



El Hombre y la Máquina

ISSN: 0121-0777

maquina@uao.edu.co

Universidad Autónoma de Occidente

Colombia

Aponte Coronado, Carlos Hernán; Silva Vinazco, Juan Pablo; Laín Beatove, Santiago
Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos primarios de fuentes fijas puntuales en la
Comuna 4 de la ciudad de Cali
El Hombre y la Máquina, núm. 34, enero-junio, 2010, pp. 106-114
Universidad Autónoma de Occidente
Cali, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47817108011>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos primarios de fuentes fijas puntuales en la Comuna 4 de la ciudad de Cali



Foto: Carlos Aponte

CARLOS HERNÁN APONTE CORONADO*
JUAN PABLO SILVA VINAZCO**
SANTIAGO LAÍN BEATOVE***

Resumen

El estudio revela los resultados obtenidos en desarrollo del proyecto “Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos primarios de fuentes fijas puntuales en la Comuna 4 de la ciudad de Cali” para el año 2006. El estudio se hizo con base en información primaria y secundaria; la información primaria se obtuvo directamente de las empresas a través de formularios; la información secundaria fue obtenida de la Cámara de Comercio y de las declaratorias ambientales suministradas por las empresas a las autoridades ambientales. Esta información permitió realizar el proceso de censado, validación de la información y caracterización de la zona de estudio. Una vez evaluada la información, fue necesario hacer una revisión y ajuste al Cuestionario de Declaratoria Ambiental, de acuerdo con las exigencias de la norma

* M.Sc. Profesor Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Occidente, Cali-Colombia. chaponte@uao.edu.co

** M.Sc. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería- Eidenar Universidad del Valle, Cali-Colombia. pablosil@univalle.edu.co

***Ph.D. Profesor Titular. Facultad de Ingeniería Universidad Autónoma de Occidente, Cali-Colombia. slain@uao.edu.co

Fecha de recepción: junio 6 de 2009

Fecha de aceptación: febrero 16 de 2010

relacionada con la contaminación atmosférica y seguidamente se hizo la aplicación a todas las empresas seleccionadas.

Una vez depurada la información, se clasificaron 260 industrias: por actividad económica, procesos productivos, tipo de fuentes fijas y el tipo de combustible utilizado. Posteriormente se hizo el cálculo de emisiones de contaminantes primarios (PST, SO_x, NO_x, CO y COVs) por medio de factores de emisión. Cálculos que permitieron finalmente estimar la contribución de emisiones de fuentes fijas por contaminante en la Comuna 4.

Se pudo establecer que el sector de fibras y textiles fue el mayor generador de emisiones de material particulado (PST) con el 50% del total de las 182 ton/año emitidas por las fuentes fijas inventariadas. Esto debido a que cinco (5) de sus industrias operan sus calderas con carbón como combustible sin ningún tipo de control y 165 ton/año de COVs por el sector metalmecánico y artes gráficas, contaminantes que afectan el sistema respiratorio de las personas.

Palabras clave: Contaminación atmosférica, inventario de emisiones, contaminantes primarios, factores de emisión.

Abstract

The study, presents the results obtained in the development of the project "Inventory of Emissions of Air Pollutants of primary fixed point sources in the Commune 4 of the city of Cali" for the year 2006. The study was conducted on the basis of primary and secondary information. Primary information was

directly provided by the companies. Secondary information was obtained from the Chamber of Commerce and environmental statements provided by the companies to Environmental Authorities. This information allowed performing the process of censused, validation of the information and characterization of the area of study. Once evaluated the obtained information, it was necessary to review and adjust the questionnaire of Environmental Declaration according to the requirements of the standards related to the air pollution. Finally, it was applied to the selected companies.

After validation of the information, 260 companies were classified according to their economic activities, production processes, class of pollution fixed sources and class of employed fuel. Further, the primary pollutant emissions (PST, SO_x, NO_x, CO y COVs) were calculated by means of emission factors, which eventually allow the estimation of the fixed sources contribution to the pollution in the Commune 4.

Could establish that the sector of fibres and textiles was the main generator of emissions of material particulate (PST) with 50% of the whole of the 182 ton/year issued by the fixed sources inventoried. This due to the fact that five (5) of such industries operate its boilers with coal without any type of control and 165 ton/year of COVs by the sector metalmecanico and graphic arts. These pollutants affect the respiratory system of the persons.

