



## AUTOMATIZACIÓN DE MÉTODOS PARA ESTIMAR EMISIONES DE CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA PRODUCIDA POR FUENTES INDUSTRIALES FIJAS.

**Title:** Automation of methods to estimate emissions of pollutants to the atmosphere taken place by fixed industrial sources.

**Autores:** <sup>1</sup>Dagoberto Rodríguez-Valdés; <sup>1</sup>Liuben Echevarría-Pérez;  
<sup>1</sup>Walfrido Novas-Oramas; <sup>2</sup>Osvaldo Cuesta-Santos; <sup>3</sup>Almara Sánchez-Díaz

<sup>1</sup>Universidad Hermanos Saíz Montes de Oca, Pinar del Río, Cuba

Teléfonos: 755848, 778446 ext 107

MsC. Nuevas Tecnologías para la Educación. E-mail: [dagoberto@vrect.upr.edu.cu](mailto:dagoberto@vrect.upr.edu.cu)

Ing. Informático.

MsC. Informática

<sup>2</sup>Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba. Teléfono: 078686480

DrC. Ciencias Meteorológicas

<sup>3</sup>Centro Meteorológico Provincial Colón 106 e/ Maceo y Virtudes, Pinar del Río, Cuba Teléfono: 778446

MsC Ciencias Meteorológicas

Aceptado: enero 2009

Publicado: marzo 2010

### RESUMEN.

El presente estudio se basa en la automatización de métodos teóricos para estimar emisiones de contaminantes atmosféricos generados por fuentes fijas, partiendo de los formularios que establece la Norma Cubana (NC) 242: 2005, atendiendo a que en los centros industriales de nuestro país existen una serie de parámetros que no se adquieren de forma rutinaria como son: *flujo máximo del gas emitido*, *velocidad de salida de la mezcla gaseosa* y *tasa de emisión de los gases*, para ello se utilizó como área de estudio la ciudad de Pinar del Río. Se mencionan las herramientas informáticas que permitieron implementar los diferentes métodos y por último se muestran como resultados algunas ventanas del software y el inventario de emisiones realizado a partir de los reportes del mismo.

**Palabras Clave:** EMISIONES; FUENTES FIJAS.

## **ABSTRACT.**

Present study is based on the automatization of theoretic methods to estimate emissions of atmospheric contaminants generated by fixed sources, departing from the fill-out forms that he establishes the Cuban Standard ( NC ) 242: 2005, attending to than in the centers industrials of our country exist a series of parameters than do not acquire it of form routinist: *Maximum flow of the gas emitted, velocity of exit of the gaseous mixture and rate of emission of gases*, for it, it's been utilized like area of study Pinar del Río city. The information-technology tools that they permitted mention implementing different methods themselves and finally they show up like worked out some realized windows of the software and inventory of emissions starting from the reports of the same one.

**Key words:** EMISSIONS; FIXED SOURCES.

## **INTRODUCCIÓN.**

El crecimiento demográfico unido al desarrollo industrial y tecnológico experimentado en los dos últimos siglos, ha planteado un gran reto a la naturaleza. El hombre a estado utilizando los recursos naturales para satisfacer sus crecientes necesidades, exigidas principalmente por los modelos de consumo, sin pensar en los daños que ha generado al medio ambiente, dejando huellas negativas en cualquier parte del mundo.

Existe un gran avance en los procedimientos tecnológicos para utilizar los recursos naturales, no siendo así, para depurar los residuos producidos por él, dejándole el papel protagónico a la naturaleza, pensando que está era capaz de depurar por si sola los vertidos residuales, pero las pruebas actuales demuestran lo contrario, planteándose la inmediata necesidad de realizar estudios y obtener resultados dirigidos en la búsqueda de soluciones que ayuden a disminuir la contaminación de las aguas, de la tierra y del aire.

Las emisiones de contaminantes a la atmósfera no sólo tienen efectos a nivel global, como el cambio climático y la reducción del espesor de la capa de ozono estratosférico, que ya afecta severamente la Antártida y otras regiones del mundo (PNUMA, 2002), sino también a nivel regional, como es el daño creado a los bosques y ecosistemas acuáticos, debido a las lluvias ácidas (como ocurrió en el norte de Europa y más reciente en China), llegando hasta el nivel local, afectando la salud de las personas o el estado de sus pertenencias (como el deterioro de los monumentos arquitectónicos).

