

Memorias **II Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública**

**Eduardo Behrentz
(compilador)**



 **Universidad de
los Andes**
Facultad de Ingeniería



Ministerio de Ambiente,
Vivienda y Desarrollo Territorial
República de Colombia

Cartagena
14 al 17 de julio de 2009
Centro de Convenciones y Exposiciones
Cartagena de Indias Julio César Turbay Ayala

El Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (SUR) de la Universidad de los Andes fue creado para promover las sinergias existentes entre algunas de las áreas de trabajo más tradicionales y mejor consolidadas en el interior del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental.

En la actualidad, el Grupo SUR está compuesto por siete profesores de tiempo completo con las más altas calificaciones académicas y por un grupo de más de 35 investigadores integrado por coordinadores de proyectos, estudiantes doctorales, estudiantes de maestría y estudiantes de pregrado. Adicionalmente, el Grupo SUR trabaja de forma articulada con el Laboratorio Integrado de Ingeniería Civil y Ambiental, dependencia que cuenta con una muy avanzada capacidad analítica que la ubica en la vanguardia en estos temas en el ámbito latinoamericano. Muchas de las investigaciones recientemente desarrolladas por los miembros del Grupo SUR han sido (o se encuentran) financiadas por importantes entidades nacionales e internacionales y, en muchos casos, los resultados de dichas investigaciones han sido (o se encuentran en proceso de ser) publicados en prestigiosas revistas internacionales con un alto nivel de impacto.

Instrucciones para la visualización de libro electrónico en formato PDF

Atajos de teclado
Utilice los atajos de teclado para una visualización más efectiva del libro electrónico.

-  Visualización a pantalla completa
-  Visualización de página completa
-  Aumentar o reducir visualización
-  Zoom de una zona determinada

Barra de navegación
En la parte inferior de las páginas encontrará la barra de navegación que le permitirá moverse entre éstas.

-  Regresa a la tabla de contenido
-  Retrocede página
-  Avanza página

Recuerde que la tabla de contenido es interactiva y lo llevará al numeral que desee haciendo clic sobre éste.



**Memorias II Congreso
Colombiano y Conferencia
Internacional de Calidad
del Aire y Salud Pública**

**Memorias II Congreso
Colombiano y Conferencia
Internacional de Calidad
del Aire y Salud Pública**

Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública (2o: 2009: Cartagena, Colombia)

Memorias II Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública [recurso electrónico] / Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública; Eduardo Behrentz Valencia ... [et al.]. -- Bogotá: Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Ediciones Uniandes, 2010.

428 pp.

ISBN: 978-958-695-486-0

1. Calidad del aire -- Colombia -- Congresos, conferencias, etc. 2. Contaminación del aire -- Colombia -- Congresos, conferencias, etc. 3. Salud pública -- Colombia -- Congresos, conferencias, etc. I. Behrentz Valencia, Eduardo II. Universidad de los Andes (Colombia). Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental III. Tít.

CDD 363.7392

SBUA

Primera edición: octubre de 2010

© Eduardo Behrentz Valencia y otros

© Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería,
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Ediciones Uniandes

Carrera 1 núm. 19-27, edificio AU 6, piso

Bogotá, D. C., Colombia

Teléfonos: 339 49 49 - 339 49 99, ext. 2133

<http://ediciones.uniandes.edu.co>

infeduni@uniandes.edu.co

Copyright © 2008 por

Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento /
Banco Mundial

Unidad Administrativa de País - Colombia y México /
Región de América Latina y el Caribe

1818 H Street, N.W. Washington, D.C. 20433, U.S.A.

www.bancomundial.org/co

El Banco Mundial no acepta responsabilidad alguna por cualquier consecuencia derivada de su uso o interpretación. El Banco Mundial no garantiza la exactitud de la información incluida en esta publicación y no acepta responsabilidad alguna por cualquier consecuencia derivada de su uso o interpretación.

Los límites, los colores, las denominaciones y demás información contenida en los mapas de este libro no presuponen, por parte del Grupo del Banco Mundial, juicio alguno sobre la situación legal de cualquier territorio, ni el reconocimiento o aceptación de dichos límites.

Los resultados, interpretaciones y conclusiones expresadas en este libro son en su totalidad de los

autores y no deben ser atribuidas en forma alguna al Banco Mundial, a sus organizaciones afiliadas o a los miembros de su Directorio Ejecutivo ni a los países que representan.

El material de esta publicación está protegido por el derecho de propiedad intelectual. Las solicitudes de autorización para reproducir partes de esta publicación deberán enviarse a Fernanda Zavaleta, Oficial de Comunicaciones de la Oficina del Banco Mundial para Colombia y México al Fax (55) 5480-4222. Cualquier otra pregunta sobre los derechos y licencias debe ser dirigida al Banco Mundial en México en el número de fax referido.

Edición: Primera edición

Impreso y hecho en Bogotá, Colombia / 2008

Banco Mundial – Colombia

ISBN: 978-958-695-486-0

Corrección de estilo: Marcela Garzón

Carátula, diseño y diagramación: Leonardo Cuéllar

Impreso en Colombia - Printed in Colombia

Todos los derechos reservados. Esta publicación no puede ser reproducida ni en su todo ni en sus partes, ni registrada en o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electro-óptico, por fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo por escrito de la editorial.

Contenido

Presentación	1
Antecedentes y créditos	3
Prefacio del Banco Mundial	7
1. Presentaciones orales	9
Sesión 1:	
Calidad del aire y salud pública	11
Asma y calidad de vida en los niños en Bogotá: estudio estadístico	
Jimena VILLEGAS, María Elsa CORREAL y Olga Lucía SARMIENTO	
Introducción y objetivos	13
Metodología	14
Resultados	15
Conclusiones	16
Bibliografía	17
Atmósfera y cáncer: estudio ecológico para Medellín y Colombia	
Elkin MARTÍNEZ y Patricia ARBELÁEZ	
Introducción	19
Objetivo	19
Metodología	20
Resultados	20
Discusión	20
Conclusión	23
Bibliografía	24
Reconocimiento	25
Sesión 2:	
Modelación de la calidad del aire	27
Asimilación de aerosoles sobre Sudamérica utilizando el modelo atmosférico CCATT-BRAMS	
Judith J. HOELZEMANN, Karla M. LONGO, Hendrik ELBERN y Saulo R. FREITAS	
Introducción y objetivos	29
Metodología	31
Resultados	33
Bibliografía	35



Sesión 3: Calidad del aire y salud pública II 37

Patologías respiratorias en niños preescolares y su relación con la contaminación atmosférica de Medellín

Carlos ECHEVERRI, Gabriel MAYA, Jaime ORDÓÑEZ y Ana HERRERA

Introducción y objetivos	39
Metodología	40
Resultados	42
Conclusiones	44
Bibliografía	45

Asociación entre la contaminación del aire y la morbilidad por enfermedad respiratoria aguda en menores de cinco años en tres localidades de Bogotá: Puente Aranda, Kennedy y Fontibón

Luis Jorge HERNÁNDEZ, Gustavo ARISTIZÁBAL, María Patricia GONZÁLEZ, Edna Katalina MEDINA, Yenny SALGADO, Lizet CANTOR, Jaime BARRERA y Rolando BAYONA

Introducción y objetivos	47
Metodología	48
Resultados y conclusiones	48
Bibliografía	49

Exposición laboral a contaminación atmosférica: material particulado y efectos respiratorios en la salud de policías de tránsito de Bogotá, 2008-2009

Jesús Alejandro ESTÉVEZ, Alba Isabel RODRÍGUEZ P. y Néstor Yesid ROJAS

Introducción y objetivos	51
Metodología	52
Resultados y conclusiones	53
Bibliografía	54

Sesión 4: Modelación de la calidad del aire II 59

Modelación de la contaminación en el Área Metropolitana de Buenos Aires: ajuste del modelo MM5

Germán TORRES, Laura DAWIDOWSKI, Ariela D'ANGIOLA, Darío GÓMEZ y Cristina RÖSSLER

Introducción y objetivos	61
Metodología	62
Resultados y conclusiones	64
Bibliografía	65

Sesión 5: Emisiones 67

Herramienta web para análisis del inventario de emisiones del Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Victoria TORO, Carlos SÁNCHEZ, Josshual SERNA y Néstor ÁLVAREZ

Introducción y objetivos	69
Metodología	70
Resultados y conclusiones	71
Bibliografía	74

Comparación de métodos para mejorar los inventarios de emisión de CO en grandes ciudades

Pablo SAIDE, Axel OSSES, Laura GALLARDO y Marc BOCQUET

Introducción y objetivos	75
Metodología	76
Resultados	77
Conclusiones	78
Bibliografía	80

Nueva base de datos de emisiones antropogénicas mejorada utilizando la información de los inventarios de Sudamérica

Marcelo Félix ALONSO, Karla María LONGO, Saulo R. FREITAS y Rafael M. FONSECA

Introducción	81
Metodología	82
Resultados y conclusiones	83
Bibliografía	85

Sesión 6: Política ambiental 87

Lineamientos técnicos para la formulación de los planes de descontaminación del aire en megaciudades de América Latina: Bogotá como caso de estudio

Eduardo BEHRENTZ, Nancy P. SÁNCHEZ, Magdalena FANDIÑO y Paula A. RODRÍGUEZ

Introducción y objetivos	89
Metodología	90
Resultados y conclusiones	90
Agradecimientos	93

Gestión del Área Metropolitana del Valle de Aburrá para el mejoramiento de la calidad del aire

Andrea Viviana MARÍN

Introducción y objetivos	95
Objetivos	96
Antecedentes	96
Resultados	97
Calidad del aire en el Valle de Aburrá	97
Conclusiones	99
Bibliografía	99



Sesión 7:	
Caracterización de aerosoles	101
Caracterización del material particulado menor a diez micras en siete ciudades colombianas	
Helver REYES	
Introducción y objetivos	103
Metodología	104
Resultados y conclusiones	105
Bibliografía	108
Compuestos solubles e insolubles en material particulado clasificado por tamaño de partícula colectado en la ciudad de Buenos Aires, Argentina	
Marina DOS SANTOS, Darío GÓMEZ, Laura DAWIDOWSKI, Eduardo GAUTIER y Patricia SMICHOWSKI	
Introducción y objetivos	109
Metodología	110
Resultados y conclusiones	111
Agradecimientos	111
Bibliografía	112
Niveles, composición química y reconstrucción másica del PM_{10} en Bogotá. Estudio integrado en tres puntos diferentes	
Freddy A. VARGAS y Néstor Y. ROJAS	
Introducción y objetivos	113
Metodología	114
Resultados y conclusiones	115
Bibliografía	120
Sesión 8:	
Herramientas de apoyo	125
Análisis espacial de morbilidad por enfermedades cardiorrespiratorias como apoyo a la priorización de zonas de intervención para el mejoramiento de calidad del aire. Caso de estudio, Itagüí	
Alejandro BUILES, Claudia RAVE, Cristina FRANCO y Juan Esteban RESTREPO	
Introducción y objetivos	125
Metodología	127
Resultados y conclusiones	128
Bibliografía	129
Campañas de medición: herramientas esenciales para entender los fenómenos que determinan la calidad del aire y el flujo de gases de efecto invernadero	
Rodrigo JIMÉNEZ	
Introducción y objetivos	131
Metodología	133
Resultados	133
Conclusiones	135
Bibliografía	136



Comparación de políticas de control de contaminación para fuentes fijas en Bogotá (Colombia)

Germán FAJARDO y Carlos CHÁVEZ

Introducción y objetivos	137
Metodología	138
Resultados y conclusiones	139
Bibliografía	142

Sesión 9:

Métodos de medición y análisis	143
--------------------------------	-----

Estimación de la concentración de metales pesados en el aire exterior por medio de musgos

Marcela RIVERA, Harald ZECHMEISTER, Mercedes MEDINA-RAMÓN, Xavier BASAGAÑA, Alexandre DELTELL y Nino KUENZLI

Introducción y objetivos	145
Métodos	146
Resultados	146
Conclusiones	147
Agradecimientos	147
Bibliografía	148

Línea base de covs para la red de monitoreo de calidad del aire en el Valle de Aburrá usando tubos difusivos

Carmen E. ZAPATA, Ricardo QUIJANO, Claudia M. RUBIANO, Eliana MOLINA y Gustavo LONDOÑO

Resumen	149
Introducción	150
Metodología	152
Resultados y discusión	154
Resumen	156
Agradecimientos	160
Bibliografía	160

Métodos ópticos para el estudio de la fracción de carbono elemental en aerosoles ambientales y en la fuente

Anthony D. HANSEN

Introducción	163
Objetivos	164
Métodos	165
Resultados	167
Conclusiones	167
Bibliografía	167



Caracterización de las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles en Bogotá e identificación de sus fuentes

Juan Felipe FRANCO, Luis Carlos BELALCÁZAR, José Alonso PACHECO y Eduardo BEHRENTZ

Introducción y objetivos	169
Metodología	170
Resultados y conclusiones	170
En proceso	172
Agradecimientos	172
Bibliografía	173

Sesión 10:

Calidad del aire y transporte	175
-------------------------------	-----

Análisis de emisiones en ruta de vehículos diésel en Ciudad de México, Santiago y São Paulo

Sebastian TOLVETT, Mauricio OSSES y James M. LENTS

Introducción y objetivos	177
Metodología	178
Resultados y conclusiones	179
Bibliografía	181

Escenarios futuros de movilidad y emisiones

Jorge ACEVEDO, Juan Pablo BOCAREJO y Álvaro RODRÍGUEZ

Resumen	183
Introducción y objetivos	184
Metodología	186
Resultados	185
Bibliografía	187

Efecto de la construcción de la infraestructura vial para el transporte masivo Metrolínea sobre la calidad del aire en dos zonas de Bucaramanga

Henry CASTRO, Juan José REY, Astrid BERENA, Laura Andrea RODRÍGUEZ, Jurg NIEDERBACHER, Lina María VERA, Luz Libia CALA y Fabio BOLÍVAR

Introducción y objetivos	189
Metodología	190
Resultados y conclusiones	191
Bibliografía	195

Evaluación de las emisiones atmosféricas generadas a partir de la evaluación de fuentes móviles en Armenia

Hugo SARMIENTO, César MOSQUERA, Deisy CARO y Andrés MONTOYA

Introducción y objetivos	197
Metodología	198
Resultados y conclusiones	199



Sesión 11:	
Métodos de medición y análisis II	201
Distribución regional de metales pesados en el Valle del Cauca	
Germán RESTREPO y Leonardo APONTE	
Introducción y objetivos	203
Metodología	205
Resultados y conclusiones	205
Bibliografía	207
Evaluación de la incidencia del sector de la construcción en la calidad del aire del Valle de Aburrá	
Miriam GÓMEZ, Enrique POSADA y Gloria CARVAJAL	
Introducción y objetivos	209
Metodología	210
Resultados y conclusiones	211
Bibliografía	214
Material particulado, normatividad y realidad en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá	
Mauricio CORREA, Julio SALDARRIAGA y Francisco MOLINA	
Introducción y objetivos	217
Metodología	219
Resultados y conclusiones	219
Bibliografía	222
Desarrollo del protocolo nacional de inventario de emisiones	
Manuel AMAYA, Helver REYES y Francisco LEAL	
Introducción y objetivos	223
Metodología	224
Resultados y conclusiones	224
Sesión 12:	
Calidad del aire y transporte II	227
Desarrollo de un modelo matemático para la estimación de los niveles de ruido procedente del tráfico rodado	
Claudia L. ZULUAGA, Mauricio A. CORREA y José F. JIMÉNEZ	
Introducción y objetivos	229
Metodología	230
Resultados	231
Conclusiones	232
Bibliografía	232



Inspección y mantenimiento para la reducción de emisiones gaseosas en una flota de camiones medianos diésel

Juan Carlos PARRA

Introducción y objetivos	235
Metodología empleada	236
Resultados y conclusiones	236
Bibliografía	237

Calidad de la conversión para el aprovechamiento ambiental del gas natural vehicular

Jorge René PEREA

Introducción y objetivos	239
Metodología	240
Resultados y conclusiones	240
Bibliografía	242

Evolución reciente y perspectivas del mercado del carbono 2009

Éder PEDRAZA

Introducción y objetivos	243
Metodología	244
Análisis y resultados	244
Conclusiones y perspectivas	246
Bibliografía	249

2. Exposición de pósteres 251

Análisis de la tendencia del comportamiento de material particulado en microambientes de colegios distritales en Bogotá

Elizabeth ZAPATA, Olga Lucía SARMIENTO y Néstor ROJAS

Introducción y objetivos	253
Metodología	255
Resultados y conclusiones	256
Bibliografía	257

Reorganización energética y modal del transporte de pasajeros para una movilidad sustentable en Bogotá

Edder A. VELANDIA

Introducción y objetivos	259
Metodología	260
Resultados y conclusiones	261
Bibliografía	264

Nuevas tecnologías en el transporte y oportunidades para Colombia

Edder A. VELANDIA

Introducción y objetivos	265
Metodología	266
Resultados y conclusiones	266
Bibliografía	269

Evaluación espacio-temporal de aerosoles fungi asociados a las etapas de tratamiento del relleno sanitario Palangana, Santa Marta

Yiniva CAMARGO y Andrés VÉLEZ

Introducción y objetivos	271
Metodología	273
Resultados y conclusiones	275
Bibliografía	276

Alternativas de reducción a la exposición de niños a material particulado en colegios distritales de Bogotá

Lyda A. BLANCO y Néstor Y. ROJAS

Introducción y objetivos	277
Metodología	278
Resultados y conclusiones	279
Bibliografía	282

Determinación de la exposición de los usuarios de la ciclorruta en la calle 80 de Bogotá al PM_{10}

Óscar A. FAJARDO y Néstor Y. ROJAS

Introducción y objetivos	283
Metodología	284
Resultados y conclusiones	286
Bibliografía	288

Determinación de metales, metaloides, iones, compuestos orgánicos y negro de carbón en material particulado colectado en tres ciudades de América Latina

Grupo Argentina, Grupo Brasil 1, Grupo Brasil 2, Grupo Colombia y Patricia SMICHOWSKI

Introducción y objetivos	291
Metodología	292
Resultados y conclusiones	293
Agradecimientos	294

Metales y metaloides en muestras de polvo de la calle colectadas en la ciudad de Buenos Aires, Argentina

Fabián FUJIWARA, Raúl JIMÉNEZ, Laura DAWIDOWSKI, Dario GÓMEZ, Griselda POLLA, Victoria PEREYRA y Patricia SMICHOWSKI

Introducción y objetivos	295
Metodología	296
Resultados y conclusiones	297
Agradecimientos	299
Bibliografía	299



Eliminación de H_2S a través de oxidación regenerativa con hierro quelado

Pablo RINCÓN y Manuel RODRÍGUEZ

Introducción y objetivos	301
Metodología	302
Resultados y conclusiones	304
Bibliografía	306

Evaluación de los niveles de contaminación en las zonas del Valle de Aburrá

Carmen Elena ZAPATA, Carlos Mario SEPÚLVEDA y Andrea Viviana MARÍN

Resumen	307
Resultados y conclusiones	308
Bibliografía	309

Incidencia de síntomas irritativos oculares y respiratorios y contaminación atmosférica en una cohorte de preescolares en Bucaramanga, Colombia

Laura Andrea RODRÍGUEZ, Juan José REY, Astrid BERENA, Henry CASTRO, Jurg NIEDERBACHER, Lina María VERA, Luz Libia CALA y Fabio BOLÍVAR

Introducción y objetivos	311
Metodología	312
Resultados y conclusiones	314
Bibliografía	315

Datos existentes en el área del Caribe y América Central con vistas a la implementación del modelo CCATT-BRAMS en Cuba

Madeleine SÁNCHEZ, Leonor TURTÓS, Norberto DÍAZ,

Marcelo Félix ALONSO y Karla M. LONGO

Introducción y objetivos	319
Metodología	320
Resultados y conclusiones	320
Bibliografía	322

Estrategias de evolución para determinar el comportamiento espacio-temporal de la concentración de material particulado PM_{10}

Alejandro PEÑA, María Victoria TORO y Jesús Antonio HERNÁNDEZ

Introducción y objetivos	325
Metodología	326
Resultados y conclusiones	327
Bibliografía	328

Análisis de la calidad de los combustibles líquidos comercializados en la ciudad de Bogotá

Alba M. RUIZ, Edna L. DELGADO y Eduardo BEHRENTZ

Introducción y objetivos	331
Metodología	332
Resultados y conclusiones	333
Agradecimientos	335
Bibliografía	336



Propuesta para la creación de distritos de calidad del aire como herramienta de gestión ambiental

Mónica ESPINOSA y Eduardo BEHRENTZ

Introducción y objetivos	337
Metodología	338
Resultados y conclusiones	338
Agradecimientos	342
Bibliografía	342

Factores que inciden en las emisiones y gestión de la calidad del aire en Bogotá

Éder PEDRAZA

Introducción y objetivos	343
Metodología	344
Resultados y conclusiones	344
Evaluación de la gestión	346
Bibliografía	348

Caracterización de la exposición a contaminantes atmosféricos en ambientes interiores relacionados con el uso de gasodomésticos

Juan Felipe FRANCO, Carolina OBANDO, Juan Pablo QUIJANO y Eduardo BEHRENTZ

Introducción y objetivos	351
Metodología	352
Resultados y conclusiones	353
Agradecimientos	355
Bibliografía	355

Caracterización de los niveles de contaminación por ruido en Bogotá: estudio piloto

José PACHECO, Juan Felipe FRANCO y Eduardo BEHRENTZ

Introducción y objetivos	357
Metodología	358
Resultados y conclusiones	359
Bibliografía	361

Modelación de la dispersión de óxidos de azufre en la macrozona central de Chile

Carlos CASTILLO y Laura GALLARDO

Introducción y objetivos	363
Metodología	365
Resultados y conclusiones	366
Bibliografía	368

Ingenieros sin Fronteras: ingeniería en pro de la comunidad

Óscar VACA, Santiago CORTÉS, María Paula VALDERRAMA, Paula GONZÁLEZ, Sebastián HERNÁNDEZ y Andrea MALDONADO

Introducción y objetivos	369
Metodología	370
Resultados	371
Conclusiones	373
Bibliografía	374



Muestreo de emisiones en fuentes fijas en Colombia. Diagnóstico actual y estandarización de actividades mediante una intercomparación de procedimientos en el campo

Freddy A. VARGAS, Liliana CORTÉS, Jeremías GÓMEZ, Gabriel SILDARRIAGA y Néstor Y. ROJAS

Introducción y objetivos	375
Metodología	377
Resultados y conclusiones	378
Bibliografía	379

Evaluación del riesgo asociado con la contaminación del aire en Bogotá utilizando el índice de calidad de vida

Carolina OBANDO, Andrés VIRGÜEZ, Mauricio SÁNCHEZ y Eduardo BEHRENTZ

Introducción y objetivos	381
Metodología	382
Resultados y conclusiones	383
Agradecimientos	384
Bibliografía	384

Actualización del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá

Paula RODRÍGUEZ, Nancy SÁNCHEZ y Eduardo BEHRENTZ

Introducción y objetivos	387
Metodología	388
Resultados y conclusiones	388
Agradecimientos	390
Bibliografía	391

Actualización del inventario de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas en Bogotá

Magdalena FANDIÑO, Sandra BRAVO, Nancy SÁNCHEZ y Eduardo BEHRENTZ

Introducción y objetivos	393
Metodología	394
Resultados y conclusiones	395
Agradecimientos	397
Bibliografía	397

Análisis de la calidad del aire en tres megaciudades de América Latina

Daniela M. E. PARRA, Mauricio GAITÁN y Eduardo BEHRENTZ

Introducción y objetivos	399
Metodología	400
Resultados y conclusiones	401
Agradecimientos	404

Estudio de emisiones al año 2010 para diferentes alternativas del transporte en el Valle de Aburrá

M. Victoria TORO G., Jossual SERNA

Introducción y objetivos	405
Objetivos	406
Antecedentes	406
Resultados	406
Conclusiones	407
Bibliografía	409



Presentación

Como continuación del Primer Congreso Colombiano de Calidad del Aire y Salud Pública organizado en el mes de marzo de 2007 en la ciudad de Manizales (Colombia), se convocó a la comunidad técnica y científica, a los miembros de corporaciones y entidades encargadas de velar por el medio ambiente y la salud, así como a tomadores de decisiones y ciudadanos interesados en estos temas, a que participaran en la segunda versión de este evento. En esta ocasión, el Congreso tuvo un carácter internacional y fue llevado a cabo en la ciudad de Cartagena (Colombia) en el mes de julio de 2009.

Esta segunda edición del evento representó una excelente oportunidad para conocer la situación actual en lo referente al estudio y control de la contaminación del aire, en particular a través de las sesiones plenarias en las que se llevaron a cabo conferencias magistrales por parte de expertos nacionales e internacionales que gozan de gran prestigio y reconocimiento. Adicionalmente, se realizaron diversas sesiones temáticas en las que representantes de universidades, centros de investigación, entidades públicas y firmas de consultoría mostraron los últimos avances alcanzados en estos temas en el ámbito iberoamericano.



Antecedentes y créditos

Aunque su alcance es mundial, la contaminación del aire es un problema de particular importancia en centros urbanos y megaciudades alrededor del mundo, y obedece principalmente a deficiencias estructurales en el desarrollo industrial y de transporte, al crecimiento desordenado y al desbordamiento en sus propias funciones por parte de diversas instituciones del Gobierno. El principal efecto de este tipo de contaminación es la degradación de la calidad de vida de la población, reflejada en el incremento de la frecuencia y severidad de las enfermedades respiratorias, en la mortalidad temprana, en el número de consultas hospitalarias y en la ausencia laboral.

Varias ciudades colombianas han mantenido una intensa y fructífera actividad de investigación y monitoreo de la calidad del aire, y su capital (Bogotá) se encuentra vinculada a la Iniciativa del Aire Limpio para Ciudades de América Latina desde el año 2002. Por otro lado, distintas instancias del Gobierno han impulsado importantes cambios en la calidad de los combustibles que se comercializan en el país así como en la movilidad de las principales ciudades (a través de sistemas de transporte masivo con recaudo unificado) que han supuesto importantes reducciones en las emisiones de agentes contaminantes del aire.

Sin embargo, si bien el tema de la contaminación atmosférica en centros urbanos recibe cada vez más atención por parte del gobierno central y diversos gobiernos locales, el problema sigue latente y el desafío de su



resolución parece volverse más complejo con el tiempo dadas las tasas de crecimiento económico, la alta informalidad que se observa en el sector industrial, las deficiencias en la ocupación del suelo y en la planificación urbana, y el crecimiento acelerado del parque automotor.

Esta situación es común en muchas ciudades del mundo en desarrollo, especialmente en América Latina y, por lo mismo, el II Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública (Casap, 2009) significó una instancia de reunión, discusión y capacitación que permitió el fortalecimiento de algunos de los procesos que se requieren para la solución de esta problemática.

Temática del Congreso

El Congreso estuvo caracterizado por un enfoque multidisciplinario en el que se discutieron temas relacionados con diversas disciplinas y cuyo eje y motivación central fue el análisis de los mecanismos que se requieren para lograr un mejoramiento de las condiciones de salubridad y de calidad de vida para pobladores de centros urbanos en América Latina, en el contexto de la contaminación atmosférica.

Conferenciantes invitados

El Congreso contó con presentaciones magistrales de 60 a 75 minutos por parte de expertos nacionales e internacionales. Todos los conferenciantes se distinguieron por ser grandes personalidades que cuentan con un extenso prestigio y reconocimiento.

- Dr. Tami Bond, Universidad de Illinois, EE. UU.
- Dra. Clara Irazábal, Universidad de Columbia, EE. UU.
- HR. David Luna, Representante a la Cámara por Bogotá, Colombia.

- Dr. Mauricio Osses, Centro Internacional de Estudios en Sistemas Sustentables
- Dr. Peter Suppan, Karlsruhe Institute for Technology, Alemania
- Dr. Arthur M. Winer, Universidad de California, EE. UU. (invitado especial)

Créditos

- Comité organizador: Eduardo Behrentz (Grupos SUR, Universidad de los Andes), Andrea V. Marín (Área Metropolitana del Valle de Aburrá), Néstor Y. Rojas (Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá), María V. Toro (Pontificia Universidad Bolivariana, sede Medellín).
- Comité científico: Juan Pablo Bocarejo, Eduardo Behrentz, Olga Lucía Sarmiento, María Victoria Toro, Néstor Y. Rojas, José Fernando Jiménez, Carmen Elena Zapata, Francisco Molina, Julio Saldarriaga, Mauricio Correa, Miryam Gómez Marín, Jorge Pachón, Hugo Sarmiento, Laura Gallardo, Lars Gidhagen, Luis Jorge Hernández, Andrea V. Marín, Gerardo Montoya, Juan Carlos Correa, Julian Marshall.
- Instituciones de apoyo: Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (ANDI), Federación Nacional de Comerciantes (Fenalco), Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, Aviatur.
- Patrocinadores: Ecopetrol (gran patrocinador); Inter-American Institute for Global Change Research (IAI); Secretaría Distrital de Salud de Bogotá; Área Metropolitana del Valle de Aburrá; Icetex; Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Banco Mundial; Fundación Santa Fe de Bogotá; Servicio de Intercambio Académico Alemán (DAAD); C.I. Conhintec S.A.; K-2 Ingeniería; Biosolutions Ltda.
- Lugar del Evento: Centro de Convenciones de Cartagena de Indias (Centro de Convenciones y Exposiciones Julio César Turbay Ayala), Getsemaní, carrera 8ª; Cartagena de Indias D. T., Colombia, teléfono: 654 4100 (Cartagena).



Prefacio del Banco Mundial

La contaminación del aire en las ciudades es una gran amenaza para la salud. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que dicha contaminación causa anualmente alrededor de dos millones de muertes prematuras en todo el mundo. La contaminación del aire en las ciudades de Colombia tiene impactos sociales y económicos de gran trascendencia. Según el estudio "Prioridades Ambientales para la Reducción de la Pobreza en Colombia" (publicado por el Banco Mundial en el 2007) la contaminación del aire urbano causa anualmente:

- 6000 muertes prematuras
- 7400 nuevos casos de bronquitis crónica
- 13.000 admisiones hospitalarias de emergencia
- 42.000.000 días de actividad restringida
- 585.000 enfermedades de vías respiratorias bajas en niños

El mismo estudio estima que el costo anual de la contaminación del aire urbano en Colombia es de C\$1,5 billones, es decir, 0,8% del PIB. Estas cifras indican claramente que la contaminación afecta significativamente el bienestar de los colombianos y restringe el crecimiento de la economía del país.

En los últimos cinco años Colombia ha extendido y fortalecido su capacidad institucional y ha emprendido diversas iniciativas de políticas públicas para mejorar la calidad del aire en las ciudades, tales como:

- La expedición del decreto 979 y la resolución 601 que actualizan los estándares de calidad del aire y fijan metas en el corto, mediano y largo plazo.

- La inversión en equipos de medición y análisis para veinte autoridades ambientales y para el laboratorio del Ideam.
- El adelanto en la fecha de entrada en vigencia de la distribución de combustibles más limpios.
- La expedición de la resolución 909 de 2008 que reglamenta los niveles de emisión de contaminantes al aire por la industria.
- La expedición de la resolución 910 de 2008 que reglamenta los niveles de emisión de contaminantes al aire por vehículos y motocicletas.
- El desarrollo y la aplicación del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, que garantiza la calidad de la información sobre calidad del aire que se reporta en el país.
- El desarrollo del Protocolo Nacional de Inventarios de Emisiones, que permite identificar las emisiones contaminantes generadas por la industria, los vehículos y otras fuentes de emisión.
- La puesta en marcha del Sistema de Información de Calidad del Aire (Sisaire) que permite un fácil acceso a los datos de todas las redes del país.

El Banco Mundial ha colaborado en la implementación de estas medidas, no sólo contribuyendo a su financiamiento sino también promoviendo el trabajo analítico en el que se basan. Asimismo, el Banco Mundial, consciente de que a pesar de los grandes avances aún quedan grandes retos por superar, continuará apoyando al Gobierno de Colombia en sus esfuerzos por mejorar la calidad del aire. Parte de ese apoyo se manifiesta en el patrocinio del Banco al II Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad del Aire y Salud Pública, como una instancia de reunión, discusión y capacitación para promover el fortalecimiento de procesos que se requieren para mejorar la calidad del aire en las ciudades colombianas.

Karin KEMPER

Gerente de Medio Ambiente y Recursos Hídricos para América Latina

1. Presentaciones orales

Sesión 1:
Calidad del aire y salud pública

Sesión 2:
Modelación de la calidad del aire

Sesión 3:
Calidad del aire y salud pública II

Sesión 4:
Modelación de la calidad del aire II

Sesión 5:
Emisiones

Sesión 6:
Política ambiental

Sesión 7:
Caracterización de aerosoles

Sesión 8:
Herramientas de apoyo

Sesión 9:
Métodos de medición y análisis

Sesión 10:
Calidad del aire y transporte

Sesión 11:
Métodos de medición y análisis II

Sesión 12:
Calidad del aire y transporte II



Página anterior

Página siguiente



Menú



Sesión 1:
Calidad del aire y salud pública

Asma y calidad de vida en los niños en
Bogotá: estudio estadístico

Atmósfera y cáncer: estudio ecológico
para Medellín y Colombia



Página anterior

Página siguiente



Menú



Asma y calidad de vida en los niños en Bogotá: estudio estadístico

3-Villegas-Colombia-1

Jimena VILLEGAS,* María Elsa CORREAL,[†] y Olga Lucía SARMIENTO[‡]

Palabras clave: salud pública, aire, contaminación atmosférica, enfermedad crónica, PedsQL.

Introducción y objetivos

El análisis de prevalencia y factores asociados a síntomas del asma es importante para la población de una ciudad dado que ésta es la enfermedad crónica más frecuente de la infancia y tiene una fuerte implicación en términos de salud pública (García et ál., 2008). El asma y sus síntomas están relacionados con factores demográficos, sociales, económicos y ambientales, los cuales pueden estar asociados con el desarrollo de la enfermedad o la exacerbación de ésta (Clougherty et ál., 2006).

Por otro lado, los índices de calidad de vida relacionados con salud (HRQOL) son una herramienta que ayuda a estimar el bienestar de los pacientes con enfermedades crónicas (Janse et ál., 2005), como es el caso del asma. En el presente estudio se utilizó la metodología de PedsQL

* Egresada de los programas de pregrado de Ingeniería Ambiental e Ingeniería Industrial. Facultad de Ingeniería. Universidad de los Andes, dirección: carrera 7ª núm. 74-56, oficina 708. Bogotá, Colombia, teléfono: +(57-1)3131712, fax +(57-1) 3210202, correo electrónico: jimenavillegas@hotmail.com.

[†] Ph. D. Estadística, Universidad Nacional de Colombia. M. Sc. Estadística Matemática, University of Massachusetts. Profesora asociada de la Facultad de Ingeniería, Departamento Ingeniería Industrial. Universidad de los Andes.

[‡] Ph. D. en Epidemiología y Maestría en Salud Pública, University of North Carolina. Profesora asistente de la Facultad de Medicina. Universidad de los Andes.



Página anterior

Página siguiente



Menú



creada por James W. Varni, para evaluar la relación de calidad de vida en los niños con respecto a variables generales y más específicamente establecer diferencias entre niños con y sin síntomas de asma.

Los objetivos establecidos fueron:

- Estimar la prevalencia y la severidad de los síntomas de asma.
- Evaluar los factores asociados a los síntomas del asma en los niños de las instituciones estudiadas.
- Analizar el índice de calidad de vida relacionado con salud en niños.
- Establecer si existen diferencias de calidad de vida relacionada con salud en niños con o sin asma.
- Establecer si el tipo de transporte que diferencia a las Instituciones Educativas Distritales (IED) influye en la calidad de vida y síntomas de asma de los niños.
-

Metodología

Entre los factores que influyen en los diferentes síntomas de asma se pueden encontrar algunos como el individuo, la familia, el colegio y el barrio. En el estudio, estos factores se representaron en cuatro componentes por medio de los cuales se pudo recoger la información necesaria para evaluar su asociación sobre síntomas de asma en los niños. La calidad de vida se puede considerar como un factor, sin embargo, ésta a su vez se representa por medio de la información sobre el individuo, su familia, el colegio y el barrio. Esto significa que la calidad de vida, al ser afectada por problemas de salud, puede ser un factor de exacerbación de los síntomas de asma, aunque los síntomas, a su vez, pueden disminuir la calidad de vida, como se ha demostrado en varios estudios (Juniper, 1999) (Upton et ál., 2005).

La población de estudio incluye niños de los grados cero a octavo de cuatro IED de Bogotá. Estas instituciones se diferencian por el tipo de tráfico

que pasa por el frente de cada una de ellas. Se analizan los datos de entrevistas de 1433 niños y 1813 padres por las cuatro instituciones.

Resultados

La prevalencia de síntomas de asma en Bogotá según los resultados de este estudio es de un 6,12%. La prevalencia para asma diagnosticada por un médico es menor, un 3,92%. Las prevalencias registradas en este estudio son menores que las obtenidas en estudios anteriores en Bogotá y Colombia. Un resultado importante es ver que existe relación con los síntomas de asma y entre las veces que los niños se ausentan del colegio por sentirse mal o por ir al médico.

Existe una alta relación entre los síntomas de niños que tuvieron madres que fumaron durante el embarazo, con lo cual se concluye que la exposición al humo del cigarrillo es un factor importante en las etapas de desarrollo y crecimiento del niño. Adicionalmente, se concluyó que la probabilidad de presentar síntomas de asma en niños con padres que han tenido diagnosticadas enfermedades respiratorias es alta. Las características del hogar mostraron resultados importantes, en especial, la ubicación de la cocina. La prevalencia más alta se encuentra en las viviendas que tienen la cocina en la sala comedor. También, se pudo comprobar que la realización de obras o remodelaciones en el hogar tiene relación con los síntomas. La humedad en el dormitorio del niño es un factor muy importante que se encontró. En el componente “barrio” los hallazgos sobre tráfico y fábricas en el área son importantes dado que dan una aproximación del ambiente que rodea al niño. La mayor prevalencia de sibilancia se encuentra en el caso de tráfico pesado que utiliza combustible diésel el cual está relacionado con emisiones de material particulado (Franco, 2007).

En la figura 1 se puede observar cómo la presencia de sibilancias en los niños afecta su desempeño general y su calidad de vida. Por otro lado, los re-

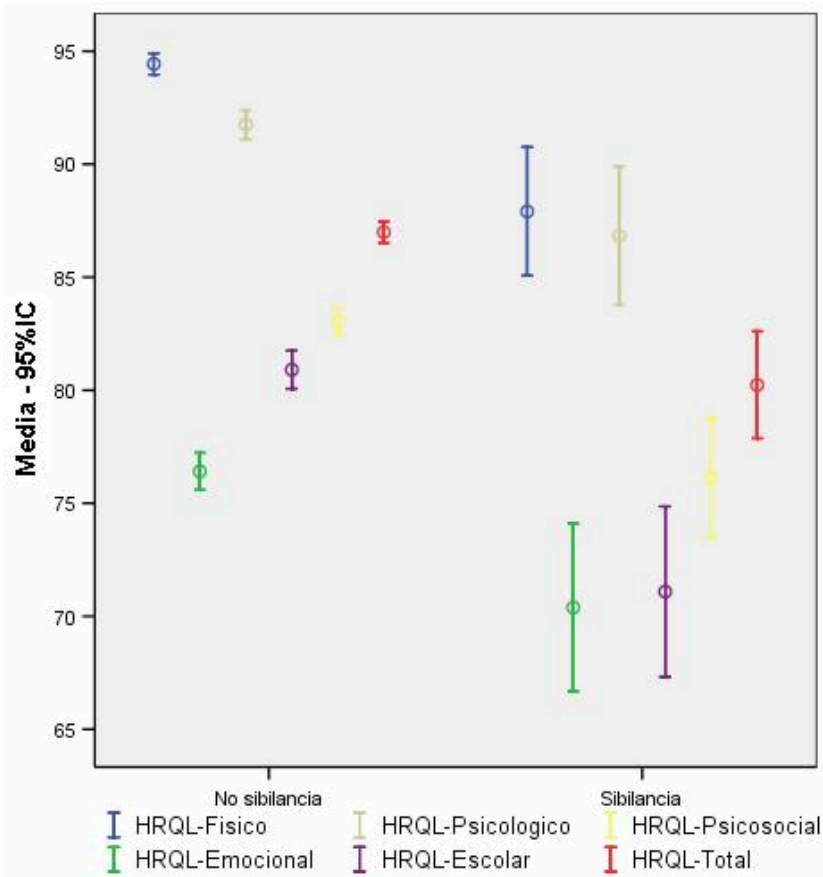


FIG. 1. HRQL por dimensiones para niños con el síntoma de sibilancia y sin síntoma

sultados muestran una diferencia en la calidad de vida entre las instituciones educativas que parece no tener relación con el tipo de transporte que pasa por el frente de cada una, lo cual es la característica que las diferencia. Igualmente, no se encontró que el tipo de transporte pudiera estar influyendo en la prevalencia de síntomas de asma en las instituciones educativas.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos las prevalencias encontradas son menores que las que arrojaron otros estudios sobre Bogotá, sin embargo, los factores que se encontraron significativos concuerdan con la teoría sobre

factores influyentes en síntomas de enfermedades respiratorias. Se puede concluir que la prevalencia de síntomas y de asma es diferente para niños menores que para adolescentes, siendo siempre mayor en niños pequeños.

Aunque la prevalencia de síntomas de asma no es alta, sí se puede concluir que un niño que no presenta síntomas tiene una mayor calidad de vida relacionada con la salud, que los niños que sí los tienen. El cuestionario de calidad de vida no solo sirvió para encontrar esta diferencia, sino también para encontrar que los síntomas de enfermedades respiratorias afectan el desempeño emocional, físico, psicológico y escolar de los niños. Esto también se demostró al conocer que los niños faltan al colegio al tener síntomas como las sibilancias.

Bibliografía

- CLOUGHERTY, J. E.; LEVY, J. I. et ál. (2006), A Longitudinal Analysis of the Efficacy of Environmental Interventions on Asthma-Related Quality of Life and Symptoms Among Children in Urban Public Housing, *Journal of Asthma*, Jun-Jul, 43, (5), 335-43, tomado de la base de datos Pubmed.
- FRANCO, J. F. (2007), *Salud respiratoria y niveles de contaminación en instituciones educativas ubicadas en vías con alto tráfico vehicular*, [tesis de maestría no publicada], Bogotá, Universidad de los Andes.
- JANSE, A. J.; UITERWAAL, C. S. et ál. (2005), A difference in perception of quality of life in chronically ill children was found between parents and pediatricians, *Journal of Clinical Epidemiology*, 58,(5), 495–502, tomado de la base de datos PubMed.
- JUNIPER, E. F. (1999), Health-related quality of life in asthma, *Current Opinion in Pulmonary Medicine*, Marzo, 5, (2), 105-10, tomado de la base de datos PubMed.
- LEVY, J. I.; WELKER-HOOD, L. K. et ál. (2004), Lung function, asthma symptoms, and quality of life for children in public housing in Boston: a case-series analysis, *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 3, 13, recuperado el 1º de septiembre de 2007, disponible en: <http://www.ehjournal.net/content/3/1/13>.

Atmósfera y cáncer: estudio ecológico para Medellín y Colombia

3-Martínez-Colombia-1

Elkin MARTÍNEZ*, Patricia ARBELÁEZ†

Palabras clave: contaminación atmosférica.

Introducción

El alto nivel de urbanismo (94%), la proliferación de vehículos automotores (más de 500.000), la creciente densidad poblacional (17.845 hab/km²), la combustión imperfecta de diésel en buses, busetas, camiones y volquetas de la ciudad y la aglomeración de fuentes contaminantes fijas y móviles en el estrecho y poco ventilado valle de Medellín, hacen prever que ciertos efectos nocivos sobre la salud ya se están presentando en la población [1].

Objetivo

Estudiar el efecto de la contaminación atmosférica en la salud de la población de Medellín, específicamente en relación con la mortalidad por cáncer de pulmón y comparar con otras regiones del país.

* MD M. Sc MPH. Profesor de la Facultad Nacional de Salud Pública. Grupo de Epidemiología. Universidad de Antioquia, dirección: calle 62 núm. 52-59. Medellín, Colombia, teléfono: + (57-4) 219 6853, fax: +(57-4) 219 6831, correo electrónico: elkmartz@guajiros.udea.edu.co.

† MD Ph. D. Profesora de la Facultad Nacional de Salud Pública. Grupo de Epidemiología. Universidad de Antioquia.



Metodología

Se comparan las tasas de mortalidad (25 años de seguimiento) por cáncer de pulmón en Medellín (nivel de exposición crónica a PM_{10} de $60 \mu g/m^3$) con las tasas correspondientes de los municipios del oriente antioqueño (PM_{10} de $30 \mu g/m^3$) y también con Bogotá y Colombia. Se calcula el *riesgo relativo* (RR) como medida de asociación epidemiológica IC (intervalo de confianza) al 95%. Las tendencias de las tasas de mortalidad se calculan a través de regresión lineal.

Resultados

Las tasas de mortalidad por cáncer de pulmón en Medellín ascienden desde 11,8 por 100 mil habitantes en 1980 hasta 20,4 en el año 2004. La tendencia de las tasas de mortalidad asciende, con una pendiente significativa de 0,28 IC 95% (0,22, 0,33). Los 7260 casos de muerte en Medellín por cáncer de pulmón, en un seguimiento de 44.534.450 años-persona, contrastan con los 513 de la región de oriente en un seguimiento de 5.656.717 años-persona. Las tasas de mortalidad global por esta causa representan el 16,3 y el 9,1 por 100.000 habitantes respectivamente. El RR alcanzó el valor del 1,80 IC 95% (1,65, 1,96).

La mortalidad por cáncer de pulmón está relacionada con una mayor exposición al material particulado. Un incremento en $10 \mu g/m^3$ de PM_{10} estaría asociado con un incremento hasta del 20% en las muertes por esta enfermedad. La mortalidad por cáncer de pulmón en Medellín es 3,4 veces la mortalidad por la misma causa en Bogotá RR 3,38 (IC_{95} 3,29-3,57) y es 2,7 veces la mortalidad de Colombia por la misma causa RR 2,7 (IC_{95} 2,64-2,78) (fig. 1).

Discusión

Dado que la causalidad del cáncer de pulmón se ha atribuido principalmente a la exposición crónica al humo de tabaco, podría presumirse que

también aquí el tabaquismo pudiera ser el responsable de esta situación. Sin embargo, el tabaquismo viene descendiendo en Colombia y en las distintas localidades del país [2] (fig. 2).

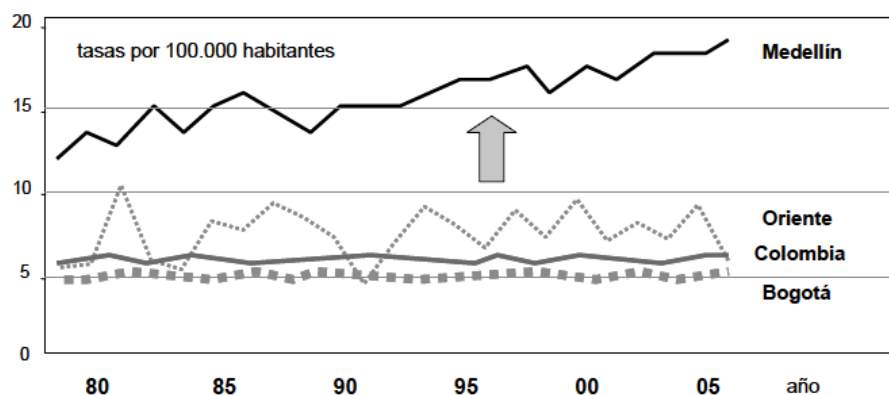


FIG. 1. Mortalidad por cáncer de pulmón en Medellín y otras regiones de Colombia, 1980-2004

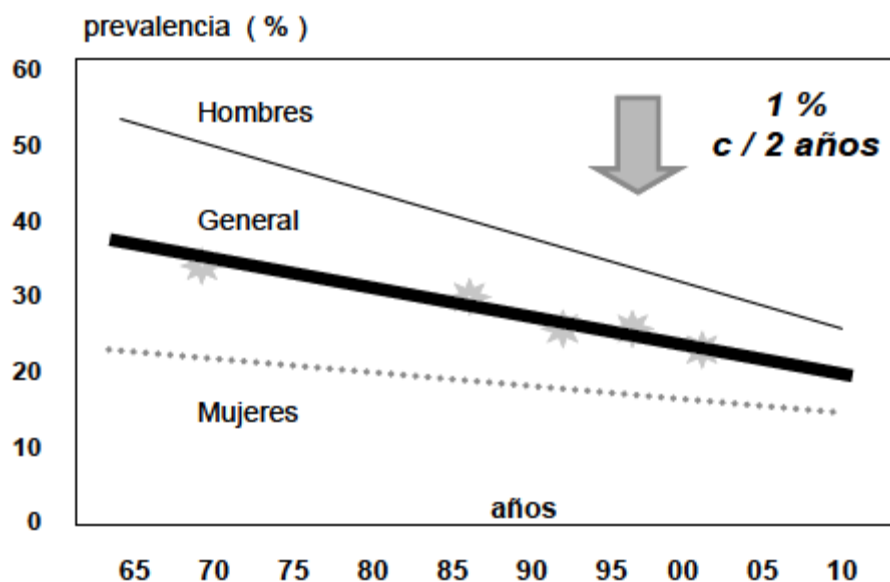


FIG. 2. Prevalencia de tabaquismo según género, Medellín, 1965-2007

Ahora bien, si no es el tabaquismo el responsable de esta escalada de mortalidad por cáncer de pulmón, entonces ¿cuál es la causa? El pulmón es el órgano sensor de la calidad del aire y aunque el humo de la combustión del tabaco es capaz de producir la irritación crónica del epitelio broncoalveolar hasta derivar en lesiones metaplásicas y neoplásicas, también el humo de la combustión del carbón o de otros combustibles fósiles tiene la misma capacidad patogénica [3] [4]. El humo negro procedente de los vehículos automotores, especialmente de los que consumen diésel, ha venido aumentando a medida que crece la circulación y densidad de vehículos automotores en la limitada y congestionada red vial de las ciudades [5] [6].

Los niveles de contaminación por material particulado respirable PM_{10} en Medellín alcanzan dimensiones altas capaces de producir los efectos que registran en relación con el cáncer de pulmón [7]. Los estudios epidemiológicos más rigurosos reportados en la literatura mundial confirman que aumentos de $10 \mu g/m^3$ de PM_{10} se asocian con incrementos del 14 al 20% en la mortalidad por cáncer de pulmón [8] [12].

Correlación del material particulado: cáncer de pulmón

Los datos de contaminación por material particulado reportados por la red de monitoreo, los obtenidos en nuestros muestreos, los datos estimados para algunas localidades del oriente antioqueño y los reportados en otros estudios locales realizados esporádicamente, se utilizan para explorar una posible correlación con las tasas de mortalidad por cáncer de pulmón calculadas a partir del consolidado de los últimos veinticinco años de seguimiento.

Los resultados del gráfico de dispersión permiten observar una tendencia de los valores a ubicarse cercanos a la línea de regresión lineal con valores muy bajos en PM_{10} y en tasas de mortalidad por cáncer de pulmón para los municipios del oriente antioqueño. Con valores intermedios aparecen los municipios periféricos del Valle de Aburrá y con valores altos los municipios más populosos del centro y del sur del Valle.

El coeficiente de regresión es de 0,84 con coeficiente de determinación de 0,70 y un intervalo de confianza significativo al nivel del 95% de 0,33-0,88. La pendiente también significativa es de 0,126 IC 95% (0,08-0,18). Para la aceptación del modelo de regresión se obtiene una razón de varianza F 32,4 p.00 (fig. 3).

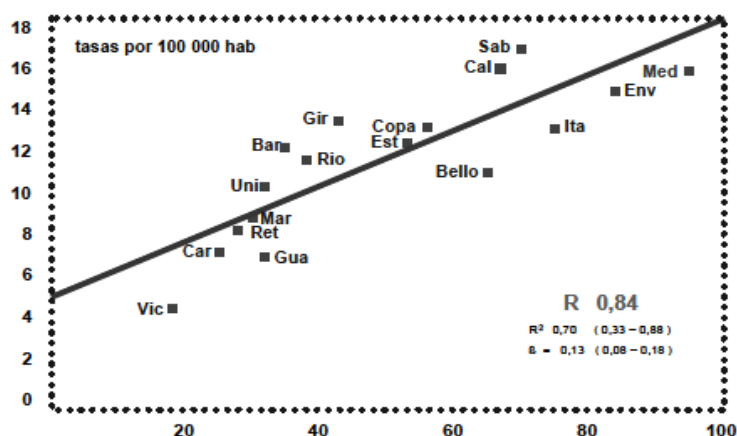


FIG. 3. Correlación entre el material particulado respirable (PM_{10}) y tasas de mortalidad por cáncer de pulmón en diversos municipios de Antioquia

La pendiente nos sugiere que por cada incremento de $10 \mu g/m^3$ se aumenta la tasa de mortalidad por cáncer de pulmón en 1,26 muertes por cada 100 mil habitantes [13] [15].

Conclusión

Los efectos de la exposición crónica al material particulado en la población de Medellín resultan evidentes en relación con las muertes por cáncer de pulmón y se hacen más críticos a medida que se aumentan los niveles de exposición, los cuales van en una tendencia creciente. El control de esta delicada situación de salud pública debe hacerse cuanto antes, porque todo retraso representa una pérdida mayor de valiosas vidas humanas.

Bibliografía

- [1] ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS), ORGANIZACIÓN MUNDUAL DE LA SALUD (OMS). (2005), Evaluación de los efectos de la contaminación del aire en la salud de AL y el Caribe, Washington.
- [2] MINISTERIO DE SALUD DE COLOMBIA, (1999), II Estudio nacional de factores de riesgo de enfermedades crónicas (Enfrec II), t. III.
- [3] SAMET, J. (2004), Environmental causes of lung cancer: what do we know in 2003? *Chest*; 125:80-83 supplement.
- [4] COHEN, A. (2003), Air pollution and lung cancer: what more do we need to know? *Thorax*; 8:1010-12.
- [5] ALCALDÍA DE MEDELLÍN (2008), Secretaría de Salud Pública. Medellín es salud para la vida. *Factores Medioambientales*; 3(1): 9-19.
- [6] BEHRENTZ, E. (2006), *Contaminación atmosférica en Bogotá*, Bogotá, Andesco, pp. 2-17.
- [7] OMS (2006), *Las directrices sobre la calidad del aire en la protección de la salud pública*, Ginebra.
- [8] POPE, A. et ál. (2002), Lung Cancer and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *JAMA*; 287(9):1132-1141.
- [9] COHEN, A; POPE, CA III (1995), III AC Lung cancer and air pollution. *Environmental health perspectives*; 103(8):219-224.
- [10] KOLLÁROVÁ, H.; Janout, V. & Cizek, L. (2002), Epidemiology of lung cancer. *Biomed. Papers*; 146(2):103-114.
- [11] TOBIN, M. (2004), Chronic obstructive pulmonary disease, pollution, and lung cancer. *AJRCCM*; 169:301-313.
- [12] FILLEUL, L.; RONDEAU, V.; VANDENTORREN, S. et ál. (2005), Twenty five year mortality and air pollution: results from the french PAARC survey. *Occup Environ Med*; 62:453-460.

- [13] DOCKERY, D. et ál. (1993), An association between air pollution and mortality in six US cities. *New England Journal of Medicine*; 329:1753-1759.
- [14] LARSEN, B. (2004), Cost of Environmental Damage: A Socio-Economic and Environmental Health Risk Assessment. Consulting Report Prepared for the Ministry of Environment, Housing and Land Development, Republic of Colombia.
- [15] POPE, A. C.; DOCKERY, D. (2006), Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Line that Connect, *Journal of the Air & Waste Management Association*; (56):709-742.

Reconocimiento

El presente estudio fue realizado con el apoyo del Área Metropolitana del Valle del Aburrá, el municipio de Medellín y la Universidad de Antioquia.



Sesión 2:
Modelación de la calidad del aire

Asimilación de aerosoles sobre
Sudamérica utilizando el modelo
atmosférico CCATT-BRAMS

Asimilación de aerosoles sobre Sudamérica utilizando el modelo atmosférico CCATT-BRAMS

4-Hoelzemann-Brasil-1

Judith J. HOELZEMANN*, Karla M. LONGO†, Hendrik ELBERN‡ y Saulo R. FREITAS§

Palabras clave: química atmosférica, asimilación avanzada de datos, aerosoles, emisiones de incendios forestales, modelación regional.

Introducción y objetivos

El impacto de las emisiones globales provenientes de incendios en el estado químico de la atmósfera ha sido ampliamente reconocido por la comunidad científica internacional. Específicamente en Sudamérica, cada año los numerosos incendios forestales emiten grandes cantidades de contaminantes atmosféricos durante la temporada de incendios, convirtiéndose así en un asunto relacionado con la calidad del aire (v. gr. Artaxo et ál., 2005). Últimamente, productos satelitales de incendios se encuentran disponibles, proporcionando una evaluación más objetiva de la ocurrencia de in-

* Research Associate at the Center for Earth System Science at the Brazilian National Institute for Space Research (CCST/INPE), member of the Modeling of the Atmosphere and its Interfaces Group (GMAI) at INPE, Brazil, dirección: CCST/INPE, Rodovia Presidente Dutra, km 40, 12630-000 Cachoeira Paulista, Brasil. Correo electrónico: judith.hoelzemann@cptec.inpe.br.

† Researcher at the General Coordination of Spatial and Atmospheric Sciences at the Brazilian National Institute for Space (CEA/INPE), group leader of the Modeling of the Atmosphere and its Interfaces Group (GMAI) at INPE, Brasil.

‡ Researcher and group leader of the data assimilation group at the Rhenish Institute for Environmental Research (RIU) at the University of Cologne, Germany and the Institute for Chemistry and Dynamics of the Geosphere II, Research Center Juelich, Germany.

§ Researcher at the Center for Weather Forecast and Climate Studies at the Brazilian National Institute for Space Research (CPTec/INPE), group leader of the Modeling of the Atmosphere and its Interfaces Group (GMAI) at INPE, Brasil.



cendios y así, estimaciones de la emisión. Sin embargo, a pesar de todo el progreso y de la evidencia encontrada con la recuperación de datos satelitales, la información cuantitativa sobre aerosoles y la liberación de gases trazadores, su dispersión e impacto es aún insuficiente (v. gr. Hoelzemann et ál., 2004; Hoelzemann, 2006; 2007). Los modelos numéricos serían capaces de deducir esta información de manera más eficiente, si las fronteras confiables y los valores iniciales estuvieran disponibles. La clave para un mejoramiento significativo puede esperarse por la combinación de ambas fuentes de información, es decir, recuperación de datos satelitales y simulaciones del modelo, de una manera estadística y rigurosa. Los métodos avanzados de asimilación de datos son una aproximación pertinente para combinar modelos con datos.

El objetivo de este artículo es presentar el desarrollo del sistema de asimilación de datos de aerosoles para el modelo numérico operacional CCATT-BRAMS (Coupled Chemistry-Aerosol-Tracer Transport to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System) (Freitas et ál., 2005) del Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales [INPE]). Este sistema tiene como objetivo mejorar los modelos de simulación de fuentes de contaminación del aire, principalmente incendios, y su dispersión en la atmósfera de Sudamérica y el sur del Atlántico. De cualquier modo, los resultados del modelo son corregidos con datos observados de forma objetiva y consistente. Específicamente, la técnica de asimilación variacional de tres dimensiones (3-DVAR) es usada para asimilar las columnas de profundidad óptica del aerosol (AOD) del Modis (Moderate Resolution Imaging Spectrodiameter), en el CCATT-BRAMS. Los resultados del modelo, enriquecidos por medio de asimilación de datos: 1) serán tenidos en cuenta para estudios de aerosoles en incendios e información de trazadores y transporte en el hemisferio sur, y contribuirán al mejoramiento en el desempeño del pronóstico meteorológico químico

desarrollado por CPTEC/INPE; y 2) contribuirán al desarrollo del modelo en escalas climáticas temporales para una aplicación futura dentro del modelo brasileiro del sistema terrestre que está siendo desarrollado en CCST/INPE.

Metodología

El modelo numérico CCATT-BRAMS de CPTEC/INPE es una de las herramientas principales de nuestros resultados de asimilación de datos. CCATT-BRAMS se basa en un sistema de modelación atmosférica regional (RAMS) (Walk et ál., 2000). RAMS es un modelo numérico diseñado para simular circulaciones atmosféricas en muchas escalas. RAMS resuelve las ecuaciones de sistemas no hidrostáticos completamente compresibles descritas por Tripoli & Cotton (1982), y está equipado con un esquema anidado de grillas múltiples. RAMS cuenta con un conjunto de parámetros físicos apropiados que corresponden al estado del arte, para simular procesos tales como intercambios aire-superficie, turbulencia, convección, radiación y microfísica. BRAMS (versión brasileira) incluye una versión del esquema de cúmulos someros y profundos basado en la aproximación al flujo de masa de Grell & Devenyi (2002), entre otras características. CCATT es un sistema numérico diseñado para estimular y estudiar el transporte y los procesos asociados con la quema de biomasa, y con las emisiones biogénicas, urbanas-industriales, oceánicas y de polvo. Incluye un módulo de química reactiva que permite la simulación de concentraciones de ozono troposférico y sus precursores. CCATT es un modelo euleriano de transporte en línea completamente acoplado con BRAMS. CCATT está acoplado con el Modelo brasileiro de emisiones de quema de biomasa (3BEM, Longo et ál., 2007), el cual proporciona diariamente la cantidad total de gases trazadores y partículas de aerosol emitidas por los incendios forestales así como las cantidades requeridas para la estimación de la capa de inyección de la fracción liberada durante la fase en llamas. Los datos suministrados por el modelo 3BEM son utilizados por el modelo de elevación de la pluma CCATT (Freitas et ál., 2007a, b) con el fin de determinar “Q” en la ecua-

ción. CCATT-BRAMS incluye un esquema de radiación el cual tiene en cuenta la interacción entre las partículas del aerosol y la radiación de onda corta y larga. La descripción consistente del humo y de su interacción con la radiación de onda corta y larga hacen que el modelo CCATT-BRAMS sea confiable en estudios de retoolimentación atmosférica de los aerosoles del humo.

Con el esquema de asimilación de 3D-Var incluido en CCATT-BRAMS se asimilan las observaciones diarias de AOD de los satélites Modis, Terra y Aqua como un sólo dato diario en un intervalo de tiempo fijo del modelo. Esto se logra haciendo uso del AOD junto con la información con la que cuenta el modelo (el arreglo de AOD calculado por última vez) y la información del error. De esta manera, el modelo se alimenta con un arreglo de AOD nuevo y más realista que servirá para los intervalos de tiempo posteriores. El procedimiento se repite para el AOD de Modis/Aqua. Por lo general, en la asimilación de los datos, la validez de una medida se supone con un decaimiento circular con la distancia del punto de muestreo con un radio de influencia fijo para todo el dominio de análisis. Sin embargo, al hacer un seguimiento de la formación del terreno y teniendo en cuenta el uso de la tierra y la distribución de los incendios, este supuesto casi nunca se cumple. Un uso eficiente de las observaciones disponibles permite extender la validez de la información en algunas direcciones (comportamiento anisotrópico). Debido a que este procedimiento se realiza de manera independiente para cada punto de muestreo, el resultado es una metodología no homogénea y adaptada al terreno. Con la información satelital se enriquecen las bases de datos y esto se puede usar para identificar áreas detalladas de representatividad. Desde un punto de vista técnico esto quiere decir que se pueden designar áreas de influencia o longitudes de correlación anisotrópicas. La definición anisotrópica del radio de influencia es más adecuada ya que puede representar mejor algunas condiciones naturales de similitudes alrededor de un punto de muestreo. Adicionalmente, la expresión "área de

influencia" se ajusta mejor para indicar condiciones similares que prevalecen (Elbern et ál., 2007) para un método práctico en el manejo de matrices de covarianza en la asimilación de los datos). Como consecuencia de esto, se desarrolló una aproximación estadística anisotrópica considerando la información climatológica de AOD. El método seleccionado para crear los radios anisotrópicos de influencia para cada uno de los doce puntos de muestreo de Aeronet en Sudamérica se basa en un estudio de correlación de Aeronet y los datos de Modis de AOD con una grilla de 1 x 1 para las temporadas de incendios entre el 2001 y el 2007: $\text{Corr}_{\text{site}}(i,j) = \text{Corr}[\text{AOD}_{\text{aero}}(x,y,t), \text{AOD}_{\text{movas}}(i,j,k)]$, donde AOD_{aero} y $\text{AOD}_{\text{movas}}$ son los AOD respectivos, x, y son las coordenadas de un punto de muestreo de Aeronet específico, i, j son los índices de todos los puntos de la grilla y t es el tiempo.

Resultados

Una aproximación más sofisticada que los radios de influencia anisotrópicos es el uso de áreas de influencia anisotrópicas más realistas para cada punto de muestreo de Aeronet que se calculan para ser empleadas en el BECM del esquema de asimilación. Los arreglos de correlación de AOD resultantes para Sudamérica en cada punto de muestreo de Aeronet en relación con todos los elementos de AOD de Modis/Terra de la grilla para las temporadas de incendios entre el 2001 y el 2007 se muestran en la figura 1. Los puntos de muestreo presentan áreas anisotrópicas y no homogéneas y una alta correlación de AOD con Movas. Santa Cruz y Campo Grande arrojan grandes áreas de influencia que se esparcen sobre varias fronteras de estados y países. Un patrón evidente es el transporte de aire cargado de emisiones resultantes de la quema de biomasa en el noroccidente y en menor grado hacia el sureste. El aspecto de las áreas de influencia obtenidas se puede explicar por los patrones climatológicos y meteorológicos de Sudamérica, por lo general, durante la estación seca el centro de Brasil está dominado por una alta presión de área con poca precipitación y vientos suaves en la

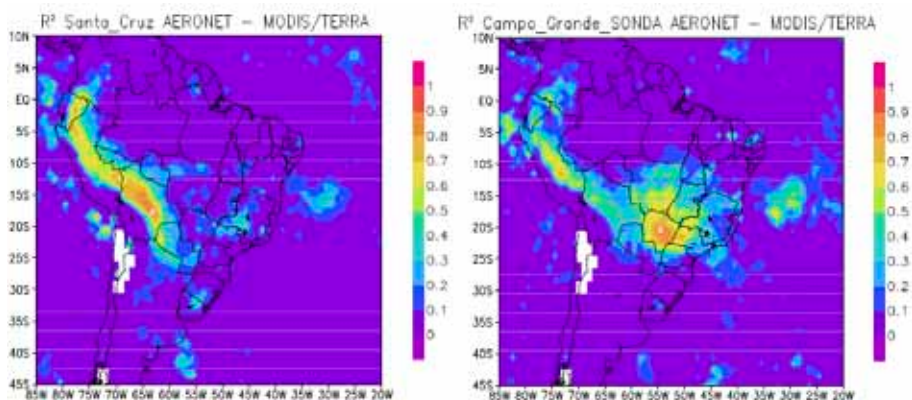


FIG. 1. Correlaciones de grilla AOD550nm de los sitios individuales Aeronet en Sudamérica calculadas usando estudios de Aeronet y Modis/Terra en la temporada de incendios (agosto-octubre) desde 2001 a 2007. Sitios: Sondas Santa Cruz y Campo Grande

tropósfera baja (Satyamurty et ál., 1998). La convección en la cuenca amazónica se desplaza a la zona noroccidental de Sudamérica. Estas condiciones están asociadas al desplazamiento al occidente de la zona subtropical de altas presiones en el Atlántico sur (South Atlantic Subtropical High [SASH]) y el movimiento en dirección al norte de la zona de convergencia intertropical (ZCIT) durante el invierno austral. La SASH es el mecanismo principal responsable por la dilución del aire contaminado y su posición determina la entrada de aire limpio del mar al área que presenta la quema de biomasa, desempeñando así un papel importante en la definición de la forma de las plumas regionales de humo. Los frentes fríos provenientes del sur son los responsables de las perturbaciones de la estabilidad atmosférica y campos de viento. Estos cambios definen los corredores principales de exportación de humo a zonas oceánicas. La cordillera de los Andes, al oriente de Sudamérica, junto con la SASH, imponen un transporte de humo de largo alcance desde sus áreas fuente al sur y sureste del continente perturbando así áreas mayores viento abajo en los subtrópicos. Las dos áreas más grandes de flujo de entrada y salida son el norte del ecuador con la entrada de humo proveniente de incendios africanos y una salida de los incendios de SA al Atlántico sur y al continente africano (Freitas et ál., 2007b).

Bibliografía

- ARTAXO, P.; GATTI, V. G.; LEAL, A. M. C. et ál. (2005), Química atmosférica na Amazônia: A floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica, *Acta Amazônica*, vol. 35(2), pp. 191-208.
- ELBERN, H.; STRUNK, A.; SCHMIDT, H. y TALAGRAND, O. (2007), Emission rate and chemical state estimation by 4-dimensional variational inversion, *Atmos. Chem. Phys.*, 3749-3769.
- FREITAS, S., LONGO, K.; SILVA DIAS, M. A. F. et ál. (2005), Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America, *Environmental Fluid Mechanics*, 5, p. 135-167, 5th RAMS Users Workshop Special Issue.
- FREITAS S.R., LONGO, K. M.; CHATFIELD, R. et ál. (2007a), Including the sub-grid scale plume rise of vegetation fires in low resolution atmospheric transport models. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 7, p. 3385-3398.
- FREITAS S.R., LONGO K.; DIAS, M. et ál. (2007b), The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 1: Model description and evaluation. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 7. 8525-8569.
- GRELL, G. A. y DEVENYI, D. (2002), A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. *Geophysical Research Letters*, v. 29, No. 14.
- HOELZEMANN, J. J.; SCHULTZ, M. G.; BRASSEUR, G. P. et ál. (2004), Global Wildland Fire Emission Model (GWEM): Evaluating the use of global area burnt satellite data. *J. Geophys. Res.*, v. 109, No. D14, D14S04, doi:10.1029/2003JD003666.
- HOELZEMANN, J. J. (2006), Global Wildland Fire Emission Modeling for Atmospheric Chemistry Studies, Ph. D. thesis, Max Planck Institute for Meteorology/University of Hamburg, Germany, *Reports on Earth System Science*, 28/2006.

- HOELZEMANN, J. J.; (2007), *Global Wildland Fires-Impact on Atmospheric Chemistry*, publisher: VDM Verlag Dr. Mueller, Alemania.
- HOELZEMANN, J. J.; LONGO, K.; FONSECA, R. et ál. (2009), Regional representativity of Aeronet observation sites in South America determined by correlation studies with Modis Aerosol Optical Depth, *J. Geophys. Res. Atmos.*, in press.
- LONGO, K.; FREITAS, S. R.; SETZER, A. et ál. (2007), The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS), Part 2: Model sensitivity to the biomass burning inventories, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 8571-8595, 2007.
- SATYAMURTY, P.; NOBRE, C. y SILVA DIAS, P. (1998), South America, in: *Meteorology of the Southern Hemisphere*, edited by; KAROLY, D. y VINCENT, D., *Meteorological Monographs*, 27(49), 119- 139, American Meteorological Society, Boston.
- TRIPOLI, G. y COTTON, W. (1982), The Colorado State University three-dimensional cloud-mesoscale model. Part I: General theoretical framework and sensitivity experiments, *J. Res. Atmos.*, 16, 185-219.
- WALKO, R.; BAND, L.; BARON, J. et ál. (2000), Coupled Atmosphere-Biophysics-Hydrology Models for Environmental Modeling. *J. Appl. Meteorol.*, 39: (6) 931-944.



Sesión 3:
Calidad del aire y salud pública II

Patologías respiratorias en niños
preescolares y su relación con la
contaminación atmosférica de Medellín

Asociación entre la contaminación
del aire y la morbilidad por enfermedad
respiratoria aguda en menores de
cinco años en tres localidades de
Bogotá: Puente Aranda, Kennedy y
Fontibón

Exposición laboral a contaminación
atmosférica: material particulado y
efectos respiratorios en la salud de
policías de tránsito de Bogotá,
2008–2009



Página anterior



Página siguiente



Menú

Patologías respiratorias en niños preescolares y su relación con la contaminación atmosférica de Medellín

3-Echeverri-Colombia-1

Carlos ECHEVERRI*, Gabriel MAYA†, Jaime ORDÓÑEZ‡ y Ana HERRERA§

Palabras clave: partículas respirables, partículas finas, ozono, metales, efectos en la salud.

Introducción y objetivos

En los últimos años un número importante de estudios realizados en distintas ciudades han encontrado, aun por debajo de los niveles de calidad del aire considerado como seguros, una asociación con efectos nocivos para la salud. En muchas ciudades de América Latina la contaminación del aire es un problema importante de salud pública. La exposición de las poblaciones a los contaminantes del aire, que se encuentran habitualmente en las grandes ciudades, está vinculada a un mayor riesgo de mortalidad y morbilidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2005).

Aunque son muchos los contaminantes que están presentes en el aire, los de especial interés para este estudio son las partículas menores de 10 micró-

* Ingeniero químico, magíster en Ingeniería Ambiental. Docente-investigador del Grupo de Investigaciones y Mediciones Ambientales (GEMA). Universidad de Medellín, dirección: carrera 87 núm. 30-65, Medellín, Colombia. A. A. 1983. Universidad de Medellín, Programa de Ingeniería Ambiental, teléfono: 574-3405534, fax: 574-3405216, correo electrónico: cecheverri@udem.edu.co.

† Ingeniero sanitario. M. Sc (C) Epidemiología. Docente-investigador del Grupo de Investigaciones y Mediciones Ambientales (GEMA). Universidad de Medellín.

‡ MD Ph. D. en Epidemiología. Docente-investigador del Grupo Bioestadística de la Universidad CES.

§ MD Ph. D. Docente-investigador del Grupo de Bioestadística de la Universidad CES.



metros (PM_{10}), las partículas menores de 2,5 micrómetros ($PM_{2,5}$) y el ozono (O_3). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la exposición a las partículas y al O_3 supone graves riesgos para la salud en muchas ciudades de los países desarrollados y en desarrollo. Es posible establecer una relación cuantitativa entre el nivel de contaminación y los parámetros como la mortalidad o la morbilidad (OMS, 2006).

El objetivo de esta investigación fue establecer la asociación entre la concentración de los principales contaminantes atmosféricos de Medellín y la manifestación de enfermedades respiratorias en niños menores de seis años. Esta investigación fue realizada por la Universidad de Medellín y la Universidad CES durante el período diciembre del 2006 a noviembre del 2007 para la Secretaría de Salud de Medellín.

Metodología

Tipo de estudio. Por tratarse de un evento de carácter poblacional, cuya exposición es potencialmente perjudicial para la salud humana y de hecho está regulada por las autoridades ambientales, no es posible manipular la exposición y, por tanto, se realizó un estudio observacional, analítico, de tipo cohorte, en una población de niños de cinco años o menores residentes en la ciudad de Medellín.

Universo, población y muestra. El universo fueron todos los niños de cinco años o menores que vivían en zonas de la ciudad de Medellín con diferentes niveles de contaminación atmosférica por partículas menores de 10 micrómetros (PM_{10}). La población fueron todos los niños de cinco años o menores residentes en Medellín durante los años 2006 y 2007; la muestra se tomó en dicha población con los siguientes parámetros:

- Riesgo de enfermar en expuestos a la contaminación: 14%
- Riesgo de enfermar en no expuestos a la contaminación: 7%
- Razón no expuestos/expuestos: 1/1
- Nivel de confianza: 95%
- Potencia: 80%

A partir de las anteriores medidas se obtuvo un tamaño de muestra de 328 niños preescolares en cada brazo de la investigación (expuestos/no expuestos), asimismo y considerando la probabilidad de pérdidas por tratarse de un estudio observacional que podría llegar a ser del 10%, durante los nueve meses de seguimiento de la población, finalmente se consideró un tamaño de muestra de 720 niños de cinco años o menores que residían en la ciudad de Medellín, es decir, 360 niños expuestos y 360 niños no expuestos.

Unidad de análisis. La unidad de observación y de análisis fueron todos los niños preescolares que ingresaron al estudio. La variable independiente fue el nivel de contaminación atmosférica por PM_{10} al que estuvo expuesta la población de estudio; dicho nivel fue clasificado en cuatro categorías según la normatividad vigente para Colombia.

La variable dependiente fue el número de consultas al médico general y al especialista, tanto de urgencias como electivas, por motivo de patologías respiratorias que tuvieron los niños preescolares durante el período de observación, así como los costos directos generados por la atención de dichas patologías, incluyendo los días de estancia hospitalaria que generaron tales consultas.

Criterios de inclusión:

- Niños de cinco años o menores, que residían en Medellín entre el 1º de septiembre de 2006 y el 31 de mayo de 2007.
- Niños que asistieron a instituciones preescolares registradas en Medellín. Estas instituciones contaron por lo menos con un censo de

cincuenta niños con una edad igual o inferior a cinco años al momento de iniciar la observación.

Criterios de exclusión:

- Niños que residían en sitios sin acceso telefónico.
- Niños que no contaban con un adulto responsable.

Área geográfica del estudio. Ocho sitios de muestreo distribuidos en cuatro zonas (dos sitios por zona) del municipio de Medellín que cumplieron con el siguiente requisito respecto a las concentraciones para la norma anual para partículas respirables PM_{10} :

- Contaminación baja: zonas con concentraciones de partículas menores de $10\ \mu m$ igual al 50% o menos.
- Contaminación media baja: zonas con concentraciones de partículas menores de $10\ \mu m$ entre el 51 y el 75%.
- Contaminación media alta: zonas con concentraciones de partículas menores de $10\ \mu m$ entre el 76 y el 100%.
- Contaminación alta: zonas con concentraciones de partículas menores de $10\ \mu m$.

Parámetros seleccionados. Concentraciones en el aire de $PM_{2,5}$, PM_{10} , ozono, Pb, Cd, Cr total y hollín.

Resultados

Al final de los ocho meses de seguimiento de la población, la mitad de ella había consultado al médico por una patología del sistema respiratorio. Considerando que la unidad de análisis fueron los niños y no las

patologías respiratorias, cada niño que ingresó a consulta por patologías respiratorias se consideró una sola vez, independientemente del número de consultas que realizara durante el período de observación.

Esta población generó 490 consultas durante el período de observación, es decir, por cada 100 niños hubo 70,4 consultas médicas. Un 50,4% de los niños consultó por urgencias, el diagnóstico de IRA (infección respiratoria aguda) predominó con un 82,9%, seguidas por el asma en sus diferentes estados leve, moderado y severo en un 16,7% y solamente un 0,4% fue diagnosticado con neumonía.

Todas las concentraciones de PM_{10} encontradas durante el período de medición en los diferentes puntos de muestreo cumplen con la norma diaria de calidad del aire ($150 \mu g/m^3$). La mayoría de las concentraciones de $PM_{2,5}$ encontradas durante el período de medición en los diferentes puntos de muestreo cumplen con la norma diaria de calidad del aire ($65 \mu g/m^3$).

Se observa una participación importante de las partículas finas en los diferentes sitios de muestreo, representada en promedio por un porcentaje del 67% del total de partículas respirables. Esta situación es preocupante debido a que estas partículas representan un mayor riesgo para la salud, especialmente en las poblaciones más vulnerables (niños y ancianos).

En los niños de seis años o menos, residentes en zonas de Medellín con altos niveles de $PM_{2,5}$, PM_{10} , hollín y plomo en el aire, aumentó el riesgo de sufrir infecciones respiratorias o crisis asmáticas en un 49,3% (IC 95%: 18,9-87,3%), al compararlos con aquellos niños expuestos a concentraciones más bajas de estos contaminantes. Este es el resultado después de hacer los ajustes correspondientes a los antecedentes personales y familiares de asma ($RR = 1,21$; IC 95%: 1,01-1,45), que junto con el anterior, son los únicos dos factores (componentes principales) que ingresaron al modelo explicativo de regresión logística para enfermedad respiratoria.

En esta investigación, tanto el análisis bivariado sin ajustar como el ajustado, se demostró siempre mayor fuerza de asociación para enfermedad respiratoria por parte de las partículas $PM_{2,5}$ que para las partículas PM_{10} .

Conclusiones

En todos los sitios de muestreo, las partículas $PM_{2,5}$ tienen la tendencia a superar la norma anual de calidad del aire ($15 \mu g/m^3$) si las concentraciones presentan el mismo comportamiento que el registrado en el período de muestreo para un lapso de doce meses. Esta situación es preocupante debido a que las partículas finas representan un mayor riesgo para la salud, especialmente en las poblaciones más vulnerables (niños y ancianos).

De acuerdo con los niveles de partículas menores de $2,5 \mu m$ ($PM_{2,5}$), todos los puntos de muestreo se encuentran en la zona de alta contaminación (concentraciones de partículas menores de $2,5 \mu m$ superiores a la norma anual de calidad del aire).

En los niños con edad igual o menor a seis años, residentes en zonas de Medellín con altos niveles de $PM_{2,5}$, PM_{10} , hollín y plomo en la atmósfera, aumenta el riesgo de sufrir infecciones respiratorias o crisis asmáticas en un 49,3%, al compararlos con aquellos niños expuestos a menores concentraciones de dichos contaminantes.

El 50% de la población de estudio presentó una infección respiratoria o una crisis asmática durante un período de seguimiento de ocho meses.

Los altos niveles de $PM_{2,5}$, PM_{10} , hollín y plomo en la atmósfera, de forma conjunta, explican el 30,6% de las infecciones respiratorias presentadas en niños de edad preescolar en Medellín.

Los costos evitables de la atención de las enfermedades respiratorias en niños con edad igual o menor a seis años en Medellín, se reflejan en 30.796 consultas anuales que podrían prevenirse por esta causa, cuyo tratamiento genera costos directos al Sistema General de Seguridad Social en Salud (SGSSS) por un valor superior a los 7350 millones de pesos.

Bibliografía

- ECHEVERRI, C. et ál. (2004, diciembre), Partículas suspendidas (PST) y partículas respirables (PM_{10}) en el Valle de Aburrá, Colombia. *Revista Facultad de Ingeniería*, N° 32, Universidad de Antioquia. Medellín.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA (IDEAM), (2004), *Protocolo del monitoreo y seguimiento del modulo aire del sistema de información ambiental*, Bogotá.
- LARSEN, B. (2003), Hygiene and health in developing countries: Defining priorities through cost- benefit assessments. *International Journal of Environmental Health Research*, N° 13, pp. 37-46.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS), (2006, octubre), *Las directrices sobre la calidad del aire en la protección de la salud pública*, recuperado el 2 de noviembre de 2007, disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/index.html>.



Asociación entre la contaminación del aire y la morbilidad por enfermedad respiratoria aguda en menores de cinco años en tres localidades de Bogotá: Puente Aranda, Kennedy y Fontibón

3-Hernández-Colombia-1

Luis Jorge HERNÁNDEZ*, Gustavo ARISTIZÁBAL†, María Patricia GONZÁLEZ‡,
Edna Katalina MEDINA§, Yenny SALGADO**, Lizet CANTOR††,
Jaime BARRERA†† y Rolando BAYONA§§

Palabras clave: contaminación intramural, contaminación extramural, exposición poblacional, material particulado, síntomas respiratorios.

Introducción y objetivos

En Bogotá la enfermedad respiratoria aguda (ERA) constituye la primera causa de morbilidad y mortalidad en niños menores de cinco años; al año se producen casi 600 mil atenciones en salud por ERA en esta misma población. En Bogotá, el contaminante que muestra los niveles más altos y que con frecuencia excede la guía de calidad del aire establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) es el material particulado PM_{10} . Las localidades más afectadas por este fenómeno son Puente Aranda, Kennedy y Fontibón.

* Médico epidemiólogo salubrista del área de vigilancia en salud pública de la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, dirección: carrera 32 núm. 12-81, Bogotá, Colombia, teléfono: (57-1) 3649090, ext. 9741, fax + (57-1) 3649539, correo electrónico: lj1hernandez@saludcapital.gov.co, ljhernandezf@unal.edu.co.

† Médico neumólogo del área de vigilancia en salud pública de la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá.

‡ Enfermera epidemióloga, jefe de área de vigilancia en salud pública de la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá.

§ Ingeniera especializada en salud ocupacional del área de vigilancia en salud pública de la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá.

** Bacterióloga epidemióloga del área de medio ambiente del Hospital del Sur.

†† Ingeniera ambiental del área de medio ambiente del Hospital del Sur.

†† Ingeniero sanitario y ambiental del área de medio ambiente del Hospital de Fontibón.

§§ Médico epidemiólogo, Hospital de Fontibón.



Página anterior

Página siguiente



Menú



Existen mediciones de PM_{10} que se acercan más a la exposición personal las cuales son las poblacionales en microambientes tales como hogares y jardines infantiles.

Estudios anteriores en la localidad de Puente Aranda, hacia 1998, mostraron prevalencia de síntomas compatibles con asma relacionados con exposición ambiental a PM_{10} en el 35% de los niños menores de cinco años. Sin embargo, no se había establecido la relación entre exposición ambiental a PM con la población medida a nivel extramural e intramural. Asimismo, no se había determinado el efecto en síntomas respiratorios en jardines infantiles que presentan gradientes de mayor y menor exposición a material particulado.

El objetivo del proyecto fue determinar la relación entre contaminación del aire extra e intramural (microambientes) por material particulado PM_{10} y su asociación con síntomas respiratorios en niños menores de cinco años en tres localidades del distrito capital.

Metodología

Estudio de cohorte prospectivo de 619 niños menores de cinco años expuestos a mayor y menor contaminación por PM_{10} intra y extramural. Se aplicó una encuesta de caracterización inicial y se hizo seguimiento durante veinte semanas a un diario de síntomas respiratorio. Se calcularon razones de prevalencia y se realizó regresión de Poisson para modelar las covariables de persona, tiempo y lugar que acompañan la mayor y menor exposición.

Resultados y conclusiones

Se evidenció una baja correlación estadística entre los promedios de PM_{10} ambientales y poblacionales tanto intra como extramurales. Se presentó también una débil correlación entre contaminación por PM_{10} intra y extramural. Se mostró una mayor exposición intramural que extramural a PM_{10} en algunos jardines infantiles.

El 74,3% de los niños en los jardines ha tenido, en el último año, chillidos o silbidos en el pecho, con una proporción significativamente estadística en los niños más expuestos a contaminación por PM_{10} . Los niños menores de cinco años que residen en sitios de mayor exposición a material particulado pueden presentar 1,75 veces mayor oportunidad de sibilancias en el último año. Este síntoma se considera como compatible con el asma; a mayor edad del niño disminuye la probabilidad de presentar sibilancias.

Los síntomas respiratorios bajos como sibilancias y expectoración están asociados a la exposición poblacional de contaminación del aire por material particulado PM_{10} . La razón de tasas fue del 1,30 y 1,30 respectivamente.

Un niño menor de cinco años expuesto a una mayor exposición poblacional a PM_{10} tiene 1,70 veces más riesgo de presentar ausentismo escolar por enfermedad respiratoria aguda.

Una disminución del PM_{10} poblacional (intra y extramural) disminuiría al menos en un 41,1% el ausentismo escolar en los jardines infantiles por enfermedad respiratoria en niños menores de cinco años.

Como conclusión, los principales factores de riesgo para la aparición de ausentismo escolar por enfermedad respiratoria son: la contaminación del aire poblacional por PM y el tipo de vivienda en que habita el niño (apartamento). Los principales factores de riesgo para la aparición de sibilancias son: la contaminación del aire poblacional por PM y el antecedente de bajo peso al nacer. Como factor protector se evidencia la mayor edad del niño.

Bibliografía

- ARISTIZÁBAL, G. et ál. (1997), *Contaminación del aire y enfermedad respiratoria en la población infantil de Puente Aranda*, Bogotá.
- SOLARTE, I.; CAICEDO, A. et ál. (1999), *Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Bogotá*, Informe Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.



Exposición laboral a contaminación atmosférica: material particulado y efectos respiratorios en la salud de policías de tránsito de Bogotá, 2008-2009

1-Estévez-Colombia-1

Jesús Alejandro ESTÉVEZ,* Alba Isabel RODRÍGUEZ P.† y Néstor Yesid ROJAS‡

Palabras clave: efectos pulmonares, contaminación del aire, alteración respiratoria, exposición ocupacional, toxicología de los contaminantes del aire.

Introducción y objetivos

La polución aérea por el tráfico vehicular causa un gran impacto en la salud de los habitantes de las grandes ciudades en todo el mundo. Ha resultado un creciente interés por los efectos del material particulado emitido por los vehículos en la salud humana.

Bogotá es una de las grandes ciudades de Latinoamérica y, por lo tanto, su creciente expansión demográfica, económica y social, acarrea la presencia de grandes emisiones de contaminantes a la atmósfera que afectan la salud pública. Los diagnósticos ambientales evidencian que los principales contaminantes generados son el ozono troposférico y el material particulado a partir de las fuentes principalmente móviles (vehículos). El material particulado en las mediciones ambientales ha sobrepasado los límites permisibles vigentes

* MD. Especialista en epidemiología. Candidato a Magíster en Toxicología. Departamento de Toxicología. Facultad de Medicina. Universidad Nacional de Colombia.

† Médica. Especialista en Salud Ocupacional. Magíster en Toxicología. Profesora asociada del Departamento de Toxicología. Universidad Nacional de Colombia, dirección: avenida carrera 30 núm. 45-03. Bogotá, Colombia. Facultad de Medicina, Departamento de Toxicología, oficina 203, teléfono: +(57-1) 316 5000, ext. 15120-15056, correo electrónico: airodriguezp@unal.edu.co.

‡ Ph. D. Ingeniería ambiental. Ingeniero químico. Profesor asociado del Departamento de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia.



Página anterior

Página siguiente



Menú



tanto en las legislaciones nacionales como internacionales, y su impacto en la salud humana, especialmente en los niños, se ha podido demostrar mediante investigaciones exploratorias en zonas de alta polución de Bogotá, donde la presencia de síntomas respiratorios y episodios de enfermedad respiratoria aguda se relacionan con los niveles de material particulado específicamente.

Sin embargo, no se describen los efectos de este contaminante en otros grupos de alta susceptibilidad como los expuestos laboralmente. Entre estos grupos están: conductores, policías de tránsito, vendedores ambulantes, etcétera. En especial, la caracterización a nivel individual de la exposición a estos contaminantes del aire ofrece una correlación cercana a las concentraciones de material particulado en cada uno de los microambientes en los cuáles los individuos desarrollan gran parte de sus actividades diarias (Rojas et ál., 2005; OMS, 2005; Violante et ál., 2006).

Este trabajo presenta la aplicación de un diseño de cuantificación de exposición individual mediante muestreo personal de material particulado atmosférico, específicamente PM_{10} , y busca las posibles correlaciones con la presencia de síntomas respiratorios agudos mediante la aplicación de un instrumento validado y la realización de pruebas de función pulmonar en una población con alto grado de exposición como los policías de tránsito.

Metodología

Se emplearon los criterios éticos requeridos: participación voluntaria, consentimiento informado y se canalizaron para su manejo por medicina ocupacional de la policía nacional.

Se seleccionaron los sujetos mediante muestreo aleatorio y se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos en el protocolo de investigación.

Se realizó un estudio analítico de corte transversal durante un período de observación de seis meses comparando policías de tránsito y de carreteras que laboran en el perímetro urbano (469 individuos) con policías de funciones administrativas en la ciudad de Bogotá (94 individuos).

Se determinó la prevalencia de efectos respiratorios agudos en policías de tránsito de Bogotá expuestos ocupacionalmente a material particulado durante el período de estudio. Se caracterizó a la población de policías de tránsito con diferentes grados de exposición a material particulado. Se describieron los principales efectos respiratorios en la salud de los policías estudiados. Se cuantificaron las alteraciones en la función pulmonar en los grupos de policías del estudio. Se cuantificó la exposición personal a material particulado en los grupos de policías del estudio mediante mediciones índice durante las jornadas de trabajo. Se comparó la exposición al material particulado entre policías de tránsito y policías con funciones administrativas. Se buscaron correlaciones entre los niveles de medición de exposición personal ocupacional a material particulado con la frecuencia de los efectos respiratorios en los grupos de policías del estudio y las alteraciones en la función pulmonar.

Resultados y conclusiones

Este trabajo constituye un aporte al campo de la toxicología ocupacional y ambiental teniendo en cuenta que es el primer estudio de este orden realizado en nuestro país, que persigue mirar el problema de la contaminación ambiental desde el punto de vista de la exposición personal y la presencia de alteraciones en la salud.

Actualmente el proyecto se encuentra en la fase final de recolección y procesamiento de datos para la obtención de conclusiones.

Bibliografía

- AMERICAN THORACIC SOCIETY (ATS), (1996), *Respiratory Protection Guidelines*.
- ARCINIEGAS, A.; RODRÍGUEZ, C.; PACHÓN, J.; SARMIENTO, H. (2006), *Relación entre enfermedad respiratoria aguda en niños menores a cinco años y contaminación atmosférica en Bogotá*. Secretaría Distrital de Salud.
- ARDILA, E.; SÁNCHEZ, R.; ECHEVERRY, J. (2001), *Estrategias de investigación en medicina clínica*. Bogotá, Editorial Manual Moderno.
- ARISTIZÁBAL G. (1997), *Contaminación del aire y enfermedad respiratoria en la población infantil de Puente Aranda*. Universidad del Bosque. Secretaría de Salud del Distrito, Bogotá.
- BAI, N.; KHAZAEI, M.; VAN EEDEN, S.; LAHER, I. (2006), The pharmacology of particulate matter air pollution-induced cardiovascular dysfunction. *Pharmacology and Therapeutics*; 1- 14.
- BERNSTEIN, J.; ALEXIS, N.; BARNES, C. et ál. (2004), Health effects of air pollution. *Journal Allergy Clinical Immunology* Nov.; 114;5:1116- 1123.
- BANCO MUNDIAL. (2004) Vehicular Air Pollution: Experiences from Seven Latin American Urban Centres. *Technical paper*. Washington, D.C.
- BLANCO, C. (2004), *Caracterización microbiológica del material particulado como factor de riesgo sobre la salud en la localidad de Puente Aranda*, Bogotá.
- CHESTNUT, M.; SCHWARTZ, J.; SAVITZ, D.; BURCHFIEL, C. (1991), Pulmonary Function and Ambient Particulate Matter: Epidemiological Evidence from Nhamas I. *Archives Environmental Health* Jun 46;3.
- CREBELL, R.; TOMEI, F.; ZIJNO, A. et ál. (2001), Exposure to benzene in urban workers: environmental and biological monitoring of traffic police in Rome 2000 Italy. *Occup Environ Med*; 58:165-171.
- DOCKERY, D.; POPE, A.; XU, X. et ál (1993), An Association between Air Pollution and Mortality in Six US Cities. *NEJM*; 329;24:1753-1759.
- DONALDSON, K.; MACNEE, W. (2001), Potencial Mechanisms of adverse pulmonary and Cardiovascular effects of particulate air pollution (MP₁₀). *International Journal of Hygiene and Environmental Health*; 203: 411-415.

- DRAGONIERI, S.; MUSTI, M.; IZZO C. et ál. (2006), Sputum induced cellularity in a group of traffic policemen. *Science of the Total Environment* 367: 433-436
- FUSTINONI, S.; BURATTI, M.; GIAMPICCOLO, R.; COLOMBI, A. (1995), Biological and environmental monitoring of exposure to airborne benzene and other aromatic hydrocarbons in Milan traffic wardens. *Toxicology letters* 77: 387-392.
- GIOVAGNOLI, M.; ALDERISIO, M.; CENCI, M. et ál. (1999), Carbon and Hemosiderin-Laden Macrophages in Sputum of Traffic Policemen Exposed to Air Pollution. *Archives of Environmental Health* July/August 54;4:284-90.
- GUTIÉRREZ, J.; ROMIEU, I. (1997), *Contaminación del aire Riesgos para la Salud*. Madrid, Manual Moderno.
- HAN, X.; AGUILAR-VILLALOBOS, M.; ALLEN, J. (2002), *Monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles (COVs) en Trujillo, Perú*.
- HAN, X.; NAEHER, L. (2006), A review of traffic-related air pollution exposure assesment studies in the developing World. *Environment International*; 32:106-120.
- HULLEY, S.; CUMMINGS, S. (1993), *Diseño de la investigación clínica*, Barcelona, Doyma.
- JANSEN, K.; LARSON, T.; KOENIG, J. et ál. (2005), Associations between Health Effects and Particulate Matter and Black Carbon in subjects with Respiratory Disease. *Environmental Health Perspectives*. 113:12.
- KANAE, K.; YANO, E.; JINSART, W. et ál. (2001), Respiratory Symptoms and Pulmonary Function among Traffic Police in Bangkok, Thailand. *Archives of Environmental Health* Sep/Oct 56; 5, 467-75.
- KOK, T.; DRIECE, H.; HOGERVOST, J.; BRIÉDE, J. (2006), Toxicological assesment of ambient and traffic-related particulate matter: A review of recent studies. *Mutation Research*; 613:103-122.
- KUNZLI, N.; JERRET, M.; MACK, W. et ál. (2005), Ambient air pollution and atherosclerosis in Los Angeles. *Environ Health Perspect*; 113:201- 206.
- LE TERTRE, A.; MEDINA, S.; SAMOLI, E. et ál. (2002), Short-term effects of particulate air pollution on cardiovascular diseases in eight European cities. *J. Epidemiol Community Health*; 56:773-779.



- LEE, J.; SHY, C. (1999), Respiratory function as measured by peak expiratory flow rate and: six communities study. *Journal of Exposure and Environmental Epidemiology*; 9:293- 299.
- LIU, Y.; DOU, H.; ZHANG, X. et ál. (2006), Exposure of traffic police to Polycyclic aromatic Hydrocarbons in Beijing, China, *Chemosphere*.
- MAFFEI, F.; HRELIA, P.; ANGELINI, S. et ál. (2005), Effects of environmental benzene: Micronucleus frequencies and haematological values in traffic police working in urban area. *Mutation Research* 583 1-11.
- MARTONEN, T.; SCHROETER, J. (2003), Risk assessment dosimetry model for inhaled particulate matter: *Human subjects*; 138:119-132.
- MILLER, K.; SISCOVICK, D.; SHEPPARD, L. (2004), Long-Term Exposure to Air Pollution and Incidence of Cardiovascular Events in Women. *NEJM*; 356;5:447-458.
- NEUBERGER, M.; SCHIMEK, M.; HORAK, F. et ál. (2004), Acute effects of particulate matter on respiratory diseases, symptoms and functions: epidemiological results of the Austria Project on Health Effects of Particulate Matter (AUPHEP). *Atmospheric Environment*; 38:3971-3981
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL SALUD (OMS), (2005), *Guías de Calidad del Aire de la oms Actualización Mundial*.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS). (2005), *Evaluación de los efectos de la contaminación del aire en la Salud de América Latina y el Caribe*. Washington, D.C., 28.
- PETERS, A.; GOLDSTEIN, I.; BEBER, U. et ál. (1996), Acute Health Effects of exposure to High levels of Air Pollution in Eastern Europe. *American Journal of Epidemiology*; 144;6:570-580.
- RIEDIKER, M.; CASCIO, W.; GRIGGS, T. et ál. (2004), Particulate Matter Exposure in Cars is Associated with Cardiovascular Effects in Healthy Young Men. *American Journal Respiratory Critical Care Med*. v. 169: 934-940.
- RIECHELMAN, H.; RETTINGER, G.; WESCHTA, M.; KECK, T. (2003), Effects of Low-Toxicity Particulate Matter on Human Nasal Function. *Journal Occupational Environmental Medicine*; 45:54-60.

- ROJAS, N. (2005), *Material particulado atmosférico y salud*, Universidad de los Andes.
- SHARMA, M.; KUMAR, N.; KATIYAR, S. et ál. (2004), Effects of Particulate Air Pollution on the Respiratory Health of Subjects who live in Three Areas in Kanpur, India. *Archives of Environmental Health*; 59;7:348-358.
- SINGH, V.; KHANDELWAL, R.; GUPTA, B. (2003), Effect of Air Pollution on Peak Expiratory Flow Rate Variability, *Journal of Asthma*; 40;1:81-86.
- SIRIVELU, M.; MOHANKUMAR, S.; WAGNER, J. et ál. (2006), Activation of the Stress Axis and Neurochemical Alterations in Specific Brain Areas by Concentrated Ambient Particle Exposure with Concomitant Allergic Airway Disease. *Environmental Health Perspectives*; 114; 4: 870-875.
- SOLARTE, I. (1999), *Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños en Bogotá*, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- STRICKLAND, P.; KANG, D. (1999), Urinary 1-hydroxypyrene and other PAH metabolites as biomarkers of exposure to environmental PAH in air particulate matter, *Toxicology Letters* 108: 191-199.
- TAMURA, K.; JINSART, W.; KARITA, K.; BOUDOUNG, D. (2003), Particulate Air Pollution and Chronic Respiratory Symptoms among Traffic Policemen in Bangkok. *Archives of Environmental Health* April; 58: 201-209.
- TOMEI, F.; GHITTORI, S.; IMBRIANI, M. et ál. (2001), Environmental and biological monitoring of traffic wardens from the city of Rome. *Occupational Medicine*; 51;3:198-203.
- TOMEI, F.; ROSATI, M.; CIARROCA, M.; et ál. (2003), Work Exposure to urban pollutants and urinary Homovainillic Acid. *Journal of Environmental Science and Health*; 38A;12. 2999- 2918.
- VIOLANTE, F.; BARBIERI, A.; CURTI, S. et ál. (2006), Urban atmospheric Pollution: personal exposure versus fixed monitoring station measurements. *Chemosphere*; 64:1722-1729.



Sesión 4:
Modelación de la calidad del aire II

Modelación de la contaminación en el
Área Metropolitana de Buenos Aires:
ajuste del modelo MM5

Modelación de la contaminación en el Área Metropolitana de Buenos Aires: ajuste del modelo MM5

2-Dawidowski-Argentina-2

Germán TORRES,^{*} Laura DAWIDOWSKI,[†] Ariela D'ANGIOLA,[‡]

Darío GÓMEZ[§] y Cristina RÖSSLER^{**}

Palabras clave: $PM_{2,5}$, PM_{10} , megaciudades.

Introducción y objetivos

La definición de la configuración y las parametrizaciones físicas utilizadas en la implementación de programas de modelación numérica para simular sistemas de mesoescala, es un desafío vinculado a las limitaciones del equipamiento, a los recursos humanos disponibles, pero también a la información accesible en el dominio de trabajo. Se requieren no sólo variables vinculadas a las emisiones de los distintos compuestos, sino también parámetros meteorológicos y de terreno que representen el mejor ajuste de las condiciones reales del área de estudio. Con el objetivo final de modelar la dispersión de contaminantes en la cuenca atmosférica del Área Metropolitana de Buenos

^{*} Investigador. Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

[†] Investigadora. Gerencia química. Comisión Nacional de Energía Atómica; Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, Universidad de San Martín; Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina, dirección: av. Gral. Paz 1499, B1650 KNA-San Martín, Pcia. de Buenos Aires, teléfono: +(54-11) 6772 7873, fax: +(54-11) 6772 7886, correo electrónico: dawidows@cnea.gov.ar.

[‡] Estudiante de doctorado. Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional de San Martín, Argentina.

[§] Jefe del Grupo Monitoreo Ambiental. Gerencia química. Comisión Nacional de Energía Atómica; Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, Universidad de San Martín; Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

^{**} Investigadora. Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, Universidad de San Martín, Argentina.

Aires (AMBA), se delineó en marco del proyecto SAEMC¹¹ un subproyecto cuyo objetivo general es evaluar las cargas de los distintos compuestos que el AMBA impone en los ámbitos global y regional, y cuyos objetivos específicos son: 1) el desarrollo de un inventario de emisiones, 2) la implementación de un modelo de dispersión de mesoescala y 3) el ajuste del inventario mediante técnicas de asimilación de datos. La actividad descrita en el punto 1 se llevó a cabo por nuestro grupo de investigación debido a la falta de un inventario oficial en las dos jurisdicciones que componen el AMBA (la ciudad de Buenos Aires y los 24 distritos vecinos pertenecientes a la provincia de Buenos Aires), y que se encuentra actualmente en una etapa avanzada de desarrollo. En este trabajo se presentan las actividades que se están realizando actualmente en relación con la actividad 2, enfocadas, en una primera etapa, en el análisis de la dispersión del monóxido de carbono.

Metodología

El esquema de modelado de la calidad de aire utilizado es el denominado Polyphemus (Mallet, 2007) que es una plataforma que incluye distintos tipos de modelos (gaussiano, euleriano) para enfocar los problemas a distintas escalas (desde la micro hasta la continental) y permite considerar múltiples contaminantes incluyendo la físico-química correspondiente. Utiliza como información de entrada los campos de vientos generados por otros sistemas como el desarrollado por el Centro Nacional de Investigación Atmosférica de los Estados Unidos (NCAR), denominado MM5, que fue el utilizado en el presente trabajo.

Para la implementación del modelo MM5 se consideraron tres mallas anidadas cubriendo las áreas indicadas en la figura 1, tomando como

¹¹ South American Emission, Megacities and Climate, financiado por el Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) crn II 2017 que es financiado a su vez por la US National Science Foundation (Grant GEO-0452325).

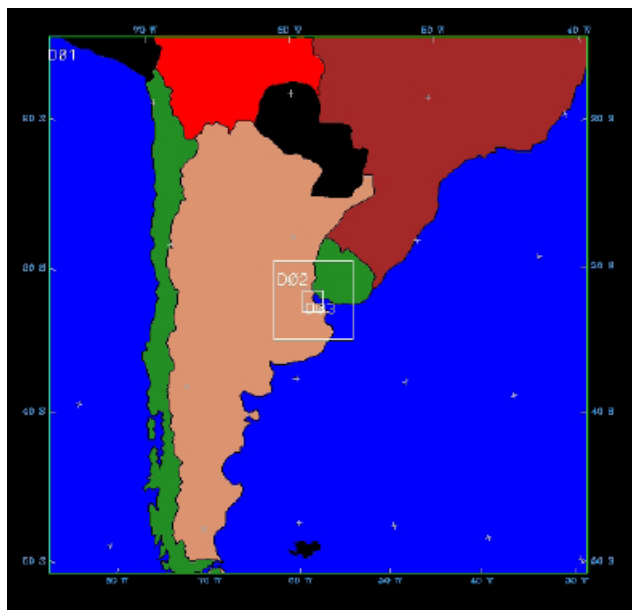


FIG. 1. Dominios considerados en el modelo MM5, el mayor cubriendo la escala continental y el menor al Área Metropolitana de Buenos Aires

condiciones de contorno los datos de reanálisis publicados por el NCEP y los datos topográficos relevados en el ámbito global por el Servicio Geológico de los Estados Unidos.

Como primer paso se realizó un análisis de sensibilidad de los campos obtenidos con el modelo a las parametrizaciones físicas para la escala intermedia. Para ello se consideraron dieciséis opciones que cubrieran las siguientes condiciones: 1) dos parametrizaciones de la capa límite atmosférica (Blackadar y MRF); 2) dos esquemas para considerar la humedad explícita (denominados Goddard y Shultz); 3) dos parametrizaciones para analizar el tipo de cúmulos (Grell y KainFritsh) y 4) dos esquemas de radiación atmosférica (Dudhia y NCAR/CCM2). Para la modelación del suelo se consideró un esquema que contempla cinco capas.

