



Estimación de emisiones contaminantes atmosféricas en la provincia de Camagüey desde fuentes fijas

Estimation of atmospheric pollutant emissions in the province of Camagüey from fixed sources

Aramís Fonte^{1✉}, Osvaldo Cuesta², Carlos Sosa²

¹ Centro Meteorológico Provincial de Camagüey, INSMET, La Habana, Cuba

² Centro de Contaminación y Química Atmosférica, INSMET, La Habana, Cuba

Resumen

La provincia de Camagüey consta de 13 municipios pero básicamente, acorde a las instalaciones industriales existentes, tan sólo 9 de ellos poseen relevancia por la magnitud y tipo de las emisiones. En el presente trabajo se realizó un inventario de fuentes fijas contaminantes en los municipios seleccionados, y se efectuó el cálculo de las emisiones de compuestos tales como NO_x, SO₂, MP₁₀, MP_{2.5}, CO, y COVDM, cuyos resultados evidenciaron el relevante significativo aporte de las instalaciones asociadas a la generación eléctrica. En este sentido, el aporte de las emisiones por ese sector constituye el 92.2%. Dada la existencia en el territorio de una gran central térmica y abundantes grupos electrógenos, además de industrias de gran peso, se obtiene una tasa de 87.6 kg/habitante al año de contaminantes emitidos a la atmósfera. Se ratificó al municipio de Nuevitas como el de mayor afectación, sobre todo en su ciudad industrial, y que asociado al deterioro de la calidad del aire hace que se mantenga con la clasificación de “crítica” coincidiendo con lo reportado en estudios anteriores por otros investigadores. Debido al alto nivel de actividades industriales en ese municipio, sobre todo en las instalaciones de generación eléctrica, ello puede conducir (según el nivel de carga en la termoeléctrica) a que la tasa de emisión de contaminantes atmosféricos en el municipio sea de 794 a 916 kg al año por habitante.

Palabras clave: contaminación atmosférica, fuentes fijas, inventario de emisiones, factor de emisión

Abstract

The province of Camagüey consists of 13 municipalities but basically, according to the existing industrial facilities, only 9 of them are relevant because of the magnitude and type of emissions. In the present work, an inventory of fixed sources of pollutants was carried

✉ Autor para correspondencia: Aramís Fonte. E-mail: aramis@cmw.insmet.cu

Recibido: 5 de septiembre de 2016

Aceptado: 13 de abril de 2017

out in the selected municipalities, and the emissions of compounds such as NO_x, SO₂, MP₁₀, MP_{2.5}, CO, and VOCOC were calculated. These results showed the relevant contribution of the installations associated with the electricity generation. In this sense, the contribution of emissions by this sector constitutes 92.2%. Given the existence in the territory of a large thermal power station and abundant generators, in addition to industries of significant weight, a rate of 87.6 kg / inhabitant per year of pollutants emitted to the atmosphere is obtained. The municipality of Nuevitas was ratified as the most affected, especially in its industrial city, and that associated with the deterioration of air quality makes it maintain the classification of "critical" coinciding with what has been reported in previous studies by other researchers. Due to the high level of industrial activities in that municipality, especially in the power generation facilities, this can lead (according to the level of load in the thermoelectric) to the emission rate in the municipality is from 794 to 916 kg per year per habitant.

Keywords: air pollution, point source emissions inventory, emission factor

Introducción

El desarrollo de la humanidad y los adelantos científico-técnicos han traído aparejado una elevación de los potenciales efectos contaminantes. La aplicación consecuente de tecnologías, equipos y procedimientos ayuda a eliminar o al menos reducir de manera significativa estos impactos negativos. Sin embargo el hacer caso omiso de ello puede conllevar a catástrofes ambientales.

Según [Martínez & Díaz \(2004\)](#), y [Stanley \(2007\)](#), se entiende por Contaminación Atmosférica a la presencia en el aire de materias o formas de energía que implican riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza, y que puedan atacar a distintos materiales. Su estudio se realiza generalmente, según su alcance, a escala global, regional, o local.

Los efectos de la Contaminación Atmosférica pueden ser tan abarcadores como los que se encuentran asociados al cambio climático (por contribuir al efecto invernadero y por ende al calentamiento global con todas las afecciones sobre el derretimiento de los casquetes polares y los glaciares, o sobre las especies animal o

vegetal que dependan de la temperatura), los efectos regionales tan amplios como las lluvias ácidas, degradación de suelos y cuerpos de agua, así como afectaciones al ganado y los cultivos. Por su parte, los efectos locales se evidencian bastante bien en la salud humana y animal, y en los cultivos. Con relación a efectos sobre la salud humana en Cuba diversos autores han publicado suficientes trabajos que demuestran la importancia de mantener la vigilancia al respecto y sugerir vías de eliminación o atenuación ([Cuesta et al., 2000](#); [Cuesta & Wallo, 2010](#); [Delgado & Sánchez, 2012](#); [Rodríguez et al., 2013](#)).

Si bien se conoce que las fuentes contaminantes atmosféricas pueden tener dos orígenes distintos (naturales y antropogénicas) en el presente trabajo se tratará solamente con las últimas, o sea con las antropogénicas. Debe destacarse que las fuentes contaminantes atmosféricas antropogénicas pueden ser de distintos tipos: (1)-Fuentes Fijas: generalmente se refiere a las originadas desde instalaciones industriales o de servicios; (2)-Fuentes Areales (áreas emisoras): cuando se trata de un área desde la que se emite (ejemplo pueden ser vertederos locales, campos de cultivos, cenagales, áreas de pastoreo, etc.);

(3)- Fuentes Móviles: comprende los medios de locomoción (transporte automotor).

La realización de un inventario de fuentes fijas contaminantes constituye un importante paso para cuantificar el potencial de emisiones de este tipo en un territorio determinado y permite acometer posteriormente trabajos de mayor envergadura tales como la simulación del desplazamiento de estos contaminantes sobre áreas específicas con el empleo de los software de dispersión de contaminantes que estén a disposición ([Ramírez et al., 2009](#); [Batule et al., 2013](#)).

En sus inicios, las ciudades de Cuba tenían un lento crecimiento y sus industrias fueron ubicadas en lo que en aquel entonces eran las afueras.

Con el paso de los años, el desordenado crecimiento de estas conllevó a que también muchas poblaciones quedaran dentro del casco urbano, incumpliendo posteriormente los valores normados de radio mínimo admisible establecido como protección sanitaria ([NC 1059: 2014](#)) desde dichas instalaciones hasta los núcleos poblacionales, sin contar que también puedan haber ocurrido violaciones en la observancia de dichos requisitos.

Como resultado de lo explicado más arriba, muchas entidades ofrecen una situación de franca amenaza para la salud de la población dada la ubicación de estas y que fundamenta aún más la necesidad de conocer el estado de la emisión potencial (y real) de los contaminantes atmosféricos que se generan en estas instalaciones.

En particular en la provincia de Camagüey se pueden apreciar situaciones extremas en relación con el nivel de emisiones de un municipio a otro. Si bien la actividad económica tradicional en muchos municipios estuvo asociada (y en muchos así continúa) a labores agrícolas y

ganaderas, sin embargo en otras estas se refuerzan con actividad agroindustrial (centrales azucareros y pequeñas instalaciones fabriles), con casos de municipios donde la actividad industrial y de servicios es más notable, y llegando hasta otro en que prácticamente la totalidad de sus actividades consisten o están estrechamente asociadas a la industria, como es el caso de la ciudad de Nuevitas.

Según el grado de desarrollo y posibilidades de cada lugar, en el mundo se emplean diferentes técnicas y procedimientos para poder realizar estudios de este tipo. En el caso particular que aquí atañe, se aplicará uno que ha sido empleado en varias provincias del país ([Cuesta et al., 2012](#)). La decisión de efectuar este estudio obedece a que la provincia de Camagüey, siendo la más extensa, incluye dentro de sus municipios a una de las ciudades más contaminantes del país, la de Nuevitas, la cual clasifica con calidad de “crítica” dado su nivel de contaminación según estudios realizados por otros investigadores ([Cuesta et al., 2012](#)) así como la necesidad de actualización y extensión de estos estudios a otros territorios.

El presente trabajo tiene como objetivo estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos, tales como NO_x, SO₂, MP₁₀, MP_{2.5}, CO, y COVDM en los municipios Camagüey, Nuevitas, Florida, Guáimaro, Sibanicú, Santa Cruz del Sur, Esmeralda, Sierra de Cubitas, y Carlos Manuel de Céspedes.

Materiales y Métodos

La ejecución de la investigación constó de dos partes: la captación de los datos primarios acorde a la realización de un inventario, y el cálculo de las emisiones en cada sitio según tipo de especie. Para la primera parte se partió de la realización de un inventario de las entidades que en cada

municipio de la provincia eran consideradas como fuentes de emisión que caían en la categoría de “potente” y/o “mediana”, aunque en determinados casos, dada la ubicación en el entorno urbano, también fueron incorporadas algunas de las clasificadas como “pequeñas”. Las características de los combustibles considerados fueron tomadas del Catálogo de Especificaciones de Productos Rama Combustibles (CUPET, 2014).

Los municipios y entidades incluidas en cada uno de ellos fueron:

- *Municipio Camagüey:* Grupos Electrógenos (GE) de la Central Eléctrica a Fuel “Camagüey 1”; Grupos Electrógenos de la Central Eléctrica a Fuel “Planta Mecánica”; Grupos Electrógenos de la Central Eléctrica a Diesel “Camagüey 1”; Fábrica de Cervezas “Tínima”; Fábrica de Refrescos “Máximo Martínez”; Combinado Lácteo; Fábrica de Quesos “La Vaquita”; Planta de Asfalto de la ECOI 15 “El Pollito”; Planta de Asfalto del PPP “El Pollito”; Hospital Provincial “Manuel Ascunce”; Hospital Materno “Ana Betancourt de Mora”; Hospital Pediátrico “Eduardo Agramonte Piña”; Hospital “Amalia Simoni”; Fca. de Refrescos “23 de Agosto”; Fca. “Teja Infinita”; Hogar de Ancianos “Manuel R. Ramos Silva y Zayas”; Fábrica de Helados “Coppelia”; Universidad de Camagüey “Ignacio Agramonte” ([Figura 1](#)).
- *Municipio Nuevitas:* Termoeléctrica “10 de Octubre” (incluye 1 unidad de 64 MW, 3 unidades de 125 MW cada una, y la Central Eléctrica a Fuel con baterías de GE y con capacidad total de 40 MW); Fábrica de Cemento “26 de Julio” (incluye horno y caldera); Combinado Lácteo; Hospital Municipal; Grupos Electrógenos de la Central Eléctrica a Diesel “San Fernando de Camalote”; Empresa Química Nuevitas (Fertilizantes), ([Figura 2](#)).
- *Municipio Florida:* Empacadora “Tomas Rojas”; Hospital Mcpal. “M. Piti Fajardo”; Pasteurizadora; Hospital Pediátrico; CAI Agramonte; CAI Argentina; Planta de Sorbitol; GE de la Central Eléctrica Diesel Florida, ([Figura 3](#)).
- *Municipio Guáimaro:* Fábrica de quesos de Martí; GE de la Central Eléctrica Diesel de Guáimaro; Hospital Municipal de Guáimaro, ([Figura 4](#)).
- *Municipio Sibanicú:* Fábrica de quesos de Sibanicú; GE de la Central Eléctrica Diesel Siboney; CAI Siboney, ([Figura 5](#)).
- *Municipio Santa Cruz del Sur:* GE de la Central Eléctrica Diesel Santa Cruz del Sur, GE de la Central Eléctrica Diesel La Jagua.
- *Municipio Esmeralda:* CAI Brasil.
- *Municipio Sierra de Cubitas:* GE de la Central Eléctrica Diesel Imías.
- *Municipio Carlos Manuel de Céspedes:* CAI Céspedes.

Para facilitar la comprensión del área analizada en la provincia, se muestran en la [figura 6](#), los municipios incluidos.

Dado el peso que tiene la Termoeléctrica “10 de Octubre” sobre los cálculos para el municipio Nuevitas, y por ende sobre la provincia, debe especificarse que independientemente de la capacidad nominal de los equipos, la carga a que operan realmente se encuentra en relación directa (a semejanza del funcionamiento de las centrales eléctricas con grupos electrógenos) con el nivel de explotación

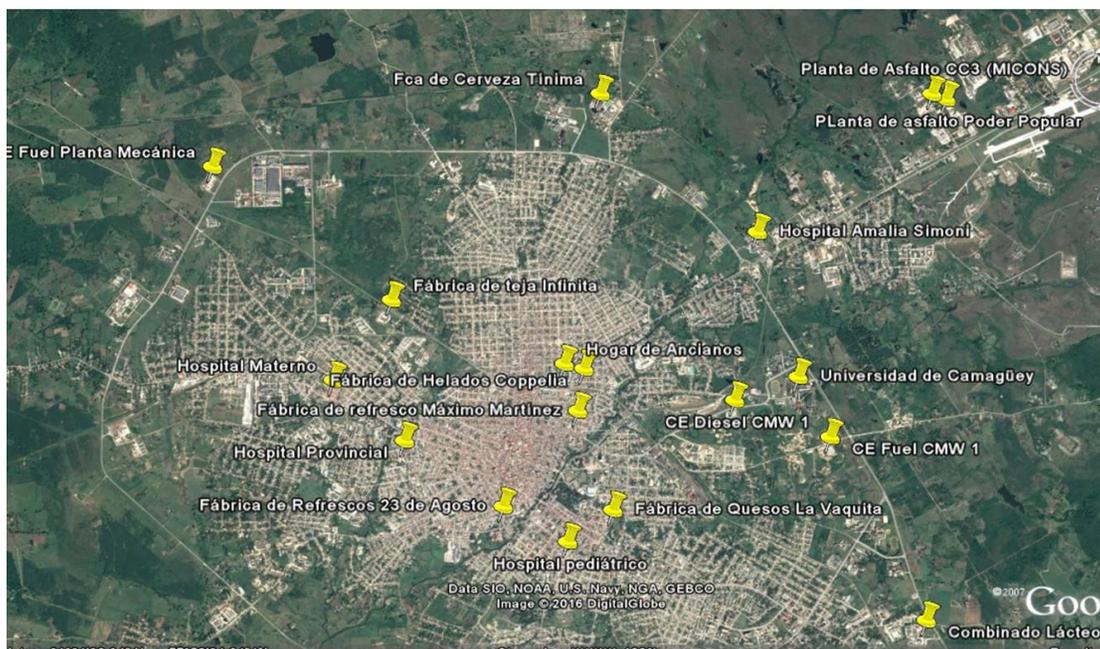


Figura 1. Ubicación de las fuentes en el municipio Camagüey



Figura 2. Ubicación de las fuentes en el municipio Nuevitas

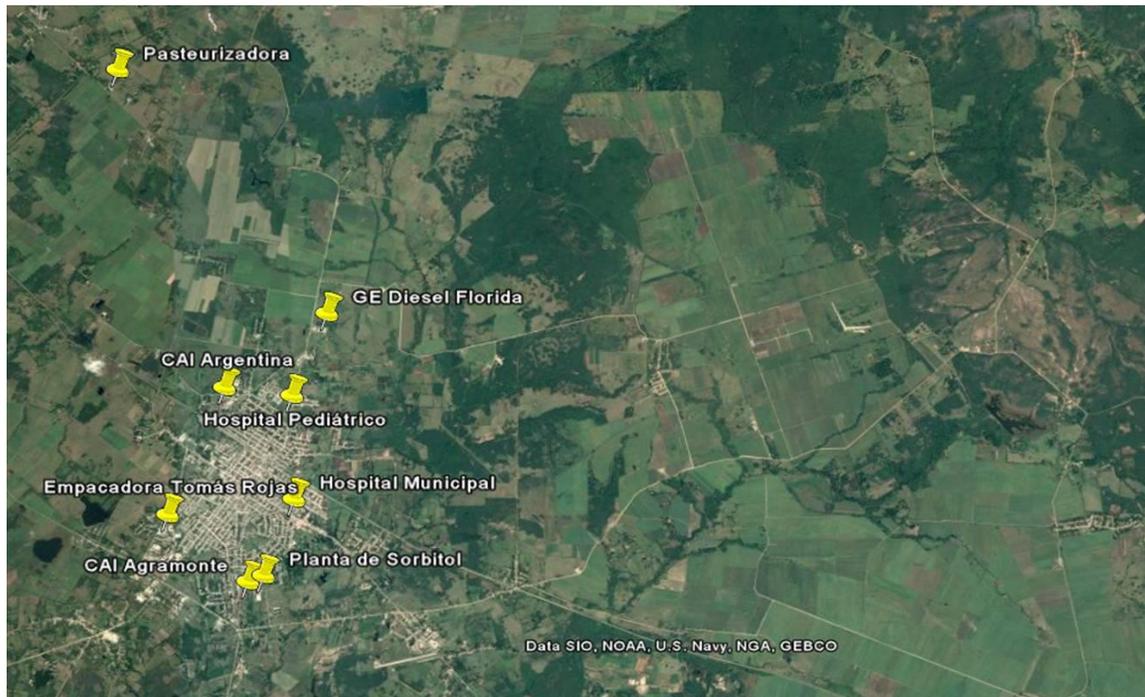


Figura 3. Ubicación de las fuentes en el municipio Florida



Figura 4. Ubicación de las fuentes en el municipio Guáimaro.

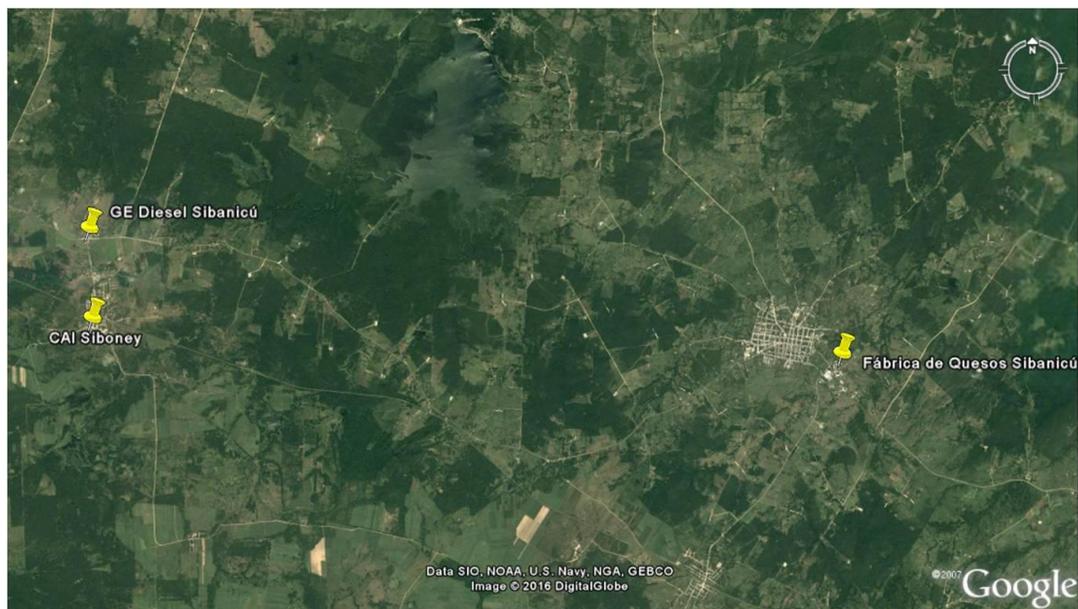


Figura 5. Ubicación de las fuentes en el municipio Sibanicú

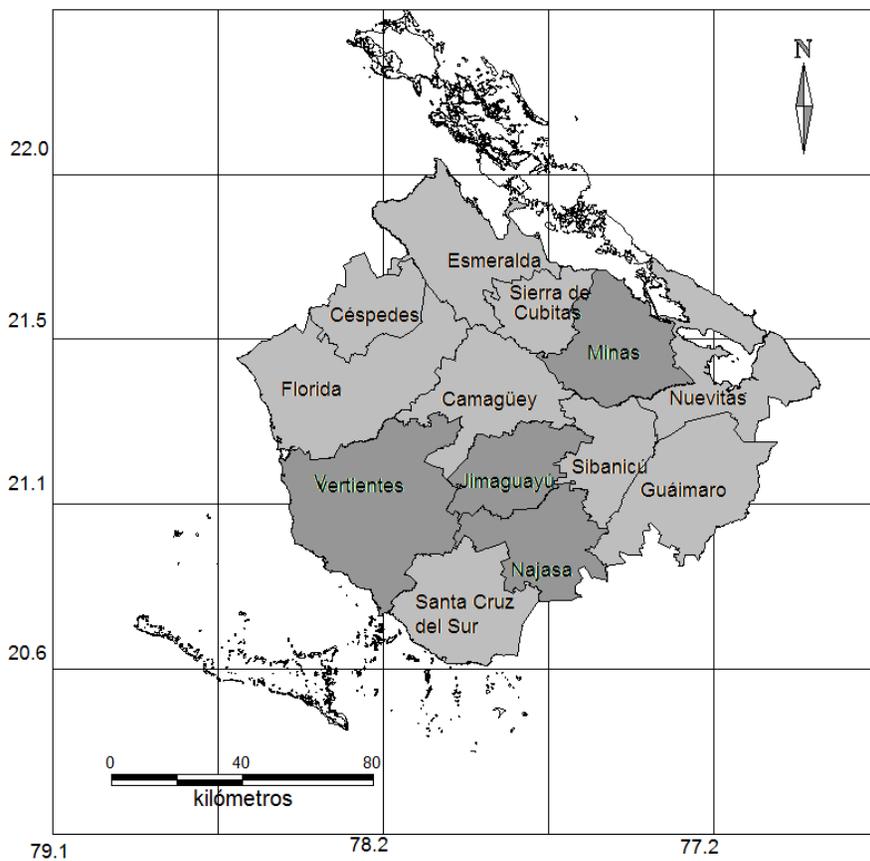


Figura 6. Municipios incluidos (gris claro) y los no considerados (gris oscuro)

que la entidad reciba acorde a la demanda y orientaciones del Despacho Eléctrico Nacional. Acorde a ello la entidad tomará en cuenta si decide poner un turbogenerador a un porcentaje de capacidad nominal (mayor o menor de lo acostumbrado) que dé respuesta a esa demanda, lo que significa que el consumo de combustible, y por ende la cantidad de gases de combustión emitidos, oscilará en correspondencia con esa carga de trabajo.

En la segunda parte del estudio se efectuó el cálculo de cada una de las especies consideradas acorde a la metodología seguida (NC 1049: 2014). Las especies incluidas fueron: Óxidos de nitrógeno (NO_x); Dióxido de azufre (SO₂); Monóxido de carbono (CO); Material Particulado (MP) en dos niveles: por debajo de 10 µm (MP₁₀), y hasta 2.5 µm (MP_{2.5}); y Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes del Metano (COVDM).

Los cálculos se efectuaron acorde a la metodología para la determinación de emisiones en base al método de factores de

emisión (CONAMA, 2009) empleando los valores actualizados de estos (USEPA, 1995). La relación entre la magnitud de los contaminantes emitidos y la población fue establecida en base a datos de la Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI, 2015) correspondientes a los municipios estudiados.

Resultados y Discusión

La interpretación de los resultados se organizó por diferentes tablas para poder analizar la esencia de las particularidades en cada municipio y diferenciarla del total provincial.

En la [tabla 1](#) se aprecia el total de las emisiones por municipios y permite discriminar cuál es el que aporta mayor cantidad de contaminante por especie, no obstante debe apreciarse que no en todos los municipios, dadas las características particulares de las fuentes de emisión, se generaron los mismos compuestos contaminantes. Tal es el caso común para todos aquellos municipios donde exista

Tabla 1. Total de emisiones de contaminantes atmosféricos por municipio y por especie (t/año)

Municipio	NO _x	SO ₂	MP ₁₀	MP _{2.5}	CO	COVDM	Total
Camagüey	2855.3	1903.7	45.9	27.2	144.2	13.0	4962.1
Nuevitás	5051.4	41736.9	1975.3	1461.9	417.3	30.9	49211.9
Florida	183.4	557.8	331.1	16.2	12.4	1.4	1089.7
Guáimaro	85.3	90.9	1.7	0.9	7.3	0.9	186.0
Sibanicú	46.3	25.1	260.1	0.74	0.73	0.08	332.3
Sta. Cruz del Sur	23.64	22.25	0.34	0.17	2.0	0.25	48.5
Esmeralda	53.4	NP	364.05	NP	NP	NP	417.46
Sierra de Cubitas	19.76	18.6	0.29	0.14	1.67	0.21	40.7
Céspedes	76.4	NP	520.9	NP	NP	NP	597.3

NP - no procede

generación eléctrica o calderas a base de combustibles fósiles (casos de Camagüey, Nuevitas, Florida, Guáimaro, Sibanicú, Santa Cruz del Sur y Sierra de Cubitas, pero no cuando no existen calderas o generadores que empleen otro tipo de combustible, o cuando estos dispositivos existen pero no consumen combustible fósil (municipios de Esmeralda y Céspedes, que emplean biomasa en sus calderas).

Se puede notar que el municipio que emite en mayor cuantía es el de Nuevitas ya que, aunque es el más pequeño en extensión territorial, sin embargo contiene en su área urbana y suburbana a las más grandes industrias de la provincia (de ahí que se le denomine “ciudad industrial”). En segundo lugar (globalmente) se ubica el municipio Camagüey. Un aspecto de singular interés resulta el hecho que, la suma de las emisiones que aportan el resto de los municipios estudiados (Florida, Guáimaro, Sibanicú, Sta. Cruz del Sur, Esmeralda, Sierra de Cubitas, Céspedes) es apenas algo superior a la mitad de lo que aporta solamente el municipio cabecera (Camagüey) lo que a su vez representa un 10% de lo emitido por Nuevitas.

Partiendo de un análisis de la [tabla 1](#) se extrae también que en los municipios donde la actividad industrial estaba liderada por centrales azucareros con combustión de biomasa por excelencia, la proporción de material particulado es mayoritaria con relación al resto de las especies contaminantes en la atmosfera. Un caso particular, en el que esa cuantía disminuye (aunque se mantiene), es cuando además de la actividad de los centrales azucareros existe una mayor generación eléctrica por baterías de GE a combustible fósil, donde el aporte de los óxidos de azufre predomina sobre el material particulado.

En general, en el municipio de la “ciudad industrial” el aporte mayor a la

contaminación atmosférica fue por los óxidos de azufre, dado por dos cuestiones fundamentales: el alto nivel de consumo de combustible fósil, y el alto contenido de azufre en este (ya sea en el fuel o en el petróleo crudo cubano como es el caso de la termoeléctrica y el horno de la fábrica de cemento, con valores que pueden llegar a oscilar entre 6 y 7 % de S). Nótese de la Tabla 1 que en este municipio la relación SO₂ a total de emisiones, constituye el 85% (la más elevada en toda la provincia), lo que se explica no sólo por lo anterior, sino además porque los factores de emisión para el SO₂ son superiores en calderas que en motores de combustión interna (EPA, 1996).

Análisis por Municipios

Municipio Camagüey:

Las mayores emisiones de los contaminantes atmosféricos se observaron en el MINEM ([Tabla 2](#)), o sea asociado a la generación eléctrica.

El primero y segundo lugar correspondió a las originadas por las centrales eléctricas a fuel con Grupos Electrógenos “Camagüey 1” y “Planta Mecánica”, por el alto consumo de combustible (fuel oil) así como por el contenido de azufre en este. Debe especificarse que aunque estas cifras se ubicaron muy por debajo de las originadas por el alto consumo en las calderas de las grandes centrales termoeléctricas, sin embargo resultan de importancia. La explicación radica en que estas instalaciones se encuentran ubicadas en el área suburbana de la ciudad, pero que dado el giro de los vientos en determinadas horas del día, afectan a distintos barrios de ella. En tercer lugar se ubica la central eléctrica con GE a diesel “Camagüey 1”, y en cuarto lugar la fábrica de cervezas “Tínima”, con calderas obsoletas y chimenea en muy mal

Tabla 2. Total de emisiones de contaminantes atmosféricos por entidades del Municipio Camagüey y sus organismos

Organismo (toneladas)	Entidad	Emisión total (t/año)
MINAL (226.7)	Fca. de cervezas “Tínima”	172.5
	Fca. de refrescos “Máximo Martínez”	2.37
	Combinado Lácteo	42.1
	Fca. Queso “La Vaquita”	1.12
	Fca. de refrescos “23 de Agosto”	4.24
	Fca. de helados “Coppelia”	4.41
MINEM (4542.8)	Central Eléctrica a Fuel “Camagüey 1”	2142.3
	Central Eléctrica a Fuel “Planta Mecánica”	2184.2
	Central Eléctrica a Diesel “Camagüey 1”	216.3
MICONS (120.8)	Fca. Teja Infinita	101.4
	Pta. Asfalto CC3	19.4
MINSAP (52.1)	Hosp. Provincial	14.8
	Hosp. Materno	10.7
	Hosp. Pediátrico	15.3
	Hosp. Amalia Simoni	8.5
	Hogar Ancianos	2.8
OTROS (19.6)	Pta. Asfalto del PP	14.5

estado. En general entre estas cuatro entidades se generó más del 99% del NO_x y del 88% del SO₂ emitidos, ya que el resto de las instalaciones se refiere a pequeñas fábricas y centros de servicios.

Municipio Nuevitás:

Aunque en extensión territorial es el más pequeño de la provincia de Camagüey, sin embargo alberga las industrias más grandes de la provincia. Tan sólo en la Central

Termoeléctrica “10 de Octubre” (considerando sus 4 unidades y el GE anexo a ella que suman una potencia nominal de 479 MW) se emite el 95% de los NO_x y más del 96% del SO₂ en ese municipio, ([Tabla 3](#)).

La situación se atenúa en parte para la ciudad en los horarios en que la dirección de los vientos predominantes hace que el transporte de estas masas de aire contaminadas no la afecten totalmente sino

Tabla 3. Total de emisiones de contaminantes atmosféricos por entidades del Municipio Nuevitas y sus organismos

Organismo (toneladas)	Entidad	Emisión total (t/año)
MINAL (12.6)	Combinado Lácteo	12.6
MINEM (47385.9)	Termoeléctrica “10 de Octubre”	47328.5
	GE San Fernando de Camalote	57.4
MICONS (1650.2)	Fca. de Cemento “26 de Julio”	1650.2
MINDUS (152.4)	Emp. Química Nuevitas	152.4
MINSAP (11.9)	Hosp. Municipal	11.9

a una parte de ella, aunque si a algunos barrios más cercanos a ella así como al traslado de las emisiones hacia poblados más distantes siguiendo la dirección de donde provienen los vientos. Otro aspecto de interés viene dado por la Fábrica de Cemento “26 de Julio” la cual posee una desacertada ubicación con relación a la ciudad de Nuevitas la cual se ve afectada durante una considerable cantidad de horas al día en su mayor parte sobre todo por las nubes de contaminantes que emite. Con relación a esto debe aclararse que, la aparentemente pequeña cantidad de material particulado calculado para esta fábrica se debe a que en el presente trabajo tan sólo pudo ser cuantificada la originada por la combustión del combustible líquido, quedando pendiente la provocada por las señaladas limitaciones tecnológicas de la citada fábrica, y que deben ser verificadas con mayor profundidad antes de ser incluidas en un informe.

Municipio Florida:

Por las características mixtas de municipio con actividad productiva agroindustrial pero a la vez con componente

industrial urbana o suburbana, en él se obtiene una competencia entre los SO₂ aportados por los GE y calderas de combustible fósil, y el material particulado proveniente de las calderas de centrales azucareros, conduciendo a que, si bien la relación NO_x a total de contaminantes gaseosos sea de casi un 17%, y la proporción de MP₁₀ es de un 30%, sin embargo la de los SO₂ está por encima del 51%. La explicación de ello está dada fundamentalmente por el azufre presente en el fuel oil que consume el CAI Agramonte para refinar azúcar, así como por los GE de Diesel ([Tabla 4](#)).

Municipio Guáimaro:

Es un municipio cuya economía proviene eminentemente de la actividad agropecuaria, y posee una fábrica de quesos, pero su principal fuente de contaminantes atmosféricos lo es una central eléctrica a diesel cuyos efluentes gaseosos están compuestos por un 49% de NO_x y 46% de SO₂. Sus emisiones representan el 93.4% de las de ese territorio, ([Tabla 5](#)).

Tabla 4. Total de emisiones de contaminantes atmosféricos por entidades del Municipio Florida y sus organismos

Organismo (toneladas)	Entidad	Emisión total (t/año)
MINAL (21.68)	Pasteurizadora	17.0
	Empacadora “Tomás Rojas”	4.68
MINEM (17.0)	GE Diesel Florida	17.0
AZCUBA (847.87)	CAI Agramonte	502.69
	Planta Sorbitol	7.57
	CAI Argentina	337.61
MINSAP (3.92)	Hosp. Municipal	1.69
	Hosp. Pediátrico	2.23

Tabla 5. Total de emisiones de contaminantes atmosféricos por entidades del Municipio Guáimaro y sus organismos

Organismo (toneladas)	Entidad	Emisión total (t/año)
MINAL (10.87)	Fca. de Quesos	10.87
MINEM (173.7)	GE Diesel Guáimaro	173.7
MINSAP (2.37)	Hosp. Municipal	2.37

Municipio Sibanicú:

Como pequeño municipio agrícola, su actividad se centra fundamentalmente en la producción azucarera. Su único central genera el 89% de las emisiones del municipio, y el material particulado representa el 87% de las emisiones del central. Por su parte, las de la fábrica de quesos constituyen el 6.3% de las del territorio, y las de los grupos electrógenos a diesel representan apenas el 4.2% de estas, (Tabla 6).

Municipio Santa Cruz del Sur:

Contiene solamente una central eléctrica con grupos electrógenos de diesel ubicados en su cabecera municipal, que aportan el

56% de las emisiones del territorio, y una central algo más pequeña, en el poblado de La Jagua, que emite el 44% restante. Las especies más representativas dentro de las emisiones en el municipio lo constituyen el NO_x con un 48.8%, y el SO₂ con un 45.9%, (Tabla 7).

Municipio Esmeralda:

Cuenta solamente con el central azucarero Brasil. Emite un total de 417.7 t de contaminantes a la atmósfera al año, pero el 87.2% de estos corresponde a material particulado (Tabla 8).

Municipio Sierra de Cubitas:

Como municipio eminentemente agrícola tan sólo posee una central eléctrica

Tabla 6. Total de emisiones de contaminantes atmosféricos por entidades del Municipio Sibanicú y sus organismos

Organismo (toneladas)	Entidad	Emisión total (t/año)
MINAL (21.0)	Fca. de Quesos	21.0
MINEM (14.1)	GE Diesel Siboney	14.1
AZCUBA (297.2)	CAI Siboney	297.2

Tabla 7. Total de emisiones de contaminantes atmosféricos por entidades del Municipio Santa Cruz del Sur y sus organismos

Organismo (toneladas)	Entidad	Emisión total (t/año)
MINEM (48.5)	GE Diesel Santa Cruz del Sur	27.03
	GE Diesel La Jagua	21.47

Tabla 8. Total de emisiones de contaminantes atmosféricos por entidades del Municipio Esmeralda y sus organismos

Organismo (toneladas)	Entidad	Emisión total (t/año)
AZCUBA (417.46)	CAI Brasil	417.46

a diesel con tres grupos electrógenos que emite un total de 40.7 t de gases contaminantes, entre los cuales el 48.5 está compuesto por NO_x y el 45.7% corresponde a SO₂, (Tabla 9).

Municipio Céspedes:

Es predominantemente agrícola. Como entidad industrial sólo contiene al CAI Carlos Manuel de Céspedes, el cual emite unas 597.3 t de contaminantes anuales a la atmósfera, constituyendo el material particulado el 91.8% de todas las emisiones, (Tabla 10).

Análisis por especie contaminante

En todos los casos analizados, donde entre las entidades contaminantes hay central azucarero, el material particulado proveniente de la alimentación de biomasa

a las calderas constituye una fracción importante de las emisiones en el municipio, pero cuando sólo exista como entidad industrial el central, este constituye la fuente que emite el 100% de ellas. En caso de que existan otras fuentes fijas, entonces aporta al menos el 20% de las emisiones de partículas a la atmósfera.

En la figura 7 se observa la distribución por municipio de los óxidos de nitrógeno (NO_x). Puede notarse que los mayores contribuyentes a este tipo de emisión vienen dados por el municipio que contiene a la “ciudad industrial” de Nuevitas, dados tanto por la combustión en las calderas de la termoeléctrica, así como en los grupos electrógenos, y en segundo lugar al municipio cabecera de la provincia, en el cual el predominio de las emisiones de este compuesto proviene de las centrales

Tabla 9. Total de emisiones de contaminantes atmosféricos por entidades del Municipio Sierra de Cubitas y sus organismos

Organismo (toneladas)	Entidad	Emisión total (t/año)
MINEM (40.69)	GE Diesel Imías	40.69

Tabla 10. Total de emisiones de contaminantes atmosféricos por entidades del Municipio Céspedes y sus organismos

Organismo (toneladas)	Entidad	Emisión total (t/año)
AZCUBA (597.3)	CAI Céspedes	597.3

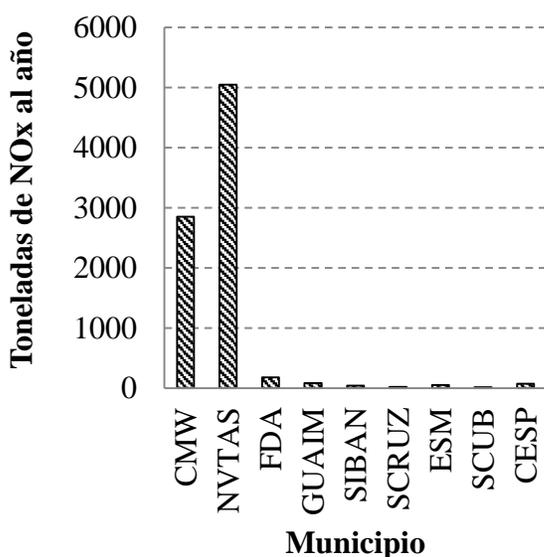


Figura 7. Total de emisiones de NO_x por municipio (t/año)

eléctricas con grupos electrógenos (a fuel y a diesel según el caso). El otro aporte que se aprecia en dicha figura correspondió a las emisiones de los municipios Florida (como resultado de procesos de combustión en centrales azucareros y sobre todo de los procesos en grupos electrógenos), Guáimaro (de los grupos electrógenos), y de la combustión de biomasa en el CAI Céspedes (por razones de tamaño de escala no se visualiza el aporte tan pequeño de los restantes municipios y para salvar esta y situaciones similares por municipio y

especie contaminante se suministran en detalle los datos de emisiones totales en la [tabla 1](#) de este trabajo).

El SO₂ predomina en el municipio de Nuevitas ([Figura 8](#)) debido a la alta tasa de consumo de combustible que posee un contenido de azufre superior (4-7%) y que es el que se emplea en la termoeléctrica (Fuel oíl pesado y petróleo crudo nacional) además de en la fábrica de cemento. Las emisiones de este compuesto en el municipio Camagüey corresponden también a lo asociado a la generación eléctrica con fuel y con diesel.

El material particulado (MP₁₀ y MP_{2.5}), aunque presentó también la mayor emisión en el municipio Nuevitas por sus características de alto consumo de combustible fósil en sus instalaciones industriales, ofrece sin embargo un comportamiento general distinto en las [figuras 9](#) y [10](#) a lo que se había venido apreciando en las figuras precedentes, en las que prácticamente sólo los municipios Nuevitas y Camagüey se abarcan la casi totalidad de las emisiones. Esto es debido a que ahora se incorporan como generadores de ese tipo de emisiones también las instalaciones de los centrales azucareros (ver el aporte no despreciable, sobre todo de los MP₁₀, en los municipios Florida, Sibanicú, Esmeralda, y Céspedes).

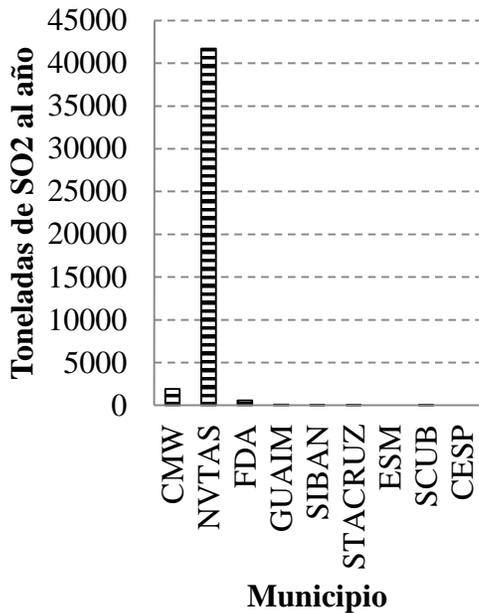


Figura 8. Total de emisiones de SO₂ por municipio (t/año)

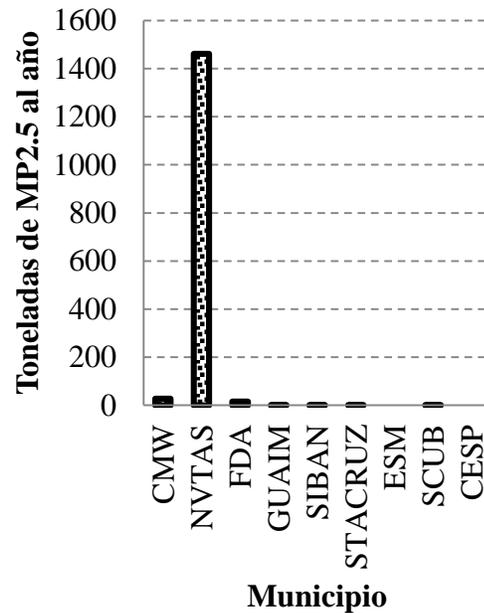


Figura 10. Total de emisiones de MP_{2.5} por municipio (t/año)

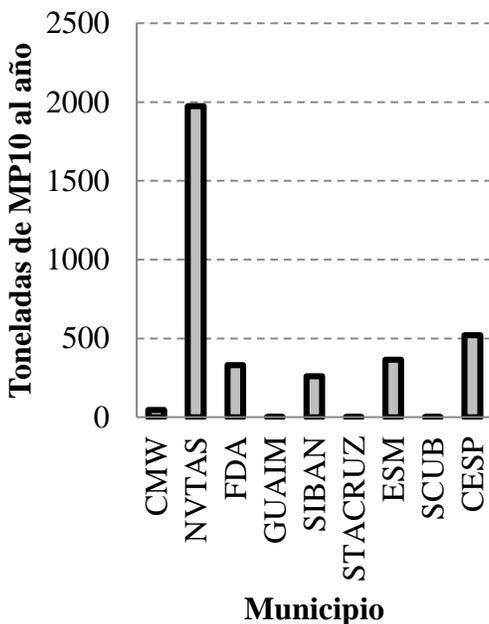


Figura 9. Total de emisiones de MP₁₀ por municipio (t/año)

La magnitud de las emisiones de monóxido de carbono en cada uno de los municipios considerados en el presente estudio se observa en la [figura 11](#). Puede apreciarse de allí que los municipios de Nuevitas y Camagüey fueron de nuevo los máximos emisores en el territorio, debido a la ubicación de mayor cantidad de industrias en ellos.

Con relación a los COVDM, la [figura 12](#) muestra la emisión de estos por municipio. Nótese que, aunque en mayor cuantía se ubican los municipios de Camagüey, Nuevitas, Florida y Guáimaro (dada la mayor actividad industrial en los mismos, asociado a procesos de combustión) y la magnitud de estas fue pequeña por estar en el orden de 10^1 (mientras que en los otros compuestos estuvieron en órdenes de magnitud muy superiores, de 10^3 para el NO_x y los MP, llegando hasta 10^4 en el caso del SO₂) es importante tener en cuenta el grado de toxicidad de los mismos así como

las implicaciones que sobre el organismo humano puede desarrollar por si solo o por combinación con otras sustancias su efecto sinérgico (WHO, 2000; Ho & Lee, 2002; Guo *et al.*, 2004).

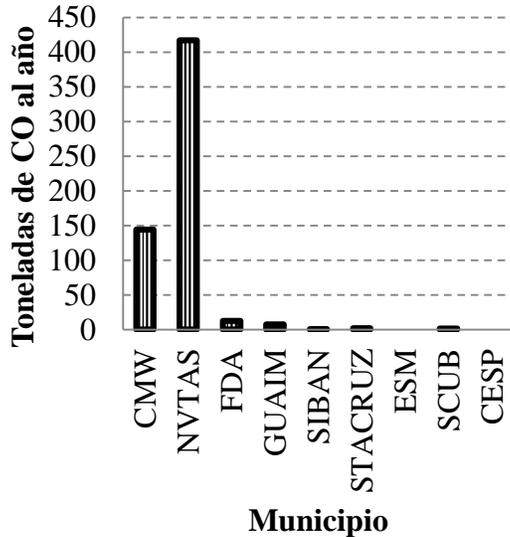


Figura 11. Total de emisiones de CO por municipio (t/año)

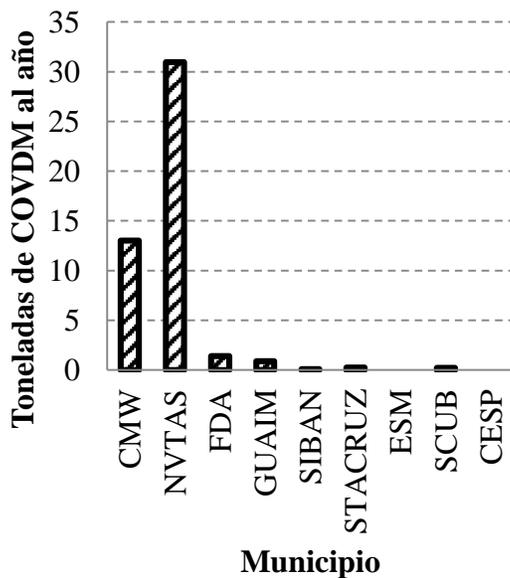


Figura 12. Total de emisiones de COVDM por municipio (t/año)

Como elemento adicional para el análisis se realiza una agrupación por los organismos mas relevantes en cada municipio. En la [tabla 11](#) se puede observar que el organismo que más tributó contaminantes a la atmósfera es el MINEM y por supuesto dentro de él, la actividad de la generación eléctrica, ya sea en plantas térmicas (centrales termoeléctricas) o en centrales de grupos electrógenos a fuel o diesel.

Debe tenerse presente que, aunque en teoría los índices de consumo de petróleo en centrales térmicas y grupos electrógenos están bastante cercanos (con tendencia a ser menores en los grupos electrógenos) sin embargo en los grupos electrógenos el factor de emisión para los NO_x puede llegar a ser muy superior al de una central térmica convencional (Vijay *et al.*, 2004).

Si bien de la [tabla 1](#) se observa que, excepto para los municipios en los cuales la actividad emisora depende únicamente de los centrales azucareros (en los cuales la especie mayoritaria es el material particulado) en todos los demás casos el predominio de los agentes contaminantes se centró en los NO_x y los SO₂ tal como puede apreciarse en la [figura 13](#).

Queda claro pues de esta figura que el municipio donde la proporción mayor de SO₂ contaminante en la mezcla total es Nuevitas, lo que coincide con que es precisamente donde está instalada la central termoeléctrica “10 de Octubre” con una potencia de más de 479 MW. Para complementar este análisis con el aporte de la generación en cada municipio se debe observar la [tabla 12](#).

Tan sólo con la intención de una comparación, si se realiza la suposición de que existiera una parcela de aire de área igual a la del correspondiente municipio, y en la cual se acumulen y permanezcan estáticas durante un año las emisiones sobre

Tabla 11. Total de emisiones de contaminantes por organismos en los municipios

Municip.	MINAL	MINEM	MICONS	MINSAP	MINDUS	AZCUBA	Otros	Total
Camagüey	226.9	4542.7	120.8	52.1	-	-	20.2	4962.1
Nuevitas	12.6	47385.9	1650.2	11.9	152.4	-	-	49211.9
Florida	21.7	216.3	-	3.9	-	847.9	-	1089.8
Guáimaro	10.9	173.7	-	2.4	-	-	-	186.0
Sibanicú	21.0	14.1	-	-	-	297.2	-	332.4
Sta. Cruz	-	48.5	-	-	-	-	-	48.5
Esmeralda	-	-	-	-	-	417.5	-	417.5
Sierra de Cubitas	-	40.7	-	-	-	-	-	40.7
Céspedes	-	-	-	-	-	597.3	-	597.3
Total	293.2	52421.9	1770.9	70.3	152.4	2159.8	20.2	56886.2
% organism	0.51	92.2	3.1	0.1	0.26	3.8	0.03	100.0

Tabla 12. Relación entre emisión total de gases en generación eléctrica (GE) y emisión total de gases en todas las actividades en los municipios estudiados

Municipio	Emisión en GE	Emisión Total	% en GE
Camagüey	4542.7	4962.1	91.5
Nuevitas	47385.9	49211.9	99.03
Florida	216.3	1089.8	20.4
Guáimaro	173.7	186.0	93.4
Sibanicú	14.1	332.3	4.3
Sta. Cruz del Sur	48.5	48.5	100
Esmeralda	0	417.5	0
Sierra de Cubitas	40.7	40.7	100
Céspedes	0	597.3	0
Total	52421.9	56886.2	92.2

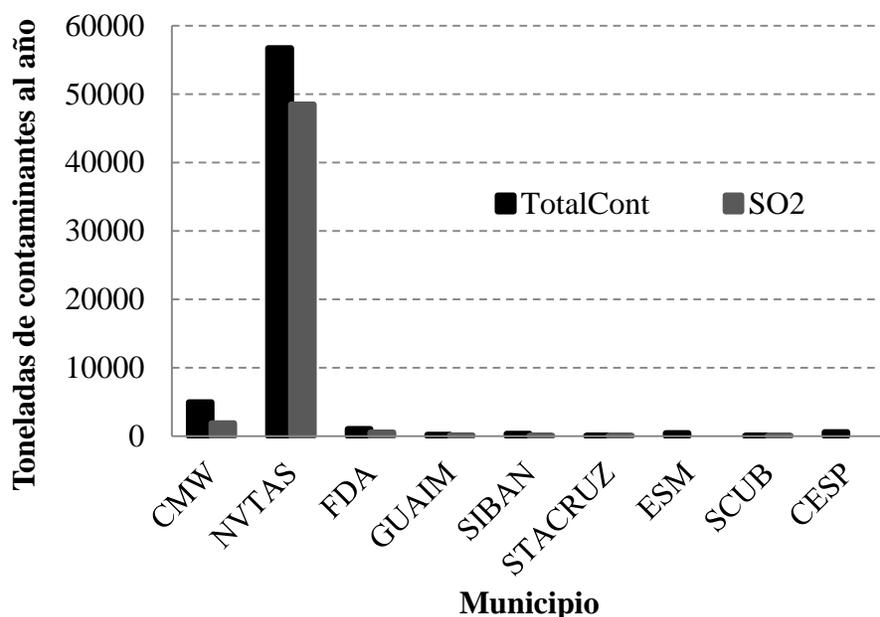


Figura 13. Relación entre el total de emisiones de contaminantes a total de emisiones de SO₂ en cada municipio estudiado

el área de cada municipio, teniendo en cuenta el total de población en cada uno de ellos ([ONEI, 2015](#)) se obtiene lo expuesto en la [tabla 13](#).

Tabla 13. Per cápita de emisiones de contaminantes por municipio y población

Municipio	Kg/(habitante * año)
Camagüey	15.2
Nuevitas	794.6
Florida	15.1
Guáimaro	4.8
Sibanicú	10.7
Santa Cruz del Sur	1.1
Esmeralda	13.8
Sierra de Cubitas	2.2
Céspedes	24.8
Total	87.7

En un análisis de las emisiones por habitantes para la zona urbana de Cali-Yumbo en Colombia se obtiene un índice de 226 kg/habitante al año ([Jaramillo et al., 2004](#)). Si bien se aprecia que esa cifra es superior a lo obtenido para todos los municipios de la provincia de Camagüey aquí analizados (excepto el de Nuevitas) y la media provincial es menor también, vale resaltar que lo reportado en el trabajo citado se refiere tanto a las emisiones desde fuentes fijas como móviles, lo que hace que la comparación sea efectuada con discreción y no como criterio definitorio.

A su vez, de la [tabla 13](#) se obtiene el orden que se le atribuiría a cada municipio según el per cápita de contaminante por habitante. De allí resalta a primera vista que la peor situación corresponde al municipio Nuevitas (dadas las razones anteriormente expuestas de “ciudad industrial” no sólo por la cantidad de industrias sino por las dimensiones de dichas entidades y nivel de

consumo de combustible así como por el alto contenido promedio de azufre en este). Debe aclararse que, siendo Nuevitas el municipio más contaminante, y deberse ese alto nivel de contaminación a la actividad de la generación eléctrica, los cálculos aquí expuestos corresponden a un escenario de consumo promedio de combustible en la termoeléctrica (como entidad más contaminante en el municipio) lo que conduce al valor per cápita de emisiones de contaminantes atmosféricos expuesto en dicha tabla (794.6 kg/habitante al año). No obstante, si se toma un consumo como el que ha existido en otro año que sea más alto, pudiera elevarse hasta 916 kg/habitante al año.

Conclusiones

1. En los municipios con mayor capacidad de generación eléctrica, esta actividad representa un porcentaje muy elevado de la generación de los contaminantes atmosféricos NO_x , SO_2 , MP_{10} , $\text{MP}_{2.5}$, CO , y COVDM .
2. En la provincia de Camagüey, el organismo con mayores emisiones a la atmósfera de NO_x , SO_2 , MP_{10} , $\text{MP}_{2.5}$, CO , y COVDM , es el MINEM, correspondiendo a la generación eléctrica el 92.2 % de estas.
3. En los municipios donde no hay generación eléctrica en base a combustible fósil pero hay centrales azucareros en operación, el aporte mayoritario de contaminantes viene dado por el material particulado y luego, en valores inferiores, por los NO_x .
4. Los dos municipios con mayores emisiones de contaminantes atmosféricos de la provincia son: Nuevitas en primer lugar, con 49211.8 t de emisión total al año, dentro de las cuales el 84.8% corresponde a SO_2 , y en segundo lugar Camagüey con 4962.1 t anuales y correspondiéndole un 57.5% de estas a los NO_x , pero el total de este municipio apenas representa el 10% de las emisiones de Nuevitas.
5. La alta magnitud de las emisiones obtenidas se encuentra en correspondencia con el bajo empleo de instalaciones o equipamiento para reducir las emisiones, obsolescencia de la tecnología o no adecuado estado de esta, baja calidad del combustible, y altos volúmenes de consumo de este.

Recomendaciones

Para mejorar las estimaciones de las emisiones de contaminantes atmosféricos realizados podría realizarse el análisis del aporte adicional motivado por una calidad inadecuada de la combustión en los correspondientes dispositivos.

Referencias

- Batule Águila L., Cuesta Santos O., y Herrera G. A. 2013. "Modelación de la dispersión de los contaminantes atmosféricos emitidos por Antillana de Acero". *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 19, No. 2, pp. 94-105.
- CONAMA. 2009. *Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes*. Comisión Nacional de Medio Ambiente. Teatinos 254/258, Santiago de Chile, ISBN 978-956-7204-36-6, p. 146.
- Cuesta, O, A. Collazo, A. Wallo, C. López, A. Roque, A. Campos, L. Álvarez, R. González, A. Arriba, M. González, D. Pérez, R. Labrador, P. Sánchez, I. Ribero, E. Echeverría, G. Ananias & R. Manso. 2000. *Caracterización del medio ambiente atmosférico en la ribera este*

- de la Bahía de La Habana*. INSMET, Informe científico-técnico, 130 p., La Habana.
- 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*. Libro de resúmenes, 167 p. La Habana, diciembre 2010.
- Cuesta Santos, O., Arnaldo Collazo Aranda, Yosdany González & colectivo de autores y colaboradores. 2012. *Inventario de emisiones atmosféricas de las principales fuentes fijas de La Habana*, INSMET, Informe científico-técnico, 73 p. Resultado 01 del proyecto 30205, La Habana.
- CUPET. 2014. *Catálogo de Especificaciones de Productos: Rama Combustibles*. OC-GC/C 0614, Vers. 02, 81 p.
- Delgado Palomo LL. y Sánchez Navarro P. 2012. "Evaluación de riesgos para la salud por deficiente calidad del aire en el municipio Habana Vieja". *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 19, Nº 1, pp. 3-16.
- EPA. 1996. *Report on revisions to 5th edition AP-42. Section 3.3. Gasoline and Diesel Industrial Engines*. Contract No. 68-D2-0160, Work Assignment 50. EPA Work Assignment Officer, 74 p.
- Guo H.; Wang T.; Simpson I. J.; Blake D. R.; Yu X. M.; K Wok Y. H.; Li , Y. S. 2004.
- Source contributions to ambient VOCs and CO at a rural site in eastern China. *Atmospheric Environment* 38: 4551-4560.
- Ho K. F., Lee S. C. 2002. Identification of atmospheric volatile organic compounds (VOCs), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and carbonyl compounds in Hong Kong. *The Science of the total Environment* 289: 145-158.
- Jaramillo M., Núñez M. E., Ocampo W., Pérez D. & Portilla G. 2004. "Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos convencionales en la zona de Cali-Yumbo". *Revista Facultad de Ingeniería* No. 31, pp. 38-48.
- Marcelo García G, Gómez Gutiérrez C., & Wallo Vázquez A. 2014. "Influencia de la contaminación atmosférica sobre el asma bronquial en el municipio de Regla. Costos ambientales asociados". *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 20, Nº 1, ene - jun. pp. 28 – 40.
- Martínez Ataz E. & Díaz de Mera Morales Y. 2004. *Contaminación atmosférica*. Editorial Univ. de Castilla La Mancha, 2004. ISBN: 8484273245. Available: <https://books.google.es/books/about/Contaminaci%C3%B3n_atmosf%C3%A9rica.html?id=sLE8xbtcK-gC&hl=es> , Consulted: Nov. 23, 2016.
- NC 1059: 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*, 81 p. (Anexo 3), Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba.
- NC 1049: 2014. *Guía de datos tecnológicos para inventario de emisiones de los contaminantes atmosféricos desde fuentes industriales estacionarias*, 16 p. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba.

- ONEI. 2015. *Anuario Estadístico de Cuba 2014, Capítulo 3: Población*, Edición 2015, Oficina Nacional de Estadísticas e Información, 43 p. Cuba, Available: [http://www.one.cu/aec2015/00 Anuario Estadistico.pdf](http://www.one.cu/aec2015/00_Anuario_Estadistico.pdf), [Consulted: Dic. 4, 2016].
- Ramírez, H., Andrade, M., Bejaran, R., García, M., Wallo, A., Pompa, A. & De La Torre, O. 2009. The spatial temporal distribution of the atmospheric polluting agents during the period 2000-2005 in the Urban Area of Guadalajara, Jalisco, Mexico. *Journal of Hazardous Materials*, 165, 1128-1141.
- Rodríguez Valdés D., Echevarría Pérez L., Cuesta Santos O., Collazo Aranda A., Sánchez Díaz A., Nuñez Caraballo V., Miló López M.V., Gato Díaz A.L. 2013. "Inventario de emisiones de contaminantes en las fuentes fijas de las zonas urbanas de Pinar del Río y Santa Lucía". *Revista Cubana de Meteorología*, Vol. 19, N° 1, pp. 68-82.
- Seinfeld J.H. & Pandis S.N. 2006. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. 2nd. ed., Wiley and Sons, New Jersey, 2006, p. 1249, ISBN: 978-0-471-72018-8.
- Stanley E. Manahan. 2007. *Introducción a la química ambiental*. Editorial Reverté, 2007. ISBN: 8429179070.
- US EPA. 1995. *Compilation of Air Pollutant Emission Factors*.
- Vijay Samudra, Luisa T. Molina y Mario J. Molina. 2004. *Cálculo de emisiones de contaminación atmosférica por uso de combustibles fósiles en el sector eléctrico mexicano*. Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, Abril 2004, 24 pp.
- WHO. 2000. *Air Quality Guidelines for Europe*, 2nd Edition. WHO Regional Publications, European Series, No. 91. Copenhagen.
- Zuk Miriam, Verónica Garibay Bravo, Rodolfo Iniestra, María Tania López, Leonora Rojas Bracho, Israel Laguna. 2006). *Introducción a la evaluación de los impactos de las termoeléctricas de México*. ISBN 968-817-804-7, 126 p.