

<i>Nereis. Revista Iberoamericana Interdisciplinar de Métodos, Modelización y Simulación</i>	4	19-30	Universidad Católica de Valencia "San Vicente Mártir"	Valencia (España)	ISSN 1888-8550
--	---	-------	---	-------------------	----------------

Métodos teóricos para calcular parámetros tecnológicos de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por fuentes fijas.

Caso de estudio ciudad de Pinar del Río

Fecha de recepción y aceptación: 4 de diciembre de 2011 y 20 de diciembre de 2011

Dagoberto Rodríguez Valdés†, Liuben Echevarría Pérez†, Osvaldo Adolfo Cuesta Santos‡, Arnaldo Evaristo Collazo Aranda‡, Almara Sánchez Díaz∞, Aymara Liudmila Gato Díaz§

† Universidad de Pinar del Río, Cuba.

‡ Instituto de Meteorología, Cuba.

∞ Centro Meteorológico de Pinar del Río, Cuba.

§ Joven Club Pinar X.



ABSTRACT

This study was performed on fixed sources of air pollutants emission belonging to the city of Pinar del Río in the province of the same name in Cuba, based on the need to meet the technological data of emissions of these sources, following as the application of theoretical methods for calculating the technological parameters that are not available in these centers, as well as following the forms set out in the Cuban norm for these purposes. Obtaining as results the rate of emission of air pollutants emitted, the gas peak flow and the speed of the gas mixture issued, concluding with the importance and use of this information in multiple studies such as air quality and inventory emissions, being part in these way of the environmental impact studies.

KEYWORDS: Fixed Sources, Emissions.

RESUMEN

El presente estudio se realizó en las fuentes fijas de emisión de contaminantes atmosféricos pertenecientes a la ciudad de Pinar del Río, en la provincia de Pinar del Río de Cuba, partiendo de la necesidad de conocer los datos tecnológicos de emisión de estas fuentes. La metodología empleada fue la aplicación de métodos teóricos para calcular los parámetros tecnológicos que no están disponibles en estos centros. Se siguieron los formularios establecidos en la Norma Cubana para estos fines. De este modo se obtuvieron: la tasa de emisión de contaminantes atmosféricos, el flujo máximo del gas emitido y la velocidad de la mezcla gaseosa emitida, lo que reveló la importancia y utilización de esta información en múltiples estudios, como los de calidad del aire e inventario de emisiones, lo que pasó a formar parte de los estudios de impacto ambiental.

PALABRAS CLAVE: Fuentes fijas, emisiones.

INTRODUCCIÓN

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

Durante los años noventa, en países en vías de desarrollo, se mostró una creciente preocupación por problemas asociados con la pérdida de calidad del aire, pero solo en países ya desarrollados se pudo apreciar el resultado de trabajos relevantes, como el programa EMEP/CORINAIR, perteneciente a la Agencia Europea de Medio Ambiente, el cual ha tenido una amplia difusión por Europa y otras regiones del mundo; la compilación de factores de emisión de contaminantes atmosféricos AP-42 (U.S.



EPA, 1995a), ampliamente divulgada y utilizada a nivel mundial; el software *Industrial Pollution Control* (IPC), desarrollado por el Banco Mundial, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS) del año 1995, así como los trabajos U.S. EPA (1997b, 1999), por ejemplo.

En el caso específico de Cuba, en la actualidad se realizan esfuerzos para una paulatina modernización de la industria en general. No obstante, predominan los procesos basados en el uso de tecnologías atrasadas que representan importantes fuentes de contaminantes (Bonito *et al.*, 1992). En la pasada década, Cuba debió enfrentarse a severas dificultades económicas, lo que ocasionó una disminución de las actividades industriales y el transporte, con la consiguiente reducción global de las emisiones contaminantes; por las mismas razones, se produjo un incremento de la utilización como combustible del petróleo crudo de extracción nacional, con alto contenido en azufre y elevado potencial contaminante, incluso en grandes fuentes industriales ubicadas en zonas urbanas. Durante este período también tuvo lugar una disminución de la eficiencia de las acciones de control de las fuentes, así como de los recursos técnicos disponibles para el monitoreo ambiental, situaciones que pudieran haber contribuido a una falsa percepción de que en el país la contaminación atmosférica ha dejado de constituir un problema para la salud y el ambiente (Molina *et al.*, 2008).