Key words: Air pollution, primary pollutants, Inventory of Emissions, emission factors.

1. Introducción

En Colombia las principales emisiones de contaminantes atmosféricos se encuentran en los grandes centros urbanos. Según cálculos del IDEAM, el 41% de las emisiones totales y cerca del 75% de la carga total nacional de contaminantes de origen industrial para el año 2002 estaban concentradas en las ocho ciudades más grandes de Colombia y en los centros industriales del país.⁹

Para la ciudad de Cali, acorde con Brugman 2004, las fuentes fijas en el año 2002 emitieron 28 kton de contaminantes a la atmósfera, valor que supera las emisiones de Medellín (18 kton) y es muy cercano al reportado para Bogotá (31 kton). Por lo tanto, en el desarrollo de un plan de gestión de la calidad del aire para la ciudad de Cali debe involucrarse el seguimiento de dichas emisiones.⁴

Acorde con lo anterior, el DAGMA⁶ de la ciudad de Cali, siendo coherente con las políticas ambientales nacionales, y en asocio con la Universidad del Valle, decidieron desarrollar un proyecto de investigación conjunto basado en la realización de un inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos primarios tales como PST, SO₂, NOX, CO y COVs originados por las fuentes fijas de la Comuna 4.

La zona seleccionada como objeto de estudio piloto es considerada como un área crítica debido a que en ella se agrupa un gran número de empresas de tipo industrial y además es un corredor vial importante ya que comunica el interior de la ciudad con municipios vecinos, y por su número de habitantes que pueden estar expuestos a dichas emisiones.

De esta manera, el resultado de este trabajo de investigación permi-

tió identificar y clasificar los tipos de industrias, estimar las emisiones producidas por las fuentes fijas, las categorías de contaminantes y sus cantidades.

Se pudo establecer que el problema principal está asociado con las emisiones, especialmente del contaminante (PST) producido por el sector de fibras y textiles; alimentos y bebidas y los COV_s por el sector metalmeccánico y artes gráficas, contaminantes que afectan el sistema respiratorio de las personas.

Por otro lado, los datos de emisión de contaminantes son fundamentales en la ejecución de los modelos de dispersión atmosférica que se aplican en zonas urbanas, los cuales permiten entender mejor el problema de la contaminación atmosférica y determinar el impacto ambiental que una o varias actividades pueden causar en un área determinada, de esta manera se identifican las zonas críticas y se logran formular programas de mejoramiento de la calidad del aire.

Descripción de la zona de estudio

La comuna 4 está situada al nor-oriental de la ciudad y limita al norte con el río Cali, que tributa sus aguas al río Cauca. Al oeste limita con la zona especial del barrio San Nicolás; al norte con la comuna 2, al este con las comunas 5 y 6, y al sur con las comunas 7 y 8. En el año de 1994 fue declarada como zona de carácter mixto, es decir, donde se permiten además de actividades residenciales, el establecimiento de industrias y servicios complementarios (DAGMA, 2006). La comuna 4 tiene un área de 441 hectáreas, y es totalmente plana, la integran 21 barrios de estratos socioeconómicos I, II y III con 13.000 viviendas construidas entre casas y edificios de apartamentos, puestos de salud

y centros educativos, entre otros. La zona cuenta con una población de 75.520 habitantes (Cali en cifras, 2006).

2. Metodología

La metodología aplicada en el inventario de emisiones de fuentes fijas se basó en el protocolo del inventario de emisiones “Manual de Procedimientos Operativo Estandarizado” POE Silva (2006)¹⁷ que especifica las actividades básicas a realizar durante un inventario, este procedimiento permitió obtener la información requerida de manera eficiente y así garantizar la calidad de la misma. El inventario involucró diferentes etapas:

En la primera de ellas se seleccionó el equipo de trabajo responsable del inventario. Se diseñó la logística para la elaboración y organización del material de trabajo, visitas y diagnóstico previo de la zona de estudio. En la segunda etapa se obtuvo una información preliminar del registro mercantil de las industrias generadoras de emisiones en la Cámara de Comercio de Cali, y las declaratorias ambientales que anualmente presentan las industrias a la autoridad ambiental DAGMA. Información, que fue analizada y confrontada con visitas realizadas a la zona de estudio; el resultado, una vez depurada la información, se consolidó en una base de datos apoyada en Excel. Esta información permitió tener una identificación preliminar del número de empresas industriales ubicadas en el sector.