Cuba no escapa de esta situación, en el caso específico de la ciudad de Pinar del Río, el constante crecimiento poblacional, unido a la actividad industrial, la cual presenta tecnología deficiente para llevar a cabo el proceso industrial en la mayoría de los casos, por el tiempo de explotación, añadiéndosele a esto la mala ubicación de algunas de ellas (situadas en pleno casco urbano), vienen

provocando deterioro a la calidad del aire, aumentado la contaminación a la atmósfera. Ante este escenario resulta fundamental contar con un diagnóstico de la situación del aire en la provincia de Pinar del Río a nivel local, derivando esto en la confección del Proyecto Territorial Científico Técnico de Salud “Evaluación del clima y la calidad del aire en la ciudad de Pinar del Río y la comunidad de Santa Lucía su repercusión en la salud”, teniendo como objetivo general el presente trabajo “cuantificar las emisiones de contaminantes atmosféricos generados a la atmósfera por las fuentes fijas de la ciudad de Pinar del Río”.

## MATERIALES Y MÉTODOS.

En la ciudad de Pinar del Río se han identificado un grupo de focos contaminantes de alta y mediana significación (Tabla 1), ya sea por el lugar en el que se encuentran como por el tipo de contaminante que generan y el radio de protección de cada uno de ellos.

De esta forma se han agrupado por categorías según la [NC 39-1999], así como la serie Salud Ambiental No1, saneamiento básico y urbanización del Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y Microbiología [PGU, 2005].

Tabla 1. Industrias por categorías. Ciudad de Pinar del Río

Fuentes	Categorías				
	I	II	III	IV	V
Tintorería La Cubana			X		
Tejar “Rafael Ferro”				X	
Tejar “Dolores”				X	
Tejar “Primero de Mayo”				X	
Tejar “Gabriel Lache”				X	
Combinado Lácteo					X
Combinado Cítrico “CITRUS”					X
Fábrica de “La Conchita”					X
Fábrica de Cervezas “La Princesa”.					X
ISP “Rafael María de Mendive”					X
UEB “ Venegas”					X

La [NC 242:2005], es la guía de datos tecnológicos para el inventario de emisiones de los contaminantes atmosféricos desde fuentes industriales fijas. 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 fijas, con el propósito de establecer un ordenamiento en las actividades nacionales de gestión orientadas a la prevención, reducción y control de la contaminación.

La realización de inventarios de emisiones, tiene cierto grado de complejidad, ya que generalmente existen algunos datos como: *Flujo máximo del gas emitido*, *Velocidad de salida de la mezcla gaseosa* y *Tasa de emisión* que no se pueden adquirir de forma rutinaria en los centros industriales, fábricas, hospitales, escuelas, etc, obligando a obtener los mismos, a través de la automatización de métodos **matemáticos, físicos y químicos**. Para lograr

este propósito se utilizaron herramientas informáticas como: Delphi 6 en la programación, empleando Microsoft Access como gestor de Base de Datos, y el Computer Assisted Software Engineering (CASE) Rational Rose para crear los artefactos utilizados por el Lenguaje Unificado de Modelado (UML) con los que se caracterizó y modeló el sistema, seguidamente se muestran los procedimientos empleados para obtener los valores de los parámetros mencionados:

#### **Flujo máximo del gas emitido (Q).**

$$Q = FA + FC \quad (1)$$

Donde:

FA: Flujo Aire ( $m^3 / s$ ).

FC: Flujo de Combustible ( $m^3 / s$ ).

#### **Velocidad de salida de la mezcla gaseosa (m/s).**

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

Donde:

d: diámetro interior de la chimenea (m).

$\pi$ : 3,14.

#### **Tasa de emisión. Se obtuvo por dos vías:**

1. Estimación de las emisiones mediante balance de materiales (balance de masa).

$$E = Q_{comb} * CCC * MW_{CE} / ME_{CC} \quad (3)$$

Donde:

$Q_{comb}$  = Consumo de combustible, flujo másico (p.ej., kg/hr)

CCC = Concentración del contaminante en el combustible

MW<sub>ce</sub> = Peso molecular del contaminante emitido (lb/lb-mole)

MW<sub>cc</sub> = Peso molecular del contaminante en el combustible (lb/lb-mole)

2. Cálculo de Emisiones a la Atmósfera utilizando Factores de Emisión.

$$E = FE * DA \quad (4)$$

Donde:

FE: El factor de emisión se obtuvo a través del Software Industrial Pollution Control (**IPC**) (1995), desarrollado por el Banco Mundial, la Organización Mundial de la Salud (**OMS**) y la Organización Panamericana de la Salud (**OPS**) del año 1995.

DA: Datos de actividad (producción, población, etc.), en unidades de masa o volumen por tiempo.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

La Figura 1, muestra el Formulario Datos de Fuente del Sistema Automatizado, el cual se encarga de automatizar la información de carácter tecnológico y productivo básica, necesaria para realizar los cálculos de los parámetros: *Flujo máximo del gas emitido; Velocidad de salida de la mezcla gaseosa y Tasa de*

emisión, parámetros estos establecidos en el formulario número 2 de la NC 242:2005, para realizar el inventario de emisiones en las fuentes fijas.

Figura 1. Formulario Datos de Fuente

La Figura 2, muestra el Formulario Combustibles, el cual automatiza los tipos de combustibles y sus propiedades químicas, utilizados por las fuentes fijas en su proceso de producción, esta información aparece establecida en el formulario número 3 de la NC 242:2005 y es fundamental para el cálculo de las emisiones de las diferentes sustancias contaminantes que se generan en el proceso de combustión de los combustibles.

Figura 2. Formulario Combustible

La Figura 3, muestra un ejemplo de reporte de la fuente contaminante CITRUS para un día, en el aparece las estimaciones de las concentraciones de los diferentes contaminantes emitidos por la fuente industrial, el Sistema Automatizado también exporta estos resultados en formato xls y mdb, lo cual

permite graficar la información, realizar análisis estadísticos, aplicar ecuaciones a estos datos, realizar tablas, entre otras opciones.

REPORTE DE UNA FUENTE CONTAMINANTE PARA UN DIA										
Organismo: MINAGRI			Empresa: CITRUS ICET Corporación S.A							
Provincia: Pinar del Río		Municipio: Pinar del Río			Establecimiento: CITRUS					
Código: 7111		Nombre Fuente: Caldera								
Proceso: Fabricación de grasas y aceite animal, vegetal										
Combustible: Fuel Mediano		Consumo Anual: 340			Solventes/Consumo Anual(Ton):					
Control Emisiones: No		Tipo de Control Emisiones:						Puesta En Marcha: 2000		
Operación Anual (h/Año): 3060		Producción Diaria: 0		Producción Mensual: 0		Producción Anual: 60000				
Flujo Máximo(m <sup>3</sup> N/s): 12,63		Temperatura Mezcla Gaseosa: 280			Velocidad Salida del Gas(m/s): 28,6		Eficiencia(%): 70			
Altura(m): 15	Diámetro(m): 0,75	Altura Edif + Próximo(m): 0		Ancho Edif + Próximo(m): 0		Posición	Longitud 0	Latitud 0		
Emisiones(Kg/s)										
SO <sub>2</sub> : 0,000231		SO <sub>2</sub> : 0,000185		SO <sub>x</sub> : -		NO: 0,000041	NO <sub>2</sub> : 0,000083	NO <sub>x</sub> : -	CO: 0,003454	MP: -
COVDM: -		C7H8: 0,027952		C6H6(CH3)2: 0,032461		C6H6: 0,023444		NH3: 0,000560		

Figura 3. Reporte de Fuente Contaminante

En la Tabla 2, se muestra el inventario de emisiones realizado en las principales fuentes fijas de la ciudad de Pinar del Río para el año 2008, a partir de los resultados obtenidos del Sistema Automatizado, aplicando para ello los métodos de cálculos planteados con anterioridad: Balance de Masa y Factores de Emisión, en este caso solo se muestra información de los principales contaminantes, pero el sistema también calcula la concentración de otras sustancias contaminantes, ver Figura 3, como se puede apreciar los tejares son las fuentes de mayor índice de contaminación.