A pesar de la situación económica en la que Cuba ha estado en la dos últimas décadas, se han realizando algunos trabajos interesantes en el campo de la emisión de contaminantes en la pasada década, que fundamentalmente se han dirigido a conocer las emisiones de gases de efecto invernadero, y que han ido apareciendo reflejados en los trabajos de López *et al.* (2002, 2003, 2004 y 2005), y más recientemente en los de Rodríguez (2007), Rodríguez *et al.* (2009) y Cuesta *et al.* (2010), encaminados a cuantificar las emisiones de fuentes puntuales industriales.

El presente trabajo muestra como resultado el cálculo del flujo máximo del gas emitido, la velocidad de salida de la mezcla gaseosa y la tasa de emisión de gases contaminantes, como el monóxido de carbono (CO), el dióxido de azufre (SO₂), el material particulado menor de 10 micras (PM₁₀), el material particulado menor de 2,5 micras (PM_{2,5}), los óxidos de nitrógenos (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), datos que no existen en las fuentes fijas de contaminación de la zona escogida para el estudio, por no existir instrumentos para realizar mediciones de ellos.

Objetivo

Calcular parámetros tecnológicos de emisión de contaminantes atmosféricos generados por las fuentes fijas en la ciudad de Pinar del Río mediante métodos teóricos.

MÉTODOS

El área de estudio que corresponde al municipio de Pinar del Río se encuentra ubicada, aproximadamente, en la porción centro-sur de la provincia, y ocupar una superficie de 726,69 km². Limita al norte con los municipios de Viñales y Minas de Matahambre, al sur con el Golfo de Batabano, al este con el municipio de Consolación del Sur y al oeste con los de San Luis y San Juan y Martínez (DGP, 2010). La ciudad de Pinar del Río posee la categoría de Primer Orden. Capital de la provincia homónima y cabecera municipal, situada en el centro de esta y a 146 km al oeste de la ciudad de La Habana, en los 22° 25' 00" lat. N y los 83° 41' 43" long. O, en la llanura del sur de Pinar del Río, a 35,0 m de altitud; 31,68 km²; 154. 063 hab.; 42.762 viv. (ONE, 2009). El tejido urbano se caracteriza por tres grandes zonas claramente diferenciadas y divididas por el río Guamá. El nuevo desarrollo, después del triunfo de la revolución, resalta los bloques de edificios aislados y articulados por grandes espacios públicos; la ciudad tradicional y los repartos que la circundan, con un trazado bastante irregular y una morfología compacta en sus edificaciones, fruto de un proceso de evolución que tiene sus inicios en el siglo XVII, y la zona industrial al suroeste de la ciudad, concebida en grandes praderas y edificaciones aisladas donde predominan los almacenes y la industria de la construcción. Población vinculada a los servicios y las industrias sideromecánica, electrónica, alimentaria y de materiales de la construcción. Se vincula a la capital de la república por carretera central, la autopista nacional y el ferrocarril occidental. Sus orígenes datan de finales del siglo XVII. La clasificación del nombre según su motivación proviene de un fitotopónimo (DGP, 2010).

Captación de datos tecnológicos

La Norma Cubana (NC 242: 2005) establece los datos tecnológicos que se han de tener en cuenta para la realización de un inventario de emisiones de contaminantes a la atmósfera, generados por fuentes puntuales industriales. En la zona escogida



para el trabajo se ha identificado un grupo de focos contaminantes de alta y mediana significación (figura 1), ya sea por el lugar en el que se encuentran, ya sea por el tipo de contaminantes que generan y el radio de protección de cada uno de ellos. Estas fuentes, de acuerdo con el radio mínimo admisible (RMA) de protección sanitaria respecto a los límites de las zonas habitables, son de obligatorio cumplimiento y se establecen en la Norma Cubana (NC 39:1999), Calidad del Aire. Requisitos Higiénicos Sanitarios. En la tabla 1 se muestran los radios mínimos admisibles según las categorías establecidas.

