

Inventario nacional de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas

National inventory of atmospheric emissions of main stationary sources

Oswaldo Cuesta-Santos^{1✉}, Carlos Sosa-Pérez¹, Caridad Iraola-Ramírez¹, Yosdany González-Jaime¹, Vladimir Nuñez-Caraballo², Aramis Fonte-Hernández³, Caridad Imbert-Lamorú⁴, Sinai Barcia-Sardiñas⁵, Yanssel Gómez-Zamora⁶, Dianelis Portal-Castillo⁷.

¹ Instituto de Meteorología, Cuba

² Centro Meteorológico Provincial, Villa Clara, Cuba

³ Centro Meteorológico Provincial, Camagüey, Cuba

⁴ Centro Meteorológico Provincial, Santiago de Cuba, Cuba

⁵ Centro Meteorológico Provincial, Cienfuegos, Cuba

⁶ Centro Meteorológico Provincial, Artemisa, Cuba

⁷ Centro Meteorológico Provincial, Sancti Spiritus, Cuba

Resumen

La determinación cuantitativa de las emisiones de contaminantes por las fuentes fijas en Cuba y sus efectos potenciales en el medio ambiente, es un estudio necesario y urgente. Se presenta el primer inventario de emisiones de las fuentes fijas del país. El conocimiento de estas emisiones es una valiosa herramienta para la mitigación del cambio climático y la gestión ambiental. Se utilizan las metodologías correspondientes a la USEPA y la Agencia Ambiental Europea y las mediciones de las emisiones in situ es una de las herramientas utilizadas. Los resultados muestran la emisión a la atmósfera de más de 273 mil toneladas de SO_2 . Mientras que para el NO_2 se emiten alrededor 98 mil toneladas al año. El PM_{10} potencialmente dañino a la salud humana alcanza más de 55 mil toneladas al año. Las provincias que más emiten SO_2 a la atmósfera son Artemisa, Camagüey y Cienfuegos, en ellas están presentes potentes centrales termoeléctricas y refinerías. Por municipios tenemos que los más emisores de contaminantes gaseosos (SO_2 , NO_2 , CO y COVDM) son Mariel y Nuevitas. También Cienfuegos, Matanzas y Regla son grandes emisores. Coincidiendo con zonas urbanas con calidad del aire comprometida. Por lo tanto se deben mantener medidas de control y regulación ambiental para mitigar las emisiones. Además de implementar planes de reducción con mejoras tecnológicas. Este inventario que utiliza la metodología de abajo – arriba puede comprobar los cálculos obtenidos en los Inventarios de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero disminuyendo las incertidumbres y por lo tanto lograr escenarios de mitigación más precisos para el cambio climático.

Palabras Clave: inventario de emisiones, fuentes contaminantes, cambio climático

✉ Autor para correspondencia: *Oswaldo Cuesta-Santos*. E-mail: oswaldo.cuesta@insmet.cu

Recibido: 30/3/2017

Aceptado: 26/5/2017

Abstract

The quantitative determination of the emissions of pollutants by fixed sources in Cuba and their potential effects on the environment is a necessary and urgent study. The first inventory of emissions from the country's fixed sources is presented. Knowledge of these emissions is a valuable tool for mitigating climate change and environmental management. The methodologies corresponding to USEPA and the European Environmental Agency are used. In-situ emission measurements are also one of the tools used. The results show the emission to the atmosphere of more than 273 thousand tons per years of SO₂. While NO₂ is emitted around 98 thousand tons per year. The PM₁₀ potentially harmful to human health reaches more than 55 thousand tons per year. The provinces that emit more SO₂ to the atmosphere are Artemisa, Camagüey and Cienfuegos. Power plant and refineries are present in these provinces. By municipalities we have that the most emitters of gaseous pollutants (SO₂, NO₂, CO and NMVOC) are Mariel and Nuevitás. Also Cienfuegos, Matanzas and Regla are great emitters. Coinciding with urban areas with compromised air quality. Environmental control and regulation measures should therefore be maintained to mitigate emissions. In addition to implementing reduction plans with technological improvements. This inventory using the bottom-up methodology can verify the calculations obtained in Greenhouse Gas Emissions Inventories by reducing uncertainties and thus achieving more accurate mitigation scenarios for climate change.

Key words: emissions inventory, polluting sources, climate change

Introducción

La solución a los actuales problemas ambientales constituye un paso fundamental para el desarrollo de la vida con sentido de sostenibilidad. La satisfacción de tal aspiración es condicionada en buena medida por la preservación de una atmósfera limpia dada la incidencia de este medio en la dinámica de la biosfera, resultando premisa indispensable el conocimiento de los mecanismos de incorporación de contaminantes al aire, sus tiempos de vida atmosférica, reacciones de combinación y vías de remoción entre otros aspectos, considerando que los enfoques del problema varían en dependencia del contexto espacial y temporal involucrado.

Existen sobradas evidencias que muestran la incidencia negativa de una deficiente calidad del aire en ciudades y zonas industriales en la salud humana y los ecosistemas. La contaminación atmosférica incide y agrava procesos asociados a enfermedades respiratorias, vasculares y a diversos tipos de cáncer ([Molina et al., 2001](#); [Romero et al., 2004](#); [Cuesta & Wallo, 2009](#)).

Entre las causas fundamentales que generan los problemas de contaminación atmosférica en Cuba tenemos: errores de planificación territorial; uso de tecnologías obsoletas en industrias y el transporte; no existencia de tratamientos en las emisiones a la atmósfera; la educación ambiental e información a la comunidad ([Cuesta et al., 2014](#); [Cuesta et al., 2015](#)).

Los estudios cualitativos y cuantitativos de la contaminación atmosférica en las ciudades cubanas reflejan que Mariel, Nuevitás, Moa, La Habana; Santiago de Cuba; Cienfuegos y Matanzas presentan niveles críticos y pésimos. Mientras que con malo y deficiente encontramos 5 y 11 ciudades respectivamente; el resto posee calidad de aire buena y aceptable ([PNUMA 2009](#); [Cuesta et al., 2014](#)).