Una vez evaluada la información, fue necesario hacer una revisión y ajuste al cuestionario de Declaratoria Ambiental, utilizado como base para la ejecución del censo industrial. Su contenido se ajustó a las exigencias de la norma relacionada con la contaminación atmosférica (Decreto 948-05, Resolución 601-06, y Decreto 979-06).

Luego se planeó el proceso de censo de las industrias, donde se identificó su ubicación exacta utilizando un GPS, actividad productiva, materias primas e insumos, así como información relevante que permitiera estimar sus emisiones.

Posteriormente la información fue procesada y registrada en una base de datos a partir de la información del formulario. Una vez depurada la información, se clasificó por actividad económica, procesos productivos, tipos de fuentes y tipo de combustibles utilizado. Esta información permitió caracterizar la zona de estudio y además fue la base para seleccionar los factores de emisión que permitieron hacer los cálculos y estimar las emisiones contaminantes por cada una de las fuentes fijas inventariadas.

La estimación de las emisiones para las fuentes fijas se basó en la cantidad y tipo de combustible reportado por las empresas y los controles de emisión (si los tiene), aplicando el método menos costoso como lo es el de factores de emisión basado en procesos que se utiliza para estimar las emisiones en fuentes puntuales (EPA AP-42 y OMS)^{7,8} y en el caso de algunas industrias con grandes chimeneas se tomó información de los informes de muestreos isocinéticos. Para las fuentes de área se utilizaron factores de emisión para un sector industrial particular junto con los volúmenes de producción correspondientes y el tipo de tecnología más general empleada.

La ecuación básica utilizada para estimar las emisiones de cada uno de los contaminantes^{16,17} es:

$$E = A \times F.Ex(1 - h)$$

En donde:

A: Nivel de intensidad de actividad expresada como peso de proceso, (kg /h, ton/h), para los procesos industriales o combustibles

consumidos, (ton/h) en procesos de combustión.

FE: es un valor representativo que intenta relacionar una cantidad específica de contaminante emitido a la atmósfera por la actividad que lo genera. Los factores son expresados como el peso de contaminante dividido por una unidad expresada en peso, volumen, unidades de producción o duración de la actividad contaminadora.

η = Eficiencia del equipo de control, expresada en porcentaje. En las empresas censadas no se encontraron sistemas de control y mecanismo de reducción de emisiones.

Las emisiones que no son ocasionadas por combustión, como en el recubrimiento de superficies y otros procesos, se trataron también como fuentes de área. Es importante anotar que muy pocas empresas reportaron mediciones directas de contaminantes. La información más completa de factores de emisión para los contaminantes primarios se encuentra en la publicación AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factor Environmental Protection Agency de Estados Unidos (U.S.EPA.2001),⁸ y Evaluación de Fuentes de Contaminación del Aire (OPS/CEPIS.1999).⁷

Los contaminantes primarios estimados fueron PST, SO_x, NO_x, CO y COV_s. Estos contaminantes son los que permanecen en la atmósfera tal y como fueron emitidos por la fuente. Además su estudio es de mucha importancia debido a los impactos negativos en la salud de las personas. Rojas,¹⁵

3. Resultados

3.1 Clasificación de las empresas

Las 260 industrias censadas fueron clasificadas de acuerdo con su tamaño, como lo establece la Ley 905 del 2 de agosto de 2004. Así, el 84% de ellas son de tamaño 1 y 2, por lo que se puede concluir que el sector se caracteriza por tener infraestructuras industriales de producción pequeña. También se clasificaron de acuerdo con el Código de Clasificación Industrial Internacional Uniforme CIIU en 9 sectores productivos. En la Tabla 1 se muestra la clasificación de las 260 industrias por tamaño y por sector productivo.

