

Análisis de las emisiones atmosféricas de las fuentes fijas de La Habana

Analysis of atmospheric emissions from Havana's stationary sources

Dr. Osvaldo Cuesta Santos[✉], MSc. Arnaldo Collazo Aranda, Lic. Yosdany González Jaime, Lic. Ernesto Carrillo Vitale, Lic. Carlos Sosa Pérez, MSc. Pedro Sánchez Navarro, MSc. Ricardo Manso Jiménez, Dra. Rosemary López Lee

Centro de Contaminación y Química Atmosférica, Instituto de Meteorología, Cuba

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo conocer y analizar el comportamiento de las emisiones de las principales fuentes fijas de La Habana a través del inventario de emisiones, para lo cual se toma como base el año 2012. El conocimiento de estas emisiones es una valiosa herramienta de trabajo con miras a mejorar la calidad de vida de la población. En los resultados se muestra la emisión a la atmósfera de más de 25 000 toneladas al año de SO₂, alrededor 7 300 toneladas al año de NO₂ y más de 2 300 toneladas al año de material particulado menor de 10 µm, potencialmente dañinos a la salud humana. Los municipios de Regla y Habana Vieja son los máximos emisores de contaminantes gaseosos, mientras que Cotorro es el mayor emisor de material particulado (PM₁₀ y PM_{2.5}). La Refinería Níco López, la Termoeléctrica de Tallapiedra y Antillana de Acero son las industrias que más contaminantes emiten a la atmósfera, y sobre las cuales se deben mantener medidas de control y regulación ambiental con vistas a mitigar las emisiones.

Palabras clave: inventario de emisiones, fuentes contaminantes, gestión de la calidad del aire, La Habana, Cuba

Abstract

This study aims to understand and analyze the behavior of emissions from main stationary sources of Havana through the inventory of emissions based on the year 2012. The knowledge of these emissions is a valuable tool for improving the population life quality. Results showed atmospheric emissions rate of SO₂ is upper than 25 mil ton/year while NO₂ emission rate is about 7300 ton/year. Furthermore, particulate matter with ratio aerodynamic lower than 10 and 2.5 microns (PM₁₀ and PM_{2.5}) reach 2300 ton/year, which are known for its potential damage for human health. The municipalities: Regla and Habana Vieja (old part of Havana city) are the highest emitters of air gaseous pollutants. For other hand, Cotorro municipality is the

✉ Autor para correspondencia: Osvaldo Cuesta Santos, Centro de Contaminación y Química Atmosférica, Instituto de Meteorología, Cuba. E-mail: osvaldo.cuesta@insmet.cu

Recibido: 15 de diciembre de 2016

Aceptado: 23 de marzo de 2016

highest emitter of particulate matter (PM_{10} and $PM_{2.5}$). The Ñico López oil refinery, Tallapiedra thermoelectric and Antillana de Acero factory are the most polluting industries that emit toxic substances into the atmosphere and so thus, it is necessary to keep control and environmental regulations measures to mitigate atmospheric emissions from them.

Key words: emission inventory, air pollution sources, air quality management, La Habana, Cuba

Introducción

El conocimiento de la calidad del aire en una zona determinada resulta imprescindible para el diseño de la protección de los seres vivos y de su hábitat. Conocer con cuáles fuentes y sustancias, y en qué medida se contamina una región, es un estudio de suma importancia en la actualidad, puesto que cada vez más la actividad humana influye en el cambio negativo de su entorno y, por tanto, se impone una labor pensada y planificada para su posible mitigación.

Este trabajo expone en detalle las principales fuentes fijas que contaminan la capital del país, La Habana, considerada por estudios previos con un nivel de contaminación crítico en algunas de sus localidades ([Cuesta & Wallo, 2010](#); [Cuesta et al., 2012](#)). Por municipios, se presentan las fuentes fijas principales que emiten sustancias nocivas a la atmósfera y el aporte cuantitativo de contaminantes a la atmósfera, lo cual permite identificar cuáles municipios dentro de la provincia son los que más contaminantes emiten y ofrecer a los ambientalistas la información oportuna con miras a elaborar planes de mitigación de las emisiones.

Este primer inventario de emisiones de las fuentes fijas industriales en la ciudad de La Habana incluye aquellas relacionadas con la industria de la energía (termoeléctricas y grupos electrógenos), las acerías, los hornos, incineradores y calderas que generan energía en diversos procesos industriales y de

servicios. El conocimiento de estas emisiones es una valiosa herramienta de gestión ambiental para el control y la mitigación de la contaminación atmosférica en la ciudad de La Habana ([Cuesta et al., 2012](#)).

La mitigación de las emisiones a la atmósfera y la reducción de impactos sobre el entorno de la capital involucra, entre otros aspectos, la combinación de una mejora de la calidad del aire y el alejamiento de las zonas habitables de aquellas actividades que produzcan niveles de concentraciones de gases contaminantes superiores a la concentración máxima admisible (*Cma*), establecida en la *Norma cubana 1020:2014*. Con vistas al mejoramiento de la calidad del aire, un aspecto inicial importante que ha de tenerse en cuenta es el porcentaje en que deberán reducirse las expulsiones para cada sustancia contaminante; de modo que no se supere la *Cma* a nivel superficial.