Tabla 2. Inventario de emisiones de las principales fuentes fijas de la ciudad de Pinar del Río.

Fuentes	Procesos	Contaminantes (Ton/año)		
		SO <sub>2</sub>	MP	NO <sub>x</sub>
CITRUS	Fabricación de grasas y aceite animal y vegetal	1.53	-	-
Combinado Lácteo	Fabricación de productos lácteos	3.80	-	-
		3.80	-	-
Cerveza "La Princesa"	Fábrica de cervezas y martas	1.45	-	-
La Conchita	Enlatado y conservado de frutas y verduras	4.73	-	-
		4.75	-	-
		4.73	-	-
		4.74	-	-
		4.74	-	-
Pedagógico	Restaurante y cafetería	0.02	-	-
		-	-	-
Tintorería "La Cubana"	Lavados y plantas de tinte	-	-	-
Tejar "1ro de Mayo"	Fabricación de objetos de barro, loza y porcelana	4490.64	2041.20	11907.00
Tejar "Dolores"		7334.70	3333.97	19448.09
Tejar "Fierro"		7334.73	3333.96	19448.10
Tejar "Lache"		598.75	272.16	1587.62
Venegas		Matadero, preparación y conservación de carnes	0.28	-
		0.28	-	-
<b>Total</b>		<b>19793.69</b>	<b>8981.29</b>	<b>52390.81</b>

## CONCLUSIONES.

1. Se obtuvo la información tecnológica en las fuentes fijas de la zona de estudio, a partir de la utilización de la NC 242: 2005.
2. Se implementó una base de datos para almacenar la información tecnológica obtenida en las fuentes fijas.
3. La creación del Sistema Automatizado gestiona la información contenida en la base de datos, además se le implementaron los procedimientos de cálculos mencionados en el trabajo para estimar las emisiones de contaminantes atmosféricos que generan las fuentes fijas, derivándose de aquí, la obtención de reportes con la concentración de diferentes sustancias contaminantes como son:  $\text{SO}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{MP}$ ,  $\text{C}_7\text{H}_9$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6(\text{CH}_3)_2$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6$  y  $\text{NH}_3$ .
4. La realización de este trabajo, se debió entre otras cosas, a la necesidad existente en el Instituto de Meteorología con sus filiales en las provincias y las Delegaciones Territoriales del CITMA, de poder contar con un software que estime las emisiones de sustancias contaminantes, generadas por fuentes fijas, atendiendo al poco equipamiento disponible en el país para realizar estas mediciones, esta aplicación informática con las características descritas en el trabajo, constituye un paso de avance y un aporte significativo en la esfera medio ambiental, al lograr cuantificar y realizar inventarios de emisiones, lo cual permite trazar acciones para disminuir la contaminación hacia la atmósfera, obteniéndose beneficios en la esfera social, medio ambiental, económicos y en la salud.
5. La puesta en explotación del software no requiere de una nueva inversión tecnológica, ya que la existente cubre las necesidades, además se cuenta con la calificación del recurso humano necesario para trabajar con el software en las diferentes instituciones, partiendo de la fácil operabilidad del mismo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. PNUMA. Perspectivas de medio ambiente mundial GEO-3. Grupo Mundi-Prensa. España. 2002.
2. Normas de Gestión Ambiental NC (2005): Norma Cubana 24-2005. Guía de datos tecnológicos para el inventario de emisiones de los contaminantes atmosféricos desde fuentes industriales fijas. CITMA, La Habana, Cuba.
3. PGU (2005): Plan General Urbano. Ciudad de Pinar del Río. Cuba. Colectivo de autores.
4. Normas de Gestión Ambiental NC (1999): Norma Cubana 39 – 1999. Requisitos higiénico – sanitarios. CITMA – INN – MEP, La Habana, Cuba.
5. IPC (1995): Industrial Pollution Control, Desarrollado por el Banco Mundial, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS).