

## Evaluación de la calidad del aire para los óxidos de nitrógeno, municipio Santo Domingo, provincia Villa Clara, Cuba



Evaluation of the quality of the air for the oxides of nitrogen, municipality Santo Domingo, county Villa Clara, Cuba <http://opn.to/a/MQif4>

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, 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:** El presente trabajo manifiesta la evaluación de la calidad del aire para los Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) a partir de las emisiones del inventario de las 45 fuentes fijas y el flujo automotriz por la vía principal, en el municipio de Santo Domingo, provincia de Villa Clara, en el año 2017. El objetivo general fue evaluar la calidad del aire para los NO<sub>x</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 82% de las fuentes fijas están bien ubicadas y emitieron el 7% del total, el 18% están parcialmente bien ubicadas y expulsaron el 91% y las fuentes móviles emitieron el 2%. Las áreas con deterioro de la calidad del aire en la ciudad de Santo Domingo fueron las aledañas a la vía principal por donde circuló el transporte automotriz, alcanzando una categoría de Deficiente en 24 horas y Mala en una hora (mayor flujo vehicular). Las emisiones de las fuentes fijas parcialmente bien ubicadas pueden influir en la calidad del aire sobre los asentamientos poblacionales fuera de la ciudad, en zonas cercanas a sus orígenes.

**Palabras clave:** calidad del aire, fuentes fijas y móviles.

**ABSTRACT:** The present work manifests the evaluation of the quality of the air for the Oxides of Nitrogen (NO<sub>x</sub>) starting from the emissions of the inventory of the 45 fixed sources and the self-driven flow for the main road, in the municipality of Sacred Domingo, county of Villa Clara, in the year 2017. The general objective was to evaluate the quality of the air for the NO<sub>x</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 modulation of the dispersion of the pollutant to evaluate the quality of the air. The main results were, 82% of the fixed sources is well located and they emitted 7% of the total, 18% is partially well located and they expelled 91% and the mobile sources emitted 2%. The areas with deterioration of the quality of the air in Sacred Domingo's city the around went to the main road for where the self-driven transport circulated, reaching a category of Faulty in 24 hours and Bad in one hour (bigger vehicular flow). The emissions of the fixed sources partially well located they can influence in the quality of the air on the population establishments outside of the city, in near areas to their origins.

**Key words:** quality of the air, fixed sources and motives.

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

Recibido: 16/07/2018

Aceptado: 16/08/2018

## INTRODUCCIÓN

Dentro de los problemas ambientales a que están expuestos los ecosistemas y que se han agudizado a partir de la mitad del siglo pasado, está la contaminación atmosférica, principalmente originada por la actividad antropogénica, dado por la quema de combustibles fósiles, el crecimiento del desarrollo industrial y del transporte, que contribuye a la disminución de la capacidad asimiladora y regeneradora de la naturaleza ([Martínez, 2004](#)).

Para evaluar la calidad del aire 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](#)).

Existen varios programas internacionales para elaborar los inventarios de emisiones, abarcando casi todas las fuentes responsables de las emisiones según las zonas de estudios, entre estos se destacan por su calidad y exactitud de los resultados el 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.

Los contaminantes emitidos a la atmósfera son transportados y dispersados por el aire, influenciados por complejos factores tales como la cantidad de turbulencia en la atmósfera, la cual puede ser creada por el movimiento horizontal y vertical de la misma, las inversiones térmicas y la topografía compleja. La modelación de la dispersión del contaminante permite calcular la concentración de este a nivel del suelo y a diferentes distancias de la fuente ([Cabrera, 2007](#); [Carrillo, 2012](#)).

Los modelos de dispersión es una representación matemática de los procesos de transporte, transformación y remoción de los contaminantes con el objetivo de evaluar la calidad del aire. Los modelos pueden simular situaciones simples como una única fuente industrial puntual, con un solo receptor y condiciones constantes, hasta situaciones complejas de varias fuentes industriales, fuentes móviles con varios receptores y variaciones de las condiciones atmosféricas ([Sánchez, 2007](#); [Núñez, 2008](#); [Huertas, 2010](#)).

El Índice de Calidad del Aire (ICA) es un indicador global de la calidad del aire en un momento determinado, en una zona representada por una estación de monitoreo en específico.

Están establecidos los valores límites de cada sustancia, que indica la cantidad máxima aceptable y el valor guía que indica, la cantidad máxima deseable ([WHO, 2005](#)). 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 Cuba también se han desarrollado estudios de calidad del aire a través de la modelación de la dispersión de los contaminantes, principalmente en la Habana y Villa Clara, pero especialmente teniendo en cuenta las emisiones de las fuentes fijas, entre los que se destacan los trabajos de ([Cuesta, 2003, 2014](#); [Núñez et al., 2015](#)).

El estudio del arte de esta temática en el país evidencia que existe un escaso desarrollo en la evaluación de la calidad del aire a partir de los inventarios de emisiones de las fuentes fijas y fuentes móviles (FM), en las zonas cercanas a las vías de flujo elevado de vehículos en las ciudades.

En la provincia de Villa Clara se trabaja desde el año 2010 con el inventario de fuentes fijas a escala municipal y desde el año 2017 con el inventario de fuentes móviles ([Núñez et al., 2009, 2010, 2011, 2013, 2014](#)).

De lo anterior se deriva como problema a resolver: la no existencia de la evaluación de la calidad del aire a partir del inventario de emisiones de fuentes fijas y móviles por las vías principales de cada ciudad de la provincia de Villa Clara. Se propone como objetivo general: evaluar la calidad del aire para los NO<sub>x</sub> a partir de las emisiones a la atmósfera producidas por

las fuentes fijas y móviles, en el municipio de Santo Domingo.

## 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. La ciudad de Santo Domingo se localiza al noroeste de la provincia, limita al norte con Corralillo, Quemado de Güines y Sagua la Grande, al este con Cifuentes y Ranchuelo, al sur con Cienfuegos y al oeste con Matanzas, (ver [figura 1](#)), su población es de 53007 habitantes y la densidad de 61 hab/km<sup>2</sup>. La cabecera municipal es atravesada por la carretera central de Cuba, con elevado flujo vehicular.

Este lugar fue seleccionado para desarrollar la investigación por la existencia de 45 fuentes fijas, de ellas, el 18% parcialmente bien ubicadas (FFPBU) y el 82% bien ubicadas (FFBU) según clasificación de las 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.

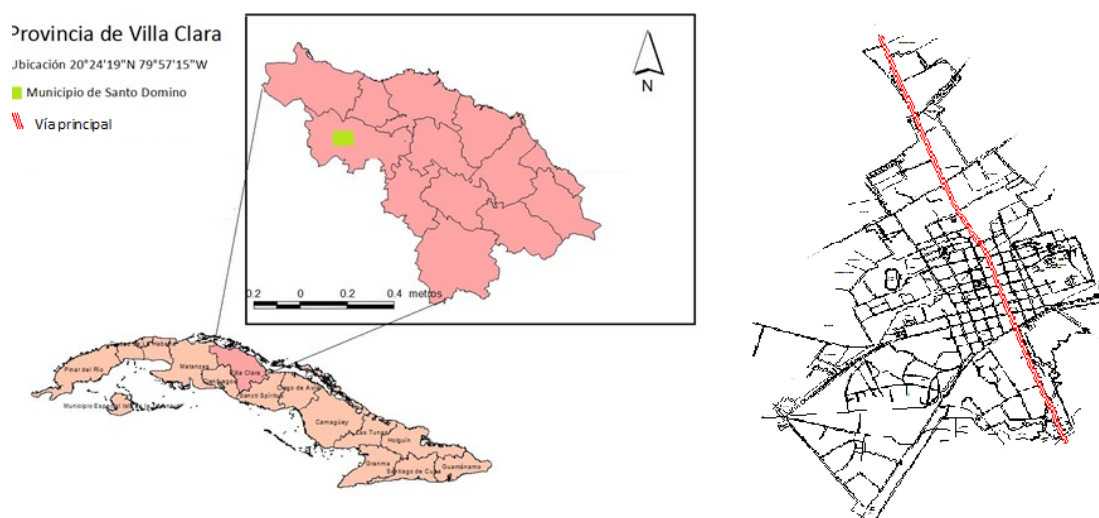
### Contaminantes primarios estudiados

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 Óxidos de Nitrógeno.

### Inventario de emisiones

Los inventarios de emisiones, constituyen un listado de las emisiones de contaminantes por fuentes emisoras o categorías de fuentes, agrupados 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



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

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 se aplica la [Norma Cubana \(NC\) 1049:2014](#) “Guía de datos tecnológicos para el inventario de emisiones de los contaminantes atmosféricos desde fuentes industriales estacionarias”, este inventario cumplió con lo establecido en la misma.

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, 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 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 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/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.

La ecuación general aplicada para la estimación de las emisiones contaminantes de origen vehicular, se presenta a continuación ([Aguilar 2007](#); [Toro 2010](#); [INEM 2014](#)).

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

Donde:

E<sub>ij</sub> - Emisiones totales de i contaminante y j categoría vehicular.

FE<sub>ij</sub> - El factor de emisión de i contaminante y j categoría vehicular (en g/km).

DA<sub>j</sub> - Dato de actividad de j categoría vehicular para un vehículo (en km /día o año).

VC<sub>j</sub> - El número de vehículos de j categoría.

El conteo de vehículo en esta investigación se realizó en dos puntos representativos de la vía principal con una longitud de 2.7 km, de forma continua, durante seis semanas, de los meses mayo, septiembre y octubre, 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.

En este trabajo, 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 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.

### Modelación de la emisión 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 <sup>TM</sup> de la

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

Contaminante	Factor de emisión (g/kg)			Referencia
	Fuel	Oil	Ligero Mediano Diesel	
NO <sub>x</sub>	5,56	5,56	4,77	AP-42

Fuente: Adaptado de AP-42, (1998)

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

Contaminante	Factor de emisión (g/kg)		Referencia
	Diesel		
NO <sub>x</sub>	21,0		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 <sub>x</sub>	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) NO <sub>x</sub>
		Motos	0,03
		Vehículos ligeros	2,22
2 (45km/h)	Año ≥ 1986	Microbuses	2,34
		Ómnibus	2,39
		Vehículos pesados	8,72

Fuente: Adaptado de CORINAIR.

**Tabla 5.** Emisión de NO<sub>x</sub> por las fuentes fijas y móviles.

Tipo de fuente	Emisión (t/año)	
	NO <sub>x</sub>	%
FF	92,78	98
FM	1,8	2
Total	94,58	100

Fuente: Elaboración propia.

U.S. EPA, los datos meteorológicos utilizados corresponden a la estación Meteorológica de Santo Domingo, representativos para la zona de estudio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las emisiones de los NO<sub>x</sub> originados por las fuentes fijas y móviles en el municipio de Santo Domingo se evaluó para el año 2017, ver [tabla 5](#), esta muestra que el total de las emisiones fue de 94,58 t/año, donde las FF alcanzaron 92,78 t/año, el 98% del total y las móviles 1,8 t/año, el 2%.

En la [figura 2](#), se observa que las fuentes fijas bien ubicadas expulsaron el 7% del total de los NO<sub>x</sub>, mientras que las fuentes fijas parcialmente bien ubicadas emitieron el 91% restante, dado

por la industria azucarera y grupos electrógenos de la generación distribuida, por último las fuentes móviles expulsaron el 2% del total. Las emisiones de las FF no afectan la calidad del aire de la ciudad de Santo Domingo, por estar estas ubicadas fuera del perímetro urbano.

El comportamiento de las emisiones de los NO<sub>x</sub> proveniente de las fuentes móviles anual, se define en la [figura 3](#), en ella los máximos responsables fueron los vehículos pesados con el 49%, debido principalmente al elevado consumo de combustible respecto a otra categoría vehicular y en segundo lugar, los vehículos ligeros con el 35%, originado por el dominante

flujo de estos que circularon por la vía de este estudio.

En la [figura 4](#) se muestra el perfil de la intensidad promedio del flujo vehicular horario por la vía principal, los máximos ocurrieron entre las 8.00 y 9.00 am respectivamente y entre las 4.00 y 5.00 pm. Estos horarios coinciden con las mayores emisiones de NOx en 24 horas.

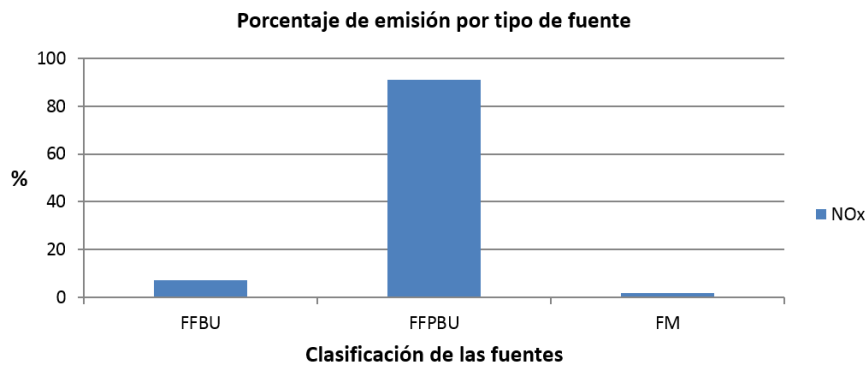
Esta carga total de gases contaminantes dio lugar a un percápita en el municipio de Santo Domingo de 1, 78 kg/año por habitantes.

Para poder realizar la evaluación de la calidad del aire, al comparar el valor máximocalculado, con la concentración máxima admisible, según

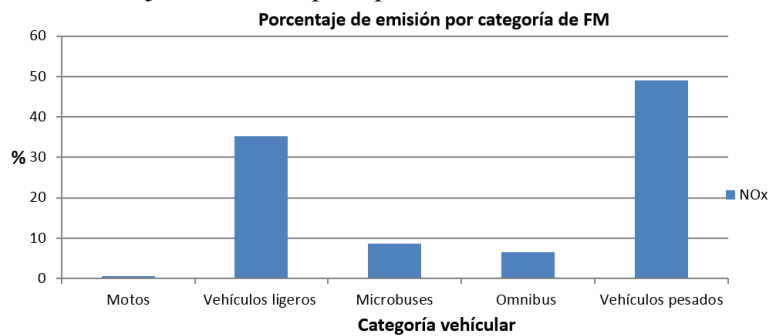
[NC 1020: 2014](#), se asumen los valores de los NOx, como NO<sub>2</sub>.

En la [figura 5](#), los NOx alcanzan valores máximos de 60 µg/m<sup>3</sup>en 24 horas, alrededor de la carretera central, superando en 1.5 veces la concentración máxima admisible según [NC 1020: 2014](#), para una categoría de calidad del aire de "Deficiente", según [NC 111: 2004](#).

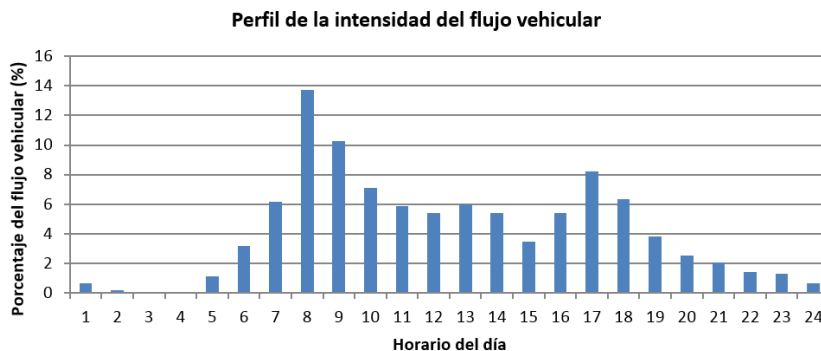
Los NOx alcanzan valores máximos de 360 µg/m<sup>3</sup>en una hora, alrededor de la carretera central, [figura 6](#), entre las 8.00 y 9.00 am, horario del mayor flujo vehicular, superando en 2.2 veces la concentración máxima admisible según [NC 1020: 2014](#), para una categoría de calidad del aire de "Mala", según [NC 111: 2004](#).



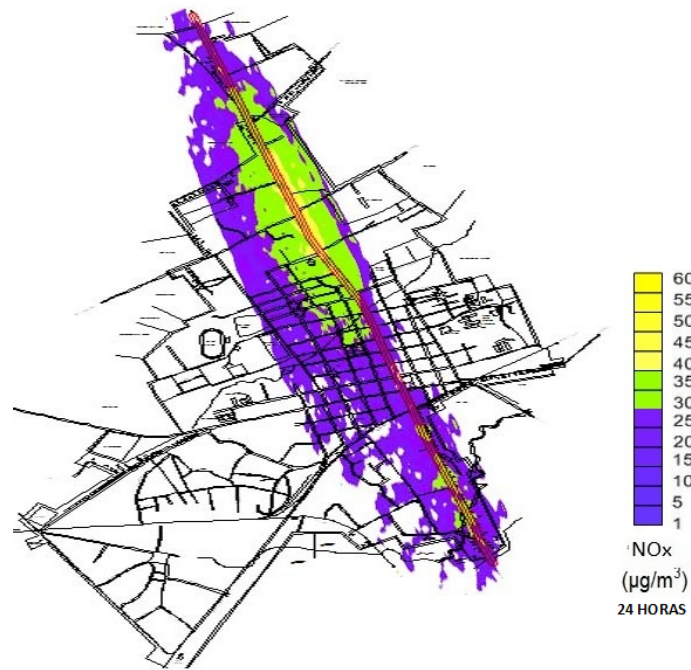
**Figura 2.** Porcentaje de emisión por tipo de fuente. Fuente: Elaboración propia.



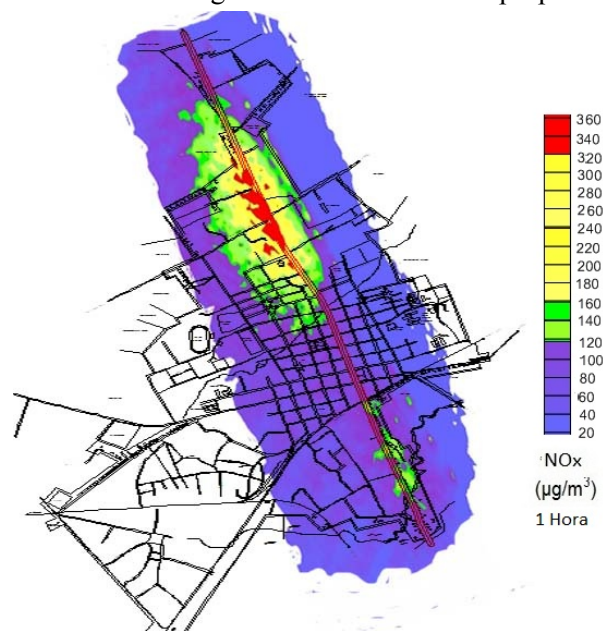
**Figura 3.** Emisión de gases contaminantes según categoría de las fuentes móviles. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 4.** Perfil de la intensidad promedio del flujo vehicular horario por la vía principal en la ciudad de Santo Domingo. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 5.** Dispersión de los NOx en 24 horas emitido por las FM, por la vía principal en la ciudad de Santo Domingo. Fuente: Elaboración propia.



**Figura 6.** Dispersión de los NOx en una hora emitido por las FM, por la vía principal en la ciudad de Santo Domingo. Fuente: Elaboración propia.

### CONCLUSIONES

1. De los NOx se emite 94.58 t/año, el 91% de estos originado por las fuentes fijasparcialmente bien ubicadas, que pueden contribuir al deterioro de la calidad del aire sobre los asentamientos poblacionales cercanos a estas y fuera de la cabecera municipal.

2. En las zonas cercanas a la vía principal por donde circula el transporte automotriz, la calidad del aire para los NOx llegar a ser Deficiente en 24 horas y Mala en una hora, en este caso el de mayor flujo vehicular, entre las 8.00 y 9.00 am.

3. Los NOx emitidos por las FM, solamente constituyen el 2% del total, pero son los responsables de las afectaciones en la calidad del aire en la ciudad de Santo Domingo.

## 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.
- Cabrera, F. et al. (2007). Evaluation of a dispersion model in Tula's industrial complex in Mexico by optical remote sensing methods. The Smithsonian/NASA Astrophysics Data System. American Geophysical Union, Spring Meeting.
- Carrillo, E. et al. (2012). Evaluación de la calidad del aire, en la ciudad de Pinar del Río utilizando el modelo DISPER 4.0. Convención Trópico 14-18 Mayo, 2012, La Habana Cuba, ISBN: 978-959'282-079-1.
- 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.
- 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.
- 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.
- Martínez, E. et al. (2004). Contaminación atmosférica. Colección Ciencia y Técnica 45, Universidad de Castilla-La Mancha, ISBN 84-8427-324-5, pp.13-30, 385-402.
- 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. (2008). Predicción y Control de episodios críticos de contaminación atmosférica de PM<sub>10</sub> producida por fuentes



- fijas a través de la modelación como método de gestión de la calidad del aire en asentamientos poblacionales. Convención Trópico, 16-20 Junio, 2008, La Habana, Cuba, ISBN: 978-959-282-079-1.
- 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.
- Sánchez, P. et al. (2007). Calidad del aire y condiciones meteorológicas como factores de riesgo para la salud en una zona urbana de la Ciudad de la Habana. 4to. Congreso Cubano de Meteorología, 4-8 Diciembre, 2007, La Habana, Cuba. ISBN: 978-959-7167-12-9.
- 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.
- WHO (2005). Air Quality guidelines global update. Bonn, Germany.

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/)