Las medidas generales para la reducción de las expulsiones son las siguientes:

- ◆ Incorporar técnicas de depuración de las expulsiones.
- ◆ Realizar cambios o mejoras tecnológicos que reduzcan las expulsiones.
- ◆ Efectuar cambios en los parámetros de expulsión de contaminantes para mejorar la dispersión.

En la práctica, una medida puede ser la sustitución de combustibles como el crudo nacional o los petróleos combustibles con un alto contenido de azufre por el *fuel oil*, que posee un contenido de azufre bajo, en las

plantas de generación de vapor, o el uso de gas natural como combustible en las instalaciones para la generación de energía (electricidad, vapor a proceso o electricidad y vapor de forma combinada), con lo cual se disminuye la expulsión a la atmósfera de grandes cantidades de partículas y SO_2 , mejorando las condiciones de higiene del aire.

Resulta de suma importancia para mantener la higiene del aire una buena organización tecnológica de los procesos productivos, lo cual evitará emisiones en exceso a la atmósfera. Algunas medidas elementales, como el cierre hermético de las instalaciones, el lavado de gases, la recolección del polvo, entre otras, pueden contribuir a la reducción de emisiones contaminantes.

Con la finalidad de reducir las expulsiones de contaminantes del aire en los procesos productivos se utilizan diversos métodos de control. Las partículas de carbón contenidas en el humo se originan por una combustión incompleta; por tanto, el humo de las chimeneas es un buen indicador de la ineficiencia del proceso de conversión del combustible en energía útil ([Cuesta et al., 2000, 2008](#)).

Materiales y Métodos

En el presente trabajo se aplica la guía de datos tecnológicos para inventario de emisiones de los contaminantes atmosféricos de fuentes puntuales industriales, recogida en la actual Norma Cubana [NC: 1049/2014](#), la cual explica en detalle los parámetros tecnológicos necesarios.

Sin embargo, existen algunas metodologías importantes para la preparación de inventarios de emisiones de gases y aerosoles contaminantes entre las cuales se destacan la [EPA \(1995, 1997\)](#), [Bromberg](#)

(1999), AP-42 y otros documentos de trabajo, así como el Programa [EMEP/CORINAIR \(2007\)](#), y la Agencia Europea de Medio Ambiente.

Entre los métodos para calcular las emisiones pueden citarse los siguientes:

1. Balance de masa.
2. Factores de emisiones.
3. Cálculos ingenieriles.
4. Mediciones en la fuente.

En la zona de estudio, los principales contaminantes emitidos a la atmósfera por fuentes fijas son causados por las actividades generadoras de la energía, las industriales y otras de índole económicas del territorio. Estos son el dióxido de azufre (SO_2), el dióxido de nitrógeno (NO_2), el monóxido de carbono (CO) y el material particulado de 10 μm y 2,5 μm (PM_{10} y $\text{PM}_{2,5}$), así como los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), los cuales afectan directamente a la salud humana.

Para iniciar el proceso de recolección de la información se estableció un cronograma de actividades que involucraba los pasos siguientes:

En las diversas instituciones responsables del control y la vigilancia se efectuó un sondeo a cargo del personal encargado del manejo de la información (archivo y sistemas), con la finalidad de determinar la cantidad y la calidad de la información referente a industrias que, por sus características, generan emisiones atmosféricas, así como el origen de esta información y la fecha de actualización. Las posibles fuentes primarias de la información, es decir, las empresas que realizaban los diferentes estudios sobre emisiones atmosféricas y la existencia de inventarios acometidos por otras empresas, universidades y entidades oficiales.

Una vez efectuada esta primera actividad, se realizó la consulta de las fuentes de información con miras a recolectar, una por una, la lista de las fuentes fijas industriales o productivas. Se inició con la delegación del CITMA de la ciudad de La Habana, a través de sus especialistas municipales, que tienen el control o un inventario base de las fuentes fijas, la cual resultó de gran utilidad para comenzar la identificación de aquellas empresas que, por sus procesos, generaban emisiones atmosféricas.

Además, fueron de gran utilidad otras bases de datos vinculadas con los resultados de la gestión empresarial y las investigaciones científico-técnicas, entre las cuales se destacan las siguientes:

- Base de datos Fuentes especialistas municipales, CITMA, La Habana.
- Base de datos Estudio de PVR tecnológicos en la provincia de La Habana, ISPJAE-CITMA, Delegación provincial, La Habana, 2011.
- Base de datos ALASTOR (Calderas).
- Base de datos Principales fuentes contaminantes de La Habana, tesis de diploma y maestría de estudiantes del Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas INSTEC, la Universidad de La Habana (UH) y el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría (ISPJAE).
- Base de datos Fuentes contaminantes de la Bahía de La Habana.
- Base datos Fuentes de CECONT, INSMET y CITMA.
- Base de datos Estudios ambientales (Gamma S. A.).
- Bases datos de CICA, ORASEN, CITMA.
- Base de datos de la Empresa de Generación Distribuida La Habana, (GEDICH), MINEN.

Una vez terminado el proceso de obtención de bases de datos sobre fuentes fijas industriales en la ciudad, se plasmó una solicitud formal a la delegación provincial del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de La Habana para trabajar en unión con sus especialistas municipales en la ejecución de una encuesta con vistas a obtener la informaron técnica necesaria para lograr el cálculo de las emisiones atmosféricas. Esta encuesta se realizó, fuente por fuente, por especialistas del Centro de Contaminación y Química de la Atmósfera, y sus parámetros técnicos se detallan en la [NC: 1049/2014](#).

A pesar de sus limitaciones, el cálculo de las emisiones mediante los factores de emisión, a menudo, constituyen el mejor o el único método disponible para calcular 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).

A partir de la ecuación 1, se estiman las emisiones por el método de factores de emisión.

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

donde:

E es la emisión (g/s)

FE es el factor de emisión (g/kg)

A es el nivel de intensidad de la actividad (consumo de combustibles, producción), en unidades de masa o volumen por tiempo

ER es la eficiencia global en la reducción de emisiones (%).

Los factores de emisión utilizados en este resultado se obtuvieron de las fuentes siguientes: Compilación de factores de emisión de contaminantes atmosféricos (Emission Factor and Inventory Group), AP-42 (EPA, 1995) y el software Industrial Pollution Control (Control de Contaminación Industrial), desarrollado por el Banco Mundial, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS).

Entre las industrias más importantes por sus volúmenes de producción se encuentra Antillana de Acero. Para el tipo de proceso industrial que desarrolla esta industria, se determinaron los contaminantes que emiten las chimeneas en cada paso del flujo productivo (Gobierno Vasco, 2007; Batule, 2012). Asimismo, dados su producción y su volumen de emisiones, otras industrias importantes son la refinería y aquellas que generan electricidad.

Resultados y Discusión

Inventario general de emisiones de La Habana

La tabla 1 muestra el inventario de emisiones realizado en las principales fuentes fijas de La Habana. Se aprecia las emisiones

a la atmósfera (t/año) de los principales contaminantes atmosféricos que provocan diversos impactos a la salud humana, los ecosistemas terrestres y acuáticos (WHO, 2000, 2006).

El SO₂ es el contaminante que más se emite a la atmósfera, seguido del NO₂, mientras que el CO ocupa el tercer lugar entre las emisiones. Por tanto, los compuestos gaseosos derivados de la quema de los combustibles fósiles son los principales contaminantes emitidos por las fuentes fijas de La Habana. También se aprecia en la tabla que la fuente más potente en la ciudad es la Refinería Níco López, ubicada en el municipio de Regla (Figura 1), donde se hallan las fuentes más potentes del área de estudio.

Antillana de Acero resulta la fuente fija que mayor cantidad de material particulado emite a la atmósfera. Estas dos importantes fuentes de La Habana tienen un peso fundamental en el deterioro de la calidad del aire; por tanto, deben ser priorizadas en todas las actividades regulatorias y de gestión ambiental que se programen en el territorio. Por su influencia en el deterioro de la calidad del aire, estas dos industrias están identificadas por el CITMA de la ciudad en su Estrategia Ambiental La Habana 2011-2015.

Tabla 1. Emisiones por fuentes de los contaminantes principales de La Habana (t/año)

Tipos fuentes	NO ₂	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	COVDM
Termoeléctricas	574.2	2925.3	32.5	16.3	87.6	5.9
Grupos electrógenos régimen base	363.5	84.1	1.6	0.8	7.8	0.7
Grupos electrógenos emergencias	581.6	547.4	8.6	4.3	49.3	6.2
Calderas	237.2	2 980.3	91.3	68.5	27.1	2.0
Hornos e incineradores	285.8	2 391.9	122.1	91.8	30.5	2.1
Antillana de Acero	119.8	1 684.4	1 621.4	810.7	2 335.4	5.3
Refinería	5 110.1	14 478.7	434.2	219.1	4 726.1	97.8
Total	7 272.1	25 092.2	2 316.9	1 212.0	7 268.5	120.0

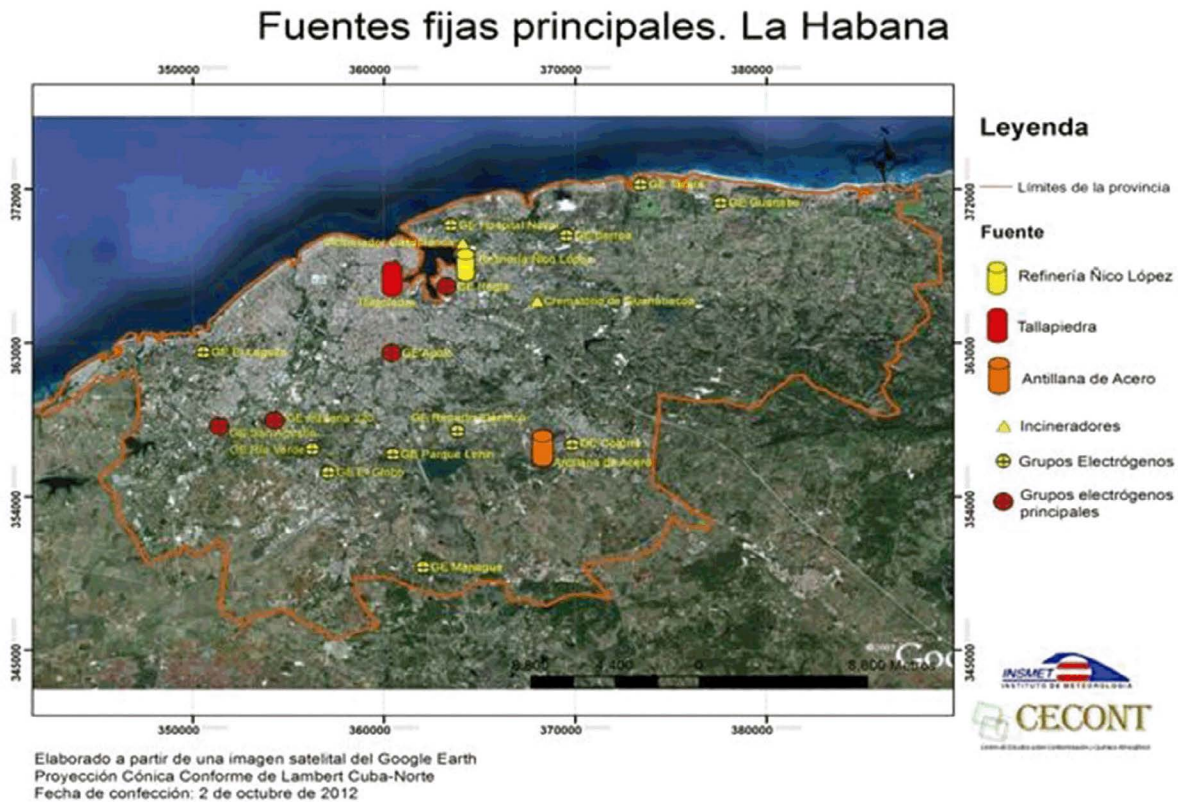


Figura 1. Fuentes fijas industriales principales de La Habana

Los estudios realizados sobre el impacto de las emisiones a la atmósfera de algunas de estas fuentes (Cuesta *et al.*, 2009, 2010, 2012; Batule, 2012), muestran que su ubicación al este de los principales núcleos poblacionales de la ciudad propicia que las condiciones meteorológicas más recurrentes favorezcan la incidencia de estas emisiones en la población. Asimismo, las condiciones de alta estabilidad atmosférica y poca dispersión en horas de la madrugada y la mañana provocan gran acumulación de contaminantes sobre las áreas de mayor densidad poblacional (Figura 2); además de su transporte del sureste al noroeste por la presencia del terral, como se apreciar en la fotografía del día 6 de enero de 2012.



Figura 2. Fotografía sobre la acumulación de contaminantes el día 6 de enero de 2012

Los valores obtenidos de las emisiones a la atmósfera por las principales fuentes fijas de La Habana son muy superiores a

los presentados para el SO₂ en la provincia de Villa Clara ([Nuñez et al., 2012](#)) y los referenciados en la ciudad de Pinar del Río ([Rodríguez et al., 2012](#)). Estos son los inventarios efectuados hasta el momento a nivel de ciudad y de provincia; por tanto, la realización del inventario nacional es un tema pendiente para la comunidad científica nacional.

Inventario general de emisiones de La Habana por municipios

Al analizar las emisiones a la atmósfera provocadas por los 15 municipios de La Habana (Tabla 2), puede apreciarse que el mayor emisor de los compuestos gaseosos es el municipio de Regla, lo cual ratifica la información cualitativa precedente, reflejada en diversos trabajos ([CITMA, 2004](#); [Fernández & Pérez, 2009](#)).

Tabla 2. Emisiones de los contaminantes atmosféricos principales de los municipios de La Habana (t/año)

Tipo de fuentes	NO ₂	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO	COVDM
Playa (1)	17.6	108.1	2.09	1.51	1.93	0.19
Plaza Revolución (2)	15.09	179.97	4.30	3.15	2.20	0.17
Centro Habana (3)	4.10	54.60	1.75	1.31	0.44	0.031
Habana Vieja (4)	574.59	2930.10	32.54	16.31	87.62	5.88
Regla (5)	5 569.72	17 831.91	591.71	333.95	4 773.18	100.88
Habana del Este (6)	397.30	474.94	8.28	4.77	34.04	4.20
Guanabacoa (7)	8.22	97.34	2.26	1.68	0.99	0.075
San Miguel (8)	2.73	30.96	1.21	0.91	0.31	0.022
10 de Octubre (9)	68.04	95.33	3.11	2.30	1.50	0.12
Cerro (10)	15.30	183.24	5.51	4.12	1.91	0.14
Marianao (11)	146.16	42.22	0.85	0.54	2.14	0.22
La Lisa (12)	112.99	695.12	20.02	14.94	6.77	0.58
Boyeros (13)	109.75	113.43	1.90	1.02	9.32	1.16
Arroyo Naranjo (14)	58.92	169.80	3.85	2.70	5.38	0.61
Cotorro (15)	171.53	2 085.20	1 637.50	822.75	2 340.62	5.76
Total	7 272.1	25 092.2	2 316.9	1 212.0	7 268.5	120.0

En el nivel de emisiones de SO_2 le continúan Habana Vieja y Cotorro; este último municipio se ratifica como el mayor emisor de PM_{10} . Como grandes emisores de SO_2 le siguen los municipios de La Lisa, Habana del Este y Cerro.

También se destacan como grandes emisores de NO_2 los municipios de Regla, Habana Vieja, Habana del Este, Cotorro y Marianao; como emisores de polvo, además del mencionado Cotorro, sobresalen Regla, Habana Vieja y La Lisa. Asimismo, el CO y los COVDM presentan comportamientos similares por municipios.

Las figuras 3 y 4 muestran el comportamiento por municipios de las emisiones de SO_2 y PM_{10} , respectivamente. Para el contaminante gaseoso SO_2 se presentan, por orden, el municipio de Regla, la Habana Vieja, Cotorro y La Lisa.

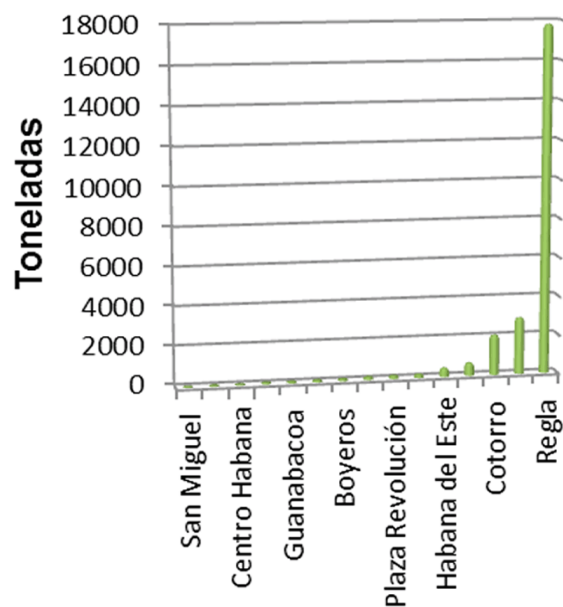


Figura 3. Emisiones de SO_2

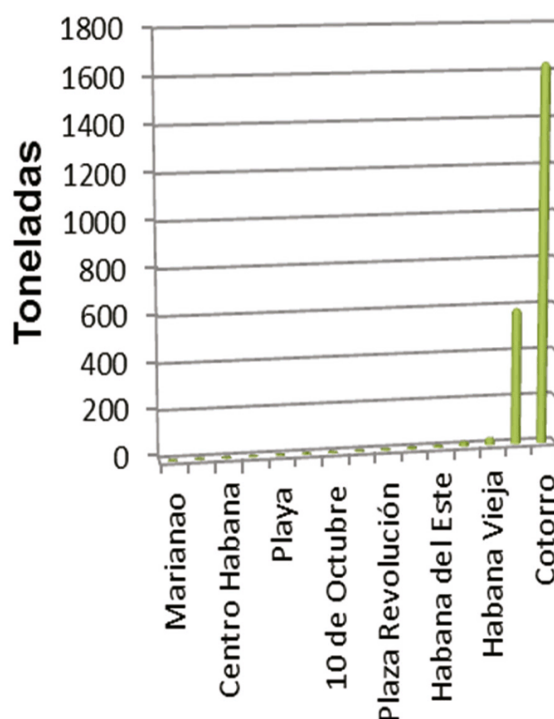


Figura 4. Emisiones de PM_{10}

El PM_{10} es emitido, mayoritariamente, en los municipios de Cotorro, Regla y Habana Vieja; para estos dos últimos municipios, en zonas muy pobladas.

El trabajo realizado incluye el inventario detallado de las fuentes fijas principales de los 15 municipios habaneros, que en la actualidad contiene alrededor de 200 fuentes. A continuación, se analiza el inventario del municipio de Cotorro.

Inventario de las emisiones de las fuentes fijas principales del municipio de Cotorro

En el inventario de emisiones a la atmósfera del municipio de Cotorro (Tabla 3), referente a las fuentes fijas, se tiene un total de 15 industrias. Por el volumen de sus emisiones, destacan Antillana de Acero, aunque también el grupo electrógeno y la UEB Julio A. Mella presentan emisiones significativas.

Tabla 3. Emisiones por fuentes fijas de los contaminantes atmosféricos principales del Municipio de Cotorro 2010 (t/año)

No.	Nombres fuentes	NO ₂	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}	CO	COVDM
1	Complejo Lácteo, MINAL	0.5425067	4.5269928	0.2331912	0.1753752	0.057816	0.00404712
2	Queso Managua, MINAL	1.972752	26.336064	0.847968	0.637728	0.21024	0.0147168
3	Establecimiento 105 La Vaquita, MINAL	0.90919255	12.1376398	0.39080745	0.29391304	0.09689441	0.00678261
4	UM 1024, MINFAR	0.200896	2.481416	0.016352	0.011096	0.03504	0.0028616
5	UEB Julio A. Mella, MINBAS	21.2727743	177.512422	9.14389234	6.87681159	2.26708075	0.15869565
6	La Española, MINIL	3.26789251	43.6260748	1.40467138	1.05640575	0.34826563	0.02437859
7	Cervecería Guido Pérez, MINAL	5.24534161	70.0248447	2.25465839	1.69565217	0.55900621	0.03913043
8	Fábrica de yogurt Moralitas, MINAL	0.10772067	1.43806133	0.04630267	0.03482267	0.01148	0.0008036
9	Recapadora, MINBAS	2.88190725	38.4732058	1.23875942	0.93162899	0.30713043	0.02149913
10	EPI Cabildo, OH	0.012556	0.1550885	0.001022	0.0006935	0.00219	0.00017885
11	EIEFD: Escuela Internacional de Deporte, INDER	0.786214	10.34336275	0.287633	0.21545525	0.093585	0.00684478
12	Antilla de Acero, SIME	38.25432	-	1621.41876	810.70938	2326.6152	5.33052
13	Antilla de Acero-Horno 250, SIME	48.91536	1010.60388	-	-	5.33052	-
14	Antilla de Acero-Horno 300, SIME	32.61024	673.84044	-	-	3.44916	-
15	GEE Cotorro, MINBAS	14.5547945	13.6986301	0.2140411	0.10702055	1.23287671	0.15410959
Total	171.534468	2085.1981	1637.4981	822.74598	2340.6165	5.7645688	

Estas tres industrias deben aplicar regulaciones ambientales con miras a minimizar sus emisiones, puesto que provocan concentraciones de algunos contaminantes por encima de las concentraciones máximas admisibles establecidas en la *Norma cubana 1020:2014*, según los resultados obtenidos en el proyecto de investigación Caracterización de la dispersión de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos emitidos por las principales fuentes fijas y su impacto potencial en La Habana.

La figura 5 muestra la ubicación espacial de las fuentes fijas del municipio de Cotorro. La posición de Antillana de Acero en las cercanías del poblado de Cotorro provoca que sus emisiones afecten zonas pobladas de ese municipio, especialmente el SO_2 y el PM_{10} ([Batule, 2012](#)).

De acuerdo con el *radio mínimo admisible* (RMA) establecido en la [NC: 1059/2014](#), las fuentes fijas se clasifican en cinco categorías, según su peligrosidad y su potencia.

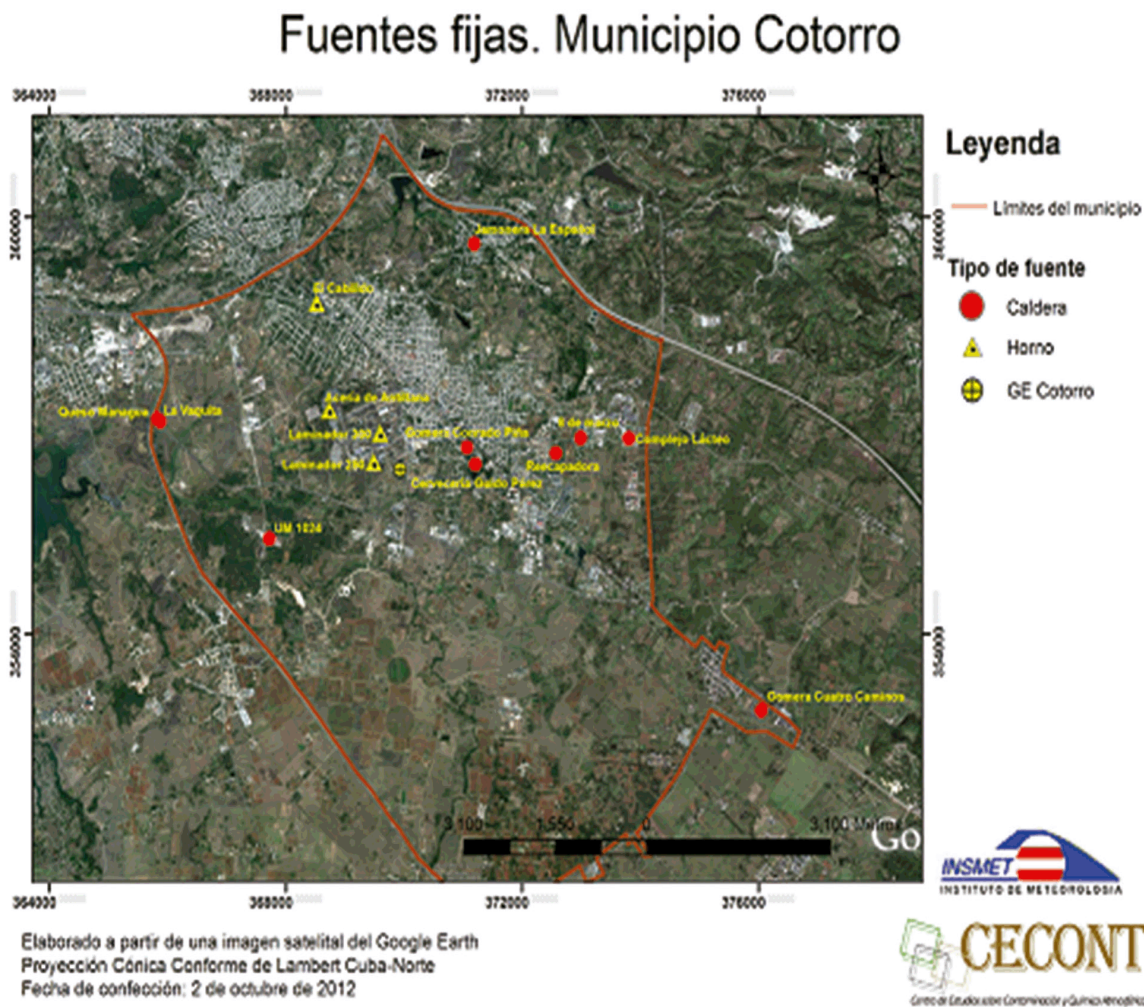


Figura 5. Fuentes fijas principales del municipio de Cotorro

Las tres primeras categorías de fuentes no deben ubicarse en zonas pobladas, mientras que una parte considerable de las instalaciones de clase IV y V se localizan en la trama urbana, con lo cual se incumplen los parámetros normados para su ubicación, o sea, funcionan en zonas residenciales con viviendas en sus proximidades.

En general, las fuentes fijas de los municipios de La Habana no cumplen con las normas de calidad del aire con respecto al radio mínimo de protección que debe existir entre las fuentes y las zonas de viviendas. Los procesos de combustión de muchos establecimientos deben mejorar su eficiencia y la calidad del combustible con miras a reducir las emisiones a la atmósfera.

Conclusiones

- En el inventario de emisiones de las principales fuentes fijas de la provincia de La Habana puede apreciarse la emisión a la atmósfera de más de 25 000 toneladas al año de SO₂, alrededor 7 300 toneladas al año de NO₂ y más de 2 300 toneladas al año de material particulado menor de 10 µm, potencialmente dañinos a la salud humana.
- Los municipios de Regla y Habana Vieja son los máximos emisores de contaminantes gaseosos (SO₂, NO₂, CO y COVDM) a la atmósfera de La Habana, mientras que Cotorro es el mayor emisor de material particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}). La Refinería Níco López, la Termoeléctrica de Tallapiedra y Antillana de Acero son las industrias que más contaminantes emiten a la atmósfera, y sobre las cuales se deben mantener medidas de control y regulación ambiental en aras de mitigar las emisiones. Además, deberán implementarse planes de reducción con mejoras tecnológicas.

- Una gran cantidad de las fuentes fijas de los municipios de La Habana no cumplen con las normas de calidad del aire respecto al radio mínimo de protección que debe existir entre las fuentes y la zona de viviendas. Los procesos de combustión de muchos establecimientos deben mejorar su eficiencia y la calidad del combustible con miras a reducir las emisiones a la atmósfera.
- Este inventario de emisiones es una nueva herramienta con la que deben contar las autoridades ambientales para su trabajo local. Asimismo, es un paso importante en pos de lograr, en el futuro, la implementación de un pronóstico de la calidad del aire para la ciudad de La Habana con el uso de diversos modelos.

Recomendaciones

- ◆ Se recomienda la actualización anual del inventario de emisiones de contaminantes a la atmósfera de la ciudad, con la contribución de todos los organismos interesados en la protección del medio ambiente, y lograr un sistema informativo adecuado y estable con vistas a obtener información confiable.

Agradecimientos

- ◆ Los autores desean expresar su agradecimiento a los especialistas municipales del CITMA, por su colaboración en el levantamiento de la información tecnológica y de producción de las principales fuentes fijas de sus respectivos municipios. Asimismo, agradecer a la Delegación Provincial del CITMA en La Habana, por su ayuda y la introducción de este trabajo en sus actividades de gestión ambiental.

Referencias

- Batule, L. 2012. *Modelación de la dispersión de los contaminantes atmosféricos emitidos por la Antillana de Acero. Estudio de caso: Cotorro*. Tesis de Diploma, La Habana, Cuba: Universidad de La Habana, 144 p.
- Bromberg, S. 1999. *Handbook for criteria pollutant inventory development: a beginner's guide for point and area sources*. Research Triangle Park, N.C.: U.S. Environmental Protection Agency-Office of Air Quality Planning and Standards.
- CITMA (Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente). 2004. *Perspectivas de Medio Ambiente Urbano: Geo La Habana*. La Habana, Cuba: SI-MAR S.A., 183 p., ISBN: 959-264-017-3, Available: <http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9228/-Perspectivas_de_Medio_Ambiente_Urbano_-_GEO_La_Habana-2004GEO_LaHabana_2004.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=y>, [Consulted: October 27, 2016].
- Cuesta, O.; Collazo, A.; González, Y.; Carrillo, E.; Sosa, C.; Manrique, R.; Sanchez, P.; Valdés, A.; Manso, R.; Batule, L.; López, R.; García, E.; Marcelo, G. & Alonso, A. 2012. *Inventario de las emisiones de las principales fuentes fijas industriales de La Habana*. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, p. 74.
- Cuesta, O.; Sanchez, P.; López, C.; Pérez, R.; Marín, M.; Biart, R. & Villarroel, J. 2009. "Estado de la Contaminación Atmosférica en Cuba". In: *GEO CUBA. Evaluación del medio ambiente cubano*, La Habana, Cuba, p. 18.
- Cuesta, O. & Wallo, A. 2010. "Fuentes de contaminación atmosférica y su relación con la calidad del aire". In: *XV Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura*, La Habana, Cuba: CUJAE, p. 15, ISBN: 978-959-261-331-7.
- Cuesta, O.; Wallo, A.; Collazo, A.; López, C.; Roque, A.; Campos, A.; Álvarez, L.; González, R.; Arriba, A.; González, M.; Pérez, D.; Labrador, R.; Sanchez, P.; Rivero, I.; Echevarría, E.; Ananias, G. & Manso, R. 2000. *Caracterización del medio ambiente atmosférico en la ribera este de la bahía de La Habana*. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, p. 235.
- Cuesta, O.; Wallo, A.; Montes De Oca, L.; Pierra, A. & Tricio, V. 2010. "Calidad del aire en zonas urbanas de Cuba". In: *CONAMA 10*, Madrid, España: Fundación CONAMA, p. 12, ISBN: 978-84-614-8373-0, Available: <<http://www.conama10.vsf.es/download/bancorecursos/Informe%20Conama%2010.pdf>>, [Consulted: October 27, 2016].
- Cuesta, O.; Wallo, A.; Sanchez, P.; Collazo, A.; González, M.; Turtos, L.; Paz, E.; Rabelo, V. & Padrón, M. 2008. *Propuesta para la determinación de las emisiones máximas admisibles en las industrias de diversos sectores productivos*. La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, p. 45.
- DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental). 2005. *Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos*. Available: <http://www.digesa.sld.pe/norma_consulta/protocolo_calidad_de_aire.pdf>, [Consulted: October 27, 2016].
- EMEP/CORINAIR. 2007. *Guía para la realización del inventario de emisiones atmosféricas de la Agencia Europea de Medioambiente*. 244 p.

- EPA (Environmental Protection Agency). 1997. *The Values of QA/QC*. North Carolina, Research Triangle Park, U. S.: Emission Inventory Improvement Program, p. 16.
- EPA (Environmental Protection Agency). 1995. *Compilation of air pollutant emission factors*. Research Triangle Park, NC: Office of Air Quality Planning and Standards-Office of Air and Radiation-U.S-Environmental Protection Agency.
- Fernández, M. A. & Pérez, de los R. R. 2009. *GEO Cuba: evaluación del medio ambiente cubano*. La Habana, Cuba: Agencia de Medio Ambiente, 293 p., ISBN: 978-959-300-002-4.
- Gobierno Vasco 2007. *Guía técnica para la medición, estimación y cálculo de las emisiones al aire*. Departamento de medio ambiente y ordenación del territorio, p. 79.
- Núñez, V.; Moya, A.; Álvarez, W.; Rodríguez, R.; Oses, R.; Otero, M.; Puron, M.; Martínez, I.; Herrera, I.; Pedraza, J.; Morales, M.; Martín, J. & Sanchez, D. 2012. "Fuentes fijas responsables de las máximas emisiones de SO₂ en la provincia de Villa Clara, Cuba. Primer semestre de 2011". In: *Convención Internacional Trópico 2012*, La Habana, Cuba: Instituto de Geografía Tropical, p. 18, Available: <http://www.portalferias.com/convencion-tropico-2012-cuba_8462.htm>, [Consulted: October 27, 2016].
- Oficina Nacional de Normalización. 2014. *Calidad del aire. Metodología para modelar las afectaciones de la calidad del aire a escala local debido a las emisiones de contaminantes atmosféricos desde fuentes fijas*. no. NC: 1059/2014, La Habana, Cuba, p. 81.
- Oficina Nacional de Normalización. 2014. *Guía de datos tecnológicos para inventario de emisiones de los contaminantes atmosféricos desde fuentes industriales estacionarias*. no. NC: 1049/2014, La Habana, Cuba, p. 16.
- Rodríguez, V. D.; Echevarría, P. L.; Cuesta, S. O. A.; Collazo, A. A. E.; Sánchez, D. A. & Gato, D. A. L. 2012. "Métodos teóricos para calcular parámetros tecnológicos de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por fuentes fijas: caso de estudio ciudad de Pinar del Río". *Nereis: Revista Iberoamericana Interdisciplinar de Métodos, Modelización y Simulación*, (4): 19–30, ISSN: 1888-8550.
- WHO (World Health Organization). 2000. *Air quality guidelines for Europe*. (ser. European, no. ser. 91), 2nd ed., Copenhagen: World Health Organization-Regional Office for Europe, 273 p., Available: <<http://site.ebrary.com/id/10040321>>, [Consulted: October 27, 2016].
- WHO (World Health Organization). 2006. *WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: global assessment 2005*. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 496 p., Available: <http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair_aqg/en/index.html>, [Consulted: October 27, 2016].