Contar con un inventario de emisiones a la atmósfera actualizado es una buena herramienta para la gestión del medio ambiente atmosférico. Nos permite conocer la primera parte del ciclo de transmisión de contaminantes (*las emisiones*) con el fin de conocer la cantidad de contaminantes emitidos por las fuentes fijas o estacionarias, identificando en esta ocasión a los

contaminantes primarios o principales. Además de cuantificar las emisiones, también se identificarán las fuentes y las instituciones responsables, con el fin de implementar medidas de control y establecer futuras estrategias de mitigación.

Los principales contaminantes emitidos a la atmósfera son producto de las actividades generadoras de la energía, las industriales y otras actividades económicas del territorio. En el presente trabajo se estudiarán el Dióxido de Azufre (SO₂), el Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Monóxido de Carbono (CO) y el Material Particulado de 10 y 2,5 micrómetros (PM₁₀ y PM_{2,5}) y los Compuestos Orgánicos Volátiles diferentes del Metano (COVDM).

En el estudio de la eficacia de los diversos medios de lucha contra la contaminación atmosférica, es importante conocer las relaciones que existen entre la emisión, transporte atmosférico y transformación de contaminantes. Y es aquí donde la modelación matemática de los procesos atmosféricos desempeña un papel importante al contribuir a cubrir el espacio que hay entre las observaciones de campo y la comprensión detallada de dichos fenómenos (Collazo, 2007). Este inventario es un paso para lograr el objetivo de conocer la dispersión de estos contaminantes a nivel nacional y también poder aplicar esta herramienta en la gestión del medio ambiente atmosférico.

El conocimiento de la calidad del aire en una zona determinada es un dato imprescindible para el diseño de la protección de los seres vivos y de su hábitat. Conocer con qué fuentes, con qué sustancias y en qué medida se contamina una región es un estudio de suma importancia en la actualidad, donde cada vez más la actividad humana influye en el cambio negativo de su entorno y donde se impone una labor pensada y planificada para su posible mitigación. El conocimiento de estas emisiones son una valiosa herramienta de gestión ambiental para el control y mitigación de la contaminación atmosférica.

Materiales y Métodos

Existen variadas metodologías para realizar los inventarios de emisiones según sus propósitos y alcances. Con el fin de armonizar las distintas metodologías utilizadas en los países miembros de la Comunidad Europea, en lo referente a inventarios de emisiones, la Comisión de Comunidades Europeas desarrolló la metodología CORINAIR de la cual se toman las ideas fundamentales para el presente trabajo, [EMEP/CORINAIR \(2007\)](#). También la metodología explicada en el documento de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (U. S. EPA. Documento, AP-42, 1995a) ha contribuido al desarrollo del presente inventario, el cual toma como año base el 2014.

En el contexto nacional también se han desarrollado trabajos en este sentido, los que fundamentalmente se han dirigido a conocer las emisiones de gases de efecto invernadero, apareciendo reflejado en los trabajos de ([López et al., 2009](#); [Carrillo et al., 2016](#)), más reciente se han desarrollado los trabajos de ([Rodríguez et al., 2009](#); [Cuesta et al., 2010](#); [Núñez et al., 2012](#); [Cuesta et al., 2012, 2016](#)), estando encaminados estos últimos a cuantificar las emisiones de fuentes puntuales industriales.

En Cuba para la realización de inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos a escala local se siguen los procedimientos reflejados en la [NC 1049: 2014](#), la cual establece los datos tecnológicos que se han de tener en cuenta para la realización de inventario de emisiones, generada por fuentes puntuales industriales.

Estos datos son fundamentales para efectuar un cálculo adecuado de dichas emisiones a la atmósfera. La metodología se propone normalizar la estimación de las emisiones, a partir de conocer un conjunto de parámetros tecnológicos de las fuentes industriales estacionarias, con el propósito de establecer un ordenamiento en las actividades nacionales de gestión orientadas a la prevención, reducción y control de la contaminación.

El cálculo de las emisiones utilizando factores de emisión, con frecuencia, constituyen el mejor o el único método disponible para calcular las emisiones, a pesar de sus limitaciones. 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](#)).

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

donde:

E - Emisión en g/s

FE - Factor de emisión en g/kg

A - Nivel de intensidad de la actividad (consumo de combustibles, producción), en unidades de masa o volumen por tiempo

ER - Eficiencia global en la reducción de emisiones (%)

Los factores de emisión utilizados en este resultado se obtuvieron a través de las fuentes siguientes: Compilación de factores de emisión de contaminantes atmosféricos (Emission Factor and Inventory Group) AP-42 ([U.S. EPA, 1995a](#)) y del 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).

Por otro lado se utilizan valores de emisiones medidos en calderas, grupos electrógenos y centrales termoeléctricas desarrollados por Cubaenergía y la Universidad Central de Villa

Clara ([Núñez et al., 2013; Roig et al., 2016](#)), los cuales son una importante contribución al conocimiento de las emisiones en Cuba y se han utilizado en la confección del presente inventario nacional de emisiones asociados a las fuentes fijas.

Resultados y Discusión

El inventario nacional de las emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas del país se realizó a lo largo y ancho de toda la geografía cubana, incluyendo sus cayos. El mismo abarca las 15 provincias y el municipio especial Isla de la Juventud ([Figura 1](#)), lo que representa alrededor de 1000 fuentes de las que se obtienen una gran cantidad de información tecnológica y de producción que permite sentar las bases para conocer las emisiones de cada localidad. También esta información permite continuar los trabajos de modelación de la dispersión de contaminantes en la atmosfera en todo el territorio nacional, lo cual es una buena herramienta para conocer los impactos que estos pueden producir en la salud humana y sobre los ecosistemas acuáticos y terrestres.

El inventario de emisiones realizado en las principales fuentes fijas de Cuba para el año base 2014, se muestra en la [tabla 1](#), donde se aprecian las emisiones a la atmósfera en ton/año de los principales contaminantes atmosféricos que provocan diversos impactos a la salud humana, los ecosistemas terrestres y acuáticos.

El contaminante que más se emite a la atmósfera en nuestro país es el SO₂, seguido del NO₂, mientras que el CO ocupa el tercer lugar



Figura 1. División político administrativa de la República de Cuba

Tabla 1. Emisiones de los contaminantes atmosféricos principales por provincias durante el 2014, en Toneladas al año (Ton/Año)

Provincia	NO ₂	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	COVDM
21. Pinar del Río	214,357	2691,119	103,278	39,723	306,369	7,752
22. Artemisa	7628,949	69403,261	2455,845	1843,266	2835,641	70,841
23. La Habana	12264,564	29087,895	2435,431	1277,132	7609,509	161,399
24. Mayabeque	4270,114	5815,28	17594,698	10464,012	465,739	22,906
25. Matanzas	5413,739	21799,617	2022,909	1357,001	556,941	22,175
26. Villa Clara	4232,085	6710,817	5034,87	2357,655	4062,477	6,301
27. Cienfuegos	31462,577	39522,612	4099,856	3336,19	1558,538	127,701
28. Santi Spiritus	747,017	3511,336	2031,756	1136,548	36,720	1,802
29. Ciego de Ávila	5007,095	6493,558	2734,782	1223,523	2330,526	4,266
30. Camagüey	8239,434	44293,101	3498,747	1506,679	583,109	46,391
31. Las Tunas	4270,629	6372,295	4178,015	2729,515	1328,57	24,2876
32. Holguín	9109,329	24815,531	4769,522	2748,072	7866,627	54,67
33. Granma	662,3995	643,186	1888,507	1072,842	73,83	24,227
34. Santiago de Cuba	3037,962	11502,063	1970,639	1145,631	568,951	34,437
35. Guantánamo	69,095	102,25	463,674	259,397	3,182	0,249
40. Isla de la Juventud	744,183	1000,788	200,720	97,207	841,106	1,080
Total	97373,53	273764,71	55483,25	32594,39	31027,84	610,49

Nota: código de provincias según la ONEI

entre las emisiones gaseosas ([Figura 2](#)). Por lo tanto los compuestos gaseosos derivados de la quema de los combustibles fósiles son los principales contaminantes emitidos por las fuentes fijas en nuestro país. Le siguen en magnitud el material particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}) y por último los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano.

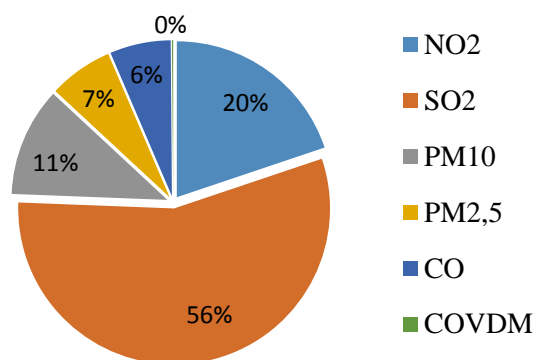


Figura 2. Distribución porcentual de las emisiones de los contaminantes principales en Cuba

En cifras globales para el país, por fuentes fijas, la emisión de SO₂ es de alrededor de 274 mil toneladas al año, lo que representa el 56% de los contaminantes principales. El NO₂ con una emisión de casi 98 mil toneladas es el segundo en cantidad con un 20% del total. El material particulado representa el 18% de las emisiones, con más de 88 mil toneladas.

También se aprecia en la [figura 3](#) que las provincias que más emiten SO₂ a la atmosfera es Artemisa, Camagüey y Cienfuegos, seguidas de La Habana y Holguín, esta última provincia no tenía estimadas todas las emisiones de sus fuentes fijas, por lo que en futuros inventarios debe completarse esta información. En estas provincias están presentes potentes fuentes asociadas al sector de la energía (centrales termoeléctricas y refinerías), las cuales producen emisiones por el alto contenido de azufre en el combustible utilizado.

Mientras que las provincias que más emiten NO₂ a la atmosfera ([Figura 4](#)) son Cienfuegos,

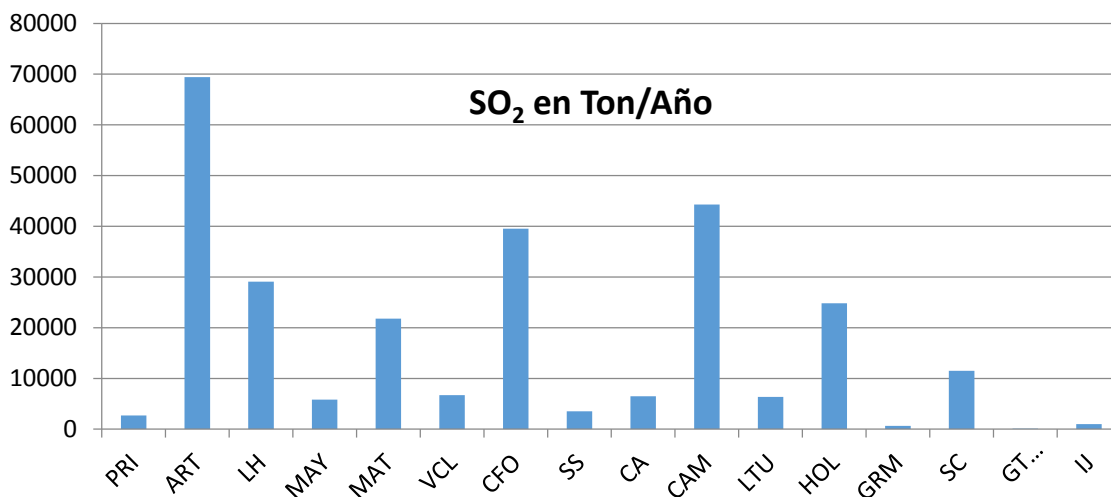


Figura 3. Emisiones de SO₂ por provincias

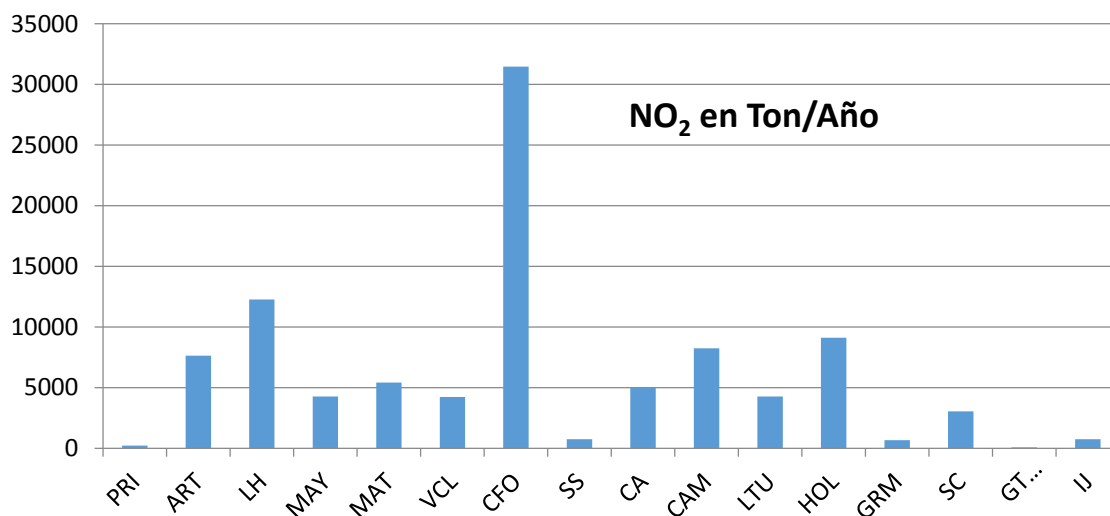


Figura 4. Emisiones de NO₂ por provincias

seguida de La Habana, Holguín y Camagüey. En estas provincias también están presentes potentes fuentes asociadas al sector de la energía (refinerías, centrales termoeléctricas y grupos electrógenos). En el caso de las provincias de Cienfuegos, Holguín y Camagüey también se adiciona la contribución de este contaminante por la presencia de la quema del bagazo por los centrales azucareros.

Por otro lado, en la [figura 5](#) se muestra que las provincias de Mayabeque, Villa Clara, Holguín y Las Tunas son las mayores emisoras

de Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}) asociado a la quema de la biomasa para la obtención de azúcar y sus derivados y la generación de electricidad.

En el caso del Monóxido de Carbono ([Figura 6](#)) las provincias más emisoras son Holguín, La Habana, Villa Clara y Ciego de Ávila, estas altas emisiones son muestras de la no eficiencia de la combustión en las calderas debido al mal estado técnico de las mismas. En el país se emiten más de 31 mil toneladas al año.

Mientras que los Compuestos Orgánicos

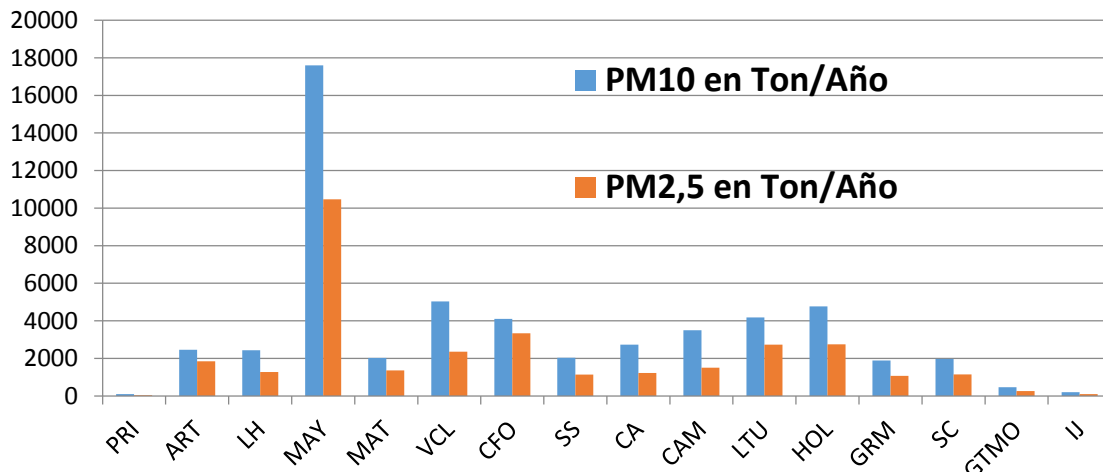


Figura 5. Emisiones de Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}) por provincias