Con el mejor esquema obtenido se corrió el modelo Polyphemus en un dominio de 80 x 80 celdas, con un tamaño de grilla de 2 km y tomando

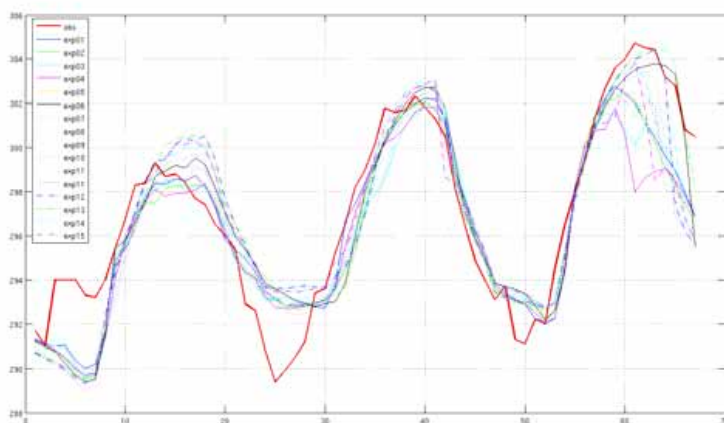


FIG. 2. Temperaturas medidas y modeladas con los distintos esquemas del modelo MM5 considerados

como condiciones de borde, las concentraciones obtenidas con el modelo CCAT-BRAMS, que fueron calculadas por el grupo de investigación del CPTEC/INPE de Brasil. El área analizada comprende no sólo el AMBA, sino también el Río de la Plata y algunas ciudades pequeñas cercanas. Finalmente, los datos obtenidos fueron comparados con los medidos en una estación de monitoreo ubicada en el centro de la ciudad de Buenos Aires.

Resultados y conclusiones

Los resultados obtenidos entre todos los esquemas analizados del modelo MM5 no difirieron entre sí de manera significativa. Un ejemplo de esto se muestra en la figura 2, donde se puede ver la evolución temporal de la temperatura medida junto con los resultados obtenidos en todas las opciones de modelación consideradas. De todos los esquemas analizados el que mejor ajustó las mediciones con las observaciones fue el definido por MRF para la capa límite atmosférica, el definido por Shultz para la humedad explícita, el de KanFritsh para definir el tipo de cúmulos y el modelo del NCAR para la radiación atmosférica.

Con esta información y sobre la base del inventario de emisiones desarrollado (D'Angiola, 2008) se modelaron con el programa Polyphemus las concentraciones de monóxido de carbono para seis niveles diferentes. Los resultados obtenidos a nivel de superficie presentaron una buena respuesta temporal, aunque los valores promedio modelados resultaron en todos los casos inferiores a los medidos.

Bibliografía

- D'ANGIOLA, A.; DAWIDOWSKI, L.; GÓMEZ, D. (2008), On-Road Transport Emissions in the Metropolitan Area of Buenos Aires, presentado en la Conferencia 17th Annual International Emission Inventory Conference "Inventory Evolution - Portal to Improved Air Quality" Portland, Oregon.
- MALLET, V.; QUÉLO, D.; SPORTISSE, B. et ál. (2007), The air quality modeling system Polyphemus, *Atmos. Chem. Phys.*, 7 (20).



Sesión 5: Emisiones

Herramienta web para análisis del
inventario de emisiones del Área
Metropolitana del Valle de Aburrá

Comparacion de métodos para mejorar
los inventarios de emisión de CO en
grandes ciudades

Nueva base de datos de emisiones
antropogénicas mejorada utilizando
la información de los inventarios de
Sudamérica

Herramienta web para análisis del inventario de emisiones del Área Metropolitana del Valle de Aburrá

1-Toro-Colombia-1

Victoria TORO,^{*} Carlos SÁNCHEZ,[†]
Josshual SERNA[‡] y Néstor ÁLVAREZ[§]

Palabras clave: fuentes móviles, fuentes fijas, factores de emisión, cambio de combustible, base de datos.

Introducción y objetivos

Los inventarios de emisiones son considerados una herramienta fundamental en áreas urbanas como el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Medellín, Colombia), tanto para el diagnóstico de la contaminación producida al aire, como en el diseño de estrategias de control para la reducción de ésta. Como un complemento a la información existente de las actualizaciones de inventarios de emisiones de la región (1999, 2003, 2005, 2007) y al sistema de información web y pronóstico meteorológico y de la calidad del aire (<http://www.metropol.gov.co/aire>), se pretendió desarrollar una interfaz virtual, Modemed, para interactuar con la información de las emisiones provenientes principalmente de las fuentes fijas y de las fuentes móviles, no sólo

^{*} Ingeniera química M. Sc. Ph. D. directora de la línea de estudios atmosféricos del Grupo de Investigaciones Ambientales. Universidad Pontificia Bolivariana, dirección: circular 1ª núm. 70-01, bl. 8, piso 2, Medellín, Colombia. A. A. 56006, teléfono: +(57-4) 415 9084, fax: +(57-4) 415 9082, correo electrónico: victoria.toro@upb.edu.co

[†] Ingeniero electrónico, investigador del Grupo de Investigaciones Ambientales, Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia.

[‡] Ingeniero civil M. Sc. en Ingeniería Ambiental, investigador del Grupo de Investigaciones Ambientales de la Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia.

[§] Ingeniero electrónico, investigador del Grupo de Investigaciones Ambientales de la Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia.



Página anterior

Página siguiente



Menú



para obtener datos de éstas, sino, además, como una utilidad para el diseño de escenarios diferentes con el objetivo de evaluar el cambio representado en las emisiones, mediante la variación de diversos parámetros (v. gr. cambio de combustible, cambio de flota vehicular, cambios de aforos vehiculares, cambios de factores de emisión).

Asimismo, a través de esta interfaz web se buscó establecer una metodología para eliminar la necesidad de conocimientos de programación en la ejecución del modelo, permitiendo así la variación en línea de los parámetros y la visualización de los resultados referentes a un escenario imaginado por el usuario.

Metodología

Para el desarrollo del escenario 2008 de emisiones se definió un dominio de 60 x 60 km, con una resolución espacial de 1 km² y una resolución temporal de una hora para un inventario que cubre todo el Valle de Aburrá tipo *bottom up*, lo que quiere decir que se construye desde abajo hacia arriba para lo cual se requiere información específica de cada una de las celdas, que incluya todos los parámetros seleccionados. En total se estimaron 145 especies entre los contaminantes seleccionados se encuentran los criterios como CO, SO_x, NO_x, MP, PM₁₀, CO₂ y los cerca de 140 compuestos orgánicos volátiles (cov).

Este inventario de emisiones incluye las fuentes antropogénicas que provocan emisiones de contaminantes a la atmósfera, lo cual da como resultado una gran variedad de tipos de emisiones, las cuales deben ser agrupadas según su naturaleza en una estructura que facilite su manejo y estudio. La figura 1 muestra la estructura adoptada para los inventarios desarrollados. Las fuentes estacionarias corresponden a las emisiones provocadas por fuentes que se encuentran en un lugar fijo, denominadas también fuentes fijas puntuales (industriales). Mientras que las fuentes móviles

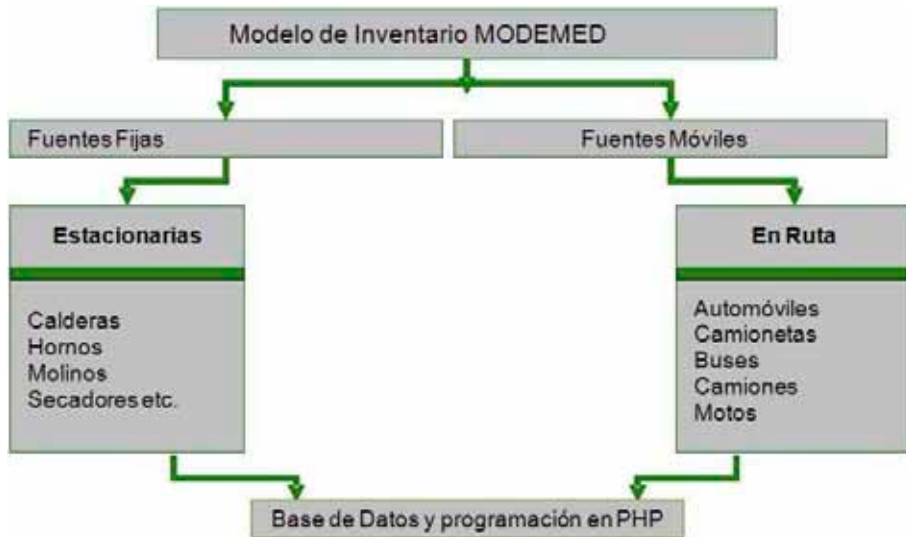


FIG. 1. Modelo de inventario de emisiones atmosféricas

corresponden a aquellas actividades cuyas emisiones son de carácter móvil (tráfico automotor).

Esta aplicación almacena los datos de emisiones de las fuentes fijas, producto de muestreos realizados en las industrias o producto de la estimación a través de factores de emisión, y los datos de las fuentes móviles, provenientes del procesamiento de un modelo propio vehicular. Esta base de datos inicial representa el escenario principal, y a partir de éste, a través de la programación web en el lenguaje PHP, se pueden crear otros escenarios, visualizando mediante gráficos y tablas consolidados los resultados de aplicar determinada estrategia.

Resultados y conclusiones

Producto del desarrollo de esta herramienta diseñada en ambiente web el análisis del inventario de emisiones se hizo más amigable para el usuario, quien la puede ejecutar en línea socializando los resultados al público mediante la generación de reportes (<http://modemed.upb.edu.co>). Así, en el

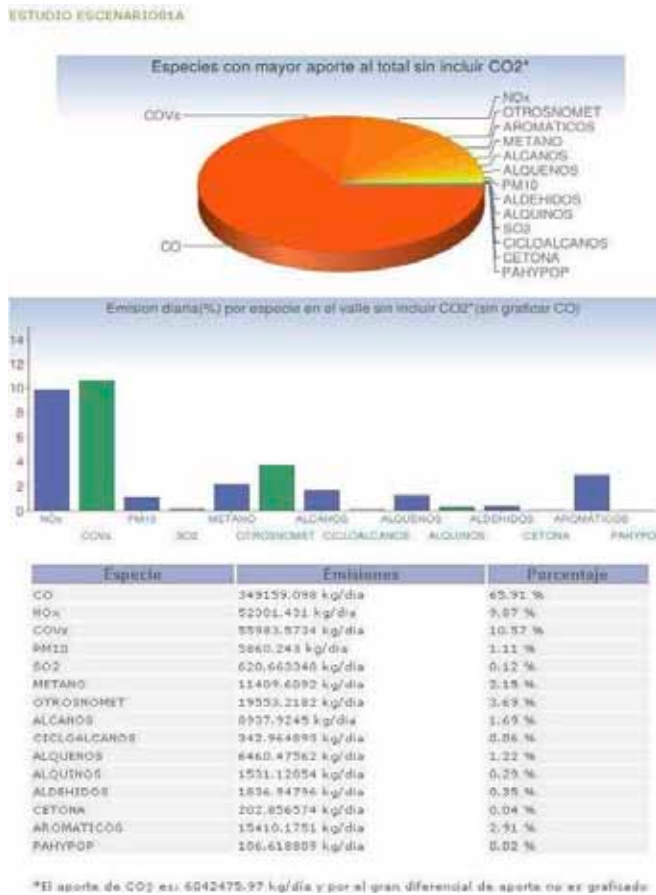


FIG. 3. Reporte gráfico y tabulado de las emisiones diarias en la región metropolitana debidas a fuentes móviles

con el sector industrial (textiles, ladrilleras, etcétera); b) cambio de combustible para industrias ubicadas en un municipio o región geográfica determinada; c) cambio de combustible por tipo de equipos como son calderas y hornos; d) cambio de combustible para sistemas que consumen carbón, crudo, o Fueloil; e) cambio de combustible en las móviles; f) cambio de flota vehicular (número de autos, modelos), de aforos, de factores de emisión.

Una posible aplicación hacia el futuro es su utilización en los proyectos de mecanismos de desarrollo limpio, estimando la reducción de las emisiones de CO₂ por sectores productivos cuando se efectúa un cambio de combustible.

En conclusión, este modelo se convierte en una herramienta importante para prever los cambios en las emisiones y calidad del aire de la región, puesto que, por un lado, se tiene el presente, identificando las zonas con alta densidad de emisiones donde se pueden enfocar los programas de reducción de las emisiones, por ejemplo, cambio de combustible a gas; y por otro lado, se tiene el futuro proyectando las emisiones de acuerdo con el crecimiento de la economía de la región.

Bibliografía

- AMVA-UPB (2005), Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Actualización del inventario de emisiones de fuentes fijas y de fuentes móviles del modelo de emisiones atmosféricas, en el año base 2007. Convenio 289, Área Metropolitana del Valle de Aburrá-Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, disponible en: <http://www.metropol.gov.co>.
- TORO, M. V.; CREMADES, L. V.; QUICENO, R. et ál. (2001, marzo), Emission inventory in Medellín city. An approximation. 3rd International Conference on Urban Air Quality / 5th Saturn Workshop. Loutraki, Grecia. 19-23.

Comparación de métodos para mejorar los inventarios de emisión de CO en grandes ciudades

2-Saide-Chile-1

Pablo SAIDE,* Axel OSSES,† Laura GALLARDO‡ y Marc BOCQUET§

Palabras clave: modelación inversa, monóxido de carbono, colocalización, escala local.

Introducción y objetivos

Los inventarios de emisión (EIS) son herramientas clave para el manejo de la calidad del aire. Son costosos y tienen incertidumbres asociadas. Una forma de mejorar la precisión de los inventarios de emisión es la asimilación de datos. Sin embargo, cuando se implementan estos métodos en la ciudad, se encuentra, además de los problemas relacionados con la primera suposición (inventario a priori) a errores de observación y de modelación, el llamado problema de la colocalización de fuentes y de sitios de observación. El último problema resulta en grandes correcciones falsas de las emisiones cerca de los sitios de observación. Presentamos y comparamos cuatro técnicas que han sido usadas para resolver este problema: 1) ajustando los

* MD en Ingeniería Mecánica, Universidad de Chile. Ingeniero de investigación de ASML en CMM, Universidad de Chile, dirección: Av. Blanco Encalada 2120 Piso 7, Santiago Centro, Santiago, Chile. Universidad de Chile, CMM. +(56-2)978-4882; Fax +(56-2) 688-9705, correo electrónico: psaide@ing.uchile.cl.

† Ph. D. en Matemáticas Aplicadas, École Polytechnique, Francia. Profesor asistente, Departamento de Ingeniería Matemática, Universidad de Chile. Ingeniero director de ASML en CMM, Universidad de Chile.

‡ Ph. D. en Meteorología Química, Universidad de Estocolmo, Suecia. Profesor asociado, Departamento de Geofísica, Universidad de Chile. Ingeniera director de ASML en CMM, Universidad de Chile.

§ Ph. D. en Física Teórica en Service de Physique Théorique de la CEA, Saclay. Université Paris-Est, Cerea, laboratorio École des Ponts ParisTech/EDF R&D, y Inia, París Centro de Investigación Rocquencourt, Francia.



Página anterior

Página siguiente



Menú



factores aplicados a la matriz de covarianzas del error de la emisión (B) los cuales son escogidos de tal manera que aumente la confiabilidad del inventario inicial en los sitios de observación, reduciendo la influencia local de las observaciones; 2) y 3) sumando la correlación entre las celdas de emisión vecinas, lo cual está conectado con la de inclusión de un radio de influencia a la matriz B o, de forma similar, incluyendo restricciones derivadas adicionales a la función de costo; 4) otros métodos basados en el desempeño de la inversión en una resolución más gruesa.

Metodología

Este trabajo pretende presentar y aplicar diferentes metodologías para mejorar el de monóxido de carbono (CO) o de cualquier otro trazador atmosférico lineal sobre una ciudad usando observaciones horarias provenientes de la red de monitoreo de calidad del aire. Para este propósito, aplicamos un modelo de dispersión del estado del arte usado previamente para diversas condiciones meteorológicas (Polyphemus, Mallet et ál., 2007). Las simulaciones climáticas regionales y a mesoescala fueron realizadas (MM5, Grell et ál., 1995) seguidas por corridas directas de dispersión de CO que alimentaron a Polyphemus con los campos de clima y con el EI. Se encontró que la habilidad de los modelos de dispersión y meteorológico es imparcial y permite la aplicación de aproximaciones inversas de modelación (Saide et ál., 2009). El caso analizado corresponde a Santiago de Chile, una ciudad con seis millones de habitantes expuestos a condiciones severas de contaminación, aunque el método es general y puede ser aplicado a cualquier ciudad.

La primera metodología usada se presenta en Saide et ál. (2009) y es similar a lo que ha sido usado en Issartel et ál. (2007). Aquí la matriz B obtenida es diagonal y es calculada usando la norma de una de las columnas de la matriz de sensibilidad (H). El factor tiene un efecto de normalización sobre la matriz H, suavizando los valores máximos obtenidos.

La segunda metodología es usada en varios estudios (v. gr. Peters et ál., 2005) y consiste en correlacionar las celdas de emisión con sus vecinos. Haciendo esto se evitan las grandes diferencias entre las celdas vecinas previniendo la aparición de colocalización. Esto es implementado suponiendo un radio de influencia con un decrecimiento exponencial según la distancia entre las celdas.

La tercera metodología ha sido usada en estudios como el de Carmichael et ál. (2007) y consiste en adicionar un término, con el fin de minimizarlo, que cuente las diferencias en la derivada entre las emisiones supuestas y la solución (gradientes temporales y espaciales). La adición de este término restringe las derivadas creando el mismo efecto que la metodología anterior.

La metodología final está en desarrollo y se basa en las ideas presentadas por Bocquet (2005). La inversión se lleva a cabo en dos pasos. El primero es obtener un inventario minimizado en una escala más gruesa, donde no se encuentra localización. Luego el inventario es desarrollado en una escala más fina, pero adicionando en la función una restricción que forza a la emisión que está en una escala más fina promedio en la grilla más gruesa a ser igual a la emisión gruesa obtenida en la primera inversión. Cuando se restringe la masa en la grilla más gruesa se previene el efecto de colocalización.

Resultados

Los experimentos sintéticos y reales son realizados usando todas las metodologías y para el caso base de no considerar ninguna modificación en la metodología (matriz B diagonal con el mismo valor en la diagonal e inversión de un paso). Para la corrida sintética se supuso que el inventario oficial era preciso y verdadero y se produjeron observaciones sintéticas o pseudoobservaciones. De estas pseudoobservaciones, cinco son perturbadas con un error gaussiano del 5% para simular el error en la observación. Luego se

generó un inventario a priori adicionando a todas las celdas de la grilla un sesgo positivo de 5 ($\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$), y el procedimiento de inversión es aplicado.

Conclusiones

Todas las cuatro metodologías evitan el problema de colocación, generando buenas reconstrucciones de las emisiones reales en una corrida sintética. Si este problema no es tenido en cuenta, las emisiones optimizadas pueden estar bastante lejos de la realidad (fig. 1a).

La metodología que usa un factor sobre la matriz B presenta la mejor aproximación en la corrida sintética. Esta metodología tiene la tendencia de modificar las celdas que pueden estar realmente lejos de los sitios de observación, razón por la cual debe ser usada con cuidado. Además, es el único método que permite modificaciones similares a las emisiones en todas las horas de inversión, mientras que los otros tienden a modificar las emisiones de las horas de la mañana. Las aproximaciones que adicionan la correlación tienen la tendencia de modificar las celdas que están cerca de los sitios de observación, pero adicionan restricciones en las emisiones optimizadas, previniendo la aparición de fuentes puntuales o de diferencias marcadas. Finalmente, la inversión en dos pasos presenta ligeramente más colocación que los otros métodos y se ocupa de modificar, no tan lejos de las estaciones, pero no se usó una correlación, obteniendo resultados más precisos. Algunas de estas características pueden ser observadas sólo en los resultados de la corrida real (fig. 1).

(a) Sin usar modificaciones. (b) Usando factores sobre B. (c) Usando correlaciones con un radio de influencia $r = 2,5$. (d) Adicionando una restricción en la derivada de la función. (e) Realizando una inversión multiescala de dos pasos en una grilla gruesa de 3×3 y promediando los nueve resultados posibles. Note que los valores por encima de 0 (rojos) representan la reducción en emisiones y los valores negativos (azul) representan el aumento de las emisiones con respecto al inventario oficial. Unidades: $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$

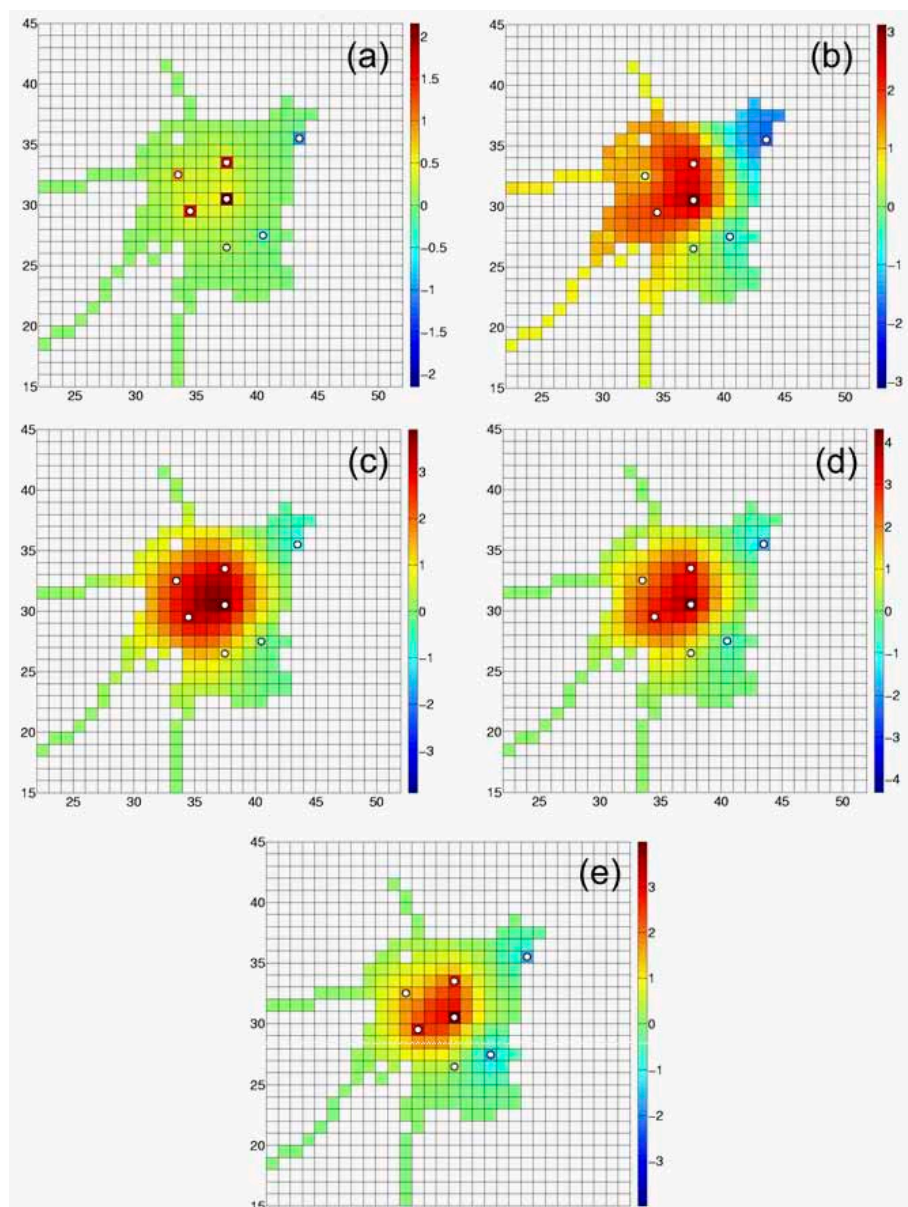


FIG. 1. Diferencias de tiempo promedio entre el inventario a priori (oficial) y los inventarios optimizados con asimilación de las observaciones reales

Para el caso real todas las metodologías generan resultados similares, reducción en las emisiones en la zona centro-occidental y aumento en la zona oriental.

Bibliografía

- BOCQUET, M. Grid resolution dependence in the reconstruction of an atmospheric tracer source, *Nonlin. Processes Geophys*, 12, 219–233, 20, disponible en <http://www.nonlin-processesgeophys.net/12/219/2005/.6338>.
- CARMICHAEL, G. R.; SANDU, A.; CHAI, T. et ál. (2007), Predicting air quality: Improvements through advanced methods to integrate models and measurements, *Journal of Computational Physics*, Vol. 227, Issue 7, Pages 3540-3571, DOI: 0.1016/j.jcp.2007.02.024.
- GRELL, G. A.; DUDHIA, J.; STAUFFER, D. R. (1995), A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5). *NCAR Tech – Note TN-398+ STR*, 6330.
- ISSARTEL, J. P.; SHARAN, M.; MODANI, M. (2007), An inversion technique to retrieve the source of a tracer with an application to synthetic satellite measurements, *Proc. R. Soc. A.*, 463, 2863–30 2886, doi:10.1098/rspa.2007.1877, 6338, 6339
- MALLET, V.; QUELO, D.; SPORTISSE, B. et ál. (2007), Technical Note: The air quality modeling system Polyphemus, *Atmos. Chem. Phys.*, 7, 5479–5487, disponible en: <http://www.atmos-chem-phys.net/7/5479/2007/.6327,6331>.
- PETERS, W.; MILLER, J. B.; WHITAKER, J. et ál. (2005), An ensemble data assimilation system to estimate CO₂ surface fluxes from atmospheric trace gas observations, *J. Geophys. Res.*, 110, D24304, 20 doi:10.1029/2005JD006157, 6338, 6341
- SAIDE, P.; OSSES, A.; GALLARDO, L. y OSSES, M. (2009), Adjoint inverse modeling of a CO emission inventory at the city scale: Santiago de Chile's case, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 9, 6325– 6361, disponible en: www.atmos-chem-phys-discuss.net/9/6325/2009/.

Nueva base de datos de emisiones antropogénicas mejorada utilizando la información de los inventarios de Sudamérica

2-Alonso-Brazil-1

Marcelo Félix ALONSO,* Karla Maria LONGO†

Saulo R. FREITAS,‡ y Rafael M. FONSECA^δ

Palabras clave: CCATT-BRAMS, SAEMC, modelación química regional, megaciudades.

Introducción

En Sudamérica (SA), el 82% de la población vive en áreas urbanas, con un crecimiento anual del 1,7% (United Nations Population Fund [UNFPA], 2007). La confluencia de poblaciones crecientes en las ciudades y la acelerada urbanización han resultado en un incremento de las emisiones de contaminantes atmosféricos que representan una amenaza significativa para la salud humana.

Las megaciudades (v. gr. Molina & Molina, 2004) y otras grandes áreas urbanas afectan la composición química de ambientes remotos. Guttikunda et ál. (2003) realizaron un estudio, por un período de veinticinco años, en el cual analizaron la contribución de megaciudades a las emisiones y concentración atmosférica de azufre en Asia. Se observó que las emisiones de azufre en la región urbana contribuyen en más del 30% a los niveles de contaminación en gran parte del continente.

* Estudiante de Ph. D. en el Centro de Predicciones del Tiempo y Estudios Climáticos (CPTEC/INPE), Brasil, dirección: Rodovia Presidente Dutra, km 40, SP – RJ. CEP: 12630-000, Cachoeira Paulista, SP, Brasil. Teléfono: +55 (12) 31868502, correo electrónico: marcelo.alonso@cptec.inpe.br.

† Centro de Ciencias Espaciales y Atmosféricas (CEA/INPE), Brasil.

‡ Centro de Predicciones del Tiempo y Estudios Climáticos (CPTEC/INPE), Brasil.

^δ Centro de Predicciones del Tiempo y Estudios Climáticos (CPTEC/INPE), Brasil.



Página anterior

Página siguiente



Menú



El balance entre los efectos locales y de largo alcance depende fuertemente de las diferencias meteorológicas y geográficas en el ámbito regional (Lawrence et ál., 2006). En Latinoamérica hay esfuerzos en relación con el monitoreo de la calidad del aire en algunas de las grandes ciudades; sin embargo, la influencia relativa de las regiones urbanas más grandes en la composición química y el impacto potencial en el clima de las regiones es aún inconcluso.

En el contexto del proyecto SAEMC (South American emissions, megacities and climate [Emisiones, megaciudades y clima en Sudamérica]), este trabajo direcciona el desarrollo y la evaluación de CCATT-BRAMS (Coupled Chemistry Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System [Modelo de química de aerosoles y transporte de trazadores para el desarrollo del sistema de modelación atmosférica regional brasileiro]) y la consolidación de una base de datos antropogénicos para estudios asociados con la modificación de la composición química de la atmósfera de SA y su impacto en el cambio climático regional.

El primer paso fue la actualización del inventario global de emisiones usando un conjunto nuevo de inventarios locales, y la implementación de escenarios de emisión en el modelo. Los inventarios de emisión de gran escala son representaciones imprecisas de las emisiones actuales, pues es imposible medir cada fuente de emisión de forma individual a escala regional o de un país.

Metodología

Las bases de datos de emisiones antropogénicas a escala global Retro (Schulz et ál., 2007) y Edgar (Oliver & Berdonwski, 2001) han sido actualizadas y extrapoladas usando los inventarios de Sudamérica (estados de São Paulo y Río de Janeiro, Buenos Aires, Santiago, Bogotá y otras ciudades disponibles).

Las emisiones locales de monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NOx) provenientes de fuentes móviles fueron correlacionadas con la

densidad vehicular de cada ciudad (el número total de vehículos incluyó carros, motocicletas camiones y buses). El coeficiente de determinación fue de 0,89 para CO y 0,87 para NO_x. Con estas ecuaciones las emisiones antropogénicas fueron extrapoladas para otras grandes ciudades de Brasil que no cuentan con un inventario de emisiones.

Las emisiones son interpoladas en la grilla del modelo utilizando un algoritmo geométrico que determina los límites de un área metropolitana a través de la información de cobertura del terreno a partir de instrumentos sensibles remotos. El algoritmo desarrollado por Graham (1972) se aplicó como una solución numérica para obtener un polígono convexo, en el cual, dado un conjunto finito, se encontró un punto P dentro de este plano. Cada y se expresa en coordenadas polares, con origen en P y ángulo 0, y se hace una serie de comparaciones con el fin de localizar vecindarios cercanos determinados por el ángulo con respecto al punto P.

La nueva base de datos de emisiones antropogénicas será evaluada usando CCATT-BRAMS, un modelo de transporte químico euleriano que proporciona una solución para razones de mezcla de trazadores usando una ecuación de conservación de masa que incluye advección, turbulencia en la capa límite planetaria (PBL), deposición húmeda y seca, un esquema de elevación de la pluma, y convección somera y profunda. El modelo también incluye reacciones químicas e interacciones entre trazadores y radiación (onda corta y larga) (Freitas et ál., 2007 & Longo et ál., 2007).

Resultados y conclusiones

La figura 1 muestra un ejemplo de la nueva base de datos antropogénica de CO.

Una simulación previa, para un período de cuatro días (1° a 4 septiembre del 2008), usando dos grillas anidadas con una resolución de 50 km (SA) y 10 km (sureste de Brasil), muestra que la concentración de la ciudad de São Paulo mejoró con la extrapolación de las emisiones (fig. 2).

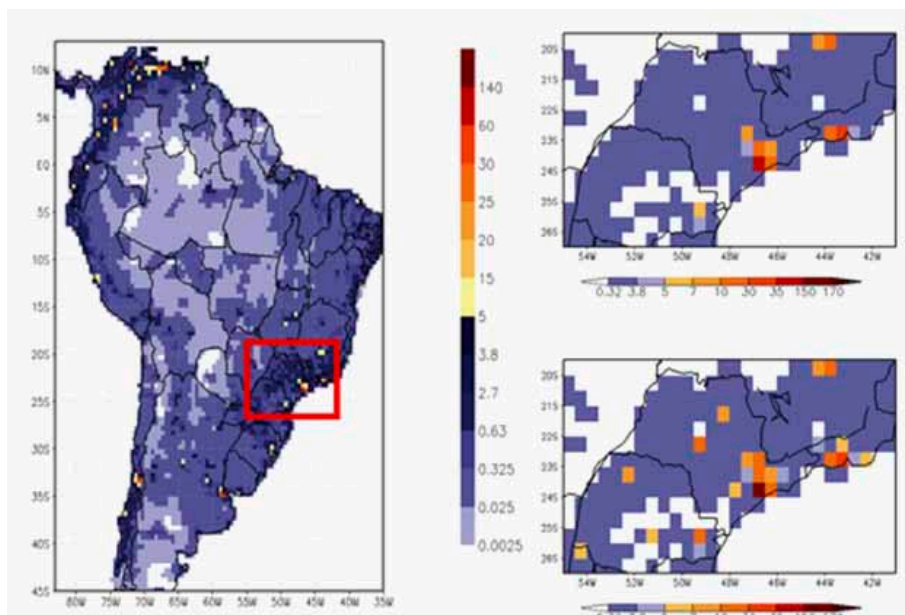


FIG. 1. Emisiones antropogénicas de CO: original (arriba) y con la extrapolación ($\times 10^7 \text{Kg}[\text{CO}]/\text{año}$) abajo

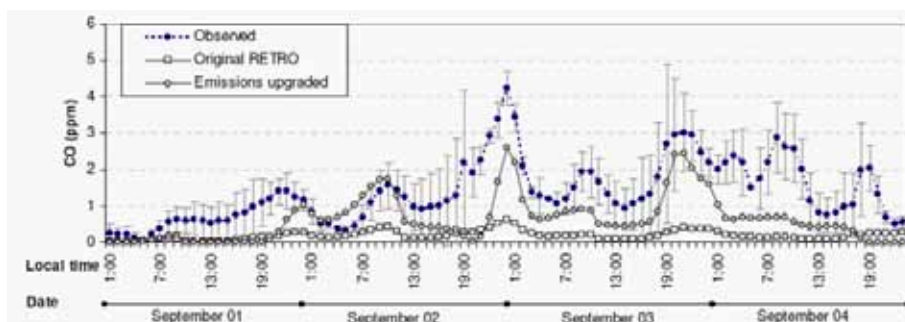


FIG. 2. Concentración de CO (1° a 5 de septiembre del 2008), observada en los sitios CETESB (azul) y simulada, usando el Retro original (negro) y usando las emisiones mejoradas (Rojo), sobre São Paulo

Actualmente, estamos evaluando el mejoramiento de las emisiones para un período de un año (2005), estudiando la influencia que éste tiene en la producción de ozono troposférico y las concentraciones de CO en las ciudades de Santiago (Chile), São Paulo y Belo Horizonte (Brasil).

Bibliografía

- FREITAS, S. R.; LONGO, K.; DIAS, M. et ál. (2007), The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 1: Model description and evaluation, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 7, 8525-8569.
- GRAHAM, R. L. (1972), An efficient algorithm for determining the convex hull of a finite planar set, *Inform. Proc. Lett.* 1, 132-133
- GUTTIKUNDA, S. K.; CARMICHAEL, G. R.; CALORI, G. et ál. (2003), The contribution of megacities to regional sulfur pollution in Asia. *Atmospheric Environment*, 37, 11-32,
- LAWRENCE, M. G. et ál. (2006), Regional pollution potentials of megacities and other major population centers, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 6, 13323-13366.
- LONGO, K.; FREITAS, S. R.; SETZER, A. et ál. (2007), The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 2: Model sensitivity to the biomass burning inventories. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 8571-8595.
- MOLINA, M. J. y MOLINA, L. T. (2004), Megacities and atmospheric pollution, *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 54, 644-680.
- OLIVIER, J. G. J.; BERDOWSKI, J. J. M. (2001), Global Emissions sources and sinks. In: GUICHERIT, R., HEIJ, B. J. (Eds.), *The Climate System*. Balkema Publishers/Swets, Zeitlinger Publishers, Lisse, The Netherlands, pp. 33-78.
- SCHULTZ, M. G.; BACKMAN, L.; BALKANSKI, Y. et ál. (2007), REanalysis of the TROpospheric chemical composition over the past 40 years (Retro) — A long-term global modeling study of tropospheric chemistry, *Final Report. Report no. 48/2007* in the series Reports on Earth System Science, Max Planck, Institute for Meteorology, Hamburg.
- UNITED NATIONS POPULATION FUND (UNFPA), (2007), *Situação da População Mundial 2007: Desencadeando o Potencial do crescimento Urbano*, Fundo de População das Nações Unidas, Nueva York, 180 pp.



Sesión 6: **Política ambiental**

Lineamientos técnicos para la
formulación de los planes de
descontaminación del aire en
megaciudades de América Latina:
Bogotá como caso de estudio

Gestion del Área Metropolitana del
Valle de Aburrá para el mejoramiento
de la calidad del aire



Página anterior

Página siguiente



Menú



Lineamientos técnicos para la formulación de los planes de descontaminación del aire en megaciudades de América Latina: Bogotá como caso de estudio

7-Behrentz-Colombia-1

Eduardo BEHRENTZ,^{*} Nancy P. SÁNCHEZ,[†] Magdalena FANDIÑO[‡] y
Paula A. RODRÍGUEZ[§]

Palabras clave: calidad del aire, planeación, fuentes fijas, fuentes móviles, política ambiental.

Introducción y objetivos

Durante el desarrollo de este proyecto se llevó a cabo la actualización del inventario de emisiones provenientes de fuentes industriales y vehiculares en Bogotá así como un ejercicio sin antecedentes para lograr la caracterización del material particulado presente en la ciudad con el fin de realizar un análisis de identificación de las fuentes causantes de su problema de contaminación.

En todos estos casos se utilizaron metodologías y procedimientos que corresponden al estado del arte y a partir de mediciones directas y de experimentos realizados en la ciudad bajo sus condiciones y características reales. Los resultados encontrados para dichos esfuerzos fueron utilizados para formular los lineamientos técnicos del plan de descontaminación del aire que será implementado en la ciudad durante los próximos diez años. Muchos de

^{*} Director del Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (SUR) de la Universidad de los Andes, dirección: carrera 1ª este núm. 19 A-40, Bogotá, Colombia, A. A. 4976, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, teléfono: +(57-1) 339 4949, fax: +(57-1) 332 4313, correo electrónico: ebehrent@uniandes.edu.co.

[†] Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional, Universidad de los Andes, Colombia.

[‡] Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional, Universidad de los Andes, Colombia.

[§] Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional, Universidad de los Andes, Colombia.

estos resultados son relevantes y de gran utilidad para la formulación de planes de descontaminación de otras ciudades de Colombia así como de otros países de América Latina.

Metodología

Se realizaron más de sesenta mediciones isocinéticas en chimeneas industriales así como más de doscientas pruebas en ruta para determinar las emisiones producidas por la flota vehicular; se visitaron y empadronaron cerca de tres mil empresas y se recolectaron cerca de trescientos filtros con muestras de material particulado que fueron sometidos a determinaciones analíticas con el fin de estimar los contenidos de más de treinta y cinco especies químicas, incluyendo iones y metales pesados. Los detalles de la metodología empleada en las diferentes partes del proyecto se pueden consultar en otros trabajos que fueron enviados para la sesión de pósteres del evento.

Resultados y conclusiones

A partir de los resultados encontrados se logró determinar que la producción no tecnificada de ladrillo (seguida por las calderas que utilizan carbón como combustible) es la más importante fuente de contaminación por material particulado en la ciudad y que la presencia de sectores informales al interior de la industria bogotana es uno de los principales desafíos para la ciudad y su institucionalidad ambiental. Del mismo modo, se logró documentar que existen limitaciones importantes en el desarrollo de las mediciones isocinéticas en chimeneas y que el uso del gas natural es una de las mejores estrategias para reducir las emisiones de material particulado por parte de la industria.

Los resultados de este trabajo indican también que para reducir los niveles de emisiones por parte de la flota vehicular de carga liviana (es decir,

vehículos de pasajeros, camionetas y camperos) de la ciudad se deben implementar programas y medidas enfocados hacia los siguientes temas: a) reducción del uso del vehículo privado y de vehículos de gran tamaño que se caractericen por elevados consumos de combustible; b) mejorar los patrones de conducción de tal forma que éstos sean menos agresivos; c) promover la renovación del parque automotor de tal forma que los vehículos se encuentren provistos de tecnologías más avanzadas y más limpias; d) continuar y expandir las políticas existentes relacionadas con la exigencia de contar con tecnologías de control de emisiones; e) diseñar programas para la renovación de convertidores catalíticos que ya hayan cumplido con su vida útil. Asimismo, se debe analizar y estudiar de forma cuidadosa si se debe continuar con los programas de fomento del gas natural vehicular en aquellos casos en los que se haga uso de vehículos híbridos reconvertidos (es decir, gasolina-gas natural) en lugar de vehículos dedicados a gas.

Adicionalmente, se debe continuar con los esfuerzos para lograr la distribución de ACPM de calidad internacional, de tal forma que se sigan logrando reducciones de emisiones en toda la flota que usa este combustible y se permita el uso de tecnologías de control de emisiones para motores diésel. En este mismo sentido, es necesario implementar programas de renovación y modernización del parque de vehículos de carga pesada, así como de mantenimiento preventivo y especializado de éstos.

Se debe continuar trabajando en la implementación de un sistema de transporte integrado en el que buses troncales y pertenecientes a un sistema masivo sean cada vez más importantes y representen un mayor porcentaje de los viajes que se realizan en la ciudad. Este escenario debe significar la salida a gran escala de buses del sistema de transporte colectivo de tal forma que se logre una notable reducción de la sobreoferta que caracteriza este servicio.

Los resultados de la modelación por receptores demostraron que el conocimiento de las concentraciones de material particulado no es suficiente

para entender el problema de contaminación en un lugar específico de la ciudad y que se puede tener certeza de que la atmósfera de la ciudad funciona como un sistema interconectado, en el que las emisiones generadas en un lugar geográfico tienen implicaciones negativas en zonas relativamente alejadas. Esto significa que las políticas de control de la contaminación deben planificarse de manera integral y considerando a toda la ciudad (y algunos de sus alrededores) como un mismo sistema.

En resumen, un plan de descontaminación del aire para una ciudad de las proporciones de Bogotá debe incluir recomendaciones y proyectos específicos relacionados con: a) Renovación del parque automotor y de los sistemas de combustión utilizados por el sector industrial; b) establecimiento de políticas de calidad de combustibles tanto para fuentes fijas como para fuentes móviles; c) establecimiento de programas de seguimiento y control de la reglamentación sobre calidad de combustibles en los distribuidores de la ciudad; d) obligatoriedad del uso de sistemas de control de emisiones para vehículos diésel así como para grandes hornos y calderas utilizados por el sector industrial; e) promoción de buenas prácticas de conducción en vehículos así como de operación de sistemas de combustión de tipo industrial; f) mejoramiento de la infraestructura vial de la ciudad, desde la pavimentación de calles hasta intervenciones mayores que mejoren el flujo vehicular y aumenten la velocidad media de los vehículos; g) fortalecimiento y mejoramiento de los mecanismos de comando y control tanto para fuentes fijas como para fuentes móviles, así como la utilización de instrumentos e incentivos económicos y tributarios; h) ordenamiento y optimización del sistema de transporte público de la ciudad: reducción de sobreoferta, organización del sistema de transporte colectivo, y expansión del sistema de transporte masivo; i) establecimiento de normas de emisiones que sean exigentes y que incluyan límites para industrias, vehículos particulares, vehículos de transporte de carga y pasajeros, y motocicletas;

j) promoción del uso del gas natural en las industrias y promoción de la formalidad en el sector industrial; k) mejoramiento y expansión de los procesos de auditorías a las firmas encargadas de los monitoreos en chimenea; l) fortalecimiento y expansión sustancial de programas de acompañamiento a la industria y el sector transportador; m) utilización de sistemas de información que de forma automática y controlada sirvan para el reporte de los resultados de las pruebas de emisiones aplicadas tanto al sector transporte como al sector de fuentes fijas; n) establecimiento de ambiciosas estrategias de educación ambiental.

Agradecimientos

Se agradece el soporte provisto por parte de la Alcaldía Mayor de Bogotá, a través de su Secretaría Distrital de Ambiente, así como por parte del Inter-American Institute for Global Change Research (fondos CRN II 2017 a través del soporte de la Fundación Nacional de Ciencias de los Estados Unidos-Grant GEO-0452325).

Se agradece de forma especial por sus variadas y fundamentales contribuciones a Sandra Bravo, Mauricio Gaitán, Natalia Muñoz, Robinson Rodríguez y Juliana Rivera así como a Jesús Miguel Sepúlveda, Édgar Erazo y Mauricio Osses.

Gestión del Área Metropolitana del Valle de Aburrá para el mejoramiento de la calidad del aire

7-Marin-Colombia-1

Andrea Viviana MARÍN*

Palabras clave: calidad del aire, monitoreo, material particulado $PM_{2,5}$, Redaire, autoridad ambiental.

Introducción y objetivos

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) es una entidad que ha venido consolidando el desarrollo armónico de la región metropolitana y dentro de sus funciones se desempeña como autoridad ambiental en las zonas urbanas de los municipios de Medellín, Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Itagüí, Sabaneta, La Estrella y Caldas, con una población de 3,4 millones de habitantes.

Durante las últimas décadas diferentes estudios han resaltado la degradación de la calidad del aire en el Valle de Aburrá, debido al acelerado proceso de urbanización e industrialización, el incremento en el uso de vehículos de motor, la mala calidad de los combustibles y las condiciones topográficas que limitan la dispersión de contaminantes generadas dentro del Valle, propiciando altas concentraciones que afectan la salud de la población, la flora y la fauna [2].

* Funcionaria del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA). Estudiante de Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad Pontificia Bolivariana (UPB). Especialista en Ingeniería Ambiental UPB. Ingeniera química de la Universidad de Antioquia (UDEA), dirección: calle 41 núm. 53-07, Medellín, Colombia, teléfono: (57-4) 385 6000, fax (57-4) 262 3669, correo electrónico: andrea.marin@metropol.gov.co.



Página anterior

Página siguiente



Menú



Considerando lo anterior, el AMVA en convenio con Redaire han implementado estrategias que permiten la toma de decisiones para el mejoramiento de la calidad del aire. Los ejes estratégicos incluyen proyectos de investigación, como el Sistema Metropolitano de Información, el desarrollo y uso de herramientas de modelación, la red de monitoreo y la implementación de acciones tendientes a disminuir la contaminación, enmarcadas en el Pacto por la Calidad del Aire, firmado por diferentes sectores, con el fin de establecer programas de prevención y control de la contaminación.

Objetivos

Presentar la gestión de la calidad del aire desarrollada por el AMVA, los resultados de la red de monitoreo y el impacto de las medidas implementadas sobre contaminación atmosférica.

Antecedentes

En el año 1998 las universidades de Antioquia, Pontificia Bolivariana y el Politécnico Jaime Isaza Cadavid, elaboraron el Programa de Protección y Control de la Calidad del Aire para la región, el cual fue ajustado e implementado por el AMVA [3]. Dicho programa ha sido la base de diversas investigaciones y trabajos de consultoría por parte de la entidad.

El Valle de Aburrá cuenta con veinte estaciones de monitoreo que permiten conocer la evolución de las concentraciones de los contaminantes, las tendencias, la ocurrencia de episodios de contaminación y el comportamiento de las variables meteorológicas que inciden directamente en la dispersión de éstos. Desde 1993 se inició el monitoreo de las partículas suspendidas totales TSP , seguidamente se monitoreó el material particulado menor de 10 micrómetros (PM_{10}), material particulado menor de 2,5 micrómetros ($PM_{2,5}$), monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_2), de nitrógeno (NO_2) y ozono (O_3).

Resultados

Entre los principales proyectos desarrollados por el AMVA hasta el 2008 están:

- Sistema Metropolitano de Información: inventario de emisiones Modemed, modelos pronósticos meteorológicos (RAMS) y de calidad del aire (CAMX), caracterización de filtros y análisis energéticos.
- Red de monitoreo: los esfuerzos se han direccionado hacia el aseguramiento de la calidad de los datos y la automatización de la red, cuenta con un sistema central de datos para conocer de manera oportuna el comportamiento de los contaminantes cada hora y establecer la relación entre actividades productivas y de transporte.

Implementación de medidas como:

- Declaratoria de áreas fuente.
- Programa de cupos transferibles.
- Pacto por la calidad del aire.
- Convenio con Ecopetrol para el mejoramiento de los combustibles.
- Mesa del transporte: pico y placa para vehículos particulares, chatarrización, racionalización y sistema integrado de transporte.

Con la implementación de estas medidas se han obtenido disminuciones de PM_{10} de hasta un 20%.

Calidad del aire en el Valle de Aburrá

Según los reportes de calidad del aire en el 2008 (fig. 1), en la mayoría de las estaciones de monitoreo se sobrepasa la norma anual para PST , se presentan altas concentraciones de PM_{10} y de $PM_{2,5}$, las concentraciones promedio anuales de $PM_{2,5}$ son superiores a la norma anual EPA, $15 \mu g/m^3$ y supera en



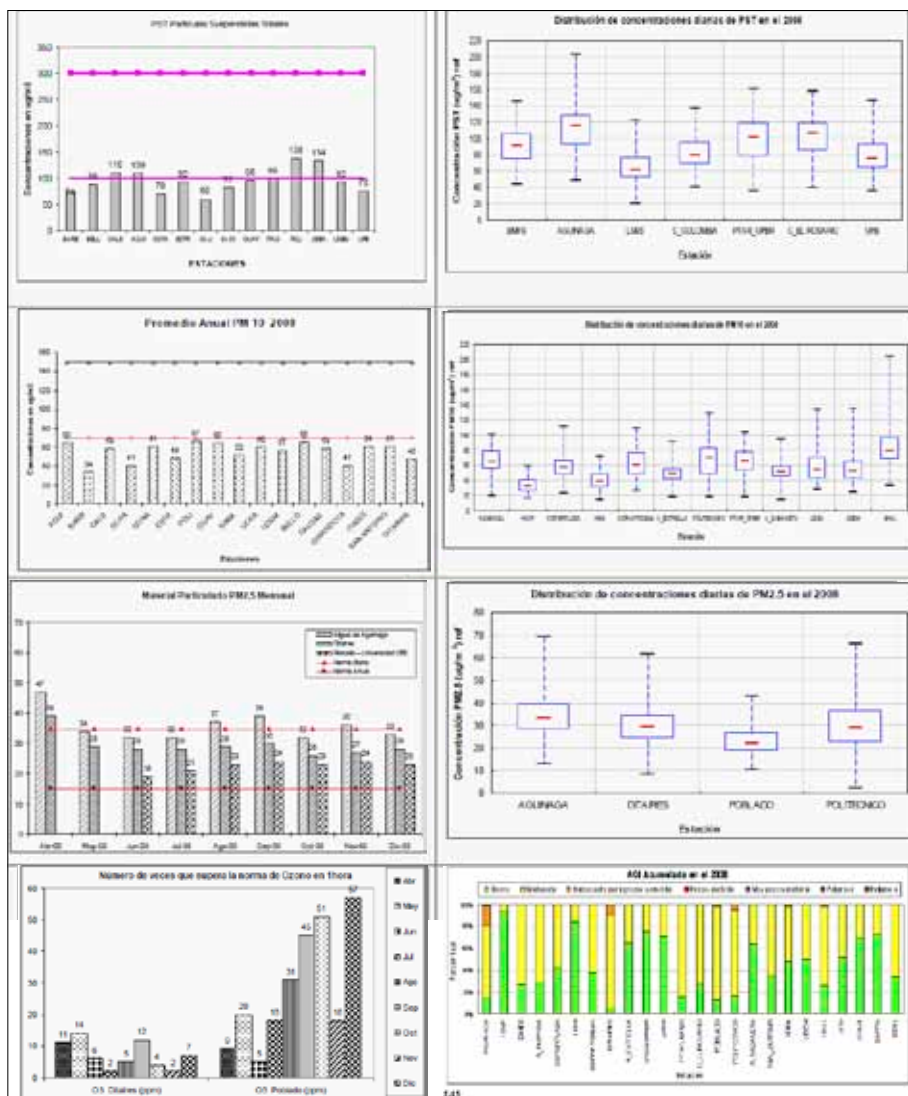


Fig. 1. Calidad del aire en el Valle de Aburrá año 2008 [1]

varias ocasiones la norma diaria EPA, $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$. También se monitorean CO , SO_2 , NO_2 y O_3 ; éstos se encuentran en concentraciones inferiores a los límites permisibles. Estas bajas concentraciones se explican por la sinergia de los SO_2 , con el PM_{10} , y NO_2 , como precursor del O_3 ; el O_3 sobrepasa los límites permisibles horarios y octohorarios, en las estaciones Poblado (57 veces junio-diciembre) y Ditaires, (14 veces abril-diciembre) [1].

Conclusiones

Los contaminantes críticos de acuerdo con los resultados obtenidos en la red son el O_3 , TSP, PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$.

Las estrategias implementadas como el pico y placa y el mejoramiento en la calidad de los combustibles han permitido reducciones en las concentraciones de PM_{10} hasta del 20% mensual.

El monitoreo y el desarrollo de modelos matemáticos han permitido hacer pronósticos y seguimiento al impacto sobre la contaminación atmosférica de medidas como el pico y placa, la operación del sistema de transporte masivo, el sistema de transporte integrado, el mejoramiento de la calidad de los combustibles, las adecuaciones en las vías y rutas, entre otros.

Bibliografía

- [1]. Convenio Marco de Asociación 543. (2008), *Evaluación de los niveles de contaminación en las zonas del Valle de Aburrá*. AMVA-UNAL, Medellín Colombia.
- [2]. *Pacto por la Calidad del Aire*. Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 2007, Medellín, Colombia.
- [3]. TORO, M. V.; MARÍN, A. (2008), *Programa para el mejoramiento de la calidad del aire en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá*. Medellín, Producción más Limpia, v. 2, pp. 7-22.
- [4]. TORO, M. V.; MARÍN, A. (2008), *Índice de calidad del aire para el Valle de Aburrá*. Medellín, Producción más limpia, v. 1, pp. 102-107.



Sesión 7:
Caracterización de aerosoles

Caracterización del material
particulado menor a 10 micras
en siete ciudades colombianas

Compuestos solubles e insolubles
en material particulado clasificado
por tamaño de partícula colectado
en la ciudad de Buenos Aires, Argentina

Niveles, composición química y
reconstrucción másica del PM_{10}
en Bogotá. Estudio integrado en tres
puntos diferentes



Página anterior

Página siguiente



Menú



Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas

1-Reyes-Colombia-1

Helver REYES*

Palabras clave: inventario de emisiones, modelo receptor, caracterización, dispersión, material particulado menor a 10 micras.

Introducción y objetivos

Los efectos producidos por la contaminación atmosférica dependen principalmente de la concentración de contaminantes, del tipo de contaminantes presentes, del tiempo de exposición y de las fluctuaciones temporales en las concentraciones de contaminantes, así como de la sensibilidad de los receptores y los sinergismos entre contaminantes.

Para realizar actividades relativas al control de la contaminación del aire es imprescindible identificar el origen, la proporción y la dispersión de las sustancias contaminantes, de tal forma que las entidades ambientales tengan herramientas para generar mecanismos de control de la contaminación del aire y, de esta manera, actuar rápidamente para asegurar que los contaminantes no se concentren en niveles inaceptables en el aire.

El objetivo principal del estudio fue identificar el origen y proporción en que contribuyen las diferentes fuentes emisoras en las concentraciones de material particulado encontrado en el aire, en las principales ciudades del

* Ingeniero civil de la Universidad Nacional de Colombia, especialista en Ingeniería Ambiental, asesor de la Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, dirección: calle 37 núm. 8-40, Bogotá-Colombia, teléfono: (57-1) 332 3400, ext. 2471, fax: (57-1) 332 3400, ext. 2378, correo electrónico: hreyes@minambiente.gov.co.



Página anterior

Página siguiente



Menú



país, en puntos estratégicos donde se evidencia una problemática asociada a la contaminación del aire.

Metodología

Para llevar a cabo la caracterización del material particulado menor a diez micras (PM_{10}) proveniente de los filtros de los muestreadores de alto volumen (Hi-Vol) y con el propósito de identificar el origen y la proporción en que contribuyen las diferentes fuentes emisoras en las concentraciones de material particulado en el aire, se recopiló información secundaria de las siete ciudades del país donde se realizaron las mediciones con el propósito de identificar datos referentes a la meteorología (precipitación, vientos, temperatura superficial), calidad del aire (fuentes fijas y móviles) así como las generalidades de las siete ciudades evaluadas. Esta información se tomó como línea base para ser empleada de manera posterior en la evaluación y análisis de los resultados obtenidos con los monitoreos realizados.

Con los resultados de análisis químico, resultante del proceso de recolección de información primaria, se procedió a la construcción de los diagramas de composición de material particulado y a la posterior corrida del modelo de receptor para estimar el aporte de las diferentes fuentes.

Igualmente, los resultados expresados en concentración fueron introducidos a un modelo receptor de tipo Unmix 6.0, el cual, por una serie de análisis estadísticos, permite realizar un ajuste preliminar de los datos que finalmente ingresarán al modelo, una vez ajustados los datos se realizaron una serie de corridas del modelo que permitieran establecer la mejor correlación, criterio bajo el cual se establecieron las principales fuentes responsables de la emisión de material particulado y otros componentes.

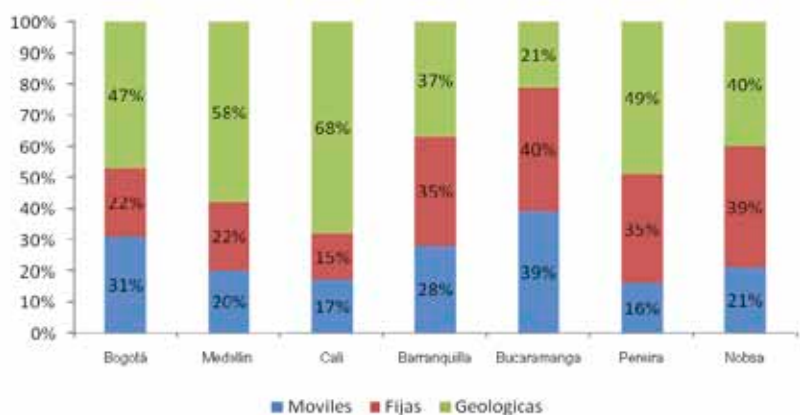


FIG. 1. Aporte de fuentes a la contaminación de PM_{10} en cada ciudad

Fuente: Universidad de La Salle, 2007

Resultados y conclusiones

Según los resultados obtenidos por fuente se concluye que las geológicas son las que aportan la mayoría del PM_{10} en casi todas las ciudades. En Santiago de Cali, el aporte de fuentes geológicas es el mayor de los calculados en todas las ciudades (68%) y el menor es Bucaramanga (21%). En cuanto a fuentes fijas, en Bucaramanga se encuentra el mayor aporte (40%) y en Cali el menor (15%). El valor del aporte determinado para Bucaramanga es similar al de Nobsa (39%) y cercano al aporte calculado para Pereira y Barranquilla (35%). Por otra parte, las fuentes móviles registran un mayor aporte a la contaminación por PM_{10} en Bucaramanga (39%), en Bogotá (31%) y en Barranquilla (28%) y el menor aporte de fuentes móviles se calculó en Cali (17%), tal como se observa en la figura 1.

Como resultado de la revisión de la información secundaria se encontró que los inventarios de fuentes fijas de las ciudades objeto del estudio están desactualizados o carecen de la información necesaria para establecer la

magnitud teórica de las emisiones. Las ciudades analizadas cuentan con inventarios del parque automotor, sin embargo, carecen de información actualizada de aforos vehiculares.

Las principales características de las fuentes fijas en las ciudades analizadas (a excepción de Nobsa) muestran que el tipo de industria que presenta mayor aporte porcentual de contaminantes es el sector de alimentos, en segundo lugar la industria química y, en tercer lugar, la industria metalúrgica y metalmecánica.

El mayor aporte por fuentes fijas se registra en Nobsa, Bucaramanga y Pereira, ciudades en las que el flujo vehicular es menor, por ende, el aporte por fuentes fijas es más significativo. En el ámbito industrial se encontró que el combustible más empleado en su orden es el gas natural, gas propano y diésel; reflejando un menor aporte a emisiones de fuentes fijas por consumo de combustible en las ciudades analizadas.

En Nobsa se resalta el consumo de carbón proveniente de la zona, caracterizado por un alto contenido de azufre.

Con la cantidad de datos de concentración de las diferentes especies obtenidos por el presente estudio, se pudieron establecer tres orígenes del material particulado: las fuentes móviles, las fijas y el material geológico en forma de polvo arrastrado por el viento, producido por la industria de la construcción o resuspendido de las vías por el tráfico vehicular.

Los resultados de metales implican un análisis por separado, pues cada uno de ellos es trazador de diferentes fuentes, así, las mayores concentraciones reportadas en las ciudades analizadas, corresponden a calcio (Ca), con concentraciones que superan los $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este metal representa el significativo aporte de las fuentes geológicas al material particulado debido al mal estado de la malla vial de todas las ciudades analizadas.

El segundo metal en abundancia en el PM_{10} es el hierro (Fe) para todas las ciudades analizadas, destacándose las mayores concentraciones en Cali

y Nobsa, lo cual refleja la actividad siderúrgica y metalmecánica de las zonas aledañas a los puntos de monitoreo de estas ciudades.

El tercer metal en abundancia en el PM_{10} es el plomo (Pb) para todas las ciudades analizadas, destacándose las mayores concentraciones en Cali, seguida de Barranquilla y Bogotá.

En general, los metales trazadores de fuentes geológicas o de fuentes fijas, como el calcio (Ca), hierro (Fe), manganeso (Mn) y cromo (Cr), se encuentran en mayores concentraciones respecto a otros metales, lo que permite concluir que estas fuentes geológicas representan un significativo aporte al material particulado en todas las ciudades evaluadas.

Las mayores concentraciones de mercurio (Hg) detectadas se registraron en la ciudad de Bogotá con valores promedio de 0,66 y 0,82 ng/m³ en las localidades de Puente Aranda y Fontibón, respectivamente, mientras que los menores valores se registraron en la ciudad de Barranquilla con concentraciones de 0,19 ng/m³.

El contenido de carbono orgánico (Co) es el componente mayoritario en todas las ciudades analizadas; este resultado muestra la significancia que tiene el aporte de las fuentes biogénicas o naturales en el país.

El carbono orgánico (Co) en todas las ciudades presenta niveles considerables del orden del 20% de aporte a la concentración de la masa de PM_{10} .

El mayor aporte a la concentración de material particulado en cuanto a carbono elemental (Ce), que es indicador del uso de combustible diésel y carbón, se presentó en las ciudades de Bogotá y Bucaramanga, mientras que en las demás ciudades este indicador fue relativamente bajo. Estos resultados se relacionan con el alto flujo vehicular y la gran actividad industrial de las zonas de estudio y con los iones nitratos y sulfatos presentados en mayor abundancia en estas ciudades.

El mayor aporte por nitratos y sulfatos proviene del flujo vehicular lo cual se correlaciona con las mayores concentraciones registradas en las



ciudades de Bogotá, Medellín y Cali. Las concentraciones de iones están altamente influenciadas por precursores como NO_x y SO_x , los que tienen como origen la mala calidad de los combustibles.

Las concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) muestran la influencia de los procesos de combustión en la formación de esta clase de compuestos, así, uno de los factores influyentes en la presión atmosférica que contribuye a la mayor o menor proporción de oxígeno en el aire y, por lo tanto, contribuyen a la generación de procesos de combustión incompleta.

Bogotá presentó las mayores concentraciones de HAP respecto al resto de ciudades analizadas.

Bibliografía

SARMIENTO, H. et ál. (2008), *Caracterización del material particulado menor a 10 micras en siete ciudades colombianas*. Contrato 2062394, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo (Fonade), Universidad de La Salle.

Compuestos solubles e insolubles en material particulado clasificado por tamaño de partícula colectado en la ciudad de Buenos Aires, Argentina

1-Dos Santos-Argentina-1

Marina DOS SANTOS,* Darío GÓMEZ,†

Laura DAWIDOWSKI,‡ Eduardo GAUTIER[§] y Patricia SMICHOWSKI**

Palabras clave: $PM_{2.5-10}$, $PM_{2.5}$, metales, iones, técnicas analíticas.

Introducción y objetivos

Las partículas atmosféricas constituyen una mezcla muy compleja de muchos componentes y son originadas por fuentes naturales y antropogénicas. La determinación del contenido de metales y metaloides en el material particulado urbano y especialmente en la fracción fina despierta cada vez más interés debido al impacto que los metales tienen sobre la salud.

Conocer el contenido total de elementos traza en las partículas atmosféricas es necesario pero no suficiente para evaluar en forma global los niveles de contaminación porque el efecto de éstos en el ambiente

* Estudiante de doctorado. Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, Universidad de San Martín y becaria del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina.

† Investigador. Gerencia Química. Comisión Nacional de Energía Atómica e Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, Universidad de San Martín, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

‡ Investigadora. Gerencia Química. Comisión Nacional de Energía Atómica e Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, Universidad de San Martín, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

§ Investigador. Gerencia Química. Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina.

** Investigadora. Gerencia Química. Comisión Nacional de Energía Atómica y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina, dirección: av. Gral. Paz 1499, B1650 KNA-San Martín, Pcia. de Buenos Aires, teléfono: +(54-11) 6772 7873, fax: +(54-11) 6772 7886, correo electrónico: smichows@cnea.gov.ar.



depende fuertemente de la forma en que se encuentran unidos a la fase sólida (Kaneyasu, 1995). En particular, obtener información sobre el contenido de elementos solubles y de iones será de utilidad para entender su distribución y para planear estrategias de control de contaminantes.

Para llevar a cabo esta tarea se utilizan métodos de fraccionamiento químico que involucran varios pasos y, por lo tanto, son largos y tediosos. A pesar de ello, han sido ampliamente utilizados por su eficacia y por la información que suministran sobre la distribución de elementos en la fase sólida (Fernández-Espinosa, 2002; Fujiwara, 2006).

En este estudio se aplicó un esquema simple de fraccionamiento basado en las uniones químicas en partículas atmosféricas ($PM_{2,5}$ y $PM_{2,5-10}$) colectadas durante un año en la megaciudad de Buenos Aires para conocer la distribución de Al, Ba, Ca, Cr, Fe, Mg, Mn, Pb, Se, Ti y Zn entre la fase soluble en agua y la fase residual.

Metodología

Se colectaron 113 muestras de $PM_{2,5-10}$ (finas) y 113 de $PM_{2,5}$ (gruesas) en un solo sitio durante un año. Se utilizó un muestreador Gent y filtros Nucleopore®. Para extraer los metales e iones de la fracción acuosa se utilizó un procedimiento ya reportado (Fujiwara, 2006). Para poner en solución los metales de la fracción residual fue necesario someter las muestras a una digestión ácida empleando los ácidos HCl, HNO_3 y $HClO_4$. En la fracción acuosa y en la residual, los metales y metaloides se determinaron por espectrometría de emisión óptica con fuente de plasma (ICP OES). En la fase acuosa se determinaron además cuatro iones claves como Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ y NH_4^+ por cromatografía iónica de alta eficacia (HPLC). Para validar los resultados obtenidos, el material de referencia NIST 1648 (urban particulate matter) fue sometido al mismo procedimiento analítico que las muestras.

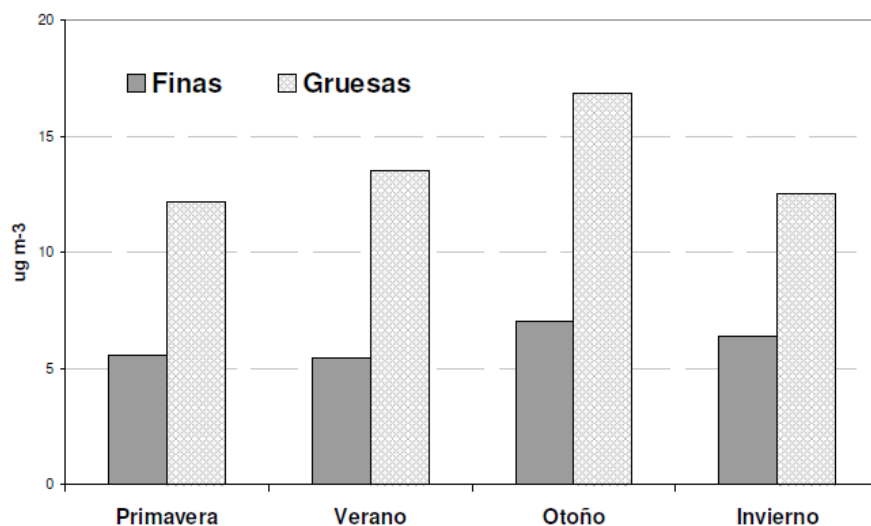


FIG. 1. Concentraciones ($\mu\text{g m}^{-3}$) de partículas finas y gruesas colectadas en Buenos Aires durante un año

Resultados y conclusiones

La figura 1 muestra, en forma general, las concentraciones medias de partículas finas y gruesas en las cuatro estaciones en Buenos Aires.

Las concentraciones totales variaron entre $3,7 \text{ ng m}^{-3}$ (para Ti) hasta $2,47 \mu\text{g m}^{-3}$ (para Ca). De los iones estudiados se observó que SO_4^{2-} , Cl y Na fueron los mayoritarios en la fase acuosa. Los niveles totales de elementos como Al, Ca, Fe y Zn, probablemente como óxidos o silicatos insolubles, representaron un porcentaje importante ya sea en las partículas finas (Al, 9,8%; Ca, 66,4%; Mg, 6%; Fe, 9,1%; Zn, 2,8%) como en las gruesas (Al, 6,%; Ca, 65,1%; Mg, 7,1%; Fe, 13,6%; Zn, 2,6%).

Este estudio es el primero realizado en la megaciudad de Buenos Aires en el que se han determinado compuestos solubles e insolubles en partículas finas y gruesas en muestras colectadas durante un año (Dos Santos, 2009).

Agradecimientos

Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) CRN II 2007, auspiciado por la National Science Foundation (EE. UU.), Grant Geo-0452325. PICT 23-32494 Agencia de Promoción Científico Tecnológica, Argentina.

Bibliografía

- DOS SANTOS, M.; GÓMEZ, D.; DAWIDOWSKI, L. et ál. (2009), Determination of water-soluble and insoluble compounds in size-clasified airborne particulate matter. *Microchemical Journal*, 91:133-139.
- FERNÁNDEZ ESPINOSA, A. J.; TERNERO, A. J.; BARRAGÁN, M.; JIMÉNEZ, F. J. (1995), A chemical speciation of trace metals for fine urban particles. *Atmospheric Environment*, 29:1559-1568.
- FUJIWARA, F.; DOS SANTOS, M.; MARRERO, J. et ál. (2006), Fractionation of eleven elements by chemical bonding from airborne particulate matter collected in an industrial city of Argentina. *Journal of Environmental Monitoring*, 8:913-922.
- KANEYASU, N.; OTHA, S.; MURAN, N. (2002), Seasonal variation in the chemical composition of atmospheric aerosols and gaseous species in Sapporo, Japan. *Atmospheric Environment*, 36:773-780.

Niveles, composición química y reconstrucción másica del PM_{10} en Bogotá. Estudio integrado en tres puntos diferentes

1-Vargas-Colombia-1

Freddy A. VARGAS* y Néstor Y. ROJAS†

Palabras clave: caracterización PM_{10} , reconstrucción másica (mass closure), análisis iónico, Bogotá.

Introducción y objetivos

La calidad del aire, especialmente en centros urbanos, ha sido un tema recurrente en los debates de salud pública y calidad de vida (Fenger, 1999). Lo anterior se ha debido especialmente a las relaciones que se han encontrado entre calidad del aire e indicadores de salud de la población (World Health Organization, 2006). En Bogotá se hace un seguimiento a la calidad del aire a través de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire (RMCAB), y partiendo de los reportes de las autoridades ambientales y análisis independientes (SDA, 2008; MAVDT, Ideam, 2007; Gaitán, Cancino, y Behrentz, 2007), (SDA, 2008; MAVDT, Ideam, 2007) se llega a la conclusión de que el contaminante que presenta los niveles más preocupantes es el material particulado (medido como material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micras, PM_{10}).

* Ingeniero químico, estudiante de la Maestría en Ingeniería Ambiental, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, dirección: carrera 45 núm. 26-85, Laboratorio de Ingeniería Química, oficina 206, Bogotá, Colombia, teléfono: +(57-1) 316 5000, ext. 14304, fax: +(57-1) 316 5000, ext. 14302, correo electrónico: nyrojasr@unal.edu.co.

† Profesor Asociado. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia.



Página anterior

Página siguiente



Menú



En Bogotá se han realizado algunos trabajos previos sobre la caracterización del material particulado recolectado en mediciones de calidad del aire en Bogotá, especialmente para metales pesados (Pachón y Sarmiento, 2008; Roa, 1999; Páez, 1998). Pachón et ál. (2008) analizaron muestras para carbón elemental (EC) y orgánico (OC), así como para iones, de donde concluyeron que la fracción asociada a carbón está dentro del 15 y el 60% del total del PM_{10} , y que el material iónico, especialmente sulfato, es también apreciable. Rivera y Behrentz (2009) adelantaron un análisis de metales y del componente iónico, donde este último parámetro estuvo entre el 3,5 y el 8% del total del PM_{10} ; sin embargo, no se caracterizaron las fracciones carbonáceas.

El trabajo discutido en el presente documento consistió en la caracterización química del material particulado, incluyendo análisis de metales, componente iónico y carbono elemental y orgánico, y la reconstrucción másica (mass closure) del PM_{10} a partir de los datos de caracterización y su correlación con los datos obtenidos en el análisis gravimétrico. Adicionalmente, se adelantó un análisis de balance iónico de las muestras recolectadas que permitió plantear algunas hipótesis sobre los compuestos presentes en PM_{10} de Bogotá.

Metodología

El presente trabajo se desarrolló en tres etapas generales, a saber:

Muestreo

Se definieron tres sectores para el muestreo: Tunal, Carvajal y Suba. Se tomaron muestras diarias durante 140 días (30 en Tunal, 55 en Carvajal y 55 en Suba), utilizando muestreo simultáneo sobre dos sustratos filtrantes (cuarzo y PTFE) en cada punto. En total se recolectaron 280 muestras. Los puntos de muestreo se definieron para cumplir escala barrial según los criterios de la Environmental Protection Agency (EPA). Cada muestra se sometió a análisis gravimétrico en una balanza de seis cifras.

Las muestras recolectadas se conservaron en refrigeración a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ para evitar pérdidas por volatilización.

Caracterización

La caracterización se realizó utilizando tres técnicas:

- Fluorescencia de rayos X, energía dispersiva: se utilizó para cuantificar la presencia de elementos desde Na hasta U, utilizando como muestra el material recolectado sobre los filtros de PTFE y siguiendo el método IO 3,3 de la EPA (EPA, 1999) modificado.
- Cromatografía iónica para cuantificar cationes (Na^+ , K^+ , NH_4^+ y Ca^{+2}) y aniones (Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , $\text{SO}_4^{=}$, Oxalato $^-$, Formato $^-$, Acetato $^-$), usando como muestra el material recolectado sobre los filtros de cuarzo, utilizando un equipo Dionex300DX, siguiendo la metodología del Georgia Institute of Technology.
- Thermal Optical Transmittance: para la caracterización de carbono orgánico y elemental. Se utilizó como muestra el material recolectado en el filtro de cuarzo, usando un equipo SunLab, siguiendo la metodología del Georgia Institute of Technology.

Análisis de resultados

Los resultados fueron analizados para verificar su consistencia; para tal fin se utilizaron balances iónicos y la relación OC/EC. Para la reconstrucción másica se utilizó la fórmula seguida por Lewis et ál. (2003) y el aporte de peso de la fracción orgánica se calculó siguiendo las recomendaciones de Turpin y Lim (2001).

Resultados y conclusiones

Los datos obtenidos confirman los hallazgos de Rivera y Behrentz (2009) en cuanto al nivel del contenido iónico y el orden de magnitud del contenido



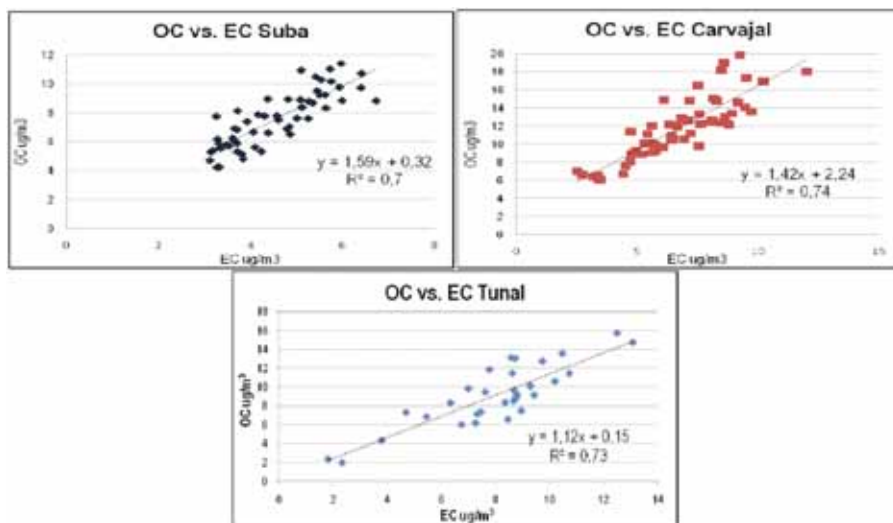


FIG. 1. oc contra ec

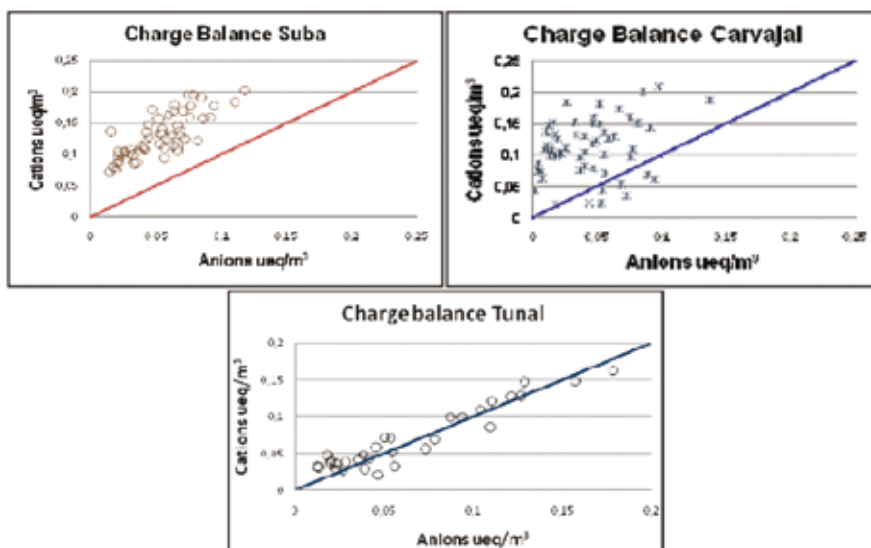


FIG. 2. Balance iónico (línea recta es relación 1:1)

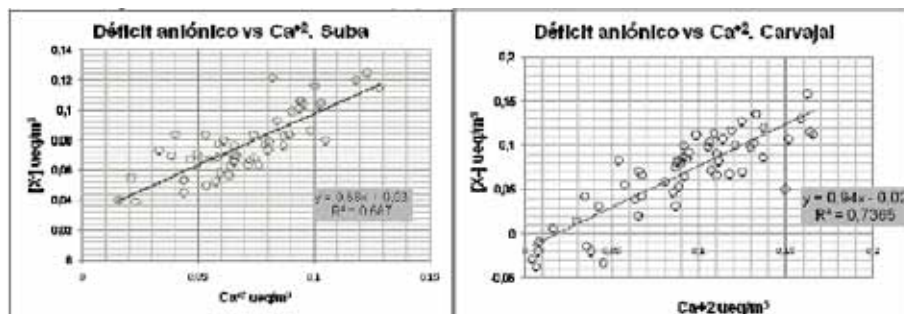


FIG. 3. Déficit aniónico. ([X-] Se calculó suponiendo neutralidad iónica)

de la fracción carbonácea fue entre el 50 y 65%, acorde con Pachón et ál. (2008). La relación OC/EC fue diferente en cada punto (fig. 1) y esta diferencia está seguramente asociada a los tipos de fuentes predominantes en cada uno de ellos o a la meteorología particular del lugar.

El balance iónico de equivalentes también muestra características particulares en cada punto (fig. 2).

Teniendo en cuenta que es razonable suponer la neutralidad iónica del material particulado (Maxwell-Meier et ál., 2004), se puede afirmar que en el material particulado tomado en El Tunal hay un balance iónico y en los otros dos puntos existe un exceso de cationes lo que puede originarse en la presencia no cuantificada de algún anión. De los análisis realizados se encontró que el déficit aniónico está bien correlacionado con el catión Ca^{+2} lo que parece confirmar la presencia de $CaCO_3$ en el PM_{10} muestreado en los sectores de Suba y Carvajal.

Basados en los anteriores hallazgos se realizó una reconstrucción másica utilizando la fórmula seguida por Lewis et ál. (2003), modificada para tener en cuenta el carbonato de calcio.

$$\text{Mass Closure} = Ca * 2.5 + Na + NH_4 + K + Cl + NO_3 + SO_4 + \text{Oxalate} + 1.6 * OC + EC + (1.5 * Mg + 2.2 * Al + 2.49 * Si + 1.94 * Ti + 2.42 * Fe) + \text{Trace elements}$$

Ecuación 1. Ecuación para reconstrucción másica a partir de los análisis químicos

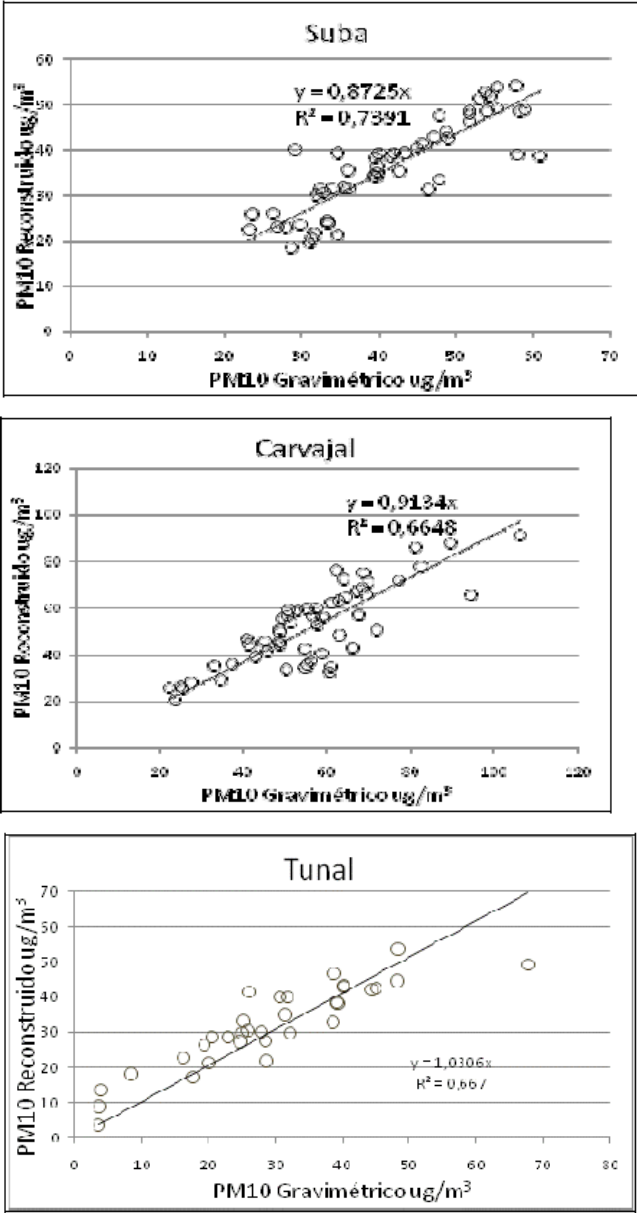


FIG. 4. PM₁₀ reconstruido y hallado gravimétricamente para los tres puntos del análisis

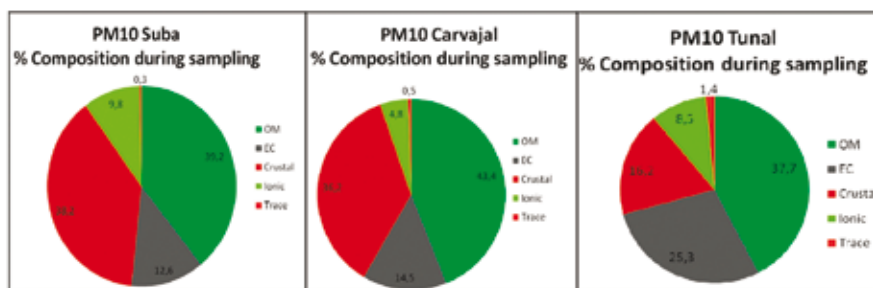


FIG. 5. PM_{10} composición general

En general, se obtuvo un buen acuerdo entre los pesos reconstruidos y los determinados gravimétricamente y las correlaciones se encuentran dentro de lo típico para estos ejercicios (Andrews et ál., 2000).

Basados en los resultados gravimétricos la composición general del PM_{10} se resumen la figura 5.

En la figura 5 se evidencia el gran aporte del polvo y suelo resuspendido al PM_{10} , se esperaría que esta fracción se reduzca casi totalmente al muestrear $PM_{2.5}$, como se evidencia en el resultado obtenido en otros estudios, y tomen mayor importancia el componente iónico y los metales traza (Zn, Pb, Cg, etcétera). La fracción carbonácea (EC y OC) está asociada a fuentes de combustión, principalmente móviles, pero también en Bogotá, fijas (Rodríguez y Behrentz, 2009). Teniendo en cuenta que el contenido de azufre en el diésel utilizado en Bogotá está bajando gradualmente (*El Tiempo*, 2009), el material particulado tenderá a bajar, quedando aún por controlar factores como el tiempo de uso de los buses, su cilindraje y los patrones de conducción.

Generalmente, el muestreo y la caracterización de material particulado nos dan mayores elementos para entender la composición e interacciones químicas en las partículas, el análisis de resultados provee herramientas para la validación interna de datos.

Bibliografía

- ANDREWS, E.; SAXENA, P.; MUSARRA, S. et ál. (2000), Concentration and Composition of Atmospheric Aerosols from the 1995 SEAVS Experiment and a Review of the Closure between Chemical and Gravimetric Measurements. *Journal of the Air & Waste Management Association* 50 (May): 648-664.
- ElTiempo (2009), Nivel de azufre en diésel será de 50 partes por millón de azufre en 2009. www.eltiempo.com, March 13, sec. Bogotá, disponible en: http://www.eltiempo.com/colombia/bogota/nivel-de-azufre-en-diesel-sera-de-50-partes-por-millon-de-azufre-en-2009_4691336-1.
- EPA (1999), *Determination of metals in ambient particulate matter using X-Ray Fluorescence (XRF) spectroscopy* EPA, June, disponible en: <http://www.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/inorganic/mthd-3-3.pdf>.
- FENGER, J. (1999), Urban air quality. *Atmospheric Environment* 33, no. 29 (December): 4877-4900. doi:10.1016/S1352-2310(99)00290-3.
- GAITÁN, M.; CANCINO, J. y BEHRENTZ, E. (2007), Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá, *Revista de Ingeniería-Uniandes*, núm. 26 (November): 81-92.
- LEWIS, C.; NORRIS, G.; CONNER, T. y HENRY, R. (2003), Source Apportionment of Phoenix PM_{2.5} Aerosol with the Unmix Receptor Model. *Journal of the Air & Waste Management Association* 53 (March): 325-338.
- MAXWELL-MEIER, K.; WEBER, R.; SONG, C. et ál. (2004), Inorganic composition of fine particles in mixed mineral dust-pollution plumes observed from airborne measurements during ACE-Asia (September 29), disponible en: <http://www.agu.org/pubs/crossref/2004/2003JD004464.shtml>.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (MAVDT), INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA (IDEAM) (2007), *Informe anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia: Calidad del Aire*, disponible en: <http://www.ideam.gov.co/infoanual/PDFSeccionados/CalidadAirePreliminares.pdf>.

- PACHÓN, J.; RUSSELL, A.; SARMIENTO, H. y GALVIS, B. (2008), Identification of secondary aerosol formation in Bogota: a preliminary study, In: *Portland: A&WMA*, June.
- PACHÓN, J. y SARMIENTO, H. (2008), Análisis espacio-temporal de la concentración de metales pesados en la localidad de Puente Aranda de Bogotá-Colombia. *Revista de Ingeniería Universidad de Antioquia*, núm. 47 (Marzo): 120-133.
- PÁEZ, C. (1998), *Determinación de metales en las partículas del aire*. máster, Universidad de los Andes.
- RIVERA, J. y BEHRENTZ, E. (2009), *Identificación de fuentes de contaminación por material particulado en Bogotá*, máster, Universidad de los Andes.
- ROA, M. (1999), *Medición de metales en las partículas del aire*, máster, Universidad de los Andes.
- RODRÍGUEZ, P. y BEHRENTZ, E. (2009), Actualización del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá a través de mediciones directas, máster, Universidad de los Andes, disponible en: http://biblioteca.uniandes.edu.co/Tesis_12009_primer_semestre/524.pdf.
- SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE (SDA) (2008), *Informe Anual de Calidad del aire de Bogotá 2007 RMCAB*. Informe. Bogotá D. C., Secretaría Distrital de Ambiente, June, disponible en: <http://www.secretariadeambiente.gov.co/sda/libreria/pdf/Informe%20Anual%202007%20RMCAB%20FINAL.pdf>.
- TURPIN, B. J. y LIM, H-J. (2001), Species Contributions to $PM_{2.5}$ Mass Concentrations: Revisiting Common Assumptions for Estimating Organic Mass, *Aerosol Science and Technology* 35 (July 1): 602-610.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (2006), *Air Quality Guidelines: Global Update 2005: Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide, and Sulfur Dioxide*. Copenhagen, Denmark: World Health Organization.



Sesión 8:

Herramientas de apoyo

Análisis espacial de morbilidad por enfermedades cardiorrespiratorias como apoyo a la priorización de zonas de intervención para el mejoramiento de calidad del aire. Caso de estudio, Itagüí

Campañas de medición: herramientas esenciales para entender los fenómenos que determinan la calidad del aire y el flujo de gases de efecto invernadero

Comparación de políticas de control de contaminación para fuentes fijas en Bogotá (Colombia)



Página anterior

Página siguiente



Menú



Análisis espacial de morbilidad por enfermedades cardiorrespiratorias como apoyo a la priorización de zonas de intervención para el mejoramiento de calidad del aire

Caso de estudio, Itagüí

7-Builes-Colombia-2

Alejandro BUILES,* Claudia RAVE,† Cristina FRANCO‡ y Juan Esteban RESTREPO§

Palabras clave: morbilidad, enfermedades cardiorrespiratorias, planificación ambiental, externalidades.

Introducción y objetivos

Se presenta un trabajo piloto creado para el municipio de Itagüí (Valle de Aburrá, Antioquia) en el cual se desarrolló e implementó una propuesta para integrar el análisis epidemiológico de morbilidad por enfermedades cardiorrespiratorias asociadas a la contaminación del aire en el análisis de estrategias de mejoramiento de la calidad del aire. Los indicadores de morbilidad son importantes en la toma de decisiones ya que reflejan de forma representativa, impactos sobre la calidad de vida de la población y afectan de forma directa la inversión y la destinación de recursos para proyectos de

* Egresado del programa de Maestría en Ingeniería, Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Investigador del Grupo de Análisis y Modelamiento Energía Ambiente Economía de la Facultad de Minas, Colombia, dirección: carrera 80 núm. 65-225, Medellín, Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Escuela de Ingeniería de Sistemas, (57-4) 301 242 2399, correo electrónico: labuiles@unal.edu.co.

† Estudiante del programa de Doctorado en Sistemas Energéticos, Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

‡ Estudiante del programa de Maestría en Medio Ambiente y Desarrollo, Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

§ Estudiante del programa de Ingeniería de Sistemas, Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

intervención en los municipios. La estimación de externalidades propuesta permitirá apoyar la revisión de dichas estrategias de inversión para soportar proyectos que redunden de forma significativa en la disminución de la morbilidad aun cuando no estén directamente relacionados con proyectos de salud sino con proyectos que contribuyan de forma significativa con la disminución de la contaminación y el mejoramiento de la calidad del aire, entre ellos, la integración del transporte, sustitución de combustibles limpios, planeación territorial, etcétera.

La propuesta se realiza a partir de información secundaria teniendo en cuenta que hoy están disponibles, con diferentes niveles de certeza, estudios epidemiológicos que relacionan los niveles de emisiones o inmisiones, con indicadores de morbilidad, mortalidad, etcétera (Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2007; UdeA y Área Metropolitana del Valle de Aburrá [AMVA], 2007)

Para la región del Valle de Aburrá también se cuenta con información sobre mapas de emisiones y estudios prospectivos asociados a la puesta en marcha de los sectores industria y comercio (Rave, C. C.; Alzate, J. M.; Smith, R. et ál., 2007), modelos de inmisiones (Universidad Pontificia Bolivariana [UPB], 2007), Información de estaciones de monitoreo (Redaire) y muchas otras fuentes de información, además de la metodología propuesta de análisis integral para el estudio de lineamientos de acción en la planeación de proyectos de intervención en el municipio de Itagüí (Unalmed y AMVA, 2008)

Se desarrolló, entonces, una propuesta de trabajo para el análisis de externalidades asociadas a los costos económicos en tratamiento de la morbilidad por enfermedades cardiorrespiratorias, según la consulta y superposición de bases de datos de salud en el municipio de Itagüí, y la información mencionada relativa al análisis integrado de información de emisiones, inmisiones y escenarios prospectivos de proyectos de intervención en el municipio. El análisis tiene carácter geográficamente desagregado, permitiendo definir vulnerabilidad de la población ante la contaminación.

Metodología

Como respuesta a la problemática de contaminación en el municipio de Itagüí y la región metropolitana del Valle de Aburrá (Rave, C. C. et ál., 2007), se ha desarrollado una propuesta metodológica que integra consideraciones asociadas a la salud pública como variable de análisis en la definición de zonas de intervención prioritaria para el mejoramiento del recurso aire; en este caso particular, la salud pública está representada por la morbilidad asociada a enfermedades cardiorrespiratorias (EC), dado que éstas presentan una fuerte relación con la contaminación atmosférica; la morbilidad en este caso particular hace referencia a los números de casos por EC identificadas según la clasificación internacional de enfermedades (CIE 10) [5] con los códigos J100-J998 (sinusitis, bronquitis, asma, entre otras) y los códigos I210-I214 y I219 en los registros individuales de prestación de servicio (RIPS) (OPS, 2008) expresados en consultas, procedimientos, urgencias y hospitalizaciones por estas causas.

Para hacer de las EC una variable de apoyo a la definición de zonas de intervención prioritaria, se recurrió a la integración de diferentes bases de datos. Se tomó entonces como información complementaria la base de datos del Sistema de Identificación de Beneficiarios de Programas Sociales (Sisben) (Sisben, 2005). Se logró entonces establecer el barrio de residencia para los casos registrados. Cabe anotar que el análisis espacial se logra sólo para los datos de beneficiarios del Sisben, y representa una muestra del 24% de la información total de los RIPS en cuanto a EC, para el año base (2005) en el municipio de Itagüí.

Las consultas integradas entre las fuentes de información de RIPS y Sisben permitieron conocer la ubicación geográfica de las consultas, procedimientos, urgencias y hospitalizaciones por EC en el municipio. La ubicación geográfica de las EC superpuesta con la información de contaminación atmosférica dio paso a la formulación de las zonas de intervención prioritaria para el mejoramiento de la calidad del aire en el municipio de Itagüí (fig. 1).



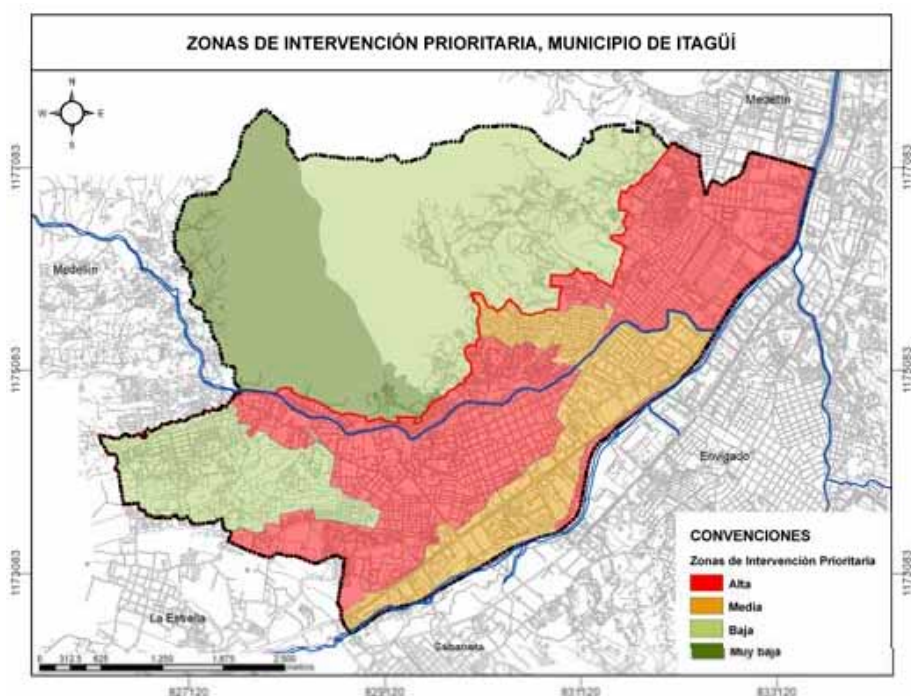


Fig. 1. Zonas de intervención prioritaria en el municipio de Itagüí

La información de línea base para las EC es empleada en el análisis de escenarios metas evaluados en conjunto con una metodología de "Energía Ambiente, Economía" (Alzate, J. M.; Rave, C. C.; Smith, R. et ál., 2007), y se hace una estimación de reducciones futuras en consultas por EC en el municipio de Itagüí, derivadas del cumplimiento de planes de descontaminación en la región.

Resultados y conclusiones

La evaluación de los escenarios metas se realizó respecto a barrios como unidad de discretización espacial y a partir de la generación de mapas temáticos de indicadores de densidad poblacional, porcentaje de población en grupos etáreos susceptibles y tasas de morbilidad por mil habitantes

(figs. 4, 5 y 6). Los indicadores exhiben, para el municipio de Itagüí, barrios con densidades poblacionales que varían desde 0 hab/ha hasta 550 hab/ha, tasas de morbilidad por mil habitantes desde 63,9 hasta 680, población susceptible desde 13 hab/barrio hasta 3150 hab/barrio.

Para la disminución planteada del 13% en las emisiones de TSP se puede establecer mediante el análisis de metas que se posible una disminución de hasta 11 ug/m³ en las concentraciones de PM₁₀, disminución que hace posible una reducción de aproximadamente 3800 casos de enfermedades cardiorrespiratorias en un año, lo que corresponde a 10%.

En particular, los resultados de morbilidad se analizan bajo la metodología de escenarios metas. Para un escenario calculado bajo la metodología EAE correspondiente a la imposición de metas de emisiones para la industria de hasta un 13% en 2020, se obtienen resultados de disminuciones de hasta 11.000 Ton de PM₁₀. Siguiendo la metodología propuesta, a partir de las reducciones presentadas por el escenario EAE analizado, se configuran los análisis de los escenarios Meta.

Bibliografía

- ALZATE, J. M.; RAVE, C. C.; SMITH, R., et ál. (2007), *Evaluación de Alternativas para la Planificación Energética Sostenible del Sector transporte de la Región Metropolitana del Valle de Aburrá*. Noviembre de 2007, primera edición. Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- FNSP y AMVA. (2007), *Contaminación atmosférica y efectos sobre la salud de la población en Medellín y su Área metropolitana*.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). (2007), *Porcentajes de reducción de enfermedades cardiorrespiratorias por disminución en las concentraciones de PM10*. En: Las directrices sobre la calidad del aire en la protección de la salud pública: Actualización mundial, disponible en: www.who.in/mediacentre/factsheets/fs313/es/print.html, fecha de recuperación: noviembre del 2007.

- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS). (2008), *Clasificación internacional de las enfermedades (CIE 10)*, disponible en: <http://www.col.ops-oms.org/situacion/cie.asp>, fecha de recuperación: 20 de abril 2008.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS). (2007), *Salud ambiental y entornos saludables*, disponible en: <http://www.col.ops-oms.org>, fecha de recuperación: 20 de abril 2008.
- RAVE, C. C. et ál. (2007), *Subsistema Abiótico - Recurso Aire. En Unalmed, 2007. Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca del río Aburrá, Aspectos Principales*, pp. 75-100. Medellín, Colombia. Primera edición. Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- RAVE, C. C., ALZATE, J. M.; SMITH, R. et ál. (2007), *Evaluación integrada Ambiente Energía Economía para la planificación sostenible de núcleos locales, caso de aplicación Área Metropolitana del Valle de Aburrá*. Serie: Conocimientos Metropolitanos. núm. 3, septiembre de 2007. Primera edición. Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- SISBEN (2005), *Bases de datos del Sistema de Identificación y Clasificación de Potenciales Beneficiarios para los Programas Sociales*. Municipio de Itagüí.
- UNALMED y AMVA (2008), *Formulación de la línea base del recurso aire del municipio de Itagüí y análisis y evaluación de propuestas de mejoramiento del recurso*. Informe definitivo, Medellín, Colombia.

Campañas de medición: herramientas esenciales para entender los fenómenos que determinan la calidad del aire y el flujo de gases de efecto invernadero

1-Jiménez-Colombia-1

Rodrigo JIMÉNEZ*

Palabras clave: contaminación atmosférica, gases de efecto invernadero, escalas espacio-temporales, concentración de fondo, estudios de caso.

Introducción y objetivos

El mejoramiento de la calidad del aire en una “cuenca de aire” requiere de la comprensión tanto de los fenómenos físicos y químicos que la determinan como de las limitaciones económicas, sociales y políticas asociadas a los problemas de contaminación atmosférica. El objetivo primario de un sistema de manejo de la calidad del aire (SMCA) es alcanzar, mantener y mejorar continuamente niveles de calidad del aire basados en relaciones dosis-respuesta que aseguren la salud y el bienestar humano. La protección de cultivos, ecosistemas, materiales y de la visibilidad son generalmente considerados objetivos secundarios. Los SMCA deben realizar cuatro tareas principales: 1) monitoreo de la calidad del aire; 2) estimación, actualización y validación de inventarios de emisión; 3) gerencia de la calidad del aire (mediante estrategias de reducción o reubicación espacio-temporal de emisiones); 4) divulgación de información.

* Ph. D. en Ciencias Atmosféricas de la École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL). Investigador posdoctoral y asociado en el Departamento de Geociencias y Ciencias Planetarias (EPS) de Harvard University. Consultor y profesor universitario, dirección: ER-Ambiental, calle 123 núm. 9C-20, Bogotá, D. C. 110111, Colombia, teléfono. +57-318-795-7128, correo electrónico: rjimenezpizarro@gmail.com



Página anterior

Página siguiente



Menú



Si bien el objetivo primario de una red de monitoreo de la calidad del aire (RMCA) es proveer información acerca de la exposición humana a la contaminación atmosférica, el cumplimiento de este objetivo no provee per se la información necesaria para entender los fenómenos físicos y químicos que determinan la calidad del aire. Por ejemplo, la mayoría de las RMCA no están equipadas con estaciones de periferia ni con sistemas de medición vertical. Sin la medición de la concentración de fondo en estación de periferia es imposible determinar el impacto regional en la calidad del aire de una aglomeración urbana o industrial. Estas mediciones son necesarias también para estimar procesos de producción (primaria y secundaria) y remoción de contaminantes en el “volumen de control” (cuenca de aire). Las mediciones verticales permiten determinar la importancia de procesos de almacenamiento, recirculación y transporte de contaminantes desde y hacia la capa residual y la tropósfera libre.

Con el fin último de mejorar la calidad del aire, las mediciones con objetivos regulatorios de las RMCA deben ser, por tanto, complementadas con mediciones de interés científico destinadas a entender los fenómenos que determinan la calidad del aire. Las campañas de medición son el medio más eficaz y eficiente (de menor en costo) para conseguir este objetivo. Las campañas de medición pueden ser exploratorias o motivadas por una o varias preguntas científicas. El diseño espacio-temporal de la campaña debe responder a este objetivo, a la necesidad de obtener la mayor cantidad de información en el menor tiempo posible, y a limitaciones presupuestales y logísticas (Jiménez, 2004).

Esta presentación busca realzar la importancia de las campañas de medición como herramientas analíticas complementarias a las redes de monitoreo. Se introduce también el uso de mediciones aeroportadas para la estimación del flujo y transporte de gases de efecto invernadero (GEI) a escalas regional y planetaria.

Metodología

Esta presentación explora el concepto de campaña de medición, sus objetivos, clasificación, recursos necesarios y resultados, ejemplificados mediante estudios de caso realizados durante los últimos doce años. El punto de partida de este análisis es la relación entre el tiempo de residencia atmosférica de un contaminante y sus productos de transformación y las escalas espacio-temporales de los fenómenos atmosféricos. Los estudios de caso presentados cubren casi todas las escalas espacio-temporales atmosféricas, desde la microescala (0,1-1 km), con el estudio de emisiones de hidrocarburos monocíclicos aromáticos (HAM) desde una planta de tratamiento de aguas residuales, hasta escalas sinópticas (500-5.000 km) y planetarias, con la medición aeroportada de polo a polo de GEI.

Resultados

Se presentarán resultados de cuatro campañas de medición:

Step (Lausana, Suiza, septiembre de 1999): esta campaña exploratoria a microescala tuvo por objetivo la investigación de la emisión de HAM (principalmente BTEX) desde una planta de tratamiento de aguas residuales. Se encontraron niveles inesperadamente altos de HAM, probablemente asociados a emisiones fugitivas desde el sistema de incineración de lodos, así como un potencial de emisión por volatilización de HAM en aguas residuales igualmente elevado ($\leq 0,5$ ton/día) (Jiménez, 2004).

Cavaso (valle de Sogamoso, Colombia, enero-febrero de 2002): esta campaña a escala regional o mesoescala (20-500 km) fue diseñada para obtener información complementaria a la provista por la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire del valle de Sogamoso (RMCAS), desarrollada en el marco del mismo proyecto. Durante el período de observación intensiva (POI), se midieron niveles elevados de contaminación primaria (CO, SO₂) en el área urbana de



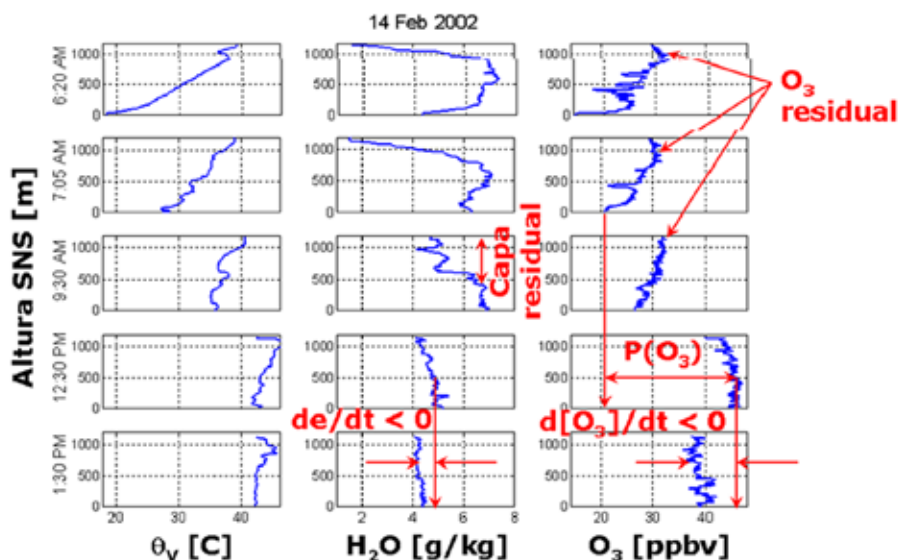


FIG. 1. Evolución temporal de la estructura vertical de la atmósfera (temperatura potencial virtual, humedad específica y ozono) sobre el aeropuerto de Sogamoso (febrero 14, 2002)

Sogamoso en horas de la noche asociados a emisiones de chircales (hornos artesanales para la fabricación de ladrillo) relocalizados en el piedemonte de Sogamoso. Estas mediciones permitieron también hacer un estimativo de factores de emisión. Perfiles verticales obtenidos con un balón cautivo y otras mediciones sugieren que el valle de Sogamoso es cuasi diariamente ventilado por masas de aire comparativamente secas y limpias probablemente provenientes de los Llanos Orientales (fig. 1) (Jiménez, 2004).

TC4 (Centroamérica, Colombia y Ecuador, julio-agosto de 2007): esta campaña aeroportada a escala sinóptica (500-5000 km) de la NASA tuvo su foco de atención en los procesos que determinan la composición y el transporte vertical en la tropopausa tropical (TTL) (Park et ál., 2007). En adición, el DC-8 de la NASA realizó tres vuelos exploratorios sobre Colombia y encontró concentraciones sorprendentemente elevadas de CH_4 particularmente en cercanías del Tapón del Darién (fig. 2).

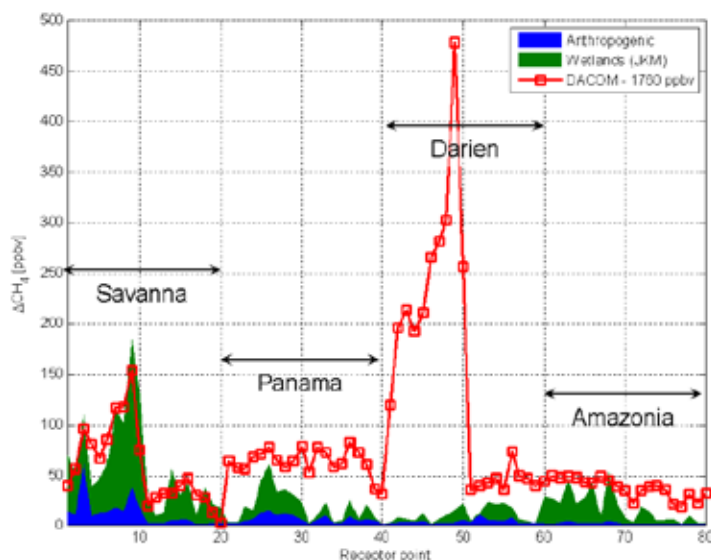


FIG. 2. Aumento de la concentración de metano (ΔC) sobre el nivel de fondo en puntos selectos de observación en tres regiones de Colombia y una de Panamá

Hippo (80° N a 60° S sobre el océano Pacífico, enero de 2009): esta campaña aeroportada a escala planetaria (500-5000 km) del NCAR/NSF tiene por objetivo obtener información sobre la distribución global de GEI. Las mediciones realizadas durante la primera de cinco campañas revelaron una troposfera latitudinalmente “compartimentalizada” con gradientes en la dirección vertical comparativamente menores. Las mediciones también muestran transporte de masas de aire enriquecidas en CH_4 desde Colombia y otras regiones Sudamérica hacia el Pacífico (Jiménez et ál., 2009).

Conclusiones

Una campaña de medición bien diseñada y ejecutada es el medio más eficaz y eficiente para obtener información sobre la calidad del aire, ya sea sobre parámetros o en regiones inexploradas (p. ej. el CH_4 en Colombia en el caso de la campaña tc4), o en regiones en las que se cuenta con sistemas de monitoreo pero que requieren mediciones complementarias, ya sea

para determinar concentraciones de fondo, validar inventarios de emisión, determinar el impacto de nuevas fuentes, o con el fin de cuantificar procesos de transporte vertical y recirculación. En relación a este último caso, es posible obtener información sobre la estructura vertical de la atmósfera a bajo costo a partir de mediciones con balones cautivos. Bajo condiciones apropiadas de diseño experimental, es también posible estimar flujos o factores de emisión en condiciones reales a partir de perfiles verticales o de mediciones en las cuales el volumen de control y las fuentes y sumideros están bien definidos (los túneles y la capa de superficie en la noche son dos ejemplos relevantes).

Bibliografía

- JIMÉNEZ, R.; DAUBE, B. C.; PARK, S. et ál. (2009), *Mapping the abundance of the main greenhouse gases from pole to pole with a QCL spectrometer system*. FLAIR 2009, Grainau (Alemania).
- JIMÉNEZ, R. (2004), *Development and application of UV-visible and mid-IR differential absorption spectroscopy techniques for pollutant trace gas monitoring*. D.Sc. Thesis 2944, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne (Suiza).
- C. et ál. (2007), The CO₂ tracer clock for the tropical tropopause layer. *Atmos. Chem. Phys.* 7: 3989-4000.



Comparación de políticas de control de contaminación para fuentes fijas en Bogotá (Colombia)

7-Fajardo-Chile-1

Germán FAJARDO* y Carlos CHÁVEZ†

Palabras clave: abatimiento, fiscalización, costos de cumplimiento, instrumentos económicos, meta ambiental.

Introducción y objetivos

Tradicionalmente, en los países en desarrollo el enfoque de política que ha prevalecido para el control de la contaminación generada por fuentes fijas, ha sido el de regulación directa o también denominado *Comando y Control-CyC*; enfoque en el cual las autoridades establecen los estándares a cumplir y fiscalizan su cumplimiento. Sin embargo, instrumentos de política alternativos basados en incentivos económicos, también denominados instrumentos económicos, han ganado aceptación en los últimos años, debido a su costo efectividad y al desarrollo de innovación tecnológica en abatimiento.

Las experiencias sobre la implementación de instrumentos económicos para problemas de calidad del aire han sido diversas, sin embargo, en el contexto latinoamericano, la experiencia es escasa; el principal referente es

* Ingeniero ambiental y sanitario, estudiante de Magíster en Economía de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Universidad de Concepción, Chile, dirección: Victoria 471, Barrio Universitario, Concepción, Chile. Programa Magister en Economía de Recursos Naturales y Medio Ambiente (Mernyma), Universidad de Concepción, teléfonos: +56-41-2204200; 56-41-2254591, correo electrónico: gedafaba@hotmail.com, gfajardo@udec.cl.

† Ph. D. en Economía. Profesor asociado Departamento de Economía. Universidad de Concepción, Chile.



el Programa de Compensación de Emisiones (PCE) de Santiago de Chile, el cual funciona desde 1994. Por su parte, en Bogotá (Colombia), el enfoque de política para el control de la contaminación atmosférica ha sido el de regulación directa. No obstante, hoy en día, la ciudad presenta serios problemas de contaminación, principalmente por material particulado (Gaitán et ál., 2007), el cual tiene como principal origen la combustión de combustibles fósiles por parte de las industrias y el parque automotor, con una participación de un 60 y 40% respectivamente (DAMA-Uniandes, 2004).

Sobre la base de este panorama, esta investigación busca analizar, para el caso de Bogotá, cómo se comportan los costos agregados de cumplimiento y el aporte a la calidad del aire de políticas basadas en incentivos económicos frente al CyC, como alternativas para el control del material particulado proveniente de fuentes fijas. Las políticas de incentivo económico a evaluar y comparar frente al CyC son los Sistemas de Permisos de Emisión Transable (SPET) y los Sistemas de Permisos Ambientales Transables (SPAT), y el criterio de comparación o meta ambiental será la reducción que logra cada política en la calidad ambiental promedio en el área urbana.

Metodología

Para poder responder a lo anterior, basado en O’Ryan (1996) se construyó para cada política de control un modelo de simulación numérica de costos de abatimiento, adicionándole los costos de fiscalización. Para esto, inicialmente se adaptaron al caso de Bogotá, funciones de costo de abatimiento para las fuentes de acuerdo con el tipo de tecnología, empleando para ello la metodología de Vatavuk (1990), complementada por la EPA (1991 y 2002); posteriormente, estas ecuaciones se incorporaron al modelo de simulación. Los resultados que arroja el modelo para cada política son: selección de tecnología, costos agregados de abatimiento y costos agregados de fiscalización, emisión agregada final y aporte a la calidad ambiental en el área de estudio.

En cuanto a la información empleada, se contó con dos bases de datos provenientes de la autoridad ambiental distrital; la primera contenía los análisis isocinéticos empleados para la validación de los factores de emisión del inventario realizado en 2001; y la segunda base contenía la información referente al seguimiento realizado a las fuentes fijas de emisión durante el período 2006 hasta mediados del 2008. Así, según la primera base de datos, se elaboró un modelo econométrico que permitió complementar la información faltante necesaria de la segunda base, ya que con esta última se trabajó finalmente, debido a que poseía un mayor y más actual catastro de fuentes. Por último, se logró construir un conjunto de 153 fuentes de emisión con la información requerida y así poder realizar las respectivas simulaciones.

Resultados y conclusiones

Para los costos agregados de cumplimiento, se encontró que de las tres políticas analizadas, los instrumentos económicos arrojaron mejor resultado, siendo el SPET el instrumento más costo efectivo para todo nivel de reducción de meta ambiental, incluso mejor que el SPAT, mientras que el CyC fue el instrumento más costoso, teniendo un aumento vertiginoso en costos para un nivel de reducción superior al 50% en la calidad ambiental promedio. La forma de las curvas de costos, se debe a que al aumentar la reducción en la meta ambiental, se debe adquirir tecnología con mayor poder de reducción, que a su vez es más costosa; este aumento en los costos de abatimiento se traduce en un aumento en la probabilidad de monitoreo con la cual deben ser fiscalizadas las fuentes en cada instrumento, aumentando adicionalmente los costos de fiscalización.

Para la política CyC, el aumento de sus costos se debe a que se exige el cumplimiento de dos estándares para las fuentes, lo cual ante mayores niveles de reducción, obliga a seleccionar tecnologías con mayor capacidad

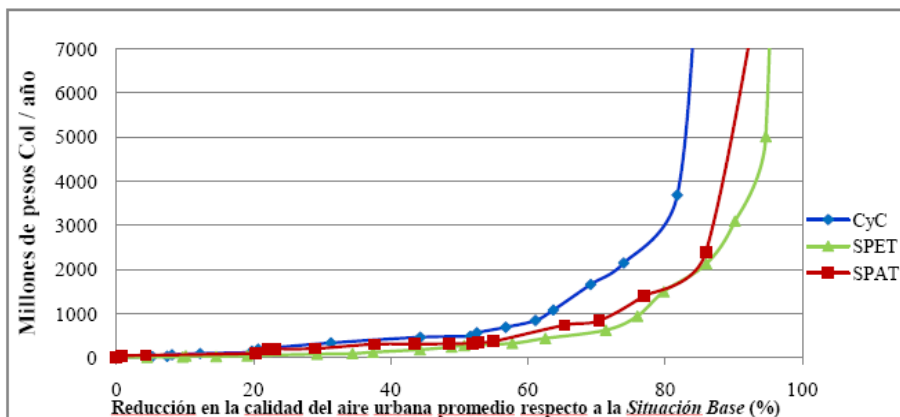


FIG. 1. Costos agregados de cumplimiento a distintos niveles de reducción de meta ambiental, Bogotá

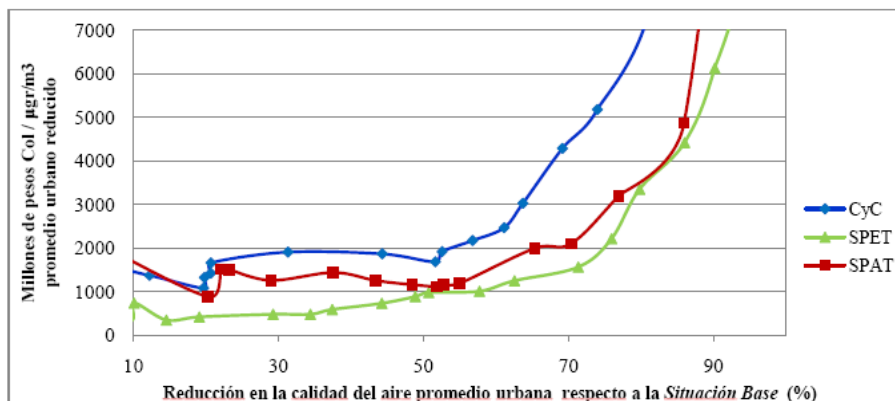


FIG. 2. Indicador costo agregado de cumplimiento por $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ promedio urbano reducido, Bogotá

de abatimiento, que les permita a las fuentes cumplir con ambos estándares. La figura 1 muestra de forma gráfica los resultados obtenidos para la muestra de 153 fuentes con la cual se trabajó.

Para tener información más general para el caso de Bogotá se decidió construir un indicador de costo calidad ambiental. Así, la figura 2 muestra la relación de costos para reducir un $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ en la calidad ambiental promedio urbana para distintos niveles de reducción. Como se observa en la figura, el SPET es el instrumento que permite lograr más bajos niveles de costo por

$\mu\text{gr}/\text{m}^3$ reducido para cualquier nivel de reducción, ya que si se desea mejorar la calidad ambiental promedio en un 50%, la relación de costos de las distintas políticas sería de 1000, 1150 y 1860 millones de pesos por $\mu\text{gr}/\text{m}^3$ reducido para el SPET, el SPAT y el CyC respectivamente, pero una vez se supera el umbral del 50% de reducción, los costos para el CyC se disparan abruptamente.

Por otra parte, los modelos construidos permitieron analizar el comportamiento en los costos agregados de cumplimiento cuando se presentan cambios (aumentos o disminuciones) en algunos elementos estructurales del modelo. Así, se concluyó que ante aumentos/disminuciones en las sanciones por incumplimiento, disminuyen/aumentan los costos agregados de cumplimiento; por otra parte, aumentos/disminuciones en los costos de las tecnologías de control, en el número de fuentes y en las condiciones de dispersión, generan aumentos/disminuciones en los costos agregados de cumplimiento. Los cambios que se presentan en los costos, dependen fundamentalmente del valor del cambio en el elemento estructural del modelo y del nivel de reducción que se esté en la variable ambiental dependiendo de la que se esté comparando.

Finalmente, la elección del instrumento ideal depende fundamentalmente del criterio que aborde el regulador para trabajar el tema de calidad del aire, ya que los resultados que se obtuvieron pueden cambiar si se compara con otras variables ambientales de referencia, como pueden ser emisión agregada o máxima calidad ambiental. Sin embargo, creemos que la meta ambiental con la que se comparó es la variable ambiental más relevante, por lo cual los resultados obtenidos son fundamentales para seguir trabajando en los análisis comparativos de política ambiental, con el fin de ajustar las normas antes que se vayan a implementar para el control de fuentes fijas en la ciudad.

Bibliografía

- DAMA/UNIANDES (2004, agosto), Diseño e implementación de un modelo de calidad de aire para Bogotá-Informe Semestral VII, cap. 2.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). (1991, junio), *Control Technologies for Hazardous Air Pollutants*.
- (2002), *Manual de costos de control de contaminación del aire de la EPA*, sexta edición.
- GAITÁN, M.; CANCINO, J. y BEHRENTZ, E. (2007), Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá. *Revista de Ingeniería* núm. 26. Universidad de los Andes, pp. 81-92.
- O'RYAN, R. (1996), Cost-Effective policies to improve urban air quality in Santiago-Chile. *Journal of Environmental Economics and Management* 31. Article N°. 0046, pp. 302-313.
- VATAVUK, W. (1990), *Estimating Costs of Air Pollution Control*, Lewis Publishers, Chelsea, MI-USA.

Sesión 9: **Métodos de medición y análisis**

Estimación de la concentración de metales pesados en el aire exterior por medio de musgos

Línea base de covs para la red de monitoreo de calidad del aire en el Valle de Aburrá usando tubos difusivos

Métodos ópticos para el estudio de la fracción de carbono elemental en aerosoles ambientales y en la fuente

Caracterización de las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles en Bogotá e identificación de sus fuentes



Página anterior



Página siguiente

Menú



Estimación de la concentración de metales pesados en el aire exterior por medio de musgos

1-Rivera-España-1

Marcela RIVERA,* Harald ZECHMEISTER,† Mercedes MEDINA-RAMÓN,‡

Xavier BASAGAÑA,§ Alexandre DELTELL** y Nino KUENZLI††

Palabras clave: biomonitordeo, contaminación atmosférica relacionada con el tráfico, distribuciones espaciales, modelos GIS, exposición en espacios exteriores.

Introducción y objetivos

El monitoreo a largo plazo de la contaminación relacionada con el tráfico local es un desafío para la investigación desarrollada en salud. En el estudio probamos el uso de musgos (*Hylocomium splendens*) como monitores activos. Los musgos permiten medir un amplio rango de contaminantes y su capacidad de captación y la concentración de contaminantes asociada son independientes de las condiciones climáticas y fisiológicas, y la acumulación de contaminantes se lleva a cabo siempre y cuando se expongan los musgos, lo cual puede durar meses o años. Por lo tanto, los musgos pueden ser monitores atractivos para la evaluación de exposición a largo plazo.

* Chem. Eng. MSc. Centre for Research in Environmental Epidemiology (Creal). Municipal Institute of Medical Research (IMIM-Hospital del Mar).

† Ph. D. University of Vienna, Faculty of Life Sciences.

‡ Ph. D. Centre for Research in Environmental Epidemiology (Creal). Municipal Institute of Medical Research (IMIM-Hospital del Mar).

§ Ph. D. Centre for Research in Environmental Epidemiology (Creal). Municipal Institute of Medical Research (IMIM-Hospital del Mar).

** Ind. Eng. MSc. University of Girona. Polytechnic School

†† MD. Ph. D. Centre for Research in Environmental Epidemiology (Creal). Municipal Institute of Medical Research (IMIM-Hospital del Mar). Centre for Research in Environmental Epidemiology (Creal), Barcelona Biomedical Research Park. Dr. Aiguader, 88. 08003 Barcelona, España, teléfono: +34 93 316040, fax: + 34 93 3160575, correo electrónico: arivera@creal.cat.



Página anterior

Página siguiente



Menú



Se realizó una medición de metales pesados en ambientes de aire exterior para caracterizar su distribución espacial en Girona (España) y determinar las principales variables que pueden predecir su comportamiento. La relación de la concentración de metales pesados con la intensidad del tráfico, el flujo de tráfico pesado, las líneas y paradas de bus, la distancia al tráfico y el tipo y grado de urbanización fueron investigados.

Métodos

Hojas de musgo ubicadas en un sistema compuesto por un marco de madera desarrollado por (Zechmeister, et ál., 2006) fueron expuestas en veintitrés lugares durante dos meses. La técnica de monitoreo estuvo basado en un método aprobado internacionalmente usando musgos como bioindicadores de acumulación (Onianwa, 2001; Zechmeister, H. G., 2003). Después del monitoreo, la concentración de metales fue detectada mediante espectrometría de masas con sector magnético con plasma acoplado inductivamente. En paralelo, se monitoreó NO_2 con tubos de difusión Palmes.

Información sobre los potenciales marcadores de tráfico relacionados a la concentración de metales pesados fue recolectada de mapas con alta resolución y datos de tráfico. Tuvimos treinta variables describiendo la intensidad del tráfico, la distancia del muestreador al tráfico, el grado de urbanización y la caracterización de los alrededores del lugar. Se empleó una regresión lineal por pasos para derivar el modelo con el mayor coeficiente de determinación ajustado (R^2).

Resultados

Los modelos de regresión utilizando variables de tráfico explican entre el 61 y el 85% de la variabilidad de plomo, cinc, molibdeno, cromo, antimonio, estaño y cobre. La concentración de metales pesados en ambiente exteriores presentó una fuerte asociación con el número de líneas de bus pasando

en frente de la casa. Esta variable sola explica entre el 73 y el 85% de la variabilidad de Mo, Cr, Sb, Sn y Cu.

En comparación, las variables estudiadas pudieron explicar sólo el 53% de la variabilidad del dióxido de nitrógeno. La caracterización de los alrededores capturó la mayoría de la variabilidad del NO₂. No se encontró una alta correlación entre NO₂ con ninguno de los metales (la correlación más alta fue 0,57 con Sb). Los metales fueron asociados de manera más severa con el flujo de buses y el tráfico general que con el NO₂.

Conclusiones

Los metales pesados muestran una alta especificidad por las fuentes. El Sb se origina principalmente de la abrasión de los frenos, el Sn del cuerpo de carro y Zn de las llantas y lubricantes. Su conocida toxicidad y su fuerte asociación con el tráfico, hacen de estos metales un indicador de tráfico más específico que el NO₂. La fuerte asociación con las líneas de bus en la ciudad de Girona, dominada por cañones urbanos, puede indicar un papel esencial de los motores diésel.

Los musgos pueden ser implementados para medir la distribución de metales en las viviendas dentro de las ciudades. Se usaron musgos para monitorear períodos más largos de tiempo que en los que se monitoreó NO_x. Los musgos son una herramienta de muestreo útil alterna o complementaria para los muestreadores de NO_x usados como marcador de la contaminación atmosférica relacionada con el tráfico, particularmente en estudios de exposición a largo plazo, pues el despliegue puede durar por varios meses sin necesidad de mantenimiento.

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por L'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail AFSSEt, y el Spanish Grant FIS PI060258.



Bibliografía

- ONIANWA, P. C. (2001), Monitoring atmospheric metal pollution: A review of the use of mosses as indicators, *Environmental Monitoring and Assessment* 71(1): 13-50.
- ZECHMEISTER H. G., G. K., SZAREK-LUKASZEWSKA G., (2003). Bryophytes_Bioindicators / Biomonitors (principles, assessment, concepts). B. A. M. MARKERT B.A., ZECHMEISTER H. G. (eds.). Ámsterdam, Elsevier: 329-375.
- ZECHMEISTER H. G.; DULLINGER, et ál. (2006). Pilot study on road traffic emissions (PAHs, heavy metals) measured by using mosses in a tunnel experiment in Vienna, Austria. *Environmental Science and Pollution Research* 13(6): 398-405.



Línea base de covs para la red de monitoreo de calidad del aire en el Valle de Aburrá usando tubos difusivos

Carmen E. ZAPATA,* Ricardo QUIJANO,† Claudia M. RUBIANO,‡
Eliana MOLINA[§] y Gustavo LONDOÑO**

Palabras clave: benceno, monitoreo de calidad del aire, concentraciones ambientales, muestreadores pasivos de BTXS, efectos en la salud, Valle de Aburrá, Colombia.

Resumen

El objetivo principal fue optimizar el proceso de monitoreo de calidad del aire en la región urbana del Valle usando tubos de difusión pasiva para cuantificar la concentración de compuestos orgánicos volátiles (BTXS) benceno, tolueno, xileno, en quince ciudades del Área Metropolitana durante un año. El estudio se realizó en el Valle de Aburrá, un valle angosto con problemas de inversión térmica, ubicado en la cordillera de los Andes en Colombia. El estudio fue realizado por la Universidad Nacional de Colombia (UNAL), sede Medellín, a través de un acuerdo con la autoridad ambiental del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA). Los tubos de difusión pasiva fueron usados para medir la concentración de estos gases en la atmósfera. Los tubos contenían una sustancia absorbente para cada tipo de gas y fue-

* Profesor asociado, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, dirección: Carrera 80 núm. 65-223, bloque M3, Redaire, correo electrónico: cezapata@unal.edu.co.

† Profesor titular, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, dirección: Carrera 80 núm. 65-223, bloque M3, Redaire, correo electrónico: rquijano@unal.edu.co.

‡ M. Sc. Environmental Management and Development student, The National University of Colombia.

[§] Sanitary Engineer, The National University of Colombia.

** Chemical Engineer, Metropolitan Area of the Aburrá Valley.



ron expuestos a la atmósfera por períodos de dos a cuatro semanas. La cantidad de contaminantes absorbido era proporcional a su concentración en la atmósfera. En nueve de quince estaciones, el estándar colombiano de calidad del aire para benceno fue excedido. Todas las estaciones excedieron la norma de la Organización Mundial de la Salud (OMS). La conclusión principal es que la población del Valle de Aburrá está expuesta de forma crónica a niveles de benceno por encima de $5\mu\text{g}/\text{m}^3$. La OMS no recomienda un valor seguro para exposición a benceno y lo considera como una sustancia carcinogénica; además, en los quince lugares monitoreados, en lo que se refiere a benceno, no hay conformidad con la norma de la OMS para la protección de la salud pública. El uso de monitores pasivos también ayudó a identificar zonas críticas de contaminación y a evaluar un método simple para monitorear contaminantes del aire. El resultado de esta investigación ha iniciado el proceso de autorización oficial del uso de la técnica de tubos difusivos para monitorear la calidad del aire en Colombia.

Introducción

El Valle de Aburrá, un valle agostado con problemas de inversión térmica, está ubicado en la cordillera de los Andes en Colombia. En el valle hay diez ciudades de las cuales nueve están bajo la jurisdicción de la autoridad ambiental AMVA. El valle se encuentra a una altitud entre los 1300 y los 1580 m sobre el nivel del mar. Las montañas que lo rodean alcanzan los 2100 m sobre el nivel del mar, creando patrones de vientos complejos y baja dispersión de la contaminación. El valle tiene 30 km de largo y un ancho variable. Su ubicación geográfica se muestra en la figura 1.

El benceno es un contaminante atmosférico, y la actividad humana produce su emisión a la atmósfera. El tráfico automotor es la fuente principal de benceno en zonas urbanas, como el AMVA. El benceno es un solvente orgánico que interactúa con los ácidos nucleicos de las células de



FIG. 1. Geografía del Valle de Aburrá

los seres vivos produciendo alteraciones genéticas inmediatas y a largo plazo (es mutagénico y carcinogénico). Estos efectos han sido mostrados como aberraciones cromosómicas estructurales progresivas en trabajadores expuestos a benceno y tolueno (1, 2). El biomonitoreo de las poblaciones expuestas a sustancias de toxicidad genética, como los solventes orgánicos, tiene como propósito la detección temprana de alteraciones genéticas que puedan alertar sobre el riesgo de exposición. Entre los biomarcadores más utilizados se encuentra la prueba de micronúcleos (MN) la cual permite detectar sustancias mutagénicas o carcinogénicas (3, 4, 5). El proceso de electroforesis en gel de cada celda (SCGE) en condiciones alcalinas (2) es también utilizado como un método sensible para medir la partición de cadenas simples de ADN y los lugares débiles al alcalí (6, 7).

BTXS (benceno, tolueno y xileno) son compuestos aromáticos usualmente adicionados a la gasolina para incrementar su octanaje. Todos estos compuestos son liberados durante la combustión de la gasolina y tienen efectos anestésicos y tóxicos en seres vivos.

El valor límite umbral para el benceno en aire es 0,5 ppm (8, 9, 10, 11), para tolueno es 50 ppm y para xileno es 100 ppm.

El benceno es reconocido como carcinogénico en seres humanos (12). Cuando el benceno es inhalado, es absorbido por muchos tejidos del cuerpo, incluyendo el cerebro y las células de la médula ósea, con efectos posteriores de toxicidad genética. Se ha aceptado que el benceno es responsable de desórdenes relacionados con la sangre, incluyendo la provocación de leucemia (13). A partir de un modelo de extrapolación lineal sin umbral, la OMS (13) propuso un exceso unitario en el riesgo de contraer leucemia de $6 \times 10^{-6} \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esto significa que más de seis casos de leucemia podrían ocurrir en una población de un millón de habitantes que se expone continuamente a una concentración de benceno de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La concentración ambiental promedio de benceno varía de 5 a $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3, 14).

El tolueno es utilizado algunas veces como solvente en aplicaciones industriales. Es una sustancia volátil que genera efectos en el sistema nervioso humano y es también una causa de olores fétidos. La concentración atmosférica promedio de tolueno varía entre 5 y $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3,15).

El xileno, en particular el m-xileno, es una sustancia activa en la formación de ozono. Sus efectos se dan en el sistema nervioso central. La concentración ambiental promedio de xileno está entre 1 y $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (3,16).

El objetivo de este trabajo fue investigar las concentraciones atmosféricas de benceno y la población expuesta en la zona urbana del Valle de Aburrá.

Metodología

Ciudades y lugares

Este estudio se realizó en nueve ciudades ubicadas en el AMVA. Estas son: Barbosa, Girardota, Copacabana, Bello, Medellín, Itagüí, Sabaneta, La Estrella y Caldas. Estas ciudades fueron escogidas porque su autoridad ambiental es el AMVA. El Valle de Aburrá es un área muy poblada, con casi 3.500.000 habitantes y con la economía más fuerte de Colombia.

Los sitios de muestreo fueron ubicados cerca de vías principales para monitorear la influencia del tráfico vehicular. El aire monitoreado puede considerarse representativo de áreas en las que viven, trabajan y se mueven la mayoría de los habitantes del valle. La evaluación de contaminantes se realizó en quince sitios.

La medición se realizó durante un año. Esto permitió determinar los niveles atmosféricos de BTXS durante las estaciones lluviosa y seca del año. Los resultados posteriormente comparados con los límites anuales establecidos por los estándares de calidad del aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en la resolución 0601 de abril 4 del 2006. Además, se calculó la correlación implementando métodos que son utilizados actualmente en la red de monitoreo de calidad del aire en el Valle de Aburrá y con las guías de la OMS. La frecuencia de muestreo fue de veintiocho días y se registraron concentraciones de benceno, tolueno y xileno.

Muestreadores difusivos

Las muestras de BTXS fueron tomadas usando muestreadores difusivos amarrados a estructuras en los sitios de monitoreo (para medir aire ambiente). Los equipos usados son de tipo "Passam", desarrollados por el Dr. Markus Hangartner del Instituto Federal de Tecnología, en Zúrich (Suiza) (17, 18). Este tipo de muestreador fue escogido porque en la actualidad es ampliamente usado en redes de monitoreo de calidad del aire en Europa para mediciones rutinarias (fig. 2). Después de la exposición, las muestras fueron enviadas al laboratorio Passam para ser analizadas en cámaras aisladas.

El criterio de selección, las medidas de concentración y los análisis fueron hechos de acuerdo con las directivas europeas EN13528 -1, EN 13528 -2 y EN13528 -3 (19).

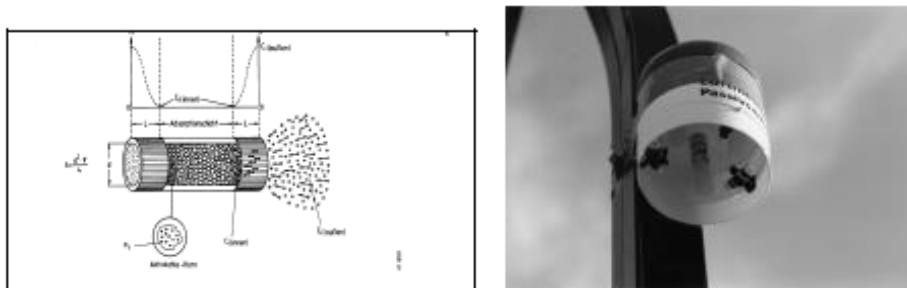


FIG. 2. Muestreador difusivo BTXS Passam

Cálculos

Las concentraciones de benceno fueron calculadas en función de la masa de benceno determinada usando cromatografía, el tiempo de exposición y la tasa de ingreso de la muestra.

Resultados y discusión

El promedio anual de concentraciones de benceno (línea base) en la región metropolitana del Valle de Aburrá, para el período comprendido entre el 1º de agosto de 2006 y el 6 de agosto de 2007, se muestran en la figura 3a. Los promedios anuales de benceno en el centro principal del valle excedieron la norma colombiana de calidad del aire de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las estaciones de monitoreo que excedieron el máximo valor permisible para benceno fueron: autopista Norte, Museo, Facultad de Minas, SENA, avenida Guayabal, Mayorca, Itagüí, Navitrans y Sabaneta. La OMS no recomienda un estándar específico para exposición a este contaminante, pues lo considera una sustancia carcinogénica a cualquier concentración. Por consiguiente, en los quince lugares monitoreados, respecto al benceno, no existe conformidad con los estándares de la OMS para la protección de la salud pública.



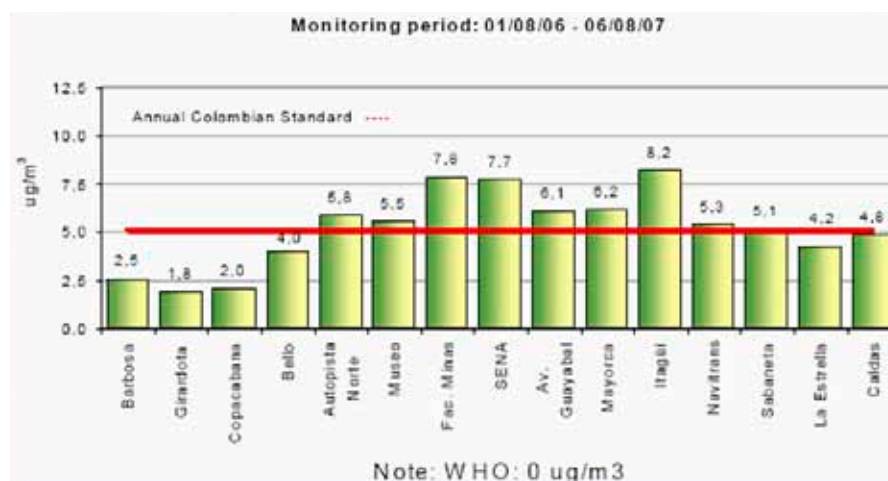


FIG. 3a. Concentración promedio anual de benceno

Las mayores concentraciones de benceno registradas en el presente estudio fueron encontradas en las estaciones SENA, Facultad de Minas, e Itagüí. En estas estaciones las concentraciones fueron 54% ($7,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 56% ($7,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y 64% ($8,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) más grandes que el valor anual permisible. Estos niveles están directamente asociados con las emisiones de vehículos que funcionan con gasolina, tales como taxis, automóviles privados, camiones pequeños y buses. Estudios realizados en los Estados Unidos y en el Reino Unido (20) atribuyen un 82 y un 97% de las emisiones de benceno, respectivamente, a emisiones vehiculares. Es importante enfatizar que el nivel anual promedio de benceno alcanzado en la estación de monitoreo Caldas fue $4,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la cual es cercana al estándar colombiano para esta sustancia.

Los hallazgos de este estudio son preocupantes si se considera el impacto toxicológico que tiene el benceno en los seres humanos, junto con sus efectos mutagénicos y carcinogénicos. Este estudio encontró que la población que vive o viaja por los lugares evaluados se encuentra en riesgo, teniendo en cuenta que el benceno puede ser carcinogénico aun a bajas concentraciones durante largos períodos de exposición.

El monitoreo pasivo de BTXS en la región metropolitana del Valle de Aburrá identificó sectores con niveles críticos de contaminación, (fig. 4). En todos esos casos se mostraron valores cercanos a los límites establecidos por la norma. Los resultados deben ser validados con métodos estándar para monitorear estas sustancias. En la región central del Área Metropolitana, una zona entre la estación de monitoreo autopista Norte y la estación Navitrans, donde los niveles de BTXS excedieron los estándares colombianos, el monitoreo activo debe ser continuo.

Resultados estadísticos

El diagrama de caja de la distribución de los datos de benceno en los sitios de monitoreo en la AMVA se muestra en la figura 4. El los promedios anuales de concentración más altos fueron encontrados en Itagüí, SENA y la Facultad de Minas con valores de 10,9, 9,5 y 9,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Todos los sitios de monitoreo presentaron concentraciones de benceno por encima de la norma colombiana, con excepción de dos municipios en el sector norte del Área Metropolitana (Girardota y Copacabana).

Girardota tiene la concentración más baja de benceno durante el período de monitoreo. La concentración promedio estuvo entre 1,9 y 8,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La figura 3 muestra que la desviación estándar de las concentraciones de benceno estuvo entre 0,9 y 1,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A excepción de dos sitios, SENA e Itagüí. Estas dos estaciones de monitoreo se ubicaron en calles cercadas por construcciones durante un período corto del tiempo del estudio. Estas estaciones reportaron concentraciones atmosféricas de BTXS bajas.

Resumen

Nueve lugares de los quince monitoreados excedieron la norma colombiana de benceno (5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Bello, La Estrella y Caldas reportaron concentraciones

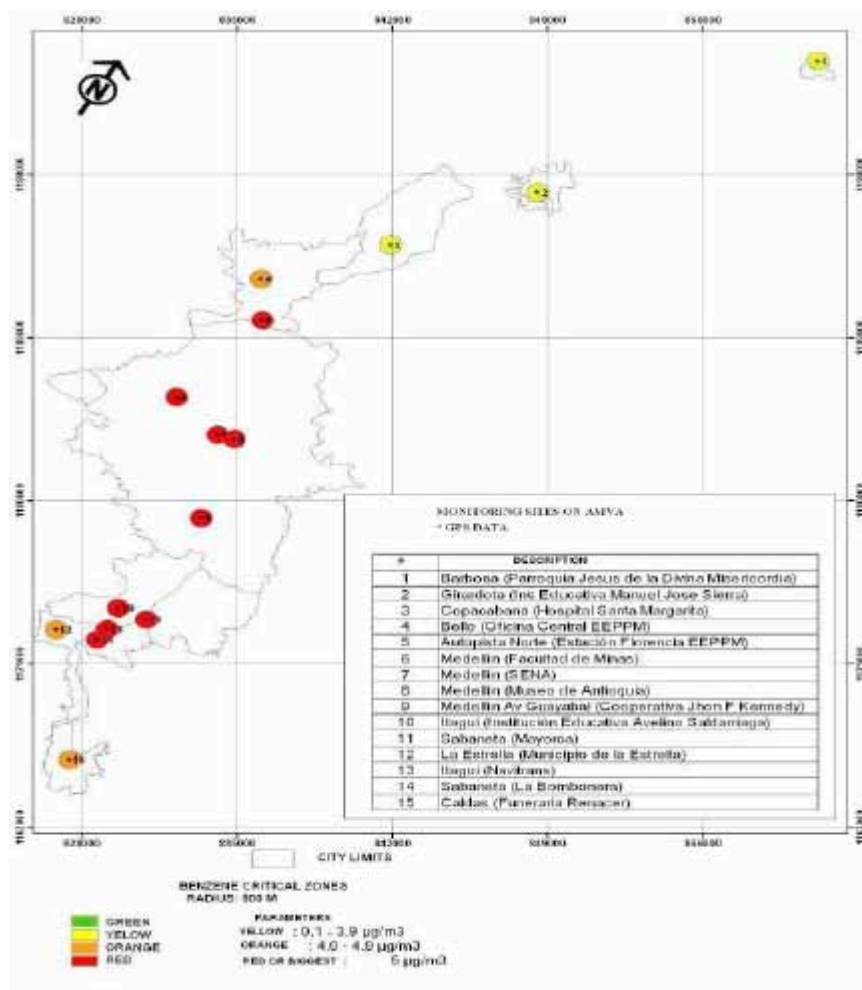


FIG. 3. Zonas críticas en AMVA identificadas usando monitoreo BTXS

de benceno cercanas al umbral (4 a 4,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Las ciudades Barbosa, Girardota y Copacabana ubicadas al norte mostraron una concentración promedio anual por debajo de 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

El monitoreo pasivo de contaminantes atmosféricos en la AMVA permitió identificar sectores con niveles críticos de contaminación, como se mostró en la figura 3. También se mostraron las variaciones en la concentración de benceno durante el tiempo de monitoreo. Las medidas deben ser validadas

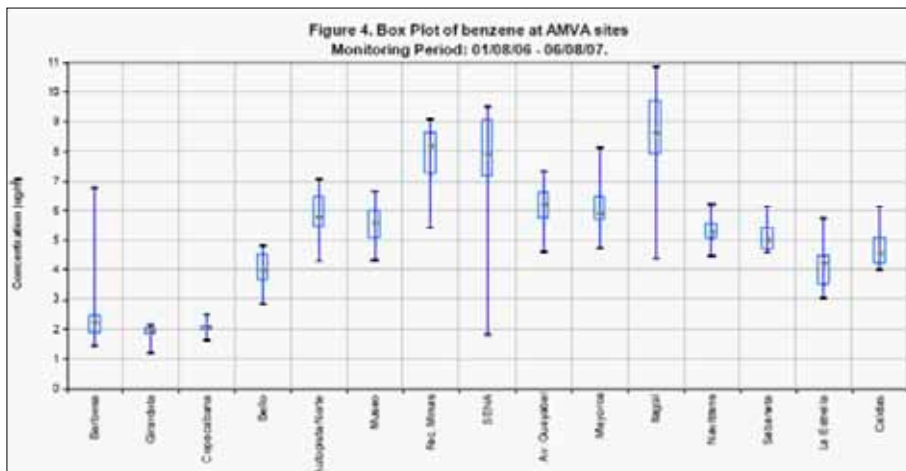


FIG. 4. Diagrama de caja del benceno en las estaciones de AMVA. Período de monitoreo: 01/08/06 – 06/08/07

con métodos estandarizados aceptados en los casos en los que se registraron valores muy cercanos al límite establecido por la norma.

En el centro del Área Metropolitana, un sector entre las estaciones autopista Norte y Navitrans, es necesario hacer un seguimiento de los niveles de benceno para averiguar si son acordes con los resultados de este estudio.

Los resultados del monitoreo pasivo de contaminantes atmosféricos pueden ser usados por la ya establecida Red de Monitoreo de Calidad del Aire del Valle de Aburrá para la colocación de equipos manuales y automáticos en aquellos sitios estratégicos que reportan valores por cercanos o por encima de la norma.

Por ejemplo, la estación SENA debería ser considerada como un nuevo sitio de monitoreo de la red ya establecida, pues allí se registraron las mayores concentraciones de benceno. Este sitio es representativo de las emisiones de gas por parte del tráfico vehicular a lo largo de avenidas regionales y del ferrocarril. Es importante notar que a pesar de la presencia de bastantes árboles en los alrededores de la estación SENA, las emisiones de gas provenientes de vehículos que circulan a lo largo de la avenida regional se encuentran

muy dispersas en el aire, por la acción de los vientos, y fueron detectadas en el sitio de monitoreo.

En el caso de los compuestos orgánicos volátiles (covs) —benceno, tolueno y xileno (BTXS)— los cuales no son medidos regularmente por la red de monitoreo de calidad del aire del Valle de Aburrá, los resultados del presente estudio pueden ser usados como línea base para futuras mediciones de estos contaminantes.

Los niveles obtenidos de benceno son preocupantes, desde el punto de vista epidemiológico y desde la perspectiva de la calidad de vida de los habitantes del Área Metropolitana. Por esta razón, el monitoreo debería continuar en las zonas identificadas como críticas. Esto debería extenderse hasta incluir otras intersecciones con flujos de tráfico más pesados, tales como las intersecciones San Juan-carrera 80, San Juan-avenida del Ferrocarril, así como otros lugares a lo largo de la avenida regional.

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá, en sus funciones como autoridad ambiental, debería comenzar a monitorear en toda su jurisdicción los niveles máximos permisibles de BTXS, teniendo en cuenta los resultados de la presente investigación y resultados de estudios epidemiológicos. Los autores de este trabajo proponen la creación de una red de monitoreo más extensa a lo largo de la zona central de la región metropolitana, desde Bello hasta Caldas, pues esta zona central mostró niveles de contaminantes cercanos a los límites permisibles, o por encima de ellos.

Del mismo modo, es necesario monitorear la calidad de los combustibles usados en el sector industrial y de transporte para analizar el impacto directo en la calidad del aire. Es importante que Ecopetrol (Compañía Colombiana de Petróleo), en su plan decenal, incluya la reducción de hidrocarburos aromáticos, tales como el benceno, en los combustibles que produce. En los lugares en los que el tráfico vehicular es la fuente principal de contaminantes atmosféricos, los cambios en la formulación de la gasolina



y la nueva tecnología vehicular contribuirán fuertemente a la reducción progresiva de los niveles de benceno en las áreas urbanas.

El AMVA debería presentar al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia la necesidad de una nueva norma de calidad del aire, tal como la normativa europea EN 13528 de 2003 que permite el uso de muestreadores difusivos para la determinación de concentraciones de BTXS usadas en este estudio.

Los métodos pasivos ofrecen ventajas en comparación con los métodos manuales y automáticos, entre otros, por su bajo precio, manipulación simple, su aplicación en la evaluación de tendencias de contaminación a largo plazo, su accesibilidad a zonas críticas, y por su diseño y optimización de redes automáticas de monitoreo.

Agradecimientos

Este proyecto fue financiado por el AMVA como autoridad ambiental urbana, y por la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Este estudio es un programa de investigación en calidad del aire.

Los autores agradecen a aquellas personas que desempeñaron un papel importante en este estudio, incluyendo a la Universidad Nacional de Colombia, al doctor Marcus Hangartner del Instituto Federal Suizo de Tecnología, a señor Carlos M. Sepúlveda por su trabajo analítico, así como a Dora C. Barrientos y a Hugo Santana.

Los autores también agradecen a aquellos quienes, de una u otra forma, participaron en este estudio.

Bibliografía

- [1] FORSTER, L. M.; TANNHAUSER, M.; TANNHAUSER, S. L. (1994), Toxicology of Toluene: Aspects Related to its Abuse. *Rev Saude Publica*; 28:167-172.



- [2] PITARQUE, M.; VAGLENOV, A.; NOSKO, M. et ál. (1999), Evaluation of DNA Damage by the Comet Assay in Shoe Workers Exposed to Toluene and other Organic Solvents, *Mut Res.*; 441:115-127.
- [3] PINTO, D.; CEBALLOS, J. M.; GARCÍA, G. et ál. (2000), Increased Cytogenetic Damage in Outdoor Painters. *Mut Res.* 467:105-111.
- [4] YAGER, J. W.; EASTMOND, D. A.; ROBERTSON, M. L. et ál. (1990), Characterization of Micronuclei Induced in Human Lymphocytes by Benzene Metabolites. *Cancer Res.*; 50:393-399
- [5] MAC GREGOR, J. T.; TUCKER, J. D.; EASTMOND, D. A.; WYROBEK, A. J. (1995), Integration of Cytogenetic Assays with Toxicology Studies. *Environ Mol Mut.*;25:328-337.
- [6] ANDREOLI, C.; LEOPARDO, P.; CREBELL, R. (1997), Detection of DNA Damage in Human Lymphocytes by Alkaline Single Cell Gel Electrophoresis after Exposure to Benzene or Benzene Metabolites. *Mut Res.*377:95-104.
- [7] CARERE, A.; ANDREOLI, C.; GALATO, R. et ál. (2002), Biomonitoring of Exposure to Urban Air Pollutants: Analysis of Sister Chromatic Exchanges and DNA Lesions in Peripheral Lymphocytes of Traffic Policemen. *Mut Res.*518:215-224.
- [8] AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. (1999), TLVs and BEIs. *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents Biological Exposure Indices*. Cincinnati, OH; pp 19, 67, 72.
- [9] COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION (2000), *Directive 2000/69/EC of The European Parliament and of the Council 16 November 2000 Relating to Limit Values for Benzene and Carbon Monoxide in Ambient Air*, L313/12-21..
- [10] MINISTERIO DE TRABAJO Y SEGURIDAD SOCIAL, MINISTERIO DE SALUD. (1984), Colombia. Determinación de las Bases para la organización y administración de salud ocupacional en el país. *Decreto 614 de marzo 14 de 1984*. V parte, Bogotá, pp. 149-169.



- [11] MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL DE COLOMBIA. (2006), Norma de calidad del aire o nivel de inmisión. *Resolución 601 del 4 de abril de 2006*. Bogotá, pp. 1-8.
- [12] WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). (2000), *Air Quality Guidance for Europe*. Copenhagen, European Series No. 23.
- [13] WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). (2004), *Guías para la calidad del aire*. Traducción del Informe del la Reunión de un Grupo de Trabajo de Expertos de la OMS desarrollada en Ginebra, Suiza en diciembre de 1997. Lima.
- [14] INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (IARC), (1987), *Monographs, Supplement 7*.
- [15] SØRENSEN, M.; SKOV, H.; AUTRUP, G. et ál. (2003), Urban Benzene Exposure and Oxidative DNA Damage: Influence of Genetic Polymorphisms in Metabolism Genes. *Science of the Total Environment* 309, 69-80.
- [16] HANGARTNER, M. (1996), *Diffusive Sampling as an Alternative Approach for Developing Countries*. World Congress on Air Pollution in Developing Countries. Swiss Federal Institute of Technology, Zúrich, Suiza, Costa Rica.
- [17] PASSAM, A. (2003), *Muestreos Pasivos para Benceno. Protocolo de Análisis del Medio Ambiente*. Suiza, 2 p.
- [18] COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION, EN 13528-1, 2, 3: *Calidad del Aire Ambiente. Captadores Difusivos para la Determinación de las Concentraciones de Gases y Vapores. Requisitos y Métodos de Ensayo*. 2003, (Traducción en español de la norma europea EN 13528-1,2,3 de 2003)
- [19] WALLACE, L. (1990), Major Sources of Exposure to Benzene and Other Volatile Organic Chemicals. *Risk Anal*;10:59-64.

Métodos ópticos para el estudio de la fracción de carbono elemental en aerosoles ambientales y en la fuente

1-Hansen-USA-1

Anthony D. HANSEN*

Palabras clave: carbono elemental, aerosol, análisis óptico en tiempo real, Aethalometer.

Introducción

Partículas aéreas comúnmente encontradas en ambientes en los que actividades humanas han generado algún impacto son mezclas extremadamente complejas, tanto química como físicamente. Estas partículas tienen ciertas características derivadas de la fuente inicial de donde provienen; pueden ser modificadas por transformaciones y reacciones en la atmósfera, y pueden tener tiempos de vida y efectos que son altamente dependientes de su composición, tamaño, propiedades superficiales y otros atributos. Los efectos perjudiciales de estas partículas van desde estéticos (reducción de la visibilidad); culturales (degradación de las estructuras, monumentos y trabajos artísticos después de la deposición de partículas); agrícolas (debilidad en las plantas y árboles, reducción en la productividad de los campos); psicológicos (impactos en la salud individual y de la población, incremento de enfermedades y muerte); hidrológicos (aceleración del derretimiento de la nieve y de las placas de hielo después de la deposición

* Ph. D. Staff Scientist, Energy and Environment Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California (retired); President, Magee Scientific, 2800 Adeline Street, Berkeley, CA 94703 USA. Teléfono: +1 510.845.2801, fax: +1 510.845.7137, correo electrónico: Tony.Hansen@mageescientific.com.

de partículas); hasta impactos climáticos en escala local, regional y global, incluyendo las perturbaciones en el balance de radiación y cambios en las propiedades de las nubes, incluyendo los patrones de precipitación. La caracterización y el análisis de estas partículas es necesario para identificar su naturaleza y las fuentes de donde provienen, esto con el fin de proveer la información necesaria para el desarrollo de regulaciones apropiadas y efectivas para reducir sus emisiones.

La revolución industrial europea y norteamericana —algunas veces llamada Era del Carbón— transformó estas ciudades, que pasaron de la agricultura a la manufactura y, al mismo tiempo, llenó el aire de humo, oscureció los edificios y enfermó a la población. La regulación limpió los cielos occidentales; medio siglo después, transformaciones industriales similares se están repitiendo en Asia, aunque en mayor escala y con consecuencias potenciales más desastrosas. El cambio climático en China es real y algunos modelos sugieren la posibilidad de que el Monzón indio falle dentro de las próximas dos décadas: ambos, existen en parte, por los efectos de las partículas atmosféricas de aerosol que se originan en procesos de combustión. De hecho, un comité del Congreso del Gobierno de Estados Unidos recibió el testimonio de expertos, quienes afirman que los aerosoles con “carbono elemental” son los trazadores principales de efectos en la salud, y ocupan el segundo lugar en los trazadores de CO_2 , en términos de responsables por el cambio climático.

Objetivos

Este artículo presentará el uso de métodos ópticos para la caracterización de partículas aéreas, con un énfasis especial en los métodos basados en la medida de la absorción de luz por partículas recolectadas en filtros.

Los aerosoles de carbón elemental son un trazador de emisiones por combustión: éstos no son un producto secundario de reacciones atmosféricas.



ricas entre precursores, ni se derivan de la condensación de vapores en un núcleo. No son destruidos ni se vuelven “menos oscuros” con procesos químicos o físicos en la atmósfera. Si el aire se pasa por un filtro durante un año en el polo Sur, la mancha gris representa el carbono elemental recolectado que se transportó decenas de miles de kilómetros. La identificación de carbono elemental en una muestra de aerosol indica la presencia de emisiones provenientes de procesos de combustión, con sus impactos en salud concomitantes; y permite cuantificar la absorción óptica en la columna de aire.

Métodos

El atributo más obvio de un filtro poroso a través del cual han pasado unos pocos kilómetros de aire urbano es su color gris o negro. Análisis químicos y físicos detallados revelan que la absorción de luz se debe a la presencia del carbono de forma “elemental” o “cuasi grafito”. El análisis de muestras recolectadas de los ambientes más remotos pasando por las ciudades más contaminadas hasta muestras recolectadas directamente de la fuente, muestra una relación entre la absorción óptica a longitudes de onda visibles y la masa de este carbón, que se ubica entre un rango bastante angosto. Consecuentemente usamos el método para definir un material llamado “carbono elemental” (BC) para describir estas especies en términos de un método de medición repetible.

La recolección de aerosoles usando un filtro perturba su estado microfísico en términos de la interacción óptica con las fibras del filtro. Las ventajas de la simplicidad de la filtración y la concentración por acumulación de un gran volumen de aire sobre un filtro con superficie definida, superan el efecto de esta perturbación. El análisis óptico del filtro es:

1. *Simple*: recolectar, iluminar, detectar. El equipo puede ser pequeño y económico.

2. *Sensitivo*: nanogramos de BC pueden ser vistos fácilmente.
3. *No destructivo*: la muestra puede ser medida ópticamente, y luego sometida a otro análisis más complicado y que puede ser destructivo.
4. *Rápido*: tan pronto como se detecta la luz, el análisis se completa.
5. *Tiempo real (corolario del rápido)*: un análisis óptico rápido y sucesivo en un filtro de recolección continua puede conducir a una medición en tiempo real.
6. *Indicativo espectral*: comparar la absorción de luz UV-visible-IR.

El Optical Transmissometer es un instrumento que mide la absorción (atenuación- ATN) de luz de una muestra alimentada relativa a la de un filtro estándar (blanco). Un modelo opera a 880 nm (cerca-IR; definitivo para BC y de acuerdo con el análisis químico), y 370 nm (cerca-UV). La atenuación UV refleja la presencia cuantitativa de BC así como un indicio de la presencia de la absorción UV de compuestos aromáticos orgánicos, que puede ser correlacionada con la presencia de humo proveniente de la combustión de biomasa y carbón.

El aethalometer (etalómetro) es un instrumento que ejecuta rápidamente mediciones de transmisión ópticas sucesivas de un filtro que recolecta partículas de aerosol continuamente. La diferencia entre una medida y la siguiente es usada para calcular la concentración de BC en la corriente de aire. Desarrollos recientes han producido instrumentos que pueden proporcionar datos tan rápido (1 Hz); esto ofrece una sensibilidad tan baja como 1 ng/m³ cuando se incorporan en pocos minutos; ejecuta análisis a 1, 2 o 7 longitudes de onda ópticas desde 370 nm a 950 nm, y pueden colocarse en un bolsillo o suspenderse en un globo meteorológico.



Resultados

La habilidad de medir BC en *tiempo real* y en un *punto de medición* fijo tiene en cuenta el estudio de patrones temporales que pueden encajar con otros datos tales como patrones de actividad de fuentes candidatas, trayectorias meteorológicas y transformadas de Fourier de datos de aerosoles de alta resolución temporal para la identificación geográfica de áreas fuente en dos dimensiones. Al colocar un monitor de BC portátil de medición en tiempo real en una *plataforma móvil*, podemos obtener mediciones espaciales en dos dimensiones y perfiles en tres dimensiones. Al colocar un monitor personal de BC en el *cuerpo de una persona*, podemos evaluar su exposición personal al trazador de BC de emisiones por combustión. Al sujetar un micromonitor de BC a un balón meteorológico, podemos medir el perfil vertical en la atmósfera.

La combinación de *medidas en tiempo real* con el *análisis usando múltiples longitudes de onda* nos permite observar el impacto de aerosoles cuya absorción no es puramente “oscura”: por ejemplo, el humo del cigarrillo, el polvo del desierto y el humo de la quema de biomasa. Mostramos un ejemplo del impacto, variable y temporal, del humo de las quemas agrícolas detectadas por un aethalometer de 7 longitudes de onda en un sitio remoto. Se observó un espectro de absorción claro para este humo, el cual puede ser usado como una “huella digital” para identificar otros casos de impacto del humo de biomasa.

Conclusiones

El análisis óptico de muestras de aerosol recolectadas en filtros es simple, sensible, no destructivo y rápido. Este análisis puede realizarse en muestras



previamente recolectadas o en tiempo real. El análisis temporal permite reconocer tendencias de emisión y advección. El tamaño de los instrumentos “portátiles” y “micro” permite hacer mediciones en dos y tres dimensiones. Los análisis usando múltiples longitudes de onda ópticas permiten identificar las emisiones características de la quema de biomasa.

Bibliografía

HANSEN, A. D. A.; ROSEN, H. y NOVAKOV, T. (1984), The Aethalometer—an instrument for the real-time measurement of optical absorption by aerosol particles, *Sci. Total Environ.* 36, 191.

Caracterización de las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles en Bogotá e identificación de sus fuentes

1-Franco-Colombia-1

Juan Felipe FRANCO,* Luis Carlos BELALCÁZAR,†

José Alonso PACHECO‡ y Eduardo BEHRENTZ§

Palabras clave: contaminación atmosférica, modelos receptores, cromatografía, tóxicos del aire.

Introducción y objetivos

Bogotá experimenta actualmente una importante y bien reconocida problemática de contaminación atmosférica. De acuerdo con la información proveniente de la red de monitoreo de la calidad del aire de la ciudad (SDA, 2008), los contaminantes que por sus altas concentraciones más contribuyen a dicha problemática son el material particulado y el ozono troposférico. Sin embargo, a pesar de la creciente cantidad de estudios relacionados con el tema, poca atención se le ha prestado a la evaluación de los compuestos orgánicos volátiles (COV). Estos compuestos, nocivos para la salud humana (algunos de estos reconocidos como cancerígenos); se caracterizan por ser especies precursoras de otros contaminantes del aire tales como el ozono y oxidantes fotoquímicos (Molina, 2004; Guo, 2007).

* Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional. Universidad de los Andes. Colombia.

† Escuela Politécnica Federal de Lausanne (EPFL). Jeune Chercheur Boursier, KFPE, Suiza.

‡ Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional. Universidad de los Andes. Colombia.

§ Director del Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes. Colombia, dirección: carrera 1ª este núm. 19ª-40, edificio Mario Laserna, piso 6, Bogotá, Colombia, teléfono: +(57-1) 339.4949 x 3545. Fax: +(57-1) 332.4313, correo electrónico: ebehrent@uniandes.edu.co.



Página anterior

Página siguiente



Menú



El objetivo general del estudio que aquí se presenta, es identificar y cuantificar los niveles de *cov* presentes en la ciudad de Bogotá. Adicionalmente, se caracterizan sus fuentes de emisión mediante la aplicación de la metodología de modelación por receptores. Se espera que los resultados obtenidos sean utilizados como herramienta técnica en la formulación de estrategias y políticas efectivas para el mejoramiento de la calidad del aire de la ciudad.

Metodología

Se está llevando a cabo una masiva campaña de campo en la que se evalúan concentraciones en el aire ambiente de cerca de veinte hidrocarburos (en la fracción $C_2 - C_6$) en tres puntos diferentes al interior del perímetro urbano de la ciudad. Dichos lugares fueron seleccionados de acuerdo con las características de contaminación del aire de la zona en la que se encuentran localizados. En la figura 1 se muestra la ubicación geográfica de estos sitios. Asimismo, en la tabla 1 se presentan las características de los lugares seleccionados para el monitoreo en este estudio.

Para la determinación de las concentraciones de los *cov* se está haciendo uso de un cromatógrafo de gases portátil (Syntech Spectras b.v., GC995). Este instrumento permite el monitoreo continuo de estas especies contaminantes reportando sus concentraciones en períodos de tiempo de treinta minutos.

Los datos de concentración de *cov* adquiridos durante la campaña de monitoreo (la cual no tiene antecedentes en la ciudad) serán procesados y analizados de tal forma que puedan ser utilizados en un modelo de receptores para la identificación de las fuentes generadoras de estos compuestos. Para este propósito se utilizará el modelo estadístico de análisis de componentes principales (PCA).

Resultados y conclusiones

Se presentan a continuación algunos resultados preliminares de las concentraciones de *cov* obtenidas en los puntos de monitoreo utilizados en

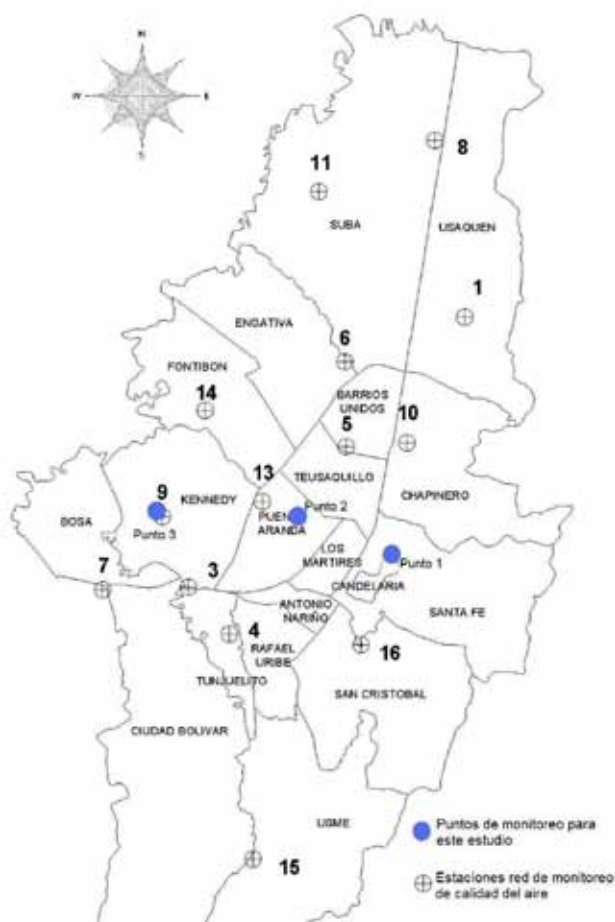


FIG. 1. Mapa de Bogotá con la ubicación geográfica de los sitios de monitoreo seleccionados para este estudio

este estudio. La tabla 2 resume las concentraciones (media de 24 horas y valor medio máximo) de los hidrocarburos monitoreados durante la campaña de campo de este estudio.

De los resultados preliminares obtenidos se puede destacar que los compuestos que mayores concentraciones medias presentaron hacen referencia a los alcanos. En general los niveles de concentración encontrados para los COV fueron bajos y se encuentran en el rango de concentraciones reportado por otros estudios (Guo, 2007; Dollard, 2007). Las concentraciones

TABLA 1. Características de los sitios de monitoreo

Punto de monitoreo	Ubicación geográfica en la ciudad	Características de la zona
Punto 1	Centro-orient	Zona cercana a los cerros que bordean la ciudad por al orient. Vías pavimentadas de tráfico liviano. Sin presencia de industrias
Punto 2	Centro	Zona industrial de la ciudad, vías pavimentadas con alto tráfico vehicular (liviano y de carga)
Punto 3	Sur-occidente	Zona comercial de la ciudad. vías pavimentadas y sin pavimentar (recebo y tierra) con alto tráfico pesado (particular y público)

de compuestos importantes por su toxicidad como el benceno estuvieron por debajo de los valores guía recomendados por la Organización Mundial de la Salud (5ppb).

Se calculó el índice de formación de ozono utilizando la metodología de máxima reactividad incremental (Carter, 1994). En general, compuestos con presencia de doble enlace en su estructura fueron los que mayor índice de formación de ozono registraron (eteno, propeno, penteno, isopreno).

En proceso

La aplicación del modelo receptor (PCA) se encuentra en proceso. Este modelo estadístico será aplicado en conjunto con correlaciones múltiples que relacionen las concentraciones de los cov con variables tales como las condiciones meteorológicas y de esta manera permitir una aproximación a la identificación de sus fuentes generadoras.

Agradecimientos

La realización de este estudio fue posible gracias a la financiación de Colciencias y la Comisión Suiza para la Investigación Conjunta con Países en Vía de Desarrollo (KFPE).

TABLA 2. Concentraciones de los COV monitoreados en el punto 2 – “Kennedy” (ppb)

	Concentraciones de COVs (ppb)					
	Estación Uniandes		Estación Kennedy		Estación Puente Aranda	
	media	máximo	media	máximo	media	máximo
Etano	4,99	47,95	11,71	84,56	16,71	66,55
Eteno	2,54	16,07	3,31	20,46	2,94	32,68
Propano	1,96	12,37	3,16	17,79	3,72	66,58
Propeno	0,08	3,06	0,51	5,7	0,82	9,95
i-Butano	0,49	6,41	0,91	6,11	0,17	7,98
n-Butano	0,62	3,85	2,75	18,12	4,84	26,34
trans-2-Buteno	0,00	0,65	0,04	2,67	0,11	4,33
1-Buteno	0,10	0,51	0,23	1,33	0,28	1,84
cis-2-Buteno	0,00	0,68	0,09	2,72	0,16	5,22
i-Pentano	1,77	14,49	2,15	21,38	4,67	74,02
n-Pentano	0,74	4,44	0,82	7,32	1,53	23,52
trans-2-Penteno	0,01	0,28	0,15	4,62	0,35	8,2
cis-2-Penteno	0,03	0,46	0,10	2,34	0,22	7,15
1-Penteno	0,25	0,73	0,29	2,01	0,46	5,32
2,2-Dimetilbutano	0,02	0,24	0,02	0,74	0,05	0,79
Hexano	0,09	4,65	0,90	6,15	1,01	9,56
2,3-Dimetilbutano	0,08	0,96	0,12	2,16	0,13	2,72
Benceno	0,38	6,48	0,77	5,68	0,47	3,74
Isopreno	0,05	0,68	0,30	2,37	0,71	7,43

Bibliografía

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ (2008), SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE (SDA), *Informe anual de calidad del aire de Bogotá año 2007*.

CARTER, W. (1994), Development of ozone reactivity scales for VOCs, *Journal of Air and Waste Management Association*. 44: 881-899.

DOLLARD, G. J.; DUMITREAN, P.; TELLING, S. et ál. (2007), Observed trends in ambient concentrations of C₂-C₈ hydrocarbons in the United Kingdom over the period from 1993 to 2004, *Atmospheric Environment* 41: 2559-2569.

GUO, H.; SO, K.; SIMPSON, J. et ál. (2007), C1-C8 volatile organic compounds in the atmosphere of Hong Kong: Overview of atmospheric processing and source apportionment, *Atmospheric Environment* 41: 1456-1472. 2007.

MOLINA, M.; MOLINA, L. (2004), Megacities and atmospheric pollution, *Journal of Air and Waste Management Association* 54: 644-680.



Sesión 10:
Calidad del aire y transporte

Análisis de emisiones en ruta de
vehículos diésel en Ciudad de México,
Santiago y São Paulo

Escenarios futuros de movilidad
y emisiones

Efecto de la construcción de la
infraestructura vial para el transporte
masivo Metrolínea sobre la calidad del
aire en dos zonas de Bucaramanga

Evaluación de las emisiones
atmosféricas generadas a partir de
la evaluación de fuentes móviles en
Armenia

Análisis de emisiones en ruta de vehículos diésel en Ciudad de México, Santiago y São Paulo

4-Tolvett-Chile-1

Sebastian TOLVETT,* Mauricio OSSES† y James M. LENTS‡

Palabras clave: potencia específica vehicular, emisiones vehiculares, patrón de conducción.

Introducción y objetivos

La mayoría de los inventarios de emisiones de fuentes móviles en Latinoamérica provienen de modelos internacionales de estimación de emisiones, en su mayoría estadounidenses o europeos. Modelos como Copert, Mobile o IVE en sus distintas versiones se han utilizado completa o parcialmente en orden de establecer los inventarios que sirven como herramienta a los tomadores de decisión locales. Sin embargo, dentro de la ecuación básica que usan estos modelos para calcular las emisiones existe un dato que no necesariamente es válido para la realidad en Latinoamérica: los factores de emisión.

El objetivo principal de este trabajo de investigación es medir y analizar las emisiones de vehículos diésel en Latinoamérica, utilizando sistemas de

* Ingeniero civil mecánico y M. Sc. en Ciencias de la Ingeniería Mención Mecánica, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Chile, Investigador para International Sustainable Systems Research Center, Latin America, dirección: ISSRC-LA, Santa Magdalena 75, oficina 311, Providencia, Santiago, Chile, teléfono: CP: 7510038, (56-2) 9461203, (56-2) 9461333, correo electrónico: stolvett@issrc.org.

† Ingeniero civil mecánico de la Universidad de Chile y Ph. D. en Emisiones de motores de combustión interna, University of Leeds, Reino Unido, investigador senior para International Sustainable Systems Research Center, Latin America.

‡ M. Sc. y Ph. D. en Física, University of Tennessee, Knoxville, Tennessee, Presidente de International Sustainable Systems Research Center, USA.



Página anterior

Página siguiente



Menú



medición a bordo y la metodología de potencia específica vehicular para el análisis.

El presente trabajo se realizó en dos etapas, la primera de ellas corresponde a la recopilación de datos para lo cual se realizaron cuatro campañas de emisión, midiendo un total de 143 vehículos diésel en Latinoamérica, con el apoyo de The William and Flora Hewlett Foundation en el caso de México y São Paulo, y con el apoyo del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile (Dimec) y la Secretaría Interministerial de Planificación de Transporte (Sectra) en el caso de Santiago. La segunda etapa corresponde al análisis de la información el cual fue dividido en emisiones por ciudad distribuidas por potencia específica vehicular o *vsp* (Jiménez-Palacios, 1999) y en comparación de los resultados obtenidos en las campañas de medición con modelos de emisión utilizados en la región.

Metodología

Tradicionalmente, para determinar niveles de emisión de motores utilizados en vehículos pesados se aplica un procedimiento estándar sobre el motor en un banco de pruebas dotado de dinamómetro. Este tipo de procedimiento genera valores de emisión en g/kWh (sistema métrico) o lb/bhph (sistema imperial). Los ensayos con dinamómetro de chasis permiten analizar factores de emisión bajo condiciones específicas y controladas de operación y muestreo, con información muy detallada para vehículos individuales, con alto grado de precisión y repetibilidad entre ensayos. Sin embargo, debido al alto costo y tiempo requerido por cada ensayo, solo una muestra limitada de vehículos puede ser incluida en los programas de medición utilizando esta metodología.

Debido a estas limitaciones, es necesario evaluar alternativas de medición, con menor costo por vehículo, manteniendo niveles de precisión adecuados. Los factores de emisión obtenidos deben ser representativos

de las condiciones existentes en la ciudad y deben ser definidos de manera tal que puedan ser utilizados en el cálculo de inventarios de emisión de fuentes móviles.

En este trabajo se utilizó una metodología de mediciones en ruta (mediciones a bordo de los vehículos) utilizando instrumental portátil. En el caso de emisