

Inventario de emisiones de fuentes fijas y móviles, municipio Ranchuelo, provincia Villa Clara, Cuba

Inventory of emissions of fixed and mobile sources, municipality Ranchuelo, county Villa Clara, Cuba



<http://opn.to/a/6dPH0>

Vladimir Núñez-Caraballo^{1*}, Guillermo Saura-González¹, Rosabel Rodríguez-Rojas¹, Meilyn Otero-Martín¹, Amaury Machado-Montes de Oca¹, Marisela Purón-Arbolaez¹, Inocencio Martínez-Pérez¹, Luis E. Pérez-Borroto¹, Osvaldo Cuesta-Santos², Idalberto Herrera-Moya³, Mayra C. Morales-Pérez³, Julio Pedraza-Garciga³, Daniellys Alejo-Sánchez³

¹Centro Meteorológico Provincial, Villa Clara, Cuba.

²Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.

³Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Villa Clara, Cuba.

RESUMEN: Esta investigación muestra el inventario de emisiones atmosféricas de las 38 fuentes fijas y el flujo automotriz por la vía principal, en el municipio de Ranchuelo, provincia de Villa Clara, en el año 2017. El objetivo general fue cuantificar las emisiones a la atmósfera producidas por estas fuentes. Los contaminantes primarios estudiados fueron, el Dióxido de Azufre (SO₂), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Monóxido de Carbono (CO). Se utilizó el método de cálculo basado en el factor de emisión para determinar la tasa de los contaminantes de ambas fuentes. Los principales resultados fueron, actualizar el inventario de emisiones de las fuentes fijas de las cuales, el 84% están bien ubicadas y emiten el 2% del total, el 11% están parcialmente bien ubicadas y emiten el 72% y por último el 5% están mal ubicadas y emiten el 14%. Las fuentes móviles emitieron el 12% del total. Las áreas con deterioro de la calidad del aire influenciado por estas emisiones corresponden a las aledañas a las fuentes fijas parcialmente bien ubicadas y mal ubicadas, además de alrededor de la vía principal por donde circula el transporte automotriz. La emisión de los NO_x fue de 56,24 t/año, representando el 67% del total, en segundo lugar el SO₂ con 14,94 t que constituye el 18% y por último el CO con 12,49 t que alcanza el 15%. Estos resultados facilitan las propuestas de acciones para reducir emisiones, además se crearon las bases para la modelación de la dispersión de los contaminantes y su evaluación.

Palabras clave: contaminantes primarios del aire, fuentes fijas y móviles.

ABSTRACT: This investigation shows the inventory of atmospheric emissions of the 38 fixed sources and the self-driven flow for the main road, in the municipality of Ranchuelo, county of Villa Clara, in the year 2017. The general objective went to quantify the emissions to the atmosphere taken place by these sources. The studied primary pollutants were, the Dioxide of Sulfur (SO₂), Oxides of Nitrogen (NO_x), and Monoxide of Carbon (CO). The calculation method was used based on the emission factor to determine the rate of the pollutants of both sources. The main results were, to modernize the inventory of emissions of the fixed sources of those which, 84% is well located and they emit 2% of the total, 11% is partially well located and they emit 72% and lastly 5% is not well located and they emit 14%. The mobile sources emitted 12% of the total. The area with deterioration of the quality of the air influenced by these emissions corresponds partially well to the aledañas to the fixed sources located and not well located, besides around the main road for where the self-driven transport circulates. The emission of the NO_x was of 56,24 t/año, representing 67% of the total, in second place the SO₂ with 14,94 t that constitutes 18% and lastly the CO with 12,49 t that reaches 15%. These results facilitate the proposals of actions to reduce emissions, the bases were also created for the modulation of the dispersion of the pollutants and its evaluation.

Key words: primary pollutants of the air, fixed sources and motives.

*Autor para correspondencia: Vladimir Núñez-Caraballo. E-mail: vladimir.nunez@vcl.insmet.cu

Recibido: 16/07/2018

Aceptado: 06/11/2018

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. 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).

Para evaluar la situación en materia de contaminación atmosférica en una ciudad, poblado o región es necesario contar con herramientas de medición y monitoreo partiendo en primer lugar del inventario de emisiones, sistemas de monitoreo atmosférico, índices de calidad del aire, entre otros; que permitan implementar acciones de mejora de la calidad del aire (SEMARNAT, 2013; Núñez *et al.*, 2013, 2014).

Internacionalmente los inventarios de emisiones se han ido desarrollando 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 Cuba también se han desarrollado estudios de inventarios, principalmente para determinar las emisiones de gases de efecto invernadero, apareciendo reflejado en los trabajos de (López *et al.*, 2007, Carrillo *et al.*, 2015, 2016). También se han elaborados investigaciones para cuantificar las emisiones de las fuentes fijas (FF) entre los

que se destacan los trabajos de (Cuesta, 2003, 2014; Núñez *et al.*, 2011, 2013, 2014).

El estudio del arte de esta temática en el país evidencia que existe muy poco desarrollo en los inventarios de emisiones de fuentes móviles (FM), teniendo estos un peso importante en el deterioro de la calidad del aire en las zonas cercanas a las vías de mayor flujo de vehículos en las ciudades.

En la provincia de Villa Clara se trabaja desde el año 2010 con el inventario de emisiones de fuentes fijas a escala municipal, lo cual ha permitido propuestas e implementación de acciones para reducir, mitigar y minimizar, el deterioro de la calidad del aire y episodios críticos de contaminación atmosférica (Núñez *et al.*, 2009, 2010, 2011, 2013, 2014).

De lo anterior se deriva como problema a resolver: la no existencia del inventario de emisiones de fuentes móviles por las vías principales de cada ciudad de la provincia de Villa Clara. Se propone como objetivo general: cuantificar las emisiones a la atmósfera producidas por las fuentes fijas y móviles en el municipio de Ranchuelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Características generales del municipio de Ranchuelo 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 Spiritus y Cienfuegos. Ranchuelo es el séptimo municipio en extensión de esta provincia con 554 Km². Limita por el norte con los municipios de Santa Clara y Cifuentes, al sur con los de Manicaragua, Cruces y Cumanayagua, al oeste con Santo Domingo y Lajas y al este con Santa Clara y Manicaragua (ver figura 1), su población es de 59 062 habitantes y la densidad de 106.6 hab/km². La cabecera municipal es atravesada por la carretera de Santa Clara a Cienfuegos, con elevado flujo vehicular.

La selección de esta localidad para desarrollar el estudio se basó en la existencia 38 fuentes fijas, de ellas, el 5% mal ubicadas (FFMU), 11% parcialmente bien ubicadas (FFPBU) y el 84% bien ubicadas (FFBU) según clasificación de las

Provincia de Villa Clara

Ubicación 20°24'19"N 79°57'15"W

■ Municipio de Ranchuelo

Ubicación 22°20'9"N 80°06'47"W

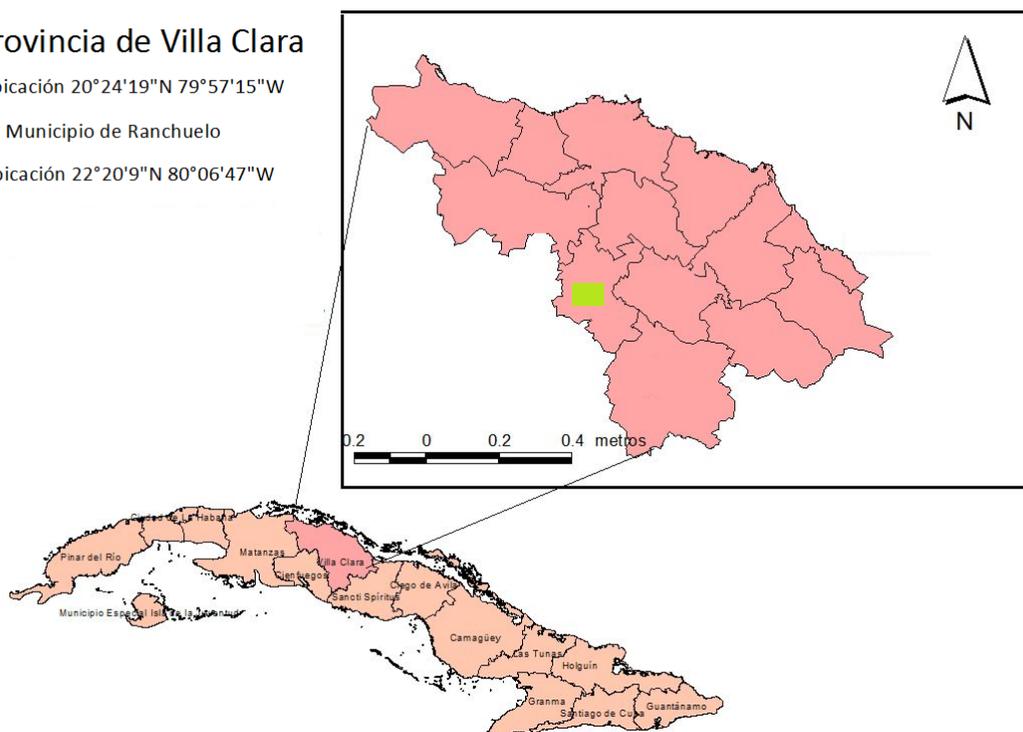


Figura 1. Mapa provincial de Villa Clara, especificando el municipio de Ranchuelo.

Fuente: Elaboración propia a partir del programa Surfer versión 8.0

fuentes fijas de acuerdo a los escenarios de dirección del viento y su incidencia en el deterioro de la calidad del aire (Núñez, 2015), además de los resultados parciales obtenidos en el proyecto "Evaluación de la calidad del aire a partir de las emisiones de las fuentes móviles y fijas de Villa Clara" liderado por el Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara.

Contaminantes primarios estudiados

Los contaminantes primarios emitidos a la atmósfera en la zona de estudio fueron el resultado de la actividad antropogénica, en este caso de la quema de combustibles fósiles, principalmente el petróleo y sus derivados y de la quema de biomasa en el central azucarero. Los contaminantes evaluados fueron los siguientes: Dióxido de Azufre, Óxidos de Nitrógeno, Monóxido de Carbono.

Inventario de emisiones

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 para las fuentes fijas (López, 2007; DAMA - INAMCO, 2001; DICTUC S.A., 2007; Cuesta *et al.*, 2014): 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 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 generado por fuentes puntuales industriales.

Para el inventario de fuentes móviles es imprescindible la recopilación de la información de la flota vehicular del área, poblado, ciudad o zona de estudio. La cantidad de emisiones por distancia recorrida varía notablemente de acuerdo con el tipo de vehículo, uso, tipo de combustible, tipo de tecnología, tamaño del motor y edad del vehículo, actividad por tipo de vehículo, longitud de la red vial, altitud y variables meteorológicas entre otros factores. Por ello, no basta con conocer el número total de vehículos que circulan en la región de interés, sino que es necesario caracterizar a la flota vehicular de tal forma que los vehículos puedan ser agregados en grupos o categorías con características de emisión similares, para posteriormente tratar de cuantificar las emisiones para cada grupo ([INEM, 2014](#)).

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 monitoreos de emisión continua con una estación automática instalada permanentemente sobre la fuente ([DICTUC S.A., 2007](#)).

El cálculo de las emisiones para fuentes fijas a través de la ecuación 1, 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](#); [Cuesta et al., \(2014\)](#)), 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/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.

Los inventarios de emisiones requieren del análisis y procesamiento de la información, de acuerdo a las necesidades del modelo que se utiliza para calcular los factores de emisión o directamente las emisiones. La ecuación general para la estimación de las emisiones contaminantes de origen vehicular, se presenta a continuación ([Aguilar 2007](#); [Toro 2010](#); [INEM 2014](#)).

$$E_{ij} = FE_{ij} \times D_{aj} \times VC_j \quad (2)$$

Donde:

E_{ij} - Emisiones totales de i contaminante y j categoría vehicular.

FE_{ij} - El factor de emisión de i contaminante y j categoría vehicular (en g/km).

D_{aj} - Dato de actividad de j categoría vehicular para un vehículo (en km /día o año).

VC_j - El número de vehículos de j categoría.

La fórmula indica que la cantidad total de emisiones de un contaminante determinado es una función de la cantidad de vehículos considerados en el análisis, así como de la distancia total recorrida por cada uno de éstos y de los factores de emisión asociados con cada tipo o categoría de vehículo.

El conteo de vehículo en esta investigación se realizó en dos puntos representativos de la vía principal con una longitud de 2.4 km, de forma continua, durante seis semanas, de los meses febrero, marzo y abril, determinándose posteriormente los valores promedios horarios y diarios de las 5 categorías vehicular (motos, vehículos ligeros, microbuses, ómnibus y vehículos pesados) para los días laborales y fin de semana.

Debido, precisamente, al hecho de que no se están evaluando directamente las emisiones de cada vehículo en circulación en la zona de estudio, es práctica común referirse al

inventario resultante como una estimación del inventario de emisiones (Aguilar, 2007).

En esta investigación, los factores de emisión utilizados (ver tablas 1, 2, 3 y 4) provienen de diferentes orígenes, las cuales son para las fuentes fijas: 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) y la base de datos de EMEP/CORINAIR para el caso del transporte automotriz, por ser esta la más compatible con las características de la flota vehicular del territorio para cada categoría vehicular.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El inventario de emisiones de las fuentes fijas y móviles en el municipio de Ranchuelo se evaluó para el año 2017, ver figura 2, el mismo muestra que el total de las emisiones para los tres gases fue de 83,67 t/año, donde el SO₂ alcanzó las 14,94, los NO_x 56,24 y el CO 12,49 t/año respectivamente.

Las emisiones de las fuentes fijas constituyeron el 88% del total de las emisiones, figura 3, el SO₂ fue el 99%, los NO_x el 97% y CO el 34%, para este último contaminante la carga más representativa proviene de las fuentes móviles con el 66%.

Los NO_x representaron el 67% de las emisiones totales, lo cual difiere en cuanto al contaminante que más se emite en Cuba si se

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

Contaminante	Factor de emisión (g/kg)			Referencia
	Fuel	Oil Ligero	Mediano Diesel	
SO ₂	28,79	57,41	11,0	AP-42
NO _x	5,56	5,56	4,77	AP-42
CO	0,59	0,59	0,5	AP-42

Fuente: Adaptado de AP-42, (1998)

Tabla 2. Factores de Emisión para Grupos electrógenos.

Contaminante	Factor de emisión (g/kg)	Referencia
	Diesel	
SO ₂	4,16	UCLV
NO _x	21,0	UCLV
CO	11,64	UCLV

Fuente: Adaptado de UCLV: Núñez, (2013)

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

Contaminante	Factor de emisión Bagazo (g/kg)	Referencia
NO _x	0,544	AP-42, EPA

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

Tabla 4. Factores de emisión para fuentes móviles en ruta.

Tipo de vía	Modelo Vehículo	Categoría Vehículo	Factores de emisión vehicular en caliente (g/km de recorrido)		
			SO ₂	NO _x	CO
2 (45km/h)	Año ≥ 1986	Motos	0,008	0,03	23,80
		Vehículos ligeros	0,01	2,22	8,16
		Microbuses	1,39	2,34	8,16
		Ómnibus	1,650	2,39	3,47
		Vehículos pesados	1,650	8,72	2,65

Fuente: Adaptado de CORINAIR.

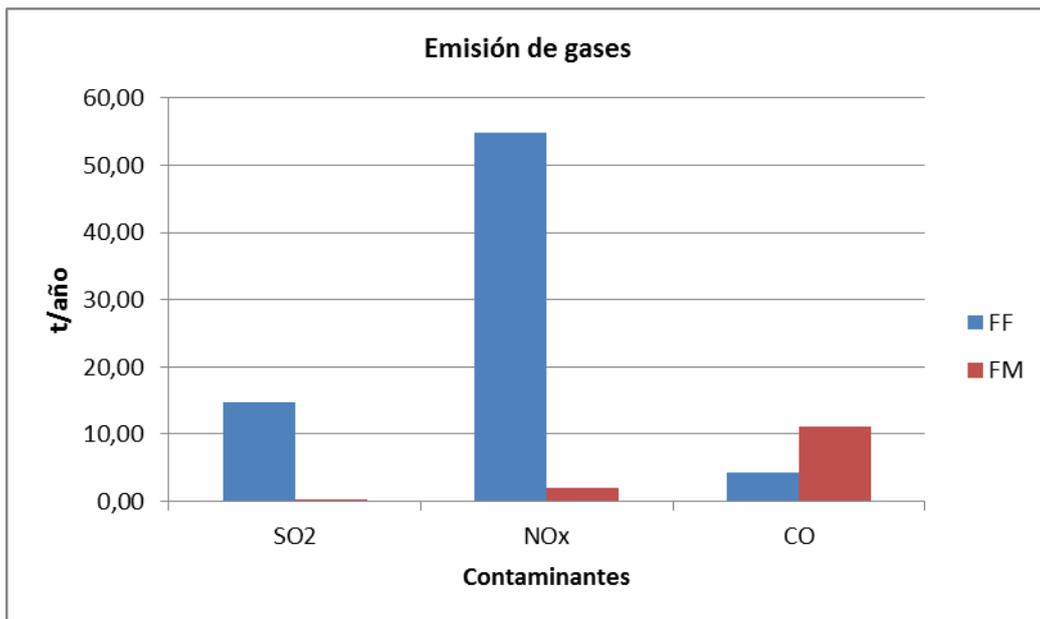


Figura 2. Emisión de gases contaminantes por las fuentes fijas y móviles. Fuente: Elaboración propia.

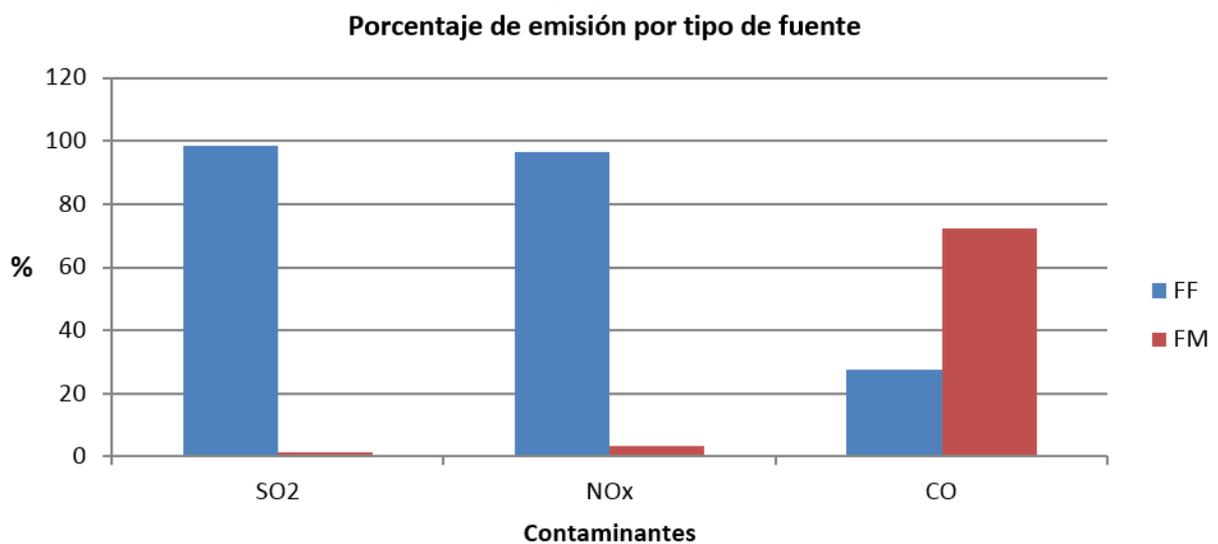


Figura 3. Porcentaje de emisión por tipo de fuente. Fuente: Elaboración propia.

compara con estudios recientes realizados por el Centro de Contaminación y Química de la Atmósfera (CECONT, 2014) del Instituto de Meteorología, (ver [figura 4](#)). Esto se debe a que en la zona de estudio solamente el 5% de las fuentes fijas trabajan con Fuel Oil, combustible responsable de las elevadas emisiones del SO₂ por tener el mayor porcentaje de azufre en su composición.

En la [figura 5](#), se muestra que las fuentes fijas parcialmente bien ubicadas emitieron el 72% del total de los gases contaminantes de este estudio, dado por la industria azucarera, planta de zeolita y grupos electrógenos de la generación distribuida, además de las fuentes fijas mal

ubicadas se emitió el 14% del resto de la carga contaminantes, siendo los responsables la fábrica de cigarro y conservas, por último de las fuentes fijas bien ubicadas solamente se emanó el 2%. Las fuentes móviles expulsaron el 12% del total de las emisiones.

Las emisiones por Organismos de la Administración Central del Estado (OACES) se comportaron de la siguiente forma ([figura 6](#)); el 47% del SO₂ corresponde al Minag, con la fábrica de cigarro, el 80% de los NO_x es responsabilidad de Azcuba con el central azucarero y el 66% del CO pertenece al Mitrans con las fuentes móviles.

Distribución de los contaminantes

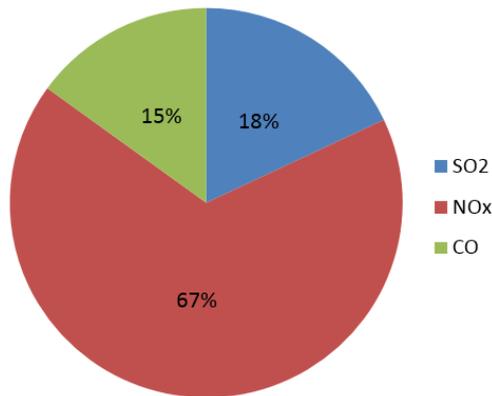


Figura 4. Distribución de los contaminantes en por ciento. Fuente: Elaboración propia.

Porcentaje de emisión por tipo de fuente

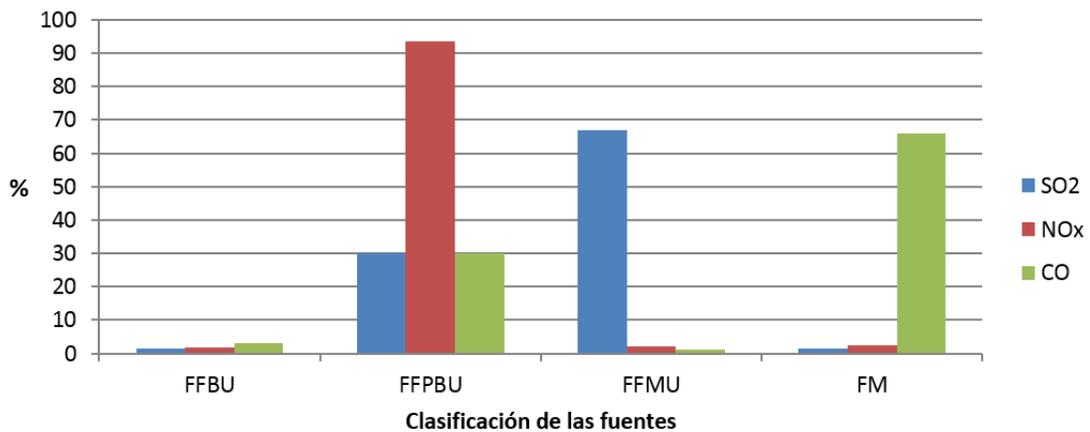


Figura 5. Porcentaje de emisión por tipo de fuente. Fuente: Elaboración propia.

Porcentaje de emisión por OACES

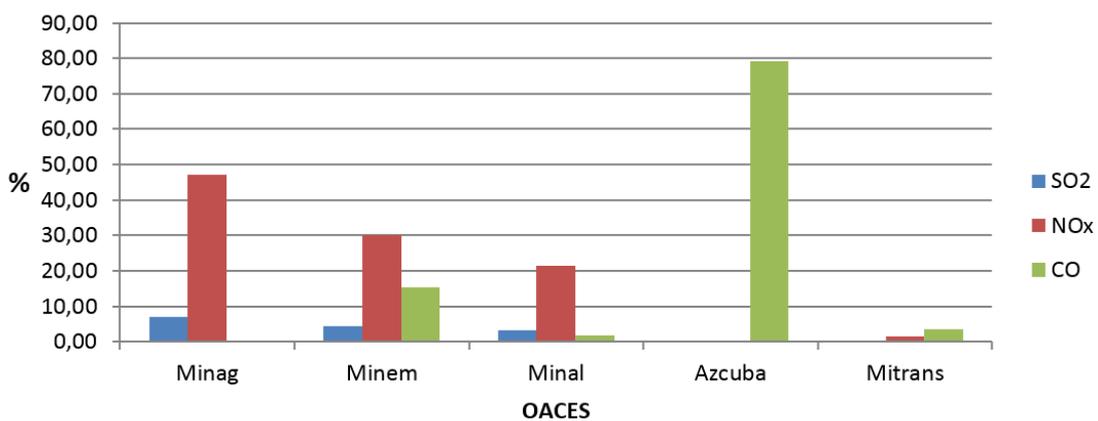


Figura 6. Porcentaje de emisión por OACES. Fuente: Elaboración propia.

Las emisiones de las fuentes móviles se muestra en la [figura 7](#), en ella el 62% de las emisiones del CO correspondió a las motos, el 58% del SO₂ y 46% de los NO_x es responsabilidad de los vehículos pesados respectivamente, debido principalmente al elevado consumo de diesel respecto a otra

categoría vehicular y al dominante flujo de estos circulando.

Esta carga total de gases contaminantes dio lugar a un per cápita en el municipio de Ranchuelo de 1,47 kg/año por habitantes.

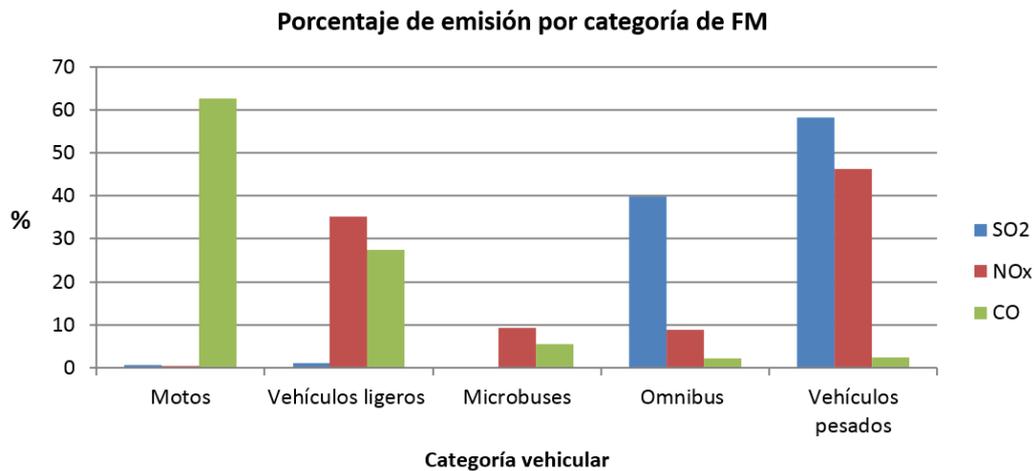


Figura 7. Emisión de gases contaminantes según categoría de las fuentes móviles.
Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Los NO_x constituyen la mayor carga contaminante con 56,24 t/año, siendo el máximo responsable el central azucarero, fuente que se clasifica como parcialmente bien ubicada, que influye en el deterioro de la calidad del aire en el batey azucarero.
2. Del SO₂ se emite 14,5 t/año, el 97% del total, originado por las fuentes fijas parcialmente bien ubicadas y mal ubicadas (fábrica de cigarro y de conservas) que inducen al deterioro de la calidad del aire dentro de la cabecera municipal de Ranchuelo.
3. En las zonas cercanas a la vía principal por donde circula el transporte automotriz, puede existir determinado deterioro de la calidad del aire.
4. 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

Aguilar, J. A. et al. (2007). Guía metodológica para la estimación de emisiones vehiculares en ciudades mexicanas. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Western Governors Association.

DAMA - INAMCO (2001). Elaborar un Inventario de fuentes fijas de emisión de

contaminantes a la atmósfera en la ciudad de Bogotá. Informe final del contrato 079/2000, Santa Fe de Bogotá.

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.

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.
- INEM (2014). Elaboración del inventario nacional de emisiones de fuentes móviles para México 2013 y proyección 2030 mediante el modelo Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES). Informe técnico final. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- López, C. (2007). 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 V. et al. (2009). Propuestas, evaluación y aplicación del control de las emisiones de PM_{10} en fundición de acero para prevenir episodios críticos de contaminación atmosférica. 5to. Congreso Cubano de Meteorología, 1-4 Diciembre, 2009, La Habana, Cuba, ISBN: 978-959-7167-20-4.
- Núñez V. et al. (2010). Pronósticos de calidad del aire para diferentes escenarios de emisión de fuentes fijas como método de control y reducción de las emisiones de PM_{10} . 4to. Simposio internacional de Química, 1-4 Junio, 2010, UCLV, Villa Clara, Cuba. ISBN: 978-959-7167-12-9.
- Núñez V. et al. (2011). Fuentes fijas responsables de las máximas emisiones de SO_2 en la provincia de Villa Clara, Cuba, en el primer semestre 2011. 6to. Congreso Cubano de Meteorología. La Habana, Cuba, 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. (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.
- SEMARNAT (2013). Calidad del aire: una práctica de vida. Cuadernos de divulgación ambiental. Primera edición 2013. 28 p.
- Toro, M. V. et al. (2010). Simulaciones especiales tarea 1. Actualización del inventario de emisiones atmosféricas. Informe Final. Universidad Pontificia Bolivariana.

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/)