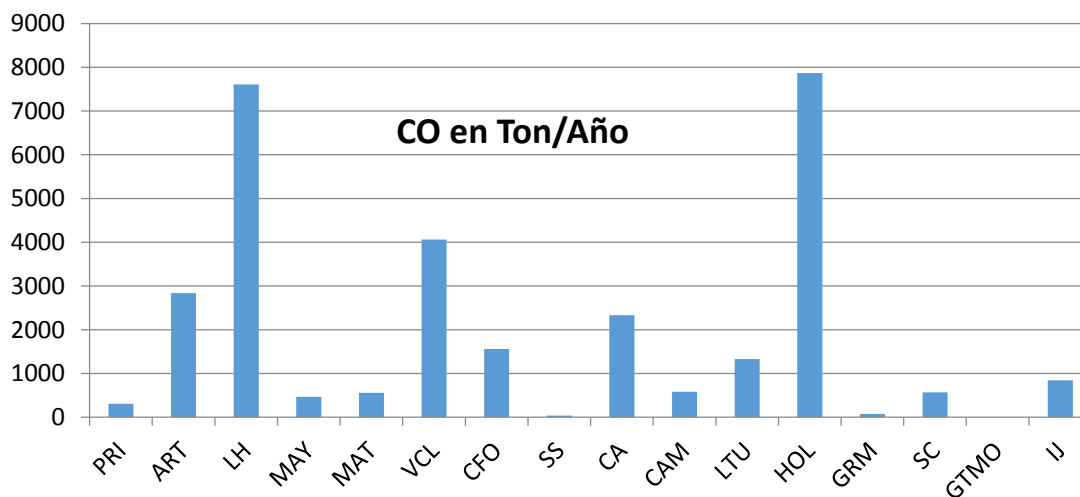


Figura 6. Emisiones de CO por provincias

Volátiles diferentes del Metano ([Figura 7](#)) se aprecia que las provincias más emisoras son La Habana, Cienfuegos y Artemisa vinculadas a la refinación de petróleo y centrales termoeléctricas.

Las refinерías y termoeléctricas son industrias consideradas como las más contaminantes a la atmosfera. El país cuenta con cuatro refinерías y ocho centrales termoeléctricas. Estas fuentes emiten unas 150 mil toneladas de SO₂, de los compuestos de nitrógeno emiten más de 21 mil toneladas y de partículas unas 15 mil toneladas al año, como se puede apreciar en la [tabla 2](#). Lo que representa aproximadamente el 60, 25 y el 20%

del SO₂, el NO₂ y el material particulado respectivamente emitido en el país.

Las emisiones en toneladas al año de las refinерías y termoeléctricas del país, muestra que el contaminante que más se emite es el dióxido de azufre y lo hacen las termoeléctricas que queman crudo cubano con alto contenido de azufre. En general las refinерías emiten menos cantidad en términos de comparación entre ambas fuentes. Estas industrias son las mayores emisoras de dióxido de azufre en el país.

La industria azucarera cubana mantiene trabajando una serie de centrales azucareros y otras industrias conexas que trabajan con

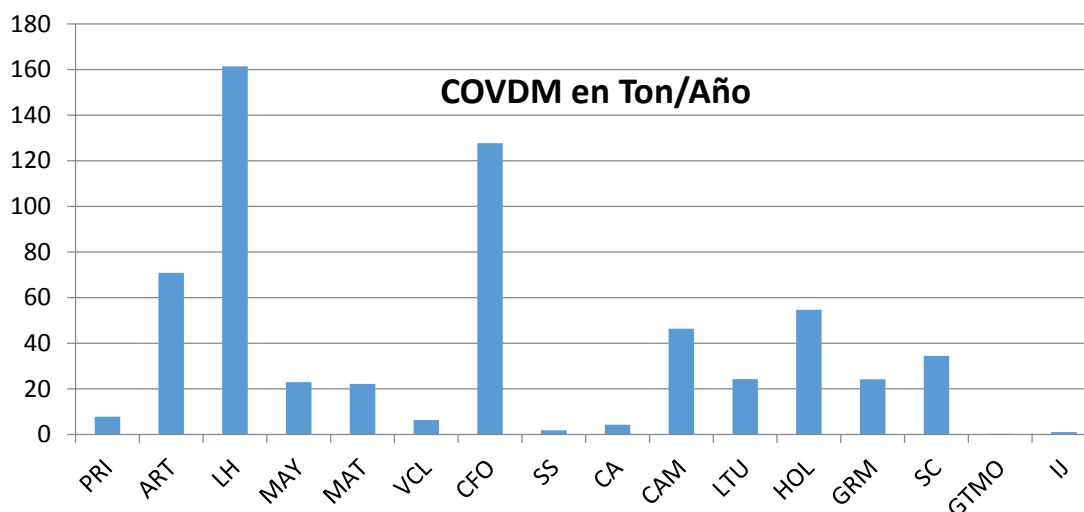


Figura 7. Emisiones de COVDM por provincias

Tabla 2. Emisiones de los contaminantes atmosféricos principales por termoeléctricas y refinerías durante el 2014, en Toneladas al año (Ton/Año)

Fuentes	NO ₂	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	COVDM
Refinerías	5597,8	19181,0	674,1	389,1	4776,1	101,4
Termoeléctricas	15831,1	135770,7	8321,6	6182,4	10515,9	137,9
Total	21428,9	154951,7	8995,7	6571,5	15292,0	239,2

energía obtenida por la quema del bagazo. En casi todas las provincias del país trabajan centrales azucareros y otras industrias conexas, excepto Pinar del Río, La Habana y el municipio especial Isla de la Juventud. Estas fuentes son productoras de material particulado y óxidos de nitrógeno, pero tienen a su favor que están ubicadas generalmente alejadas de grandes centros urbanos, por lo que solo afectan a las pequeñas poblaciones de sus alrededores (bateyes).

Se puede apreciar en la [tabla 3](#) que las mayores emisiones asociadas a esta industria son el material particulado y los óxidos de azufre y nitrógeno. Son necesarias las realizaciones de mediciones de las emisiones en nuestros centrales azucareros para contar con factores de emisiones propios y acorde a las características de nuestra industria con el fin de obtener resultados en los cálculos más precisos. En las industrias asociadas al sector azucarero además de bagazo también se utiliza

combustible fósil, por eso a pesar de que el bagazo no emite óxido de azufre en el inventario aparecen unas 10 mil toneladas emitidas a la atmósfera.

Se aprecia que el material particulado es el que más emite la industria azucarera. También mostramos los óxidos de nitrógeno, que es el otro contaminante que se emite durante la quema del bagazo. Estos elementos representan aproximadamente el 70% y el 10% por ciento respectivamente del total de estos contaminantes emitidos a la atmósfera en nuestro país. Esta industria es la mayor emisora de material particulado a la atmósfera del país.

Por otro lado en el país funcionan seis plantas de producción de cemento (dos de proceso seco y cuatro de proceso húmedo) con un total de 14 hornos (4 de proceso seco y 10 de proceso húmedo). En la actualidad las dos fábricas que producen clinker por el proceso seco de forma sistemática en el país y las que generan aproximadamente el 80% del clinker

Tabla 3. Emisiones de los contaminantes atmosféricos principales por centrales azucareros y sus derivados durante el 2014, en Toneladas al año (Ton/Año)

Provincia	NO ₂	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	COVDM
22. Artemisa	2427,9	3930,1	4700,1	2916,9	224,1	15,7
24. Mayabeque	1432,4	0,0	14718,1	8399,6	0,0	0,0
25. Matanzas	250,2	1524,0	1130,1	658,0	15,7	0,8
26. Villa Clara	502,8	1652,9	3657,2	2101,2	16,4	0,8
27. Cienfuegos	365,6	0,0	2492,2	2242,7	0,0	0,0
28. Santi Spiritus	209,3	298,5	1869,6	1061,8	3,1	0,2
29. Ciego de Ávila	197,3	0,0	2027,5	1207,0	0,0	0,0
30. Camagüey	199,6	405,9	1173,2	454,5	3,2	0,2
31. Las Tunas	314,0	720,6	2695,5	1542,4	5,8	0,4
32. Holguín	199,2	1524,0	2122,4	1224,3	15,7	0,8
33. Granma	316,3	271,2	2981,2	1703,6	7,9	0,6
34. Santiago de Cuba	146,9	0,0	1509,8	861,6	0,0	0,0
35. Guantánamo	42,9	0,0	440,7	251,5	0,0	0,0
Total	6604,5	10327,1	41517,6	24625,1	291,8	19,5

que se produce son las fábricas localizadas en Cienfuegos y el Mariel.

Mientras las de Siguaney en Sancti Spíritus y Nuevitas en Camagüey, producen clinker por campañas planificadas, por lo que sus volúmenes pueden considerarse poco significativos. Por otro lado en las fábricas situadas en Artemisa y Santiago de Cuba en los últimos años solamente producen cemento en pequeña escala.

En correspondencia con el proceso productivo, la tecnología y la información suministrada se obtienen las emisiones de los contaminantes principales expulsados a la atmosfera como se puede apreciar en la [tabla 4](#). El contaminante que más se emite a la atmosfera en cada una de las fábricas y en general es el dióxido de azufre con alrededor de 8 mil toneladas al año. En cantidad le siguen el NO₂ y el material particulado, este ultimo de origen mineral principalmente con sus conocidos efectos nocivos a la salud humana y al ambiente.

La fábrica de Cienfuegos es la mayor emisora de contaminantes de forma general.

Mientras que Taguasco y Nuevitas sobresalen por sus emisiones de SO₂ debido al uso de crudo cubano con gran cantidad de azufre en su ciclo productivo.

Al analizar de forma individual los municipios que emiten más contaminantes a la atmosfera ([Figura 8](#)) tenemos que, el Mariel y Nuevitas son los máximos emisores de contaminantes gaseosos (SO₂, NO₂, CO y COVDM) a la atmósfera. También Cienfuegos, Matanzas y Regla son grandes emisores. Coincidiendo con zonas urbanas con calidad del aire comprometida.

Mientras que los mayores emisores de Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}) son: Los municipios de la provincia Mayabeque de San Nicolás, Nueva Paz y Madruga con emisiones provenientes de la quema del bagazo ([Figura 9](#)). Mientras que Mariel, Nuevitas y Cotorro presentan emisiones vinculadas con las industrias del cemento y la producción de acero.

Este inventario de emisiones muestra las principales características de los contaminantes productos de la quema de combustible fósil y biomasa de las principales fuentes fijas del país.

Tabla 4. Emisiones de los contaminantes atmosféricos principales por las fábricas de cemento durante el 2014, en Toneladas al año (Ton/Año)

Fábricas de cemento	NO ₂	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2,5}	CO	COVDM
Mariel	614,8	681,3	38,88	19,443	9,993	0,002
Cienfuegos	3302,2	3995,2	210,99	105,606	54,235	0,009
Taguasco	356,8	1522,9	75,80	52,245	14,109	0,687
Nuevitas	109,2	1458,4	70,05	52,003	11,643	0,815
Santiago de Cuba	1,1	14,8	0,71	0,528	0,118	0,008
Artemisa	2,5	30,7	1,99	1,231	0,268	0,021
Total	4386,8	7703,37	398,42	231,056	90,366	1,542

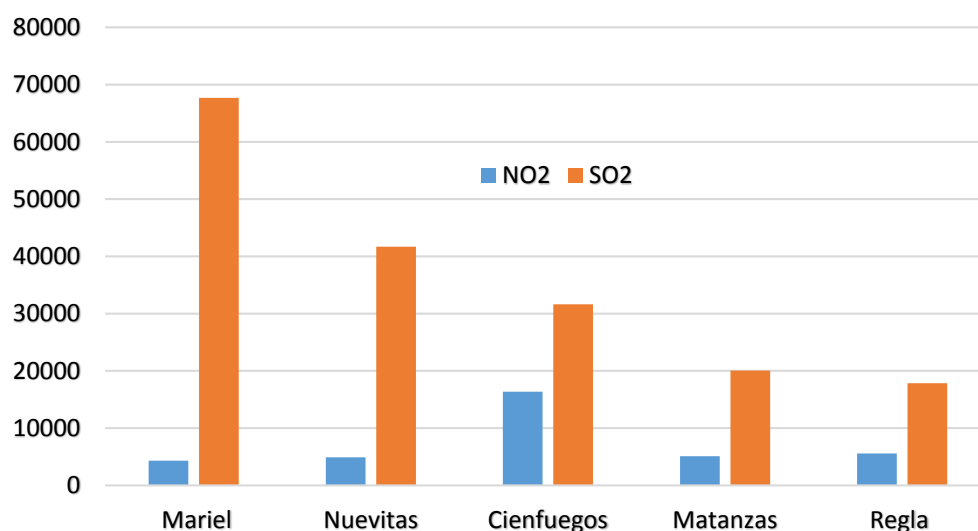


Figura 8. Municipios mayores emisores de NO₂ y SO₂ del país, en toneladas al año

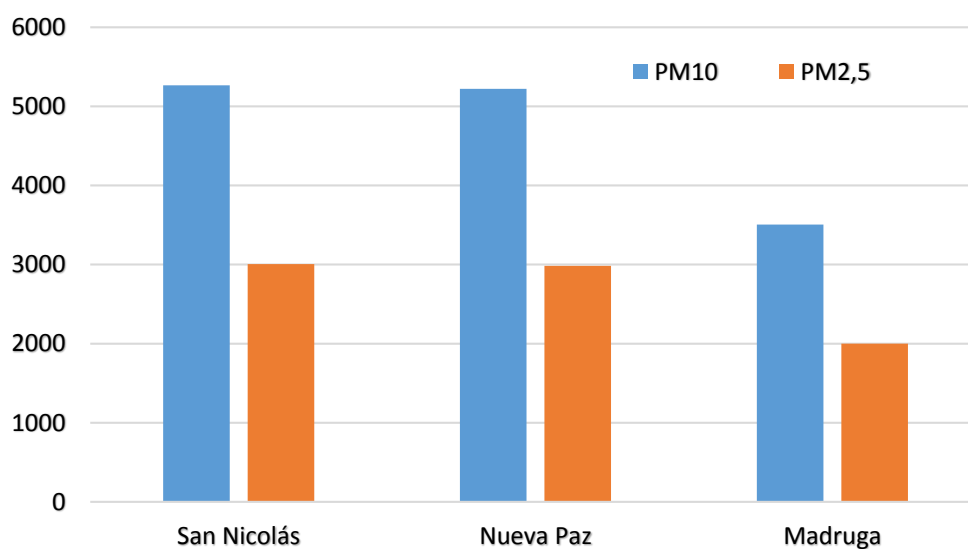


Figura 9. Municipios mayores emisores de Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}) del país, en toneladas al año

En el mismo se detallan las emisiones por municipios y provincias y por algunos sectores de nuestra industria, como la azucarera, la del cemento y la de la energía.

Conclusiones y Recomendaciones

En el Inventario de emisiones de las principales fuentes fijas de la República de Cuba para el año 2014, se puede apreciar que en cifras globales para el país, por fuentes fijas, la emisión de SO₂ es de alrededor de 273 mil toneladas al año, lo que representa el 56% de los contaminantes principales. El NO₂ con una emisión de casi 98 mil toneladas es el segundo en cantidad con un 20% del total. El material particulado representa el 18% de las emisiones, con más de 88 mil toneladas.

Las provincias que más emiten contaminantes principales gaseosos son:

Las provincias que más emiten SO₂ a la atmosfera son Artemisa y Camagüey, seguida de La Habana, Holguín, Matanzas y Cienfuegos. En estas provincias están presentes potentes fuentes asociadas al sector de la energía (centrales termoeléctricas y refinerías), las cuales producen emisiones por el alto contenido de azufre en el combustible utilizado.

Mientras que las provincias que más emiten NO₂ a la atmosfera son Cienfuegos, seguida de La Habana, Holguín y Camagüey. En estas provincias también están presentes potentes fuentes asociadas al sector de la energía (centrales termoeléctricas y grupos electrógenos). En el caso de las provincias de Cienfuegos, Holguín y Camagüey también se adiciona la contribución de este contaminante por la presencia de la quema del bagazo por los centrales azucareros.

En el caso del Monóxido de Carbono las provincias más emisoras son La Habana, Villa Clara y Ciego de Ávila, estas altas emisiones son muestras de la no eficiencia de la combustión en las calderas debido al mal estado técnico de las mismas.

Mientras que los Compuestos Orgánicos Volátiles diferentes del Metano se aprecia que las provincias más emisoras son La Habana,

Cienfuegos y Artemisa vinculadas a la refinación de petróleo y centrales termoeléctricas.

Las provincias que más emiten material particulado son:

Las provincias de Mayabeque, Villa Clara y Las Tunas son las mayores emisoras de Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}) asociado a la quema de la biomasa para la obtención de azúcar y sus derivados y la generación de electricidad.

Los municipios del Mariel y Nuevitas son los máximos emisores de contaminantes gaseosos (SO₂, NO₂, CO y COVDM) a la atmósfera. También Cienfuegos, Matanzas y Regla son grandes emisores. Coincidiendo con zonas urbanas con calidad del aire comprometida.

Mientras que los mayores emisores de Material Particulado (PM₁₀ y PM_{2,5}) son: Los municipios de la provincia Mayabeque de San Nicolás, Nueva Paz y Madruga con emisiones provenientes de la quema del bagazo. Mientras que Mariel, Nuevitas y Cotorro presentan emisiones vinculadas con las industrias del cemento y la producción de acero.

Las termoeléctricas y las refinerías emiten una cantidad considerable de las emisiones gaseosas a la atmosfera de todo el país. Mientras que la industria azucarera y sus derivados y las cementeras son grandes emisoras de material particulado en nuestro país.

Por último podemos recomendar que: Las fuentes potentes como las refinerías, centrales termoeléctricas, cementeras, las acerías y las de producción de níquel son las industrias que más contaminantes emiten a la atmósfera y sobre las cuales se deben mantener medidas de control y regulación ambiental para mitigar las emisiones. Además de implementar planes de reducción de emisiones a través de mejoras tecnológicas.