Tabla 1. Radios mínimos admisibles de protección sanitaria

Categoría	Radio mínimo en metros
I	1.000
II	500
III	300
IV	100
V	50

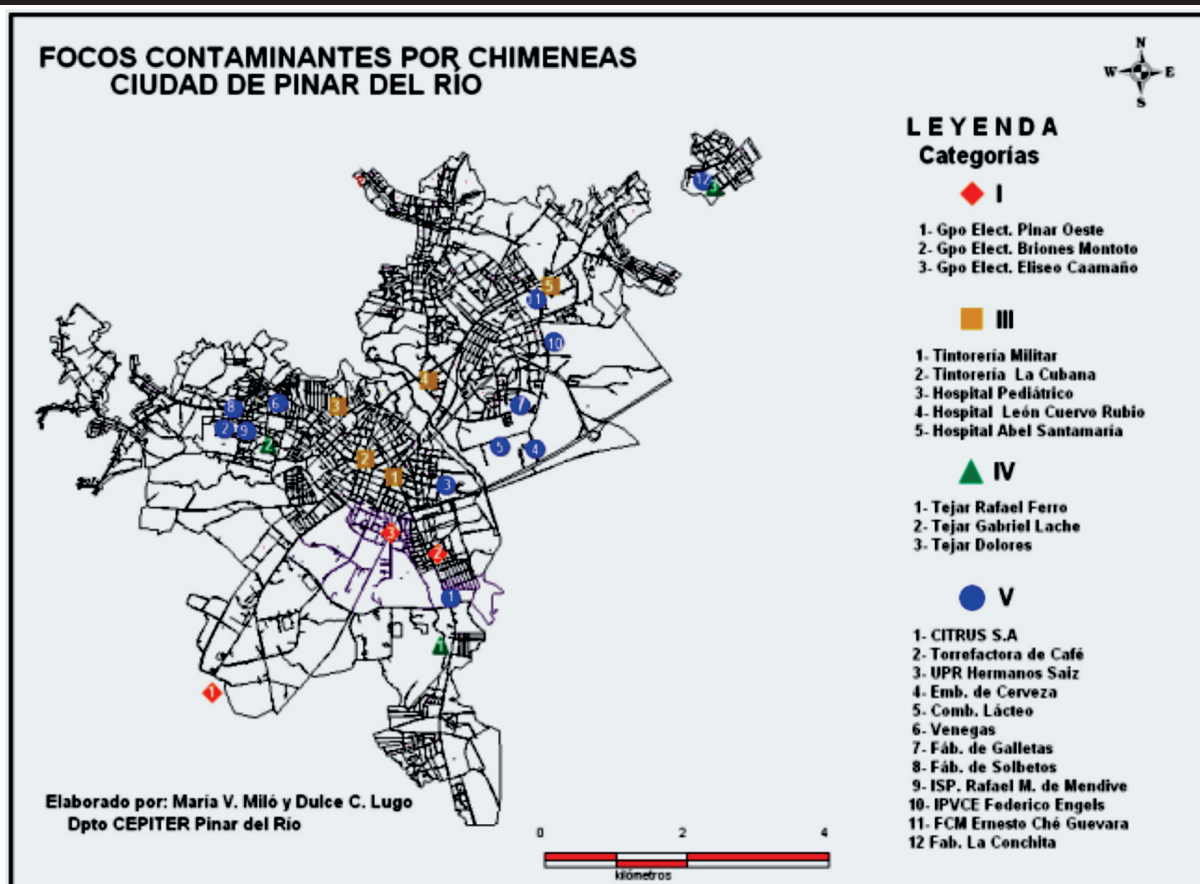


Figura 1. Esquema de ubicación de las fuentes contaminantes y categorías según radio mínimo admisible de protección sanitaria. Ciudad de Pinar del Río.



La captación de datos tecnológicos tiene cierto grado de complejidad, ya que generalmente existen algunos datos que no se pueden adquirir de forma rutinaria en los centros industriales, fábricas, hospitales, escuelas, etc., lo que obliga a obtenerlos mediante cálculos (Rodríguez, 2007). A continuación, se detallan los formularios para la captación de datos tecnológicos en las fuentes fijas, pertenecientes a la NC 242:2005; solo en los casos necesarios se describen los procedimientos de cálculos empleados para obtener los datos que no existen en las fuentes.

Requisitos generales

Información general del proceso (Formulario para la captación de datos para la estimación de las emisiones DE1).

- Organismo
- Nombre de la empresa
- Dirección
- Provincia
- Código de proceso industrial
- Número de fuentes puntuales
- Principal(es) contaminante(s) del proceso

Información estática para cada fuente estacionaria

Es la información de carácter tecnológico y productivo básica necesaria para la realización de los cálculos de las emisiones (Formulario DE2).