El sector industrial de mayor participación es el metalmecánico con el 35% de las empresas censadas, equivalente a 91 empresas, de las cuales 56 son de tamaño 1 y 28

Tabla 1. Clasificación de las empresas censadas por sector productivo y por tamaño

Sector productivo	Total empresas	Tamaño			
		1	2	3	4
Alimentos y Bebidas	24	9	8	2	5
Aseo y Cosméticos	11	5	4	0	2
Artes Gráficas y Conversión de Papel	15	2	8	4	1
Combustibles	8	6	2	0	0
Fibras y Textiles	25	15	3	6	1
Mármol y acabados en madera	16	10	4	2	0
Metalmecánica	91	56	28	6	1
Productos Plásticos	33	17	12	3	1
Química y Farmacéutica	10	4	2	1	3
Sin Proceso Productivo	27	20	3	3	1
Total	260	144	74	27	15

de tamaño 2. El sector de los plásticos representa el 13% del total de las empresas analizadas. De las 15 empresas de tamaño 4 identificadas, 5 de ellas pertenecen al sector de alimentos y bebidas y 3 empresas al sector químico y farmacéutico. El 43% de las industrias censadas se encuentran ubicadas hacia la parte sur de la comuna 4 en un área aproximada de 1 km² que corresponde a los barrios Santander, Manzanares, Bolivariano y Olaya Herrera, entre otros. En el mapa de la Figura 1 se muestra la ubicación de cada una de las empresas censadas.

3.2 Clasificación de los equipos de combustión

Otro aspecto a destacar en este estudio es que se encontraron 173 equipos de combustión utilizados en las industrias, entre ellos 31 equipos corresponden a calderas, siendo estos los mayores generadores de emisiones contaminantes. Los hornos corresponden a 48 equipos, de los cuales el 21% forman parte de las empresas tamaño 3, los hornos restantes son pequeños.

Los generadores eléctricos son utilizados como plantas de emergencia en las empresas de tamaño

3 y 4. Las estufas que representan el 28 % del total de los equipos en su totalidad son de tamaño pequeño. El 90% de los hornos y estufas son usados en pequeños negocios de alimentos como restaurantes y panaderías, entre otros. La Tabla 2 muestra las emisiones por contaminante y por tipo de equipo de combustión.

Tabla 2. Total de emisiones por equipo y por contaminante

Equipo	Nº Equipos	PM (Ton/Año)	SO ₂ (Ton/Año)	NOx (Ton/Año)	CO (Ton/Año)
Calderas	31	105,52	31,98	25,41	12,07
Hornos	48	1,61	1,51	4,57	1,55
Estufas	48	0,18	0,06	0,86	0,82
Generadores eléctricos	17	0,12	3,54	1,20	0,28
Equipos de oxicorte	29	0,28	0,000	9,17	2,45
Total	173	107,71	37,09	41,17	17,17

De los 173 equipos de combustión evaluados, el 60% trabajan con gas natural, siendo este combustible el más usado, el 16% lo hacen con GLP, mientras el carbón emplea un 8% siendo este el combustible más contaminante. El estudio muestra la tendencia hacia el uso de combustibles gaseosos, debido a que son considerados como combustibles limpios y sus precios son más favorables. La Tabla 3 muestra los



Figura 1. Ubicación de las empresas inventariadas

tipos de combustibles y el número y tipo de equipo que lo utiliza en la comuna 4.

Tabla 3. Clasificación por equipo y tipo de combustible

Equipo	Total empresas	Combustibles				
		ACPM	Carbón	Gas natural	GLP	Madera
Calderas	31	1	5	24	-	1
Hornos	48	5	9	28	6	-
Estufas	49	-	-	41	4	4
Generadores Eléctricos	17	17	-	-	-	-
Equipos de Oxi-corte	28	-	-	10	18	-
Total	173	23	14	103	28	5

El estudio también permitió hacer un análisis del equipo de combustión más importante en los procesos industriales como lo es la caldera, no sólo por su tamaño sino también por el tipo y cantidad de combustible utilizado. La Tabla 4 muestra que el combustible que más emisiones produce, tanto de PST como de SO_x es el carbón, también nos indica que el mayor número de calderas opera con combustibles gaseosos limpios.

Tabla 4. Emisión de calderas de acuerdo con el tipo de combustible

Combustible	Nº de equipos	PST (Ton/Año)	SO _x (Ton/Año)	NO _x (Ton/Año)	CO (Ton/Año)
Gas Natural	24	4,7	0	11,2	9,2
Carbón	5	99,2	31,95	15,5	0,66
Madera	1	1,16	0,03	0,15	1,32
ACPM	1	0,04	0,02	0,05	0,02
Total	31	105,2	32	26,9	11,2

3.3 Emisiones totales por contaminante

El estudio muestra que en la comuna 4, las fuentes fijas de los sectores productivos emitieron en el 2006 un total de 563 ton/año

de contaminantes a la atmósfera. Contaminantes que están representados en un 32% equivalente a 182 ton/año en partículas suspendidas totales (PST), el 50% del total de emisiones corresponde a COV_s. Igualmente la cantidad menor de emisiones corresponde al SO_x, CO y NO_x que representan del total de contaminantes un 7%, 3% y 8% respectivamente.

El sector productivo que más emisiones aportó en el 2006 fue el de fibras y textiles con el 27%, el sector alimentos y bebidas emitió un total de 74 ton/año equivalente al 13%, mientras el sector de productos plásticos lo hizo con el 6.3%, y el sector químico farmacéutico contribuyó con el 3.6% de las emisiones totales

El sector de fibras y textiles fue el mayor generador de emisiones de material particulado (PST) con el 50% del total anual emitido por las fuentes fijas inventariadas. Esto debido a que cinco de sus industrias operan sus calderas con carbón como combustible sin ningún tipo de control.

En lo que respecta al sector metalmecánico, que conforman 91 empresas, es el mayor generador de COV_s, pues sus actividades principales son la de prestar servicios de lámina y pintura en el sector automotriz, industrias de cerrajería y chapistería entre otros. Para esto requiere en sus procesos del uso de grandes cantidades de solventes, estos insumos debido a su alta volatilidad se dispersan fácilmente en la atmósfera lo que hace difícil su control. Es importante destacar que las emisiones de COV_s en su mayoría son fugitivas y corresponden principalmente a fuentes de área. En la Tabla 5 se presenta de manera detallada la distribución de las emisiones totales anuales por tipo de contaminante y por sector productivo.

Tabla 5. Emisiones totales de contaminantes por sector productivo.

Sector productivo	PM	SO ₂	NO _x	CO	COVs
	Ton/Año	Ton/Año	Ton/Año	Ton/Año	Ton/Año
Alimentos y bebidas	59,37	1,32	7,82	5,03	0,55
Aseo y cosméticos	20,69	0,00	0,00	0,00	0,00
Artes gráficas y conv. de papel	0,24	0,00	2,60	0,86	58,39
Estaciones de gasolina	0,00	0,00	0,00	0,00	40,86
Fibras y textiles	99,52	31,94	15,71	0,78	2,45
Mármol y acabado en madera	0,56	0,02	0,56	1,53	30,64
Metalmecánica	1,59	1,41	11,66	3,05	107,51
Productos plásticos	0,56	0,05	4,82	2,16	28,48
Química y farmacéutica	0,20	2,27	2,93	3,26	11,38
Total	182,74	37,01	46,10	16,67	280,26

4. Conclusiones

El inventario muestra un censo de 260 industrias; se hizo una primera clasificación de acuerdo con el tamaño, como lo establece la Ley 905 del 2 de agosto de 2004, donde el 84% de ellas son de tamaño 1 y 2, por lo que se puede concluir que el sector se caracteriza como informal por tener infraestructuras de producción muy pequeñas, lo que hace difícil el seguimiento y control por parte de la autoridad ambiental.

La segunda clasificación se hizo con base en el código CIU en nueve sectores productivos, el sector productivo más pequeño es el de aseo y cosméticos con 8 empresas. El metalmeccánico es el más representativo con 91 empresas y se caracteriza porque la mayoría de ellas son pequeñas prestadoras de servicios al sector automotriz, chapisterías y a las grandes industrias del sector. Las características de sector como informal, dificultan que se realice un control ambiental adecuado, teniendo en cuenta que es

el mayor generador de COV_s, contaminante para el cual no se tiene aún ninguna reglamentación.

Las industrias que generan la mayor cantidad de emisiones ocupan un área aproximada de 2 km² hacia el sur de la comuna 4, donde se encuentran ubicadas el 43% de las empresas censadas, esto es, los barrios Santander, Manzanares, Bolivariano y Olaya Herrera, entre otros. Esta distribución espacial facilitaría un seguimiento adecuado por parte de la autoridad ambiental.

En el año 2006 las industrias aportaron un total de 563 ton/año de emisiones de contaminantes primarios a la atmósfera, representados principalmente en PST y COV_s, provenientes del sector de fibras y textiles, y del sector metalmeccánico respectivamente. Por lo que se requiere evaluar algunos sistemas de control de emisiones en dichas industrias, además de un seguimiento ambiental a estos sectores productivos por parte del DAGMA.

En la comuna 4 se evaluaron 173 equipos de combustión que aportan 107.8 ton/año de PST. El 99% de estas emisiones corresponde a las 31 calderas. El 90% de los hornos y estufas son utilizados en pequeños negocios de alimentos.

De los equipos de combustión evaluados, el 60% trabaja con gas natural, siendo este combustible el más utilizado, mientras el carbón lo hace con un 8% siendo el más contaminante.

El estudio muestra la tendencia hacia el uso de combustibles gaseosos, debido a que son considerados como limpios y sus precios son más favorables.

Los resultados obtenidos en la comuna 4 en el inventario de emisiones revelan 183 ton/año de PST para el año 2006, se muestra como un dato más consolidado si se compara con los datos suministrados por el Dagma, para el periodo 2004-2005, que reporta un total de 564 ton/año de PST para la ciudad de Cali, donde la comuna 4 contribuyó con 23 ton/año, o sea 160 ton/año de PST menos con relación al periodo 2006. ●

5. Bibliografía

1. Banco Mundial. Iniciativa del aire limpio. Gestión de la calidad del aire en las ciudades de América Latina. Curso de aprendizaje a distancia. Tercera edición. Del 9 de mayo al 27 de junio de 2002.
2. Bedoya, Julián. La gestión de calidad del aire urbano: Los inventarios. Redaire vol. 9, pág. 19-33, Medellín, 2002.
3. Benavides, Henry. Simulación de la dispersión de material particulado por chimeneas industriales en Bogotá. IDEAM, 2003.
4. Brugman, A. Diseño de un programa de instrumentos económicos para el manejo y el control de la contaminación atmosférica urbana en Colombia. Informe de consultoría MAVDT. Bogotá, 2004. 47 p
5. CEPIS, OPS, OMS, CURSO: Conceptos básicos sobre meteorología de la contaminación del aire. 2002. Disponible en: <http://www.cepis.ops.oms.org/bvsci/e/fulltext/meteoro/prologo.html>
6. Departamento Administrativo de Gestión de Calidad del Aire (Dagma), Programa Integral para el Mejoramiento de la Calidad del Aire, 2003, 46p.
7. Economopoulos, Alexander. Evaluación de las fuentes de contaminación del aire. OPS/CEPIS. 2002. 129 p.
8. *Compilation of Air Pollutant Emission Factors*, AP-42 Volumen I: Stationary Point and Area Sources. Octava edición. Disponible en: <http://www.epa.gov/ttn/chieff/ap42/index.html>
9. DNP. Documento Conpes N° 3344 de marzo 14 de 2005, lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire.
10. Instituto Nacional de Ecología. Comparación de modelos de dispersión de emisiones provenientes de fuentes fijas. México, 2004.
11. Jaramillo M., Núñez M., Pérez D., Portilla G. Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos convencionales en la zona de Cali-Yumbo. Universidad Javeriana. Cali 2004 12 p.
12. Kenneth, Woodard. Técnicas de control de material particulado fino, proveniente de fuentes estacionarias. Environmental Protection Agency, EPA, 1998. 280p.
13. Radian Internacional. Manual de inventario de emisiones, volumen II, México, 1997.
14. Resolución 601 de abril 4 de 2006, por la cual se dictan normas sobre los niveles máximos permisibles de los contaminantes atmosféricos. MIAVDT, 2006.
15. Rojas, Néstor Y. Material particulado atmosférico. Colombia: Uniandes, 2005, 126p.
16. Semarnat. Inventario de Emisiones a la Atmósfera de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, México, 2004, 46 p.
17. Silva Vinazco, Juan Pablo. Sistema Operativo Estandarizado (POE). Univalle, 2006.
18. Suárez, John. Evaluación de la dispersión de partículas suspendidas totales emitidas por fuente fijas y móviles en el área metropolitana de Cúcuta, Univalle, 2007.