

# Inventario de emisiones de contaminantes en las fuentes fijas de las zonas urbanas de Pinar del Río y Santa Lucía

*Emissions inventory in stationary sources at urban area of Pinar del Rio and Santa Lucía*

**MSc. Dagoberto Rodríguez Valdés** | ([dagoberto@vrect.upr.edu.cu](mailto:dagoberto@vrect.upr.edu.cu)) | Universidad de Pinar del Río

**Lic. Liuben Echevarría Pérez** | ([liuben.echevarria@lp.ensa.avianet.cu](mailto:liuben.echevarria@lp.ensa.avianet.cu)) | Universidad de Pinar del Río

**Dr. Osvaldo Cuesta Santos** | ([osvaldo.cuesta@insmet.cu](mailto:osvaldo.cuesta@insmet.cu)) | Instituto de Meteorología

**MSc. Arnaldo Collazo Aranda** | ([arnaldo.collazo@insmet.cu](mailto:arnaldo.collazo@insmet.cu)) | Instituto de Meteorología

**MSc. Almara Sánchez Díaz** | ([almara@pri.insmet.cu](mailto:almara@pri.insmet.cu)) | Centro Meteorológico Provincial de Pinar del Río

**Ing. Vladimir Nuñez Caraballo** | ([vladimir.nunez@vcl.insmet.cu](mailto:vladimir.nunez@vcl.insmet.cu)) | Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara

**Lic. María Victoria Miló López** | ([maria@desarrollopr.co.cu](mailto:maria@desarrollopr.co.cu)) | Dirección Provincial de Planificación Física

**MSc. Aymara Liudmila Gato Díaz** | ([aymara.gato@pri.jovenclub.cu](mailto:aymara.gato@pri.jovenclub.cu)) | Palacio de Computación de Pinar del Río

Recibido: marzo 4, 2013; aceptado: mayo 13, 2013. pp. 68 – 82.

## Resumen

Las emisiones de sustancias contaminantes hacia la atmósfera y su magnitud son la causa de muchos problemas ambientales en la actualidad, desde el nivel local, hasta la escala global. La ciudad de Pinar del Río y la comunidad de Santa Lucía, ambas en la provincia Pinar del Río, no están ajenas a esta situación, razón por la cual es imprescindible realizar un inventario de emisiones y se constituye este en el objetivo de la investigación. Los datos fueron obtenidos del Sistema Automatizado de Gestión de Información de Fuentes Contaminantes y se utilizaron las normas: NC 39: 1999, para clasificar las fuentes según el radio de protección sanitaria, que van desde la I, con mayor contaminación, hasta la V, con menor contaminación; NC 242: 2005, con miras a la captación de los datos tecnológicos en las fuentes fijas y los factores de emisión para calcular las emisiones. Los valores obtenidos muestran que la ciudad de Pinar del Río emite en mayor grado  $\text{NO}_x$  (4 646,91 t/año), seguido por  $\text{SO}_2$  (3 651,89 t/año) y, en tercer lugar, por  $\text{PM}_{10}$  (90,16 t/año); estos son originados, en mayor canti-

dad, por el grupo electrógeno Briones Montoto. En la comunidad de Santa Lucía, la fuente analizada fue la planta de sulfometales y el contaminante más emitido resultó el  $\text{SO}_2$  (con 18,02 t/año), seguido por el  $\text{NO}_x$  (con 2,16 t/año). Además, se muestran los resultados de las emisiones de las sustancias contaminantes emitidas por cada fuente y por organismos.

**PALABRAS CLAVE:** Inventario de emisiones, fuentes fijas, factor de emisión, datos tecnológicos.

## Abstract

Emissions of pollutants into the atmosphere and their magnitude are the cause of many environmental problems today from the local to the global scale. The city of Pinar del Rio and the community of Santa Lucía province of Pinar del Rio are not an exception to this situation, being essential an inventory of emissions, constituting this the objective of this research. The data are obtained from the Automated Information Management Pollutant as methodologies were used, NC 39: 1999 to classify the radio sources for health protection, ranging from I, more po-

llution, to V, less pollution, the NC 242: 2005 for the uptake of the technology data on stationary sources and emission factors at a calculate emissions. The values obtained show that in the city of Pinar del Rio the  $\text{NO}_x$  is emitted a greater extent with 4 646.91 t/year, followed by  $\text{SO}_2$  with a value of 3 651.89 t/year and in a third place the  $\text{PM}_{10}$  with a value of 90.16 t/year and they are originated mostly by Briones Montoto generator. In the community of Santa Lucía source analyzed was Sulfometales Plant and the most emitted pollutant is  $\text{SO}_2$  which was issued with 18.2 t / year, followed by  $\text{NO}_x$  with 2.16 t/year. It also shows the results of emissions of pollutants emitted by each source and organisms.

**KEYWORDS:** Inventory of emissions, stationary sources, emission factor, technological data.

## Introducción

Un inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos consiste en determinar las cantidades de contaminantes que se incorporan al aire provenientes de todo tipo de fuente en un área durante un período dado.

La contaminación atmosférica resulta una mezcla compleja de emisiones de numerosas fuentes: industriales, comerciales, automotrices, fuentes individuales domésticas, suelos e incluso sustancias resultantes de las actividades vitales de animales y vegetales. Las emisiones de contaminantes a la atmósfera no solo tienen efectos a nivel global, como el cambio climático y la reducción del espesor de la capa de ozono estratosférico, que afectan severamente la Antártica y otras regiones del mundo (PNUMA, 2002), sino también a nivel regional, como es el daño creado a los bosques y ecosistemas acuáticos causado por las lluvias ácidas (como ocurrió en el norte de Europa y más reciente en China), llegando hasta el nivel local y afectando la salud de las personas o el

estado de sus pertenencias (por ejemplo, el deterioro de los monumentos arquitectónicos).

Hoy día, existe gran preocupación por el estado de la calidad del aire, lo cual ha motivado la realización de múltiples estudios para conocer los mecanismos que intervienen en proceso tan complejo. En materia de inventario de emisiones a nivel internacional se ha desarrollado una gran cantidad de trabajos, entre los que destacan: las guías metodológicas para las estimaciones de las emisiones de EMEP/CORINAIR, perteneciente a la Agencia Europea de Medio Ambiente, que han tenido una amplia difusión por Europa y otras regiones del mundo; la compilación de factores de emisión de contaminantes atmosféricos AP-42 (U.S. EPA, 1995a), ampliamente divulgada y utilizada a nivel mundial; el software Industrial Pollution Control (IPC), desarrollado por el Banco Mundial, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) del año 1995. Asimismo, destacan los trabajos U.S. EPA (1997b, 1999), entre otros.

En el contexto nacional también se han desarrollado trabajos en este sentido, en lo fundamental, dirigidos a conocer las emisiones de gases de efecto invernadero; podrían mencionarse los trabajos de López *et al.* (2002, 2003, 2004 y 2005) y, más recientemente, los trabajos de Rodríguez *et al.* (2009) y Cuesta *et al.* (2010), estos últimos encaminados a cuantificar las emisiones de fuentes fijas.

El crecimiento rápido y la concentración de la población en áreas urbanas, a menudo, están asociados a una mayor presencia de actividades industriales, el incremento del parque vehicular y el elevado consumo de combustibles, que contribuyen a agudizar el problema de la contaminación atmosférica. En el caso de la provincia de Pinar del Río (Cuba), hay que señalar que los efectos de las fuentes contaminantes no están dados por el número de las fuentes si se les compara con La Habana u otras ciudades de países desarrollados, donde el desarrollo industrial es mu-

cho mayor, ni por ser grandes emisoras, salvo algunos casos, como los grupos electrógenos y la fábrica La Conchita; el problema viene dado por la ubicación neurálgica de algunas, sobre todo las que se encuentran en pleno casco urbano.

El largo tiempo de explotación de estas fuentes y algunas deficiencias en el control de las emisiones en la mayoría de los casos, generan gases contaminantes a la atmósfera en un alto porcentaje, agravando la situación. Además, hay que destacar los casos de las fuentes que fueron construidas en zonas que, en su momento, no afectaban asentamientos poblacionales, pero que la vertiginosa y no bien planeada expansión urbanística ha causado que estas fuentes se conviertan en un peligro potencial para la salud de la población.

Ante este escenario resulta fundamental contar con un diagnóstico de la situación de la calidad del aire en la provincia de Pinar del Río a nivel local, derivando esto en la ejecución del Proyecto Territorial Científico Técnico de Salud “Evaluación del clima y la calidad del aire en la ciudad de Pinar del Río y la comunidad de Santa Lucía. Su repercusión en la salud”, cuyo objetivo es realizar el inventario de emisiones en las zonas de estudio.

## **Materiales y métodos**

### **Características generales de las zonas de estudio**

El área de estudio que corresponde al municipio de Pinar del Río se encuentra ubicada, aproximadamente, en la porción centro-sur de la provincia; ocupa una superficie de 726,69 km<sup>2</sup>; limita al norte (N) con los municipios de Viñales y Minas de Matahambre, al sur (S) con el Golfo de Batabanó, al este (E) con el municipio de Consolación del Sur, y al oeste (W) con los municipios de San Luis y San Juan y Martínez (DGP, 2010). La ciudad de Pinar del Río posee la categoría de primer orden; es la capital de la provincia

homónima y cabecera municipal. Está situada en su centro y a 146 km al oeste de la Ciudad de La Habana, en los 22°25'00" de latitud norte y los 83°41'43" de longitud oeste, en la llanura del sur de Pinar del Río, a 35,0 m de altitud; 31,68 km<sup>2</sup>; 154 063 hab; 42 762 viv (ONE, 2009). El tejido urbano se caracteriza por tres grandes zonas claramente diferenciadas y divididas por el río Guamá. Con el nuevo desarrollo, después del triunfo de la Revolución, resaltan los bloques de edificios aislados y articulados por grandes espacios públicos; la ciudad tradicional y los repartos que la circundan, con un trazado bastante irregular y una morfología compacta en sus edificaciones, que es el resultado de un proceso de evolución que tiene sus inicios en el siglo XVII; y la zona industrial, al suroeste de la ciudad, concebida en grandes praderas y edificaciones aisladas donde predominan los almacenes y la industria de la construcción. La población está vinculada a los servicios, las industrias sideromecánica, electrónica, alimentaria y de materiales de la construcción. Se comunica con la capital de la República por la carretera Central, la autopista Nacional y el ferrocarril occidental. Sus orígenes datan de finales del siglo XVII. La clasificación del nombre, según su motivación, proviene de un fitotopónimo (DGP, 2010).

El asentamiento urbano Santa Lucía es un pueblo de segundo orden del municipio de Minas de Matahambre, en la provincia de Pinar del Río, 12,0 km al norte de la cabecera municipal, enlazada a esta por carretera, en los 22°39'55" de latitud norte y los 83°58'00" de longitud oeste, en la llanura norte de la provincia, a 2,5 m de altitud; 4,44 km<sup>2</sup> de área; 10 122 hab.; 3 308 viv. (ONE, 2008). La estructura urbana enmarca dos zonas de viviendas: una hacia el norte de la vía principal, formada fundamentalmente por las primeras viviendas que se construyeron y otra al este de esta, constituida por el área de nuevo desarrollo de viviendas. La clasificación del nombre, según su motivación, proviene de un hagiopónimo

(DGP, 2010).

$$E = E \cdot A \cdot (1 - ER/100) \quad | \quad (1)$$

### Captación de datos tecnológicos

La Norma Cubana NC 242: 2005 establece los datos tecnológicos que se han de tener en cuenta para la realización de un inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos generados por fuentes puntuales industriales. En las zonas escogidas para el trabajo se identificó un grupo de focos contaminantes de alta y mediana significaciones (Fig. 1). Las mismas están clasificadas por categorías, según la NC 39: 1999, en dependencia del radio mínimo admisible (RMA) de protección sanitaria con respecto a los límites de las zonas habitables. En la tabla 1 se muestran los radios mínimos admisibles, según las categorías establecidas.

TABLA 1

Radio mínimo admisible de protección sanitaria

Categoría	Radio mínimo (m)
I	1 000
II	500
III	300
IV	100
V	50

La captación de los datos tecnológicos se realizó teniendo en cuenta los formularios establecidos en la NC 242: 2005, los cuales se emplearon como base para realizar el software SAGIFC (Rodríguez, 2007) para calcular las emisiones de contaminantes atmosféricos generados por fuentes fijas a partir de la utilización de factores de emisión. Estos, a su vez, con frecuencia, constituyen el mejor o el único procedimiento disponible con vistas al cálculo de las emisiones. 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). La ecuación utilizada para calcular las emisiones (propuesta en Jaramillo *et al.*, 2004) es la siguiente:

Donde:  $E$  es la emisión (en g/s),  $E$  es el factor de emisión (en g/kg),  $A$  es el nivel de intensidad de la actividad (consumo de combustibles, producción) (en unidades de masa o volumen por tiempo) y  $ER$  es la eficiencia global en la reducción de emisiones (%).

Los factores de emisión se obtuvieron mediante las fuentes siguientes: compilación de factores de emisión de contaminantes atmosféricos (Emission Factor and Inventory Group) AP-42 (U.S. EPA, 1995a) y el software Industrial Pollution Control (Control de Contaminación Industrial) (IPC, 1995) desarrollado por el Banco Mundial, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS).

### Descripción físico-geográfica de las fuentes contaminantes de las dos zonas de estudio

Para cumplir con el objetivo de este trabajo también se ejecutó el levantamiento de los principales focos contaminantes a la atmósfera en la zona de estudio, que comprendió los municipios de Pinar del Río y Santa Lucía.

1. Grupo Electrógeno Briones Montoto. Se encuentra ubicado en el centro-sur de la ciudad, en el reparto 5 de Septiembre, del Consejo Popular Ceferino Fernández Viña. Es una zona densamente poblada, con viviendas individuales de una y dos plantas, cuya fuente no cumple con el radio de protección sanitaria.
2. Tintorería militar. Se encuentra ubicada en el Barrio Segundo Norte y pertenece al Centro Histórico de la ciudad, en el Consejo Popular Carlos Manuel. Es una zona densamente poblada, con viviendas individuales medianeras de una a tres plantas, cuya fuente no cumple con el radio de protección sanitaria.

3. Tintorería La Cubana. Se encuentra ubicada en el Barrio 1ro. Norte y pertenece al Centro Histórico de la ciudad, en el Consejo Popular Capitán San Luís. Es una zona densamente poblada, con viviendas individuales medianeras de una a tres plantas, cuya fuente no cumple con el radio de protección sanitaria.
4. Hospital Pediátrico Pepe Portilla. Se encuentra ubicado en el centro de la ciudad y pertenece al reparto Portilla, en el Consejo Popular Celso Margoto. Es una zona densamente poblada, con viviendas individuales medianeras de una a tres plantas, cuya fuente no cumple con el radio de protección sanitaria.
5. Hospital León Cuervo Rubio. Se encuentra ubicado al centro-norte de la ciudad y pertenece al reparto Rumayor, en el Consejo Popular Diez de Octubre. Es una zona moderadamente poblada, con viviendas individuales no medianeras de una a tres plantas, cuya fuente no cumple con el radio de protección sanitaria.
6. Hospital Abel Santamaría. Ubicado al noreste de la ciudad, pertenece al Consejo Popular Diez de Octubre. Es una zona moderadamente poblada, con viviendas individuales de una planta e instituciones estatales de dos y más niveles, cuya fuente no cumple con el radio de protección sanitaria.
7. Tejar Rafael Ferro. Se encuentra ubicado al sur de la ciudad y pertenece al Consejo Popular San Vicente. Es una zona moderadamente poblada, con viviendas individuales de una planta, cuya fuente no cumple con el radio de protección sanitaria.
8. Tejar Gabriel Lache. Se encuentra ubicado al oeste de la ciudad y pertenece al reparto Cuba Libre, en el Consejo Popular Cuba Libre. Es una zona moderadamente poblada, con viviendas individuales no medianeras de una planta, cuya fuente no cumple con el radio de protección sanitaria.
9. Tejar Dolores. Se encuentra ubicado al noreste de la ciudad y pertenece al reparto La Conchita, en el Consejo Popular La Conchita. Es una zona moderadamente poblada, con viviendas individuales no medianeras de una planta, cuya fuente no cumple con el radio de protección sanitaria.
10. CITRUS. SA. Se encuentra ubicado al sur de la ciudad, y pertenece al reparto Ceferino Fernández, en el Consejo Popular Ceferino Fernández. Es una zona densamente poblada, con viviendas no medianeras individuales o pareadas de una y dos plantas, cuya fuente no cumple con el radio de protección sanitaria.
11. Torrefactora de café. Se encuentra ubicada al oeste de la ciudad y pertenece al reparto Rafael Ferro, en el Consejo Popular Cuba Libre. Es una zona moderadamente poblada, con viviendas no medianeras individuales o pareadas de una y dos plantas, cuya fuente no cumple con el radio de protección sanitaria.
12. Universidad Pinar del Río. Se encuentra ubicada en el Barrio Segundo Sur y pertenece al Centro Histórico de la ciudad, en el Consejo Popular Carlos Manuel. Es una zona densamente poblada, con viviendas individuales medianeras de una y tres plantas, cuya fuente no cumple con el radio de protección sanitaria.
13. Embotelladora de Cerveza Princesa. Se ubica en la zona industrial este y pertenece al reparto Hermanos Cruz, en el Consejo Popular Hermanos Cruz. Es una zona ligeramente poblada, en la cual predominan en grandes áreas libres y se encuentran instalaciones estatales y la Industria de Productos Lácteos, cuya fuente cumple con el radio de protección sanitaria.
14. Combinado Lácteo. Se encuentra ubicado en la zona industrial este de la ciudad y pertenece al reparto Hermanos Cruz, en el Consejo Popular Hermanos Cruz. Es una zona ligeramente poblada, en la cual predominan grandes áreas libres e instalaciones estatales, cuya fuente cumple con el radio de protección sanitaria.

15. Fábrica de Embutidos Venegas. Se encuentra ubicada en el centro oeste de la ciudad y pertenece al reparto Celso Maragoto, en el Consejo Popular Celso Maragoto. Es una zona densamente poblada, con viviendas no medianeras individuales o pareadas de una y dos plantas, cuya fuente no cumple con el radio de protección sanitaria.
  16. Fábrica de galletas. Se encuentra ubicada en el reparto Rafael Ferro, al oeste de la ciudad, y pertenece al Consejo Popular Cuba. Es una zona moderadamente poblada, con viviendas no medianeras individuales o pareadas de una y dos plantas, cuya fuente no cumple con el radio de protección sanitaria.
  17. Fábrica de sorbetos. Se encuentra ubicada en el reparto Rafael Ferro, al oeste de la ciudad, y pertenece al Consejo Popular Cuba Libre. Es una zona moderadamente poblada, con viviendas no medianeras individuales o pareadas de una y dos plantas, cuya fuente no cumple con el radio de protección sanitaria.
  18. Instituto Superior Pedagógico Rafael María de Mendive. Se encuentra ubicado, al este de la ciudad, en el microdistrito III del reparto Hermanos Cruz, en el Consejo Popular Hermanos. Es una zona moderadamente poblada, con edificios multifamiliares de tres y más plantas, en la cual predominan áreas verdes y parqueos de uso público, cuya fuente cumple con el radio de protección sanitaria.
  19. Instituto Preuniversitario Vocacional de Ciencias Exactas Federico Engels. Se encuentra ubicado al noreste de la ciudad, en el reparto Hermanos Cruz, en el Consejo Popular Hermanos Cruz. Es una zona moderadamente poblada, con edificios multifamiliares de tres y más plantas, en la cual predominan áreas verdes y parqueos de uso público, cuya fuente cumple con el radio de protección sanitaria.
  20. Facultad de Ciencias Medicas Ernesto Guevara de la Cerna. Se encuentra ubicado al noreste de la ciudad, en el Consejo Popular Diez de Octubre. Es una zona moderadamente poblada, con viviendas individuales no medianeras de una y tres plantas, en la cual predominan áreas verdes, cuya fuente cumple con el radio de protección sanitaria.
  21. Fábrica La Conchita. Se encuentra ubicada al noreste de la ciudad, en el Consejo Popular La Conchita. Es una zona moderadamente poblada, con viviendas individuales no medianeras de una planta, cuya fuente no cumple con el radio de protección sanitaria.
  22. UBE Producciones industriales (sulfometales). Se encuentra ubicada al norte del asentamiento urbano Santa Lucía, en el Consejo Popular Santa Lucía. Es una zona moderadamente poblada, con viviendas individuales de una y dos plantas, cuya fuente no cumple con el radio de protección sanitaria.
- Las fuentes principales detalladas no presentan tecnologías para la mitigación de emisiones a la atmósfera (Rodríguez, 2007) y no cumplen con las normas ambientales de ubicación con respecto a las zonas de viviendas.

## **Ubicación de las fuentes contaminantes en las dos zonas de estudio**

La figura 1 expone las fuentes fijas de la ciudad de Pinar del Río y su clasificación por categorías.

La figura 2 muestra la ubicación de la fuente contaminante de interés y su clasificación según el radio mínimo admisible para la comunidad de Santa Lucía.

## **Discusión de los resultados**

La tabla 2 representa el inventario de emisiones realizado en las principales fuentes fijas de la ciudad de Pinar del Río para 2011; pueden apreciarse los diversos contaminantes estudiados.

## Focos contaminantes por chimeneas. Ciudad Pinar del Río



- ### Leyenda
- #### Categorías
- ◆ I  
1.- Grupo electrógeno "Briones Montoto"
  - III  
1.- Tintorería militar  
2.- Tintorería La Cubana  
3.- Hospital Pediátrico  
4.- Hospital "Leon Cuervo Rubio"  
5.- Hospital "Abel Santamaría"
  - ▲ IV  
1.- Tejar "Rafael Trejo"  
2.- Tejar "Gabriel Lache"  
3.- Tejar "Dolores"
  - V  
1.- CITRUS S.A.  
2.- Torrefactora de Café  
3.- UPR Hermanos Saíz  
4.- Emb. de Cerveza  
5.- Comb. Lacteo  
6.- Venegas  
7.- Fab. de Galletas  
8.- Fab. de sorbetos  
9.- ISP. Rafael Maria de Mendive  
10.- IPVCE Federico Engels  
11.- FCM Ernesto Che Guevara  
12.- Fab. La Conchita

Fig. 1 Ubicación de las fuentes contaminantes y sus categorías, según el radio mínimo admisible de protección sanitaria. Ciudad de Pinar del Río.

## Foco contaminante por chimenea. Comunidad de Santa Lucía



- ### Leyenda
- #### Categoría
- ◆ I  
1.- Planta sulfometales

Fig. 2 Ubicación de la fuente contaminante y su categoría, según radio mínimo admisible de protección sanitaria. Comunidad de Santa Lucía.

– **Artículos originales:** Inventario de emisiones de contaminantes en las fuentes fijas  
de las zonas urbanas de Pinar del Río y Santa Lucía –

TABLA 2

Inventario de emisiones de las principales fuentes fijas de la ciudad de Pinar del Río

Establecimiento	Proceso	Tasa de emisión (t/año)					
		CO	COVDM	SO <sub>2</sub>	PM10	PM2.5	NO <sub>x</sub>
La Princesa	Fábrica de cervezas y martas	0.20		15.75	0.80	0.79	1.89
CITRUS	Fabricación de grasas, aceite animal y vegetal	0.21		19.42	1.00	0.64	1.98
Fábrica de galletas de dulce y sorbetos	Alimentos que no se fabrican en otra parte	0.002		0.035	0.001	0.001	0.01
Fábrica de galletas La Pinareña	Panadería	0.096		1.58	0.05	0.03	0.54
Facultad de Ciencias Médicas	Servicios de educación	0.025		0.42	0.01	0.01	0.14
Hospital Abel Santamaría	Servicios de salud médicos, dentales y otros	0.15		11.53	0.60	0.58	1.38
Hospital León Cuervo	Servicios de salud médicos, dentales y otros	0.08		6.15	0.32	0.31	0.74
La Conchita	Enlatado y conservado de frutas y verduras	0.77		60.79	3.13	3.06	7.27
Combinado Lácteo	Fabricación de productos lácteos	0.52		47.82	2.44	1.60	4.87
Lavandería militar	Lavados y plantas de tinte	0.033		0.54	0.02	0.01	0.18
Pedagógico	Servicios de educación	0.02		0.36	0.01	0.01	0.12
Pediátrico	Servicios de salud médicos, dentales y otros	0.05		0.87	0.03	0.02	0.29
Tejar Primero de Mayo		0.15	0.004	0.004	0.70	0.50	1.45
Tejar Dolores	Fabricación de objetos de barro, loza y porcelana	0.23	0.006	0.007	1.10	0.70	2.17
Tejar Ferro		0.23	0.006	0.007	1.10	0.70	2.21
Tintorería La Cubana	Lavados y plantas de tinte	0.0025		0.23	0.12	0.08	0.02
Torreafactora de Café	Alimentos que no se fabrican en otra parte	0.04		0.72	0.02	0.02	0.24
UPR	Servicios de educación	0.030		0.91	0.04	0.03	0.19
UEB Venegas	Matadero, preparación y conservación de carnes	0.04		0.62	0.02	0.01	0.21
Vocacional	Servicios de educación	0.03		2.56	0.13	0.13	0.31
Grupo Electrogeno Briones	Energía Eléctrica y Alumbrado			3481.57	78.52		4620.70
Total		2.91	0.02	3651.89	90.16	9.23	4646.91

TABLA 3

Inventario de emisiones de la planta de sulfometales de la comunidad de Santa Lucía

Establecimiento	Proceso	Tasa de emisión (t/año)				
		CO	SO <sub>2</sub>	PM10	PM2.5	NO <sub>x</sub>
Planta de sulfometales	Industrias básicas de metal	0.23	18.02	0.93	0.91	2.16

El inventario de emisiones realizado para la comunidad de Santa Lucía (Tabla 3) en 2009 contempla, solamente, las emisiones provocadas por la planta de sulfometales, por ser el único foco contaminante de interés en esta zona.

Las figuras de la 3 a la 8 representan las emisiones de los diversos contaminantes estimados en la ciudad de Pinar del Río, desde los COVDM, hasta los óxidos de nitrógeno. Los compuestos orgánicos vo-

látiles diferentes del metano (COVDM) están formados, principalmente, por hidrocarburos a los que se les unen algunos de los grupos químicos siguientes: alcoholes, aldehídos, alcanos, aromáticos, cetonas y derivados halogenados. Se caracterizan por ser sustancias fácilmente vaporizables a la temperatura ambiente, muchas de estas son incoloras e inodoras.

En la naturaleza, la fuente de emisión principal de los COVDM proviene de la vegetación; de hecho, el

olor asociado de algunas coníferas forestales se debe a la emisión de estas sustancias. Como fuentes antropogénicas destacan el sector del transporte y los procesos de combustión para la generación de energía, pero la fuente fundamental proviene del uso de disolventes, pinturas y aerosoles. En función de su composición y toxicidad, estos pueden resultar extremadamente peligrosos para la salud humana, por ejemplo el benceno, el cloruro de vinilo y el 1.2 dicloroetano, que son cancerígenos y producen efectos psicológicos adversos. La incidencia de estos compuestos en el medio ambiente está dada porque son precursores de ozono; al mezclarse con otros contaminantes atmosféricos, como los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), y al reaccionar con la luz solar, son capaces de formar ozono, que es nocivo para el ser humano y es el principal agente que contribuye al *smog* fotoquímico. La figura 3 muestra las emisiones de los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM) en la ciudad de Pinar del Río, generadas por los tejares; a los tejares Dolores y Ferro les corresponden los mayores valores de emisión, con 0.006 t/año, lo cual representa 37.5 % del total de las emisiones de las fuentes fijas.

El dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) es un gas incoloro con un olor picante; cuando se oxida y se combina con agua produce ácido sulfúrico, que es el componente básico de la lluvia ácida. El  $\text{SO}_2$  es el compuesto de azufre que se emite en mayores cantidades hacia la atmósfera, por lo general, acompañado de una cantidad de trióxido ( $\text{SO}_3$ ) pequeña, pero casi siempre en un porcentaje que no rebasa 1 % a 2 % del  $\text{SO}_2$  (González, 1999). Las afectaciones principales que produce el  $\text{SO}_2$  a la salud humana están relacionadas con la irritación del sistema respiratorio y los ojos. La figura 4 muestra las emisiones de  $\text{SO}_2$  en la ciudad de Pinar del Río; puede constatarse que el mayor valor de emisión corresponde al grupo electrógeno Briones Montoto, con 3 481.57 t/año, o sea, 95.3 % del total de las emisiones de las fuentes fijas, seguido este va-

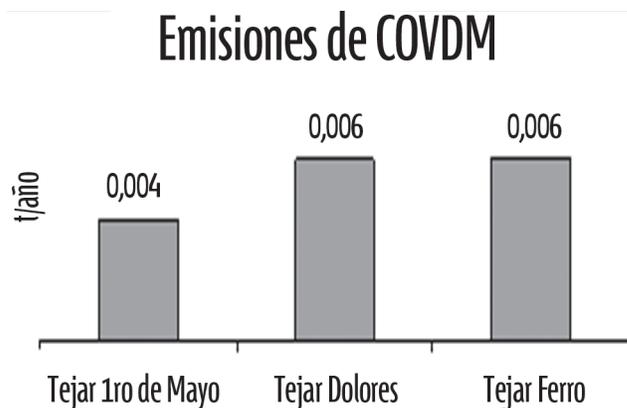


Fig. 3 Emisiones de COVDM en la ciudad de Pinar del Río.

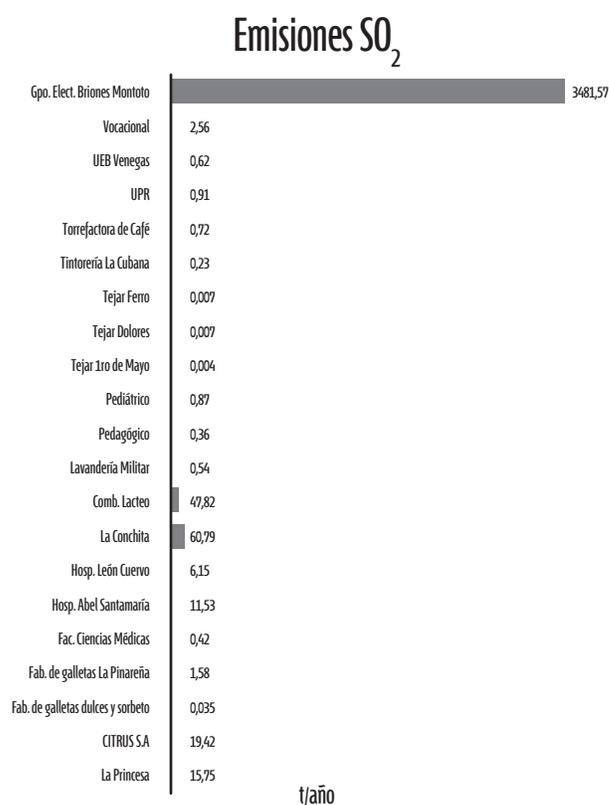


Fig. 4 Emisiones de  $\text{SO}_2$  en la ciudad de Pinar del Río.

lor por la fábrica La Conchita, con 60.79 t/año, y el combinado Lácteo, con 47.82 t/año.

Las partículas sólidas, aerosoles o líquidas que se encuentran dispersas en la atmósfera, conocidas como partículas suspendidas, engloban al polvo, la tierra, la arena, la ceniza, el hollín, las partículas de metales, el cemento, los diversos tipos de polen, etc. La fracción respirable, torácica o PM10, está com-

puesta por las partículas que poseen un diámetro menor a 10 µm (micras) y que, por su tamaño, es posible que penetren hasta los alvéolos pulmonares. El material particulado (MP) tiene dos orígenes: antropogénico y natural.

El antropogénico, proveniente de la combustión industrial producida por diversos procesos, en los hogares, por la combustión del tabaco, la madera, el carbón y los combustibles derivados del petróleo, la basura y la erosión de los materiales empleados en la construcción (cemento, vidrio, cerámica) y de los metales (plomo, hierro, aluminio). En el origen natural de las partículas participan en su formación los incendios, la erosión eólica y las erupciones de los volcanes. En la afectación a la salud humana se ha observado que producen alergias, irritación de las vías respiratorias superiores e inferiores, y su acumulación en estas últimas puede provocar enfermedades del tipo de la silicosis y la fibrosis pulmonar (Folinsbee, 1992), las cuales pueden perjudicar la función respiratoria, llevando hacia la morbilidad y mortalidad respiratoria críticas; estas irritan el tracto respiratorio, estrechan las vías de ventilación, exacerban el asma y la bronquitis, y aumentan las tasas de la infección respiratoria. La figura 5 presenta las emisiones de PM10 en la ciudad de Pinar del Río, donde se evidencia que el grupo electrógeno Briones Montoto es la fuente de mayor emisión, con 78.52 t/año, lo cual corresponde con 87.1 % de las emisiones de las fuentes fijas de la ciudad, seguida esta cifra por la fábrica La Conchita, con 3.13 t/año (3.5 %); las restantes fuentes completan el porcentaje total.

El PM2,5, al igual que el PM10, posee las mismas composiciones, tanto química, como de partículas, pero con la diferencia que sus partículas tienen un diámetro menor a 2,5 µm, lo cual las hace más perjudiciales para la salud del ser humano dada su mayor capacidad de penetrar hasta los alvéolos pulmonares. La figura 6 presenta las emisiones de PM2,5; se observa que la fábrica La Conchita presenta el ma-

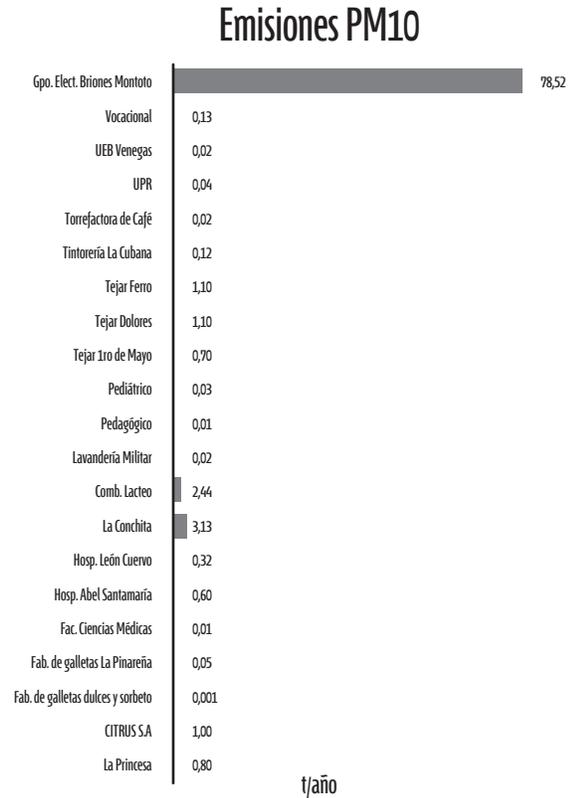


Fig. 5 Emisiones de PM 10 en la ciudad de Pinar del Río.

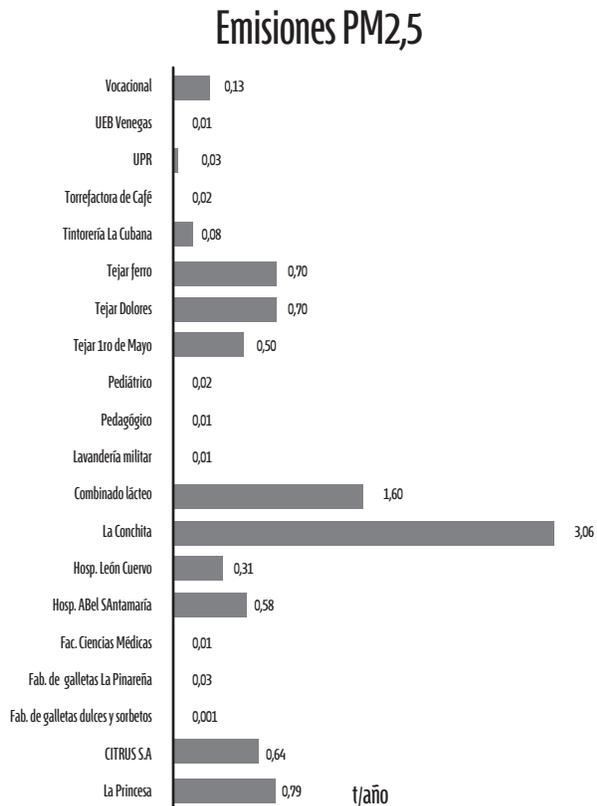


Fig. 6 Emisiones de PM2.5 en la ciudad de Pinar del Río.

por valor de emisión, con 3.06 t/año, que constituye 33.1 % de total de las emisiones de las fuentes fijas.

Las fuentes antrópicas y naturales de los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) atmosférico contribuyen de forma prácticamente equivalente a las expulsiones totales. Las antrópicas provienen de la utilización de los combustibles fósiles y la quema de la biomasa, mientras que las naturales se originan de los procesos microbianos en el suelo, las descargas eléctricas y el transporte desde la estratosfera. Los mayores impactos en la salud de los NO<sub>x</sub> son los aumentos en la incidencia de infecciones en las vías respiratorias en niños y en la disminución de la respuesta de las vías respiratorias en los asmáticos, Folinsbee (1992); además, se provocan irritación del tracto respiratorio y se agravan las enfermedades cardiopulmonares (Wallo, 2005). La figura 7 muestran las emisiones de NO<sub>x</sub> en la ciudad de Pinar del Río, donde el grupo electrógeno Briones Montoto resultó el mayor emisor, con 4 620.7 t/año, lo cual equivale a 99.4 % de las fuentes fijas analizadas, o sea, representad así casi 100 % de las emisiones de estas fuentes.

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro, inodoro, insípido y muy tóxico, que se produce por la combustión incompleta de sustancias que contienen carbono (la gasolina, el diesel, el carbón y la leña). Las principales fuentes antrópicas de contaminación del aire por este gas son los vehículos con motores de gasolina y diversas industrias que utilizan el carbón como combustible, mientras que las fuentes naturales son los incendios forestales. Los efectos en la salud humana son el dolor de cabeza, la reducción del discernimiento mental, la disminución de la capacidad de la sangre para acarrear oxígeno, sobre todo en personas con afecciones nerviosas, cardiovasculares o pulmonares. La figura 8 presenta las emisiones de CO de las fuentes fijas de la ciudad de Pinar del Río. Puede apreciarse que las mayores emisiones son producidas por la fábrica La Conchita, con 0.77 t/año, lo cual representa 26.5 % del total de las emisiones de

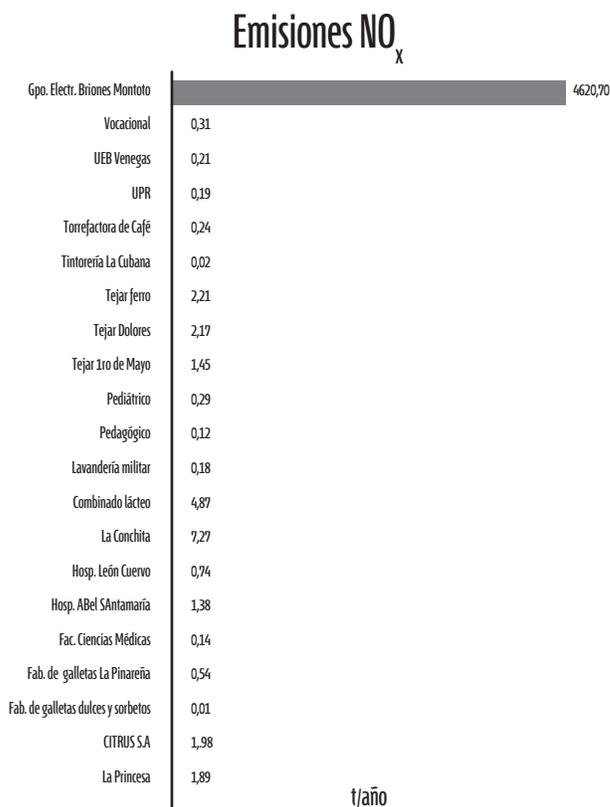


Fig. 7 Emisiones de NO<sub>x</sub> en la ciudad de Pinar del Río.

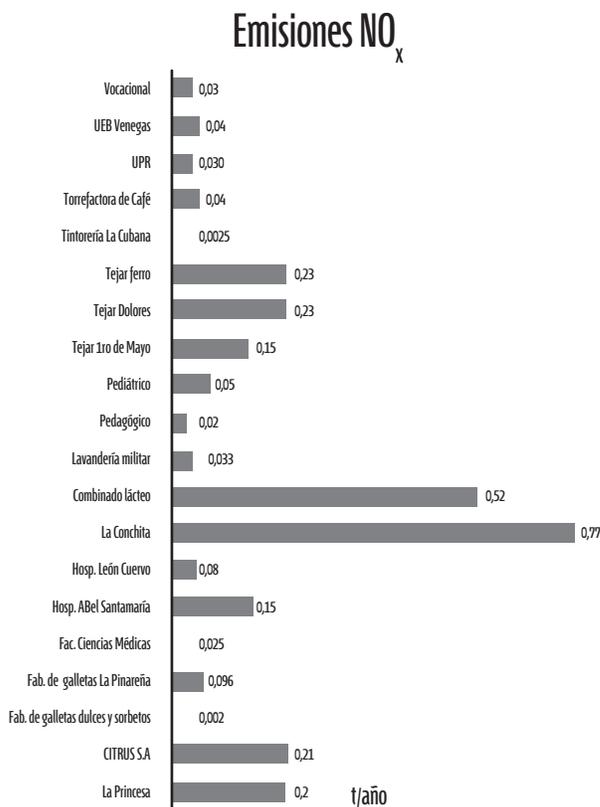


Fig. 8 Emisiones de CO en la ciudad de Pinar del Río.

las fuentes fijas, seguida esta cifra por el combinado Lácteo, con 0.52 t/año (17.9 %); las demás fuentes exhiben valores de emisión inferiores.

En la ciudad de Pinar del Río, las emisiones de CO-VDM corresponden a los tejares. Los mayores valores se aprecian en Dolores y Ferro. El mayor emisor de SO<sub>2</sub>, PM10 y NO<sub>x</sub> es el grupo electrógeno Briones Montoto, mientras que para PM2,5 y CO es la fábrica La Conchita.

La figura 9 muestra las emisiones producidas por la planta de sulfometales de la comunidad de Santa Lucía. El SO<sub>2</sub> ostenta el mayor valor de emisión, con 18,02 t/año, que representa 81 % de las emisiones de esta fuente, seguido por el NO<sub>x</sub>, con 2.16 t/año (9.7 %); los demás contaminantes presentan valores muy bajos con respecto al SO<sub>2</sub>.

En la tabla 2 se expuso el inventario de emisiones de las fuentes fijas de la ciudad de Pinar del Río. Ahora, en este sentido, la figura 10 representa el comportamiento de las emisiones de contaminantes generadas por todas las fuentes fijas de la ciudad de Pinar del Río, donde se observa que el NO<sub>x</sub> es el mayor contaminante, con 4 646.91 t/año, seguido por el SO<sub>2</sub> (3 651.8 t/año) y el PM10 (90.16 t/año); los demás contaminantes analizados tienen valores inferiores a 10 t/año. Como puede apreciarse, existe una diferencia significativa en el valor de las emisiones de NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> con respecto a los demás; estas emisiones, de existir tecnologías nuevas o más recientes, serían de menor cuantía, puesto que –como se trató en la Introducción– la mayoría de las fuentes poseen tecnologías atrasadas y, por consiguiente, deficiencias mayores en el control de las emisiones. Todo esto, junto con los efectos negativos que producen en la salud humana las emisiones de estos contaminantes, vislumbran la necesidad de buscar alternativas para atenuar la carga contaminante.

Las figuras de la 11 a la 16 muestran las emisiones de contaminantes por organismos. En la figura 11 se presentan las emisiones de CO. Se aprecia que el Ministerio de la Industria Alimentaria (MINAL) resulta

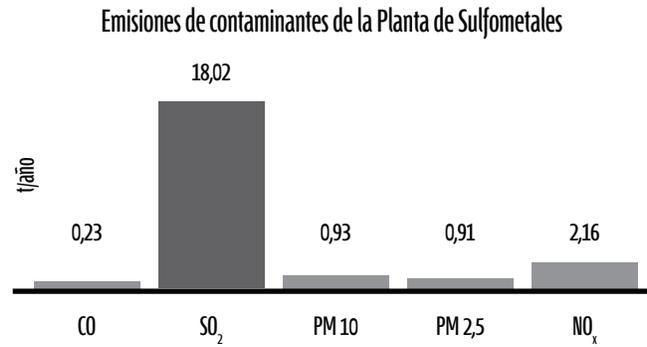


Fig. 9 Emisiones de contaminantes producidas por la planta de sulfometales de la comunidad de Santa Lucía.

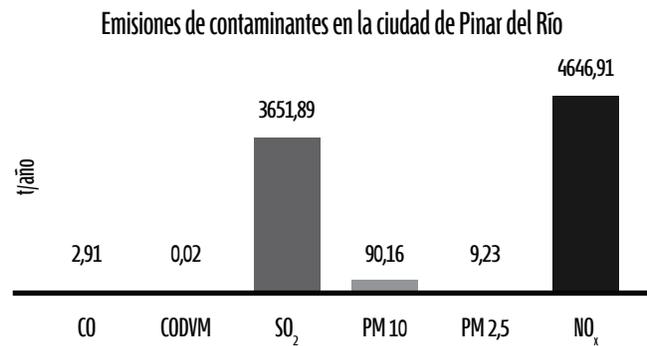


Fig. 10 Emisiones de contaminantes producidas por las fuentes fijas de la ciudad de Pinar del Río.

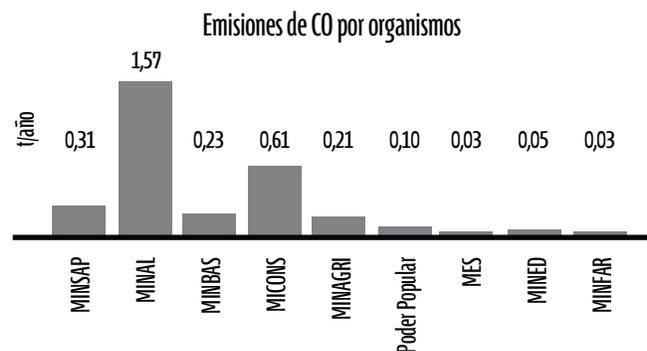


Fig. 11 Emisiones de CO por organismos.

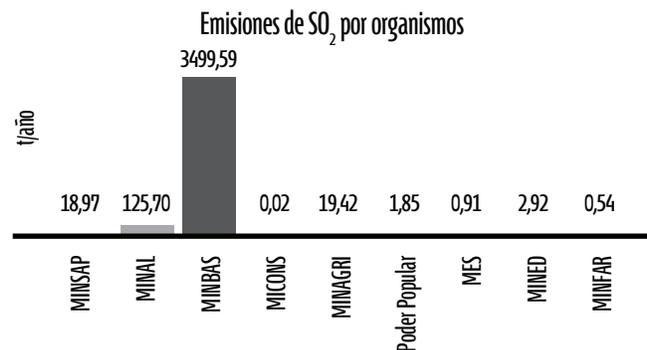


Fig. 12 Emisiones de SO<sub>2</sub> por organismos.

el mayor emisor este contaminante, con 1.57 t/año, seguido por el Ministerio de la Construcción (MICONS), con 0.61 t/año.

La figura 12 representa las emisiones de SO<sub>2</sub>. Se aprecia que el Ministerio de la Industria **Básica** (MINBAS) es el mayor emisor de este contaminante, con 3 499.59 t/año, seguido por el MINAL (125.70 t/año); los demás organismos tienen valores inferiores a las 20 t/año.

La figura 13 muestra las emisiones de PM10. Se aprecia que el MIMBAS es el organismo de mayor emisión de este contaminante, con 79.45 t/año, seguido por el MINAL, con 6.41 t/año.

La figura 14 muestra las emisiones de PM2,5. Se aprecia que el MINAL es el organismo que más emite este contaminante, con 5.48 t/año, seguido por el MICONS, con 1.90 t/año.

La figura 15 presenta las emisiones de NOx. Se aprecia que el MINBAS es el organismo mayor emisor de este contaminante, con 4 622.86 t/año, seguido, aunque muy distante, por el MINAL, con 14.48 t/año.

Las emisiones de los COVDM corresponden solamente al MICONS, y su valor es de 0.02 t/año.

La figura 16 muestra el comportamiento de las emisiones de contaminantes producida por las fuentes que consumen *fuel oil* como combustible. Se aprecia que el NOx es el contaminante más emitido (4 647.15 t/año), seguido por el SO<sub>2</sub> (3 663.86 t/año) y el PM<sub>10</sub> (90.89 t/año); los demás contaminantes presentan valores de emisión inferior a 10 t/año.

La figura 17 muestra las emisiones de contaminante por consumo de diesel como combustible. Se aprecia que el SO<sub>2</sub> representa el valor de emisión mayor, con 6.06 t/año, seguido del NOx, con 1.92 t/año; los demás contaminantes no superan el valor de 0.5 t/año.

## Conclusiones

Las fuentes contaminantes pertenecientes a la ciudad de Pinar del Río emiten en mayor grado NOx (4 646,91 t/año), seguido por SO<sub>2</sub> (3 651.89 t/año) y

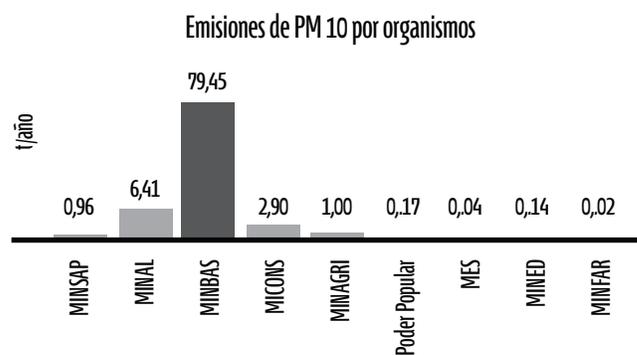


Fig. 13 Emisiones de PM10 por organismos.

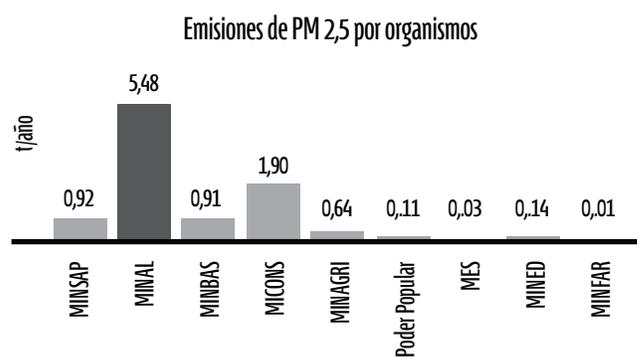


Fig. 14 Emisiones de PM2,5 por organismos.

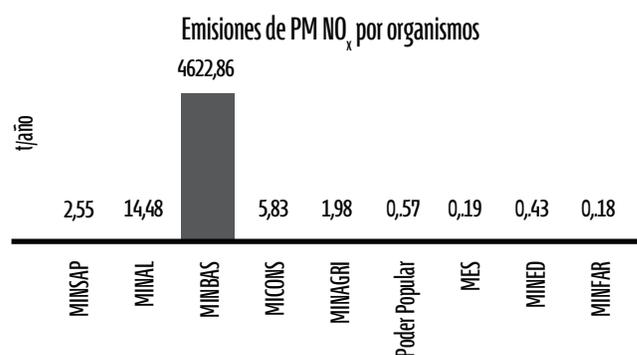


Fig. 15 Emisiones de NOx por organismos.

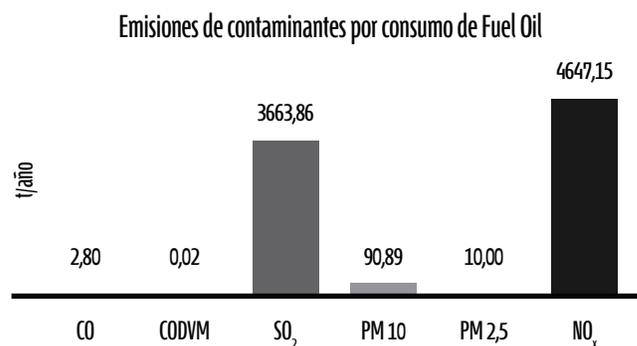


Fig. 16 Emisiones de contaminantes por consumo de fuel oil.

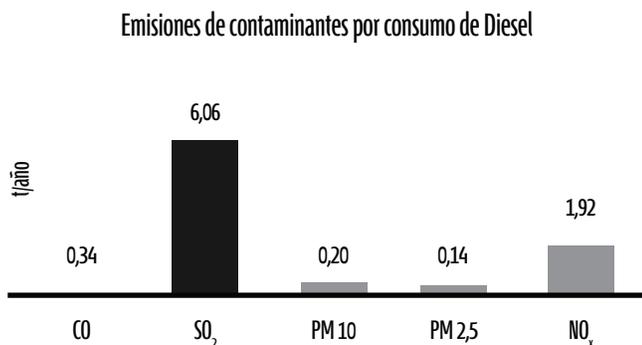


Fig. 18 Emisiones de contaminantes por consumo de diesel.

PM<sub>10</sub> (90.16 t/año); estos son originados, en mayor cantidad, por el grupo electrógeno Briones Montoto donde, para NO<sub>x</sub>, esta fuente produce 99,4 % de emisión; para los casos de SO<sub>2</sub> 95.3 % y PM<sub>10</sub>, representa 87.1 %. La fábrica La Conchita es la otra fuente con valores de emisión mayores, donde 26.5 % correspondió al CO y 33,2 %, al PM<sub>2.5</sub>.

En la comunidad de Santa Lucía, la fuente analizada resultó la planta de sulfometales; el contaminante más emitido fue SO<sub>2</sub>, con 18.02 t/año, seguido por NO<sub>x</sub>, con 2.16 t/año.

El organismo mayor emisor de CO (1.57 t/año) y de PM<sub>2,5</sub> (5.48 t/año) es el MINAL; el MINBAS es el mayor emisor de SO<sub>2</sub> (3 499.59 t/año), PM<sub>10</sub> (79.45 t/año) y NO<sub>x</sub> (4 622.86 t/año) y el MICONs resultó el que emite COVDM, con 0.02 t/año.

Las fuentes de mayores valores de emisión de contaminantes son las que consumen *fuel-oil*, y se representan como sigue: CO (89.3 %), COVDM (100 %), SO<sub>2</sub> (99.8 %), PM<sub>10</sub> (99.8 %), PM<sub>2,5</sub> el (98.6) y NO<sub>x</sub> el (99.9); los restantes porcentajes de emisión para cada contaminante corresponden al consumo de diesel.

## Recomendaciones

Generalizar el estudio en toda la provincia de Pinar del Río para, de esta manera, lograr un inventario de la totalidad de las fuentes fijas.

Realizar estudios de modelación de la calidad del

aire, con el objetivo de determinar las industrias que no cumplen con la norma de calidad del aire, con estos resultados podrían proponerse estrategias en relación con las emisiones máximas admisibles (EMA) y, de este modo, contribuir a mejorar la calidad del aire en las zonas objeto de estudio.

## Referencias

- Cuesta, O, Wallo, A 2010, 'Fuentes de contaminación atmosférica y su relación con la calidad del aire', ponencia presentada a la XV Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura. La Habana, diciembre 2010.
- DGP. 2010, *Diccionario Geográfico Provincial*, Pinar del Río.
- Digesa 2005, *Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos*, Dirección general de salud ambiental, Perú.
- Folinsbee, L J 1992, 'Human health effects of air pollution', *Environmental health Perspectives*, vol. 100, pp.45-56.
- IPC. 1995, *Industrial Pollution Control*, Desarrollado por el Banco Mundial, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS).
- Jaramillo, M., M. Nuñez, W. Ocampo, D. Pérez, G. Portilla. 2004, Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos convencionales en la zona de Cali-Yumbo, Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia., Vol. 31, pp.: 38-48.
- López, C., P. V. Fernández, R. W. Manso, A. Wallo, A. V. Guevara, A. León, M. E. García, E. Martínez, G. Legañoa, J. J. Alea, I. López, D. Pérez, J. M. Ameñeros, S. F. Pire. 2002, República de Cuba. Inventario Nacional de Emisiones y Adsorciones de Gases de Invernadero. Reporte para el Año 1996 y Actualización para los Años 1990 y 1994. CD-Rom Vol. 01. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana, 320 pp. ISBN: 959-02-0352-3.

- López, C., P. V. Fernández, R. W. Manso, A. Wallo, A. V. Guevara, A. León, E. Martínez, L. López, N. Rodríguez, M. Skeen, J. Dávalos, M. E. García, J. J. Alea, I. López, D. Pérez, S. F. Pire, J. M. Ameneiros, A. Mercadet y A. Álvarez. 2003, República de Cuba. Inventario Nacional de Emisiones y Adsorciones de Gases de Invernadero. Reporte para el Año 1998 y Actualización para los Años 1990, 1994 y 1996. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana, 310 pp.
- López, C., P. V. Fernández, R. W. Manso, A. Wallo, A. V. Guevara, A. León, A. V. Guevara, C. González, S. Mesa, E. Martínez, N. Rodríguez, J. Dávalos, M. E. García, J. J. Alea, I. López, D. Pérez, H. Ricardo, S. F. Pire, A. Mercadet, A. Álvarez. 2004, República de Cuba. Inventario Nacional de Emisiones y Adsorciones de Gases de Invernadero. Reporte para el Año 2000 y Actualización para los Años 1990, 1994, 1996 y 1998. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana, 320 pp.
- López, C., P. V. Fernández, R. W. Manso, A. Wallo, A. V. Guevara, C. González, S. Mesa, E. Martínez, N. Rodríguez, J. Dávalos, M. E. García, R. Biart, I. López, D. Pérez, H. Ricardo, S. F. Pire, J. M. Ameneiros, A. Mercadet, A. Álvarez. 2005, República de Cuba. Inventario Nacional de Emisiones y Adsorciones de Gases de Invernadero. Reporte para el Año 2002 y Actualización para los Años 1990, 1994, 1996, 1998 y 2000. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana, 325 pp.
- Normas de Gestión Ambiental NC: Norma Cubana 242. 2005, Guía de datos tecnológicos para el inventario de emisiones de los contaminantes atmosféricos desde fuentes industriales estacionarias, La Habana, Cuba.
- Normas de Gestión Ambiental NC: Norma Cubana 39. 1999, Requisitos higiénico-sanitarios. CITMA-INN-MEP, La Habana, Cuba.
- ONE. 2008, Oficina Nacional de Estadística. Provincia de Pinar del Río.
- ONE. 2009, Oficina Nacional de Estadística. Provincia de Pinar del Río.
- PNUMA. 2002, Perspectivas de medio ambiente mundial GEO-3. Grupo Mundi-Prensa. España.
- Rodríguez, D. 2007, Sistema Automatizado de Gestión de Información de Fuentes Contaminantes (SAGIFC). Tesis de Maestría en Nuevas Tecnologías para la Educación. Universidad de Pinar del Río, Cuba, 186 pp.
- Rodríguez, D., L. Echevarría, A. Sánchez, O. Cuesta, A. Wallo, M. Miló, A. Gato. 2009, Resultados preliminares de inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos producidos por las fuentes fijas en la ciudad de Pinar del Río y la comunidad de Santa Lucía. Publicación electrónica, ISBN 978-959-7167-20-4, Memorias del V Congreso Cubano de Meteorología, La Habana 1-4 Diciembre de 2009.
- U.S. EPA. 1995a, Compilation of Air Pollutant Emission Factors.
- U.S. EPA. 1997b, The Values of QA/QC. Final Report. Emission Inventory Improvement Program. Eastern Research Group, North Carolina, Research Triangle Park, 16 pp.
- U.S. EPA. 1999, Handbook for Criteria Pollutant Inventory Development. A Beginner's Guide for Point and Area Sources. Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, 285 pp.
- Wallo, A. 2005, Evaluación del medio ambiente atmosférico y su influencia en la salud humana mediante el uso de SIG. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Meteorológicas, La Habana, 129 pp.