- Año de puesta en marcha
- Operación anual (horas/año)
- Producción (diaria, mensual, anual)
- Altura de la fuente (m)
- Diámetro interior (m)
- Dispositivo de control de las emisiones (Sí/No)
- Temperatura de la mezcla gaseosa emitida [°C]

Flujo máximo del gas emitido: Máximo del gas por unidad de tiempo emitido a través de la chimenea o conducto de emisión. Se expresa en (m³/s).

$$V_{TH} = 22.4 * \left[\left(\frac{PC}{12} + \frac{PH_2}{4} + \frac{PS}{32} - \frac{PO_2}{32} \right) * \frac{n}{0.21} + \frac{PH_2}{4} + \frac{PO_2}{32} \right] \quad (1)$$

Donde:

V_{TH} : volumen de gases húmedos en condiciones normales (0 °C y 760 mm de Hg) en Nm³/kg de combustible.

n: coeficiente de exceso de aire = 1,2 en ausencia de mediciones.

PC, PH₂, PS y PO₂: son los tanto por uno de la composición elemental de la materia prima, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Composición elemental de la materia prima (combustible)

Combustible	Composición química (%)		
	S	H	C
Diesel	0.70	13.91	84.39
Fuel-Oil ligero	2.23	11.09	85.53
Fuel-Oil mediano	3.38	11.06	84.26
Fuel-Oil pesado	3.61	11.72	83.47

Fuente: EECH-Laboratorio de Inel.



El flujo volumétrico de gases húmedos (1) debe corregirse mediante la ecuación de los gases ideales para la temperatura de salida de los gases de la chimenea.

$$P_1 \cdot V_1 = n \cdot R \cdot T \quad (2)$$

Donde:

P_1 : presión total del gas (atm)

V_1 : volumen del gas (m^3)

n : número de moles del gas (kmol)

R : constante universal de los gases ($atm \cdot m^3/kmol \cdot K$)

T : temperatura de los gases (K)

Como n , R y P_1 son constantes, la expresión (2) queda como aparece en la expresión (3).

$$\frac{V_1}{T} = \frac{n \cdot R}{P_1} = \text{Constante} \quad (3)$$

De la expresión (3) se obtiene la expresión (4).

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (4)$$

Despejando V_2 se obtiene la expresión (5).

$$V_2 = \frac{V_1}{T_1} \cdot T_2 \quad (5)$$

Donde:

V_2 : flujo volumétrico corregido (m^3/kg)

$V_1 = V_{TH}$ (Nm^3/kg).

T_1 : temperatura en condiciones normales ($0^\circ C$ o $273 K$)

T_2 : temperatura de salida de los gases de la chimenea (K)

Con el resultado de la expresión (5), sustituyéndola en (6), se obtiene el flujo máximo del gas emitido (Q) en m^3/seg .

$$Q = V_2 \cdot C \quad (6)$$

Datos:

CC: Consumo de combustible (kg/seg)

Velocidad de la mezcla gaseosa (m/s): La velocidad medida o estimada en la salida de la mezcla gaseosa por la fuente puntual de emisión se suele expresar en metros por segundo.

Para obtener la velocidad de salida de los gases se utiliza la siguiente expresión:

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2} \quad (7)$$



Donde:

V: velocidad de salida de los gases, m/s

Q: flujo de gases, m³/s.

$\pi = 3.14$.

d: diámetro interior de la chimenea.

Tasa de emisión: Volumen del gas emitido por unidad de producción, se expresa en m³/unidad de producción, en su defecto puede aparecer un **índice de consumo** de materia prima para producir una unidad.

Cálculo de emisiones a la atmósfera utilizando factores de emisión

Ecuación general para el cálculo de emisiones a la atmósfera utilizando **Factores de Emisión:**

$$E = FE * A * (1-ER/100) \quad (8)$$

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 el trabajo 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) (tabla 3) y del software Industrial Pollution Control (Control de Contaminación Industrial) (IPC, 1995) (tabla 4), desarrollado por el Banco Mundial, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS).

Tabla 3. Factores de emisión AP-42

Factor (Lb/1000 Gal)	Combustibles	Cont.	Control de la emisión
2.400E1	Destilados del petróleo	NO _x	Incontrolado
4.700E1	Residuo del petróleo	NO _x	Incontrolado
2.300E0	Destilados del petróleo	PM ₁₀	Incontrolado
1.550E0	Destilados del petróleo	PM _{2,5}	Incontrolado
(5.9E0*(1.12*S+0.37))+1.500E0	Residuo del petróleo	PM ₁₀	Incontrolado
(4.3E0*(1.12*S+0.37))+1.500E0	Residuo del petróleo	PM _{2,5}	Incontrolado
1.42E2*S	Destilados del petróleo	SO ₂	Incontrolado
1.57E2*S	Residuo del petróleo	SO ₂	Incontrolado
5.000E0	Destilados y residuo del petróleo	CO	Incontrolado

Los factores de emisión obtenidos a través de AP-42 están expresados en libras de contaminantes emitidos por cada 1.000 galones de combustible consumido (Lb/1000 Gal), pero hay que llevarlos a gramos de contaminantes emitidos por kilogramo de combustible consumido (g/kg). Para ello se realizó el siguiente procedimiento.

1 libra = 453.6 g.

1 galón = 0.003785412 m³ ≈ 0.0038 m³.

1 g/cm³ = 1000 kg/m³.



$$m = \rho * v \quad (9)$$

Donde:

m: es la masa en kg.

ρ : es la densidad en kg/m³.

V: es el volumen en m³.

La densidad del fuel oil es 0.966 g/cm³, y la del diésel 0.8354 g/cm³. Las que aparecen reflejadas en la tabla de declaración de conformidad emitida por la Refinería Níco López de Cuba.

Tabla 4. Factores de emisión IPC

Proceso	Cont.	Factor de emisión	Variable explicativa
Tejares	CO	6 kg/t (toneladas producidas)	Toneladas de cerámica al año
	PM ₁₀	29 kg/t	Toneladas de cerámica al año
	COVDM	165 kg/t	Toneladas de cerámica al año
	SO ₂	198 kg/t	Toneladas de cerámica al año
	NOx	525 kg/t	Toneladas de cerámica al año

Información del combustible

Características del combustible utilizado, el cual es fundamental para el cálculo de las emisiones (Formulario DE3).

- Tipo de combustible
- Contenido de azufre (%)
- Consumo anual
- Utilización de hornos/calderas (Sí/No)
- Capacidad de generación energética (MW/hora)
- Solventes utilizados
- Contenido de solvente (%)
- Consumo anual de solvente

RESULTADOS

En la tabla 5 se ilustran los resultados obtenidos de la tasa de emisión de contaminantes (g/s) y el flujo máximo del gas emitido (m³/s) y de la velocidad de la mezcla gaseosa emitida (m/s). Estos se obtuvieron aplicando los métodos teóricos planteados con anterioridad en el trabajo.



Tabla 5. Cálculo de datos tecnológicos de las fuentes fijas de la ciudad de Pinar del Río

Nombre de la fuente	Tasa de emisión de contaminantes (g/s)	Flujo máximo del gas emitido (m ³ /s)	Velocidad de la mezcla gaseosa emitida (m/s)
Fábrica Embotelladora de Cerveza "La Princesa"	CO: 0,024 SO ₂ : 1,90 PM ₁₀ : 0,098 PM _{2,5} : 0,096 NO _x : 0,23	1,4	3,3
Facultad de Ciencias Médicas	CO: 0,0024 SO ₂ : 0,04 PM ₁₀ : 0,0013 PM _{2,5} : 0,0009 NO _x : 0,013	0,05	1,1
CITRUS	CO: 0,019 SO ₂ : 1,76 PM ₁₀ : 0,09 PM _{2,5} : 0,057 NO _x : 0,18	1,1	2,5
Fábrica de galletas "Dulce y Sorbeto"	CO: 0,00025 SO ₂ : 0,0042 PM ₁₀ : 0,00014 PM _{2,5} : 0,00009 NO _x : 0,0014	0,015	0,9
Fábrica de galletas "La Pinareña"	CO: 0,0052 SO ₂ : 0,085 PM ₁₀ : 0,0027 PM _{2,5} : 0,0018 NO _x : 0,029	0,4	0,1
Hospital "Abel Santamaría Cuadrado"	CO: 0,011 SO ₂ : 0,85 PM ₁₀ : 0,044 PM _{2,5} : 0,043 NO _x : 0,1	0,6	20,4
Hospital "León Cuervo Rubio"	CO: 0,009 SO ₂ : 0,7 PM ₁₀ : 0,04 PM _{2,5} : 0,04 NO _x : 0,09	0,4	1,2
Fábrica "La Conchita"	CO: 0,025 SO ₂ : 1,95 PM ₁₀ : 0,1 PM _{2,5} : 0,1 NO _x : 0,23	1,4	7,1
Fábrica "Combinado Lácteo"	CO: 0,025 SO ₂ : 2,27 PM ₁₀ : 0,1 PM _{2,5} : 0,07 NO _x : 0,23	1,3	3,4
Lavandería Militar	CO: 0,009 SO ₂ : 0,14 PM ₁₀ : 0,005 PM _{2,5} : 0,003 NO _x : 0,05	0,6	18,2



Nombre de la fuente	Tasa de emisión de contaminantes (g/s)	Flujo máximo del gas emitido (m ³ /s)	Velocidad de la mezcla gaseosa emitida (m/s)
Instituto Superior Pedagógico "Rafael María de Mendive"	CO: 0,002 SO ₂ : 0,04 PM ₁₀ : 0,001 PM _{2,5} : 0,0008 NO _x : 0,01	0,1	0,7
Hospital Pediátrico Provincial "Pepe Portilla"	CO: 0,005 SO ₂ : 0,08 PM ₁₀ : 0,003 PM _{2,5} : 0,002 NO _x : 0,03	0,3	2,4
UEB Cerámica Roja "Tejar Primero de Mayo"	CO: 0,02 SO ₂ : 0,0005 PM ₁₀ : 0,0002 PM _{2,5} : 0,05 NO _x : 0,2 COVDM: 0,0004	0,8	0,07
UEB Cerámica Roja "Tejar Dolores"	CO: 0,02 SO ₂ : 0,0005 PM ₁₀ : 0,0003 PM _{2,5} : 0,06 NO _x : 0,2 COVDM: 0,0005	2,1	0,2
UEB Cerámica Roja "Tejar Ferro"	CO: 0,02 SO ₂ : 0,0005 PM ₁₀ : 0,0003 PM _{2,5} : 0,06 NO _x : 0,2 COVDM: 0,0005	2,1	0,2
Torrefactora de café	CO: 0,005 SO ₂ : 0,09 PM ₁₀ : 0,003 PM _{2,5} : 0,002 NO _x : 0,03	0,3	0,1
Universidad de Pinar del Río	CO: 0,004 SO ₂ : 0,1 PM ₁₀ : 0,005 PM _{2,5} : 0,004 NO _x : 0,02	0,2	3,3
UEB Venegas	CO: 0,007 SO ₂ : 0,1 PM ₁₀ : 0,004 PM _{2,5} : 0,003 NO _x : 0,04	0,5	1,2
Vocacional Federico Engels	CO: 0,004 SO ₂ : 0,3 PM ₁₀ : 0,02 PM _{2,5} : 0,02 NO _x : 0,04	0,2	7,4



ANÁLISIS

En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos, apreciándose que, en el caso de las emisiones, las fuentes que más emiten CO son las fábricas de La Conchita y el Combinado Lácteo, con un valor de 0,025 (g/s), mientras que la fuente que menos emite es la fábrica de galletas Dulces y Sorbeto, con 0,00025 (g/s). El SO₂ es emitido en mayor grado por el Combinado Lácteo, con un valor de 2,27 (g/s), y en menor cuantía por los tejares “Dolores” y “Primero de Mayo”, con 0,0005 (g/s), respectivamente. Las emisiones de PM₁₀ fueron originadas, en mayor grado, por la fábrica La Conchita y el Combinado Lácteo con 0,1 (g/s), presentando el menor valor de emisión la fábrica de galletas Dulces y Sorbeto, con 0,00014 (g/s). El mayor valor de emisión de PM_{2,5} pertenece a la fábrica La Conchita, con 0,1 (g/s), mientras que el menor valor de emisión fue originado por la fábrica de galletas Dulces y Sorbeto, con 0,00009 (g/s). Los NO_x fueron emitidos en mayor cantidad por la fábrica La Conchita y el Combinado Lácteo, hasta un valor de 0,23 (g/s), presentando el menor valor de emisión, como en la mayoría de los casos, la fábrica de galletas Dulces y Sorbeto, con 0,0014 (g/s). Por último, las emisiones de COVDM solo fueron aportadas por los tejares, alcanzando la mayor emisión los tejares “Dolores” y “Ferro”, con 0,0005 (g/s), respectivamente, mientras que el menor valor lo presentó el tejar “Primero de Mayo”, con 0,0004 (g/s).

DISCUSIÓN

La obtención de los resultados antes expuestos obedece a un interés de mayor alcance que el de dar a conocer procedimientos teóricos para calcular determinados parámetros tecnológicos de emisión de contaminantes atmosféricos que no están disponibles en las fuentes fijas, en este caso pertenecientes a la zona de estudio del presente trabajo, pero que de forma general sirven para cualquier fuente fija de nuestro país o de otro país.

El objetivo principal es la utilidad que estos datos pueden representar para poder aplicar técnicas de modelación de contaminantes atmosféricos, para evaluar la contaminación atmosférica que se genera en una localidad determinada por las fuentes fijas, como es el interés del proyecto de investigación al cual pertenece este resultado “Evaluación del clima y la calidad de aire en la ciudad de Pinar del Río y la comunidad de Santa Lucia, su repercusión en la salud”.

Al existir carencia de mediciones para obtener los datos tecnológicos que se describen en el trabajo, es de primordial importancia buscar alternativas para suplir estas necesidades, jugando así un importante papel en el desarrollo teórico planteado con anterioridad, con el fin de poder aplicar modelos de contaminantes atmosféricos de última generación, como: DISPER, ISC3, AERMOD o CALPUFF, que utilizan una gran cantidad de datos, tanto tecnológicos como meteorológicos y de terrenos, en función del nivel de desarrollo de la aplicación informática (modelo), para evaluar la contaminación, que de hecho simulan el proceso mucho más real.

Estos modelos antes mencionados fueron desarrollados en otros países, los cuales, para su aplicación práctica en un país como Cuba, obligan a un amplio estudio y comprensión de este, ya que la gran variedad de datos que exigen para poder analizarlos correctamente, y poder estar en condiciones de evaluar la calidad del aire en una zona dada, resulta muchas veces muy compleja, de ahí que los resultados obtenidos en este trabajo nos permiten aplicar los modelos DISPER y CALPUFF, con la finalidad de evaluar la calidad del aire en el área escogida para el estudio, como es interés primordial del proyecto de investigación al cual pertenece este resultado, y estar así en condiciones de comparar los resultados obtenidos por estos modelos, con el resultado de modelación del modelo de la norma cubana, realizar una comparación entre estos y determinar cuál de ellos se acerca más a la realidad. Esto, como es lógico, es de gran importancia, tanto en el campo de la ciencia, ya que permite aplicar nuevas técnicas de modelación en Cuba, como en el campo de la aplicación operativa de estos modelos, para determinar qué fuentes están contaminando y qué medidas se deben aplicar para atenuar esta contaminación.

CONCLUSIONES

Con la aplicación de los métodos teóricos planteados en el trabajo se logró obtener los datos necesarios para completar la información de captación de datos tecnológicos establecidos en la NC 242: 2005, producida en las fuentes fijas de emisión de contaminantes.

Esta información es fundamental para poder aplicar, en próximos estudios, técnicas de modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos de última generación, estando así en condición de comparar estos resultados con los obtenidos



mediante el modelo de la Norma Cubana, y realizar entonces una mejor valoración de la calidad del aire en una zona dada, así como comparar la efectividad de cada uno de estos modelos y escoger el que mejor refleja el proceso real.

La obtención de la tasa de emisión de contaminantes atmosféricos también es primordial para poder realizar un inventario de emisiones de las fuentes fijas en la zona de estudio, que actualmente no existe y que está en proceso de realizarse a raíz de este estudio.

En general, este resultado tiene aplicación práctica en estudios de impactos ambientales, formando así parte de la política de nuestro país en aras de mejorar las condiciones de vida de la población.