Una gran cantidad de las fuentes fijas ubicadas en las cabeceras municipales con fuerte urbanización 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 el fin de reducir las emisiones a la atmósfera.

Este inventario nacional de emisiones desde fuentes fijas es una nueva herramienta con las que deben contar las autoridades ambientales, para su trabajo local. Se recomienda la actualización bianual del inventario de emisiones de contaminantes a la atmósfera en el país con la contribución de todos los organismos interesados en la protección del medio ambiente y lograr un sistema informativo adecuado y estable para obtener información confiable.

Referencias

- Carrillo E., R. Manso, C. Sosa, Y. González, J. Bolufé, D. Boudet, A. León, A. V. Guevara, C. González, S. Pire, M. Amáralas, R. Biart I. López, D. Pérez, H. Ricardo, A. Mercadet, A. Álvarez, Y. Rodríguez (2016). Inventario Nacional de Emisiones y Remociones de Gases de Invernadero en Cuba. Reporte Actualizado para el Período 1990 – 2012. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana.
- PNUMA (2009). GEO CUBA. Evaluación del medio ambiente cubano. Estado de la Contaminación Atmosférica en Cuba. Autores: Cuesta, O; Sánchez, P; López, C; Pérez, R; Marín, M; Biart, R; y Villarroel, J. ISBN 978-959-300-002-4, La Habana, 2009.
- Cuesta, O., & Wallo, A. (2009). Algunos aspectos del estado de la contaminación atmosférica a nivel local y regional en Cuba. Publicación Electrónica, ISBN, 978-959-304-003-7, Memorias de la Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Ciudad de la Habana, 6 – 10 de Julio de 2009.
- Cuesta, O., Wallo, A, Montes de Oca, L., Pierra, A., Tricio, V. (2010). CALIDAD DEL AIRE EN ZONAS URBANAS DE CUBA. CONAMA 11. Congreso de Medio Ambiente, España 2010. <http://www.conama10.es/web/index.php>
- Cuesta, Osvaldo; Mariam Fonseca; Raydel Manrique y Ernesto Carrillo. (2012). Evaluación de la calidad del aire en ciudades de Cuba. Publicación Electrónica, ISBN, 978-959-282-079-1, Memorias de la Convención Internacional Trópico 2012, La Habana, 14 – 18 de Mayo de 2012.
- Cuesta Santos, Osvaldo; Arnaldo Collazo Aranda, Yosdany González Jaime, Mariam Fonseca Hernández, Ana Carla Fernández, Yoandy Rodríguez, Evelio García Valdés, Ernesto Carrillo Vítale, Carlos Sosa Pérez, Raydel Manrique Suárez, Pedro Sánchez Navarro, Ricardo Manso Jiménez, Lázaro Batule Águila, Rosemary López Lee, Pedro J. Expósito Landa, Gleidys Marcelo García, Anayli Alonso Saranova & Liany Menéndez Rodríguez (2014). Caracterización de la dispersión de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos emitidos por las principales fuentes fijas y su impacto potencial en La Habana. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. Resultado Científico, La Habana, 188 pp.
- Cuesta, O., *et al.*, 2015. Diagnostico del medio ambiente atmosférico producto de las principales fuentes fijas de La Habana. Publicación electrónica ISBN 978-959-7167-43-3. Memorias del VIII Congreso Cubano de Meteorología. Hotel Tryp Habana Libre. La Habana, Cuba.
- Digesa (2005). Dirección general de salud ambiental. Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos. Perú.
- EMEP/CORINAIR (2007). Guía para la realización del inventario de emisiones atmosféricas de la Agencia Europea de Medioambiente.
- López, C., P. V. Fernández, R. W. Manso, A. León, 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 (2009). Determinación

- de Emisiones y Absorciones de Gases de Invernadero en Cuba. Reporte preliminar para el año 2004. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana 37 pp.
- Molina Esquivel, E. L. Brown Colás, V. Prieto Díaz, L. Cuellar Luna & D. Rodríguez Sordía. (2001). Contaminación atmosférica y prevalencia de asma en Centro Habana. *Rev. Cubana Hig. Epidemiol.* v.39 n.1 Ciudad de la Habana ene.-abr. 2001.
- NC: 1020 (2014). Calidad del aire – Contaminantes - Concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba.
- Núñez Caraballo, V., Aldo Saturnino Moya Álvarez, William Ch, Hernández Viera, Rosabel Rodríguez Rojas, Ricardo Oses Rodríguez, Meilyn Otero Martín, Marisela Purón Arbolaez, Inocencio Martínez Pérez, Idalberto Herrera Moya, Julio Pedraza Gárciga, Mayra C. Morales Pérez, Javier Martín Santín, Dianelly Sánchez (2012). Fuentes fijas responsables de las máximas emisiones de SO₂ en la provincia de Villa Clara, cuba. Primer semestre del 2011. Publicación Electrónica, ISBN, 978-959-282-079-1, Memorias de la Convención Internacional Trópico 2012, La Habana, 14 – 18 de Mayo de 2012.
- Rodríguez, D., L. Echevarria, 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.
- Roig, Alina. (2016). Actualización de Factores de Emisión del sector eléctrico. Cubaenergía. Ponencia Seminario Taller CONTAT 2016.
- Romero-Placeres, M. P. Más-Bermejo, M. Lacasaña-Navarro, M. Téllez Rojo-Solís, J. Aguilar-Valdés, I. Romieu (2004). Contaminación atmosférica, asma bronquial e infecciones respiratorias agudas en menores de edad, de La Habana. *Salud pública de México / vol.46, no.3, mayo-junio de 2004.*
- U.S. EPA (1995a). *Compilation of Air Pollutant Emission Factors.* Research Triangle Park, Carolina del Norte.