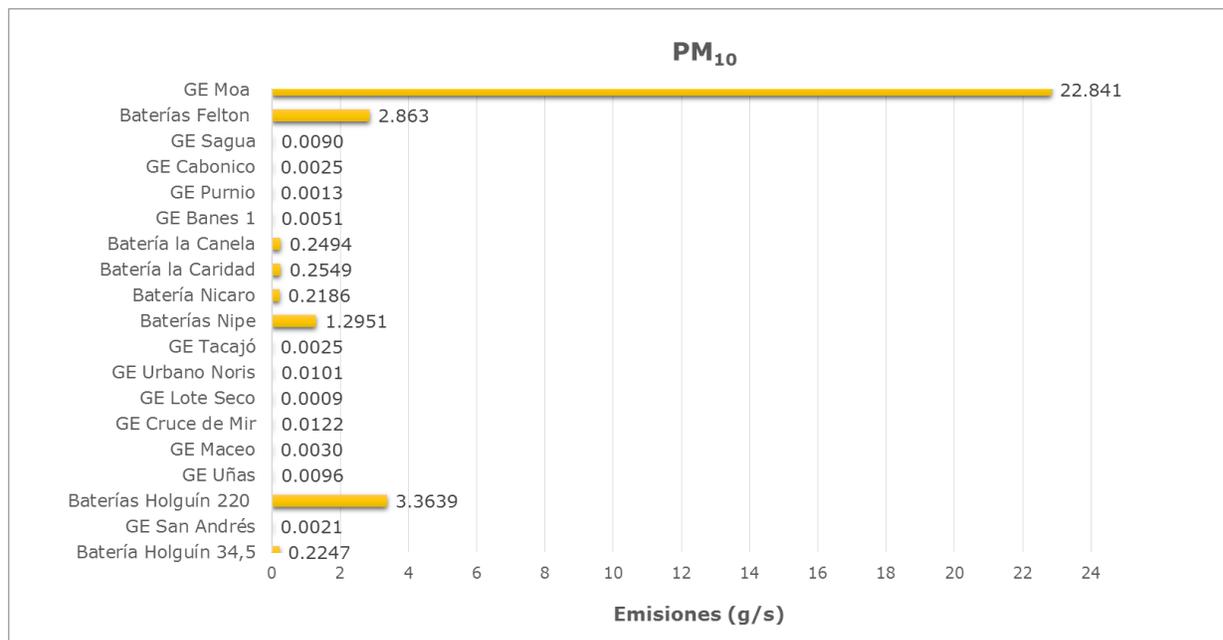
**Figura 3.** Comportamiento de las emisiones de NO<sub>x</sub> por fuente contaminante



**Figura 4.** Comportamiento de las emisiones de SO<sub>2</sub> por fuente contaminante



**Figura 5.** Comportamiento de las emisiones de CO por fuente contaminante



**Figura 6.** Comportamiento de las emisiones de PM<sub>10</sub> por fuente contaminante

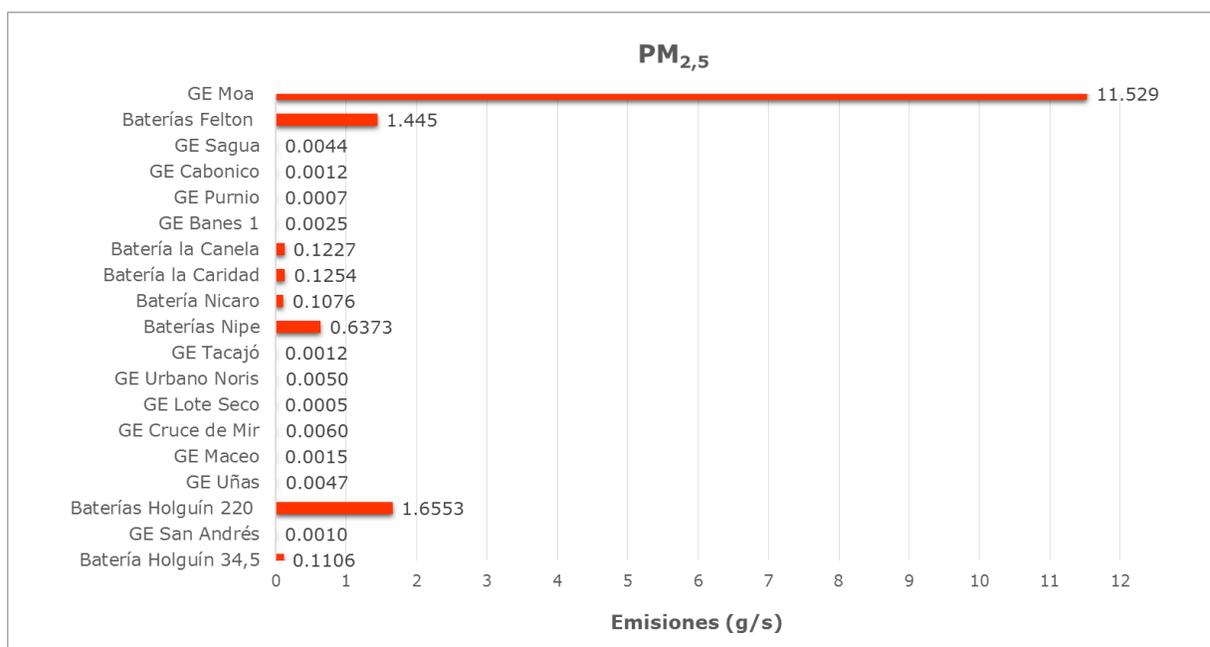


Figura 7. Comportamiento de las emisiones de PM<sub>2,5</sub> por fuente contaminante

Tabla 5. Comparación normativa de las Emisiones Máximas Admisibles

Fuente	Emisiones (mg/Nm <sup>3</sup> )				
	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	CO
<b>EMA Fuentes existentes (Diesel)</b>	<b>2 000</b>	<b>1 000</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>NE</b>
Batería Holguín 34,5	1817,011	626,740	67,495	33,212	385,686
GE San Andrés	229,008	78,992	8,507	4,186	48,610
<b>Baterías Holguín 220</b>	<b>6977,565</b>	<b>2406,766</b>	<b>259,190</b>	<b>127,538</b>	<b>1481,087</b>
GE Uñas	475,074	163,867	17,647	8,684	100,841
GE Maceo	231,586	79,881	8,603	4,233	49,157
GE Cruce de Mir	470,696	162,357	17,485	8,604	99,912
GE Lote Seco	155,071	397,108	6,254	3,078	56,389
GE Urbano Noris	467,752	161,341	17,375	8,550	99,287
GE Tacajó	304,273	779,188	12,272	6,039	110,645
Baterías Nipe	<b>3687,197</b>	<b>1271,822</b>	<b>136,965</b>	67,396	782,660
Batería Nicaro	1193,805	411,778	44,345	21,821	253,402
Batería la Caridad	1599,510	551,718	59,416	29,236	339,519
Batería la Canela	1597,487	551,020	59,341	29,199	339,089
GE Banes I	464,140	160,095	17,241	8,484	98,520
GE Purnio	155,522	398,264	6,273	3,087	56,553
GE Cabonico	320,431	820,565	12,924	6,359	116,520
GE Sagua	461,017	159,018	17,125	8,427	97,857
<b>EMA Fuentes existentes (Fuel Oil)</b>	<b>2 000</b>	<b>2 500</b>	<b>160</b>	<b>160</b>	<b>NE</b>
Baterías Felton	<b>3417,174</b>	<b>4297,246</b>	152,488	76,970	752,272
GE Moa	<b>4282,068</b>	<b>5574,955</b>	<b>173,597</b>	87,625	987,025

NE: No especificado en la (NC/TS 803, 2017).

## CONCLUSIONES

1. Los grupos electrógenos evaluados pertenecientes a la provincia de Holguín emiten principalmente  $\text{SO}_2$  (867,196 g/s),  $\text{NO}_x$  (780,057 g/s) y CO (176,386 g/s) y en menor medida  $\text{PM}_{10}$  (31,369 g/s) y  $\text{PM}_{2.5}$  (15,762 g/s), valores de emisiones que no superan a los de generadores de vapor convencionales y termoeléctricas localizados en distintas industrias e instituciones de la región que emplean hidrocarburos y otros combustibles alternativos.
2. La comparación de las Emisiones Máximas Admisibles con respecto a la NC/TS 803: 2017, para la categoría de fuentes existentes, demostró que las Baterías Holguín 220 sobrepasan entre 2 y 3 veces los límites normativos para todos los contaminantes, mientras que los grupos electrógenos Nipe y Moa exceden 1 y 2 veces el máximo valor fijado, excepto para el  $\text{PM}_{2.5}$ . En el caso de las Baterías Felton solo superan las emisiones de  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_2$ .
3. El inventario de emisiones de los grupos electrógenos evaluados en la provincia de Holguín permite sentar las bases para futuras investigaciones, tomando como referente la metodología utilizada, con el fin de mantener medidas de control y regulación ambiental para mitigar las emisiones e implementar planes de reducción con mejoras tecnológicas.

## AGRADECIMIENTOS

A las especialistas: Raiza González Quintana de la Empresa de Grupos Electrógenos y Servicios Eléctricos (GEYSEL) UEB Holguín y Yaimara Vargas Piñero de la Central Termoeléctrica "Lidio Ramón Pérez" de Felton en Mayarí, Holguín por el suministro de los datos y especificaciones con que se realizó este trabajo.

## REFERENCIAS

- Cassula, D., Zanzini, J., Dos Santos, J., & Da Silva, T. (2015). Estudio sobre a eficiência energética de fontes renováveis no brasil: avaliação da utilização da biomassa da cana-de-açúcar na cogeração de energia elétrica no setor sucroenergético. Presented at the Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, ENGEMA XVII, São Paulo.
- Cuesta, O. (2015). Diagnóstico del medio ambiente atmosférico producto de las principales fuentes fijas de La Habana. Hotel Tryp Habana Libre. La Habana, Cuba: Memorias del VIII Congreso Cubano de Meteorología.
- Cuesta, O., Collazo, A., González, Y., Fonseca, M., Fernández, A., Rodríguez, Y., Menéndez, L. (2014). *Caracterización de la dispersión de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos emitidos por las principales fuentes fijas y su impacto potencial en La Habana* (Resultado Científico) (p. 188). La Habana: CITMA/AMA/Instituto de Meteorología.
- Cuesta, O., Sosa, C., Iraola, C., González, Y., Nuñez, V., Hernández, A. F., Castillo, D. P. (2017). Inventario nacional de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas. *Revista Cubana de Meteorología*, 23(2), 178-190.
- 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.
- Hernández, A., Reinoso, M., & Hernández, F. (2018). Contaminantes atmosféricos procedentes de centrales azucareros de la provincia de Holguín. *Minería y Geología*, 34(3), 360-370.

- Hernández-Garces, A., Jauregui, U., Souto, J., Casares, J., Saavedra, S., Guzmán, F., & Torres, A. (2015). Estado actual de los modelos de dispersión atmosférica y sus aplicaciones. *UCE Ciencia. Revista de Postgrado*, 3(2), 1-17.
- López, C. M. (2006). *Introducción a la gestión de la calidad del aire*. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología.
- Marrero, Y., Cuesta, O., & Suárez, M. (2017). Inventario de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas de Holguín-Cuba, 2016.
- Meneses, E., Roig, A., Paz, E., Alonso, D., & Alvarado, J. (2018). Factores de emisión de CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> para instalaciones generadoras de electricidad en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 24(1), 1-9.
- NC: 1049. (2014). Guía de datos tecnológicos para el inventario de emisiones de los contaminantes atmosféricos desde fuentes industriales estacionarias. La Habana: Oficina Nacional de Normalización.
- NC/TS 803. (2017). Calidad del aire -emisiones máximas admisibles de contaminantes a la atmósfera en fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor. La Habana, Oficina nacional de Normalización.
- Núñez, V., Saura, G., Rodríguez, R., Otero, M., de Oca, A., Purón, M., Herrera, I. (2018). Inventario de emisiones de fuentes fijas y móviles, municipio Ranchuelo, provincia Villa Clara, Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 24, 356-364.
- ONEI. (2016). Anuario Estadístico de Holguín. Retrieved August 21, 2019, from Retrieved August 21, 2019, from [http://www.one.cu/publicaciones/provincias\\_masinf/holguin.htm](http://www.one.cu/publicaciones/provincias_masinf/holguin.htm)
- Rodríguez, D. (2007). Sistema Automatizado de Gestión de Información sobre Fuentes Contaminantes SAGIFC.
- Rodríguez, D., Echevarría, L., Cuesta, O. A., Sánchez, A., & Gato, A. L. (2012). Métodos teóricos para calcular parámetros tecnológicos de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por fuentes fijas. Caso de estudio ciudad de Pinar del Río. *Nereis. Interdisciplinary Ibero-American Journal of Methods, Modelling and Simulation.*, (4), 19-30.
- SEMARNAT. (2013). *Calidad del aire: una práctica de vida. Cuadernos de divulgación ambiental*. (Primera edición). Retrieved from <http://cecaedesu.semarnat.gob.mx>
- Sosa, C. (2016). Gestión de la contaminación del aire en un municipio industrial. Caso de estudio: Mariel.

Yoell Marrero Díaz. Máster en Gerencia de la Ciencia y la Innovación. Profesor Instructor. Centro Meteorológico Provincial de Holguín, Holguín, Cuba. E-mail: [yoell.marrero@hlg.insmet.cu](mailto:yoell.marrero@hlg.insmet.cu)

Elisa Beatriz Cruz Estopiñan. Centro Meteorológico Provincial de Holguín, Holguín, Cuba. E-mail: [Elisa.Cruz@hlg.insmet.cu](mailto:Elisa.Cruz@hlg.insmet.cu)

Anabel Reyes Mesa. Centro Meteorológico Provincial de Holguín, Holguín, Cuba. E-mail: [anabel.reyes@hlg.insmet.cu](mailto:anabel.reyes@hlg.insmet.cu)

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/)