BIBLIOGRAFÍA

1. BONITO L., MOLINA E. & CABRERA A. 1992. Resultados de la aplicación de la técnica de escala y peso en el diagnóstico de la contaminación del aire en Ciudad de La Habana. En: *La investigación sobre salud ambiental en Cuba*. México D.F., ECO/OPS.
2. CITMA. 2005. Normas de Gestión Ambiental NC: Norma Cubana 24-2005. *Guía de datos tecnológicos para el inventario de emisiones de los contaminantes atmosféricos desde fuentes industriales estacionarias*. La Habana, Cuba, CITMA.
3. CUESTA, O. & WALLO, A. 2010. *Fuentes de contaminación atmosférica y su relación con la calidad del aire*. Publicación digital de la XV Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura. ISBN 978-959-261-317-1. La Habana, diciembre 2010.
4. DGP. 2010. *Diccionario Geográfico Provincial*. Provincia de Pinar del Río.
5. LÓPEZ, C., P. V. FERNÁNDEZ, R. W. MANSO, A. WALLO, A. V. GUEVARA, A. LEÓN, M. E. GARCÍA, E. MARTÍNEZ, G. LEGAÑO, J. J. ALEA, I. LÓPEZ, D. PÉREZ, J. M. AMENEIROS & S. F. PIRE. 2002. *República de Cuba. Inventario Nacional de Emisiones y Adsorciones de Gases de Invernadero*. Reporte para el año 1996 y Actualización para los años 1990 y 1994. CD-R, vol. 1. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana, 320 pp. ISBN: 959-02-0352-3.
6. LÓPEZ, C., P. V. FERNÁNDEZ, R. W. MANSO, A. WALLO, A. V. GUEVARA, A. LEÓN, E. MARTÍNEZ, L. LÓPEZ, N. RODRÍGUEZ, M. SKEEN, J. DÁVALOS, M. E. GARCÍA, J. J. ALEA, I. LÓPEZ, D. PÉREZ, S. F. PIRE, J. M. AMENEIROS, A. MERCADET & A. ÁLVAREZ. 2003. *República de Cuba. Inventario Nacional de Emisiones y Adsorciones de Gases de Invernadero*. Reporte para el año 1998 y actualización para los años 1990, 1994 y 1996. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana, 310 pp.
7. LÓPEZ, C., P. V. FERNÁNDEZ, R. W. MANSO, A. WALLO, A. V. GUEVARA, A. LEÓN, A. V. GUEVARA, C. GONZÁLEZ, S. MESA, E. MARTÍNEZ, N. RODRÍGUEZ, J. DÁVALOS, M. E. GARCÍA, J. J. ALEA, I. LÓPEZ, D. PÉREZ, H. RICARDO, S. F. PIRE, A. MERCADET, A. ÁLVAREZ. 2004. *República de Cuba. Inventario Nacional de Emisiones y Adsorciones de Gases de Invernadero*. Reporte para el año 2000 y actualización para los años 1990, 1994, 1996 y 1998. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana, 320 pp.
8. LÓPEZ, C., P. V. FERNÁNDEZ, R. W. MANSO, A. WALLO, A. V. GUEVARA, C. GONZÁLEZ, S. MESA, E. MARTÍNEZ, N. RODRÍGUEZ, J. DÁVALOS, M. E. GARCÍA, R. BIART, I. LÓPEZ, D. PÉREZ, H. RICARDO, S. F. PIRE, J. M. AMENEIROS, A. MERCADET & A. ÁLVAREZ. 2005. *República de Cuba. Inventario Nacional de Emisiones y Adsorciones de Gases de Invernadero*. Reporte para el año 2002 y actualización para los años 1990, 1994, 1996, 1998 y 2000. La Habana, CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. 325 pp.
9. MOLINA, E. et al. 2008. *Propuesta de concentraciones máximas admisibles de contaminantes del aire en asentamientos humanos en Cuba*. Informe científico. INHEM, MINSAP. La Habana, Cuba.
10. NORMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL NC. 1999. Norma Cubana 39-1999. Requisitos higiénico-sanitarios. CITMA-INN-MEP, La Habana, Cuba.
11. OMS y OPS. 1995. *Industrial Pollution Control*. París OMS y OPS.
12. ONE. 2009. Oficina Nacional de Estadística. Provincia de Pinar del Río.
13. RODRÍGUEZ, D. 2007. *Sistema Automatizado de Gestión de Información de Fuentes Contaminantes (SAGIFC)*. Tesis de Maestría en Nuevas Tecnologías para la Educación. Universidad de Pinar del Río, Cuba.
14. 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 2009).



15. U.S. EPA. 1995a. *Compilation of Air Pollutant Emission Factors*.
16. U.S. EPA. 1997b. *The Values of QA/QC*. Final Report. Emission Inventory Improvement Program. Eastern Research Group, North Carolina, Research Triangle Park, 16 pp.
17. U.S. EPA. 1999. *Handbook for Criteria Pollutant Inventory Development. A Beginner's Guide for Point and Area Sources*. Office of air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, 285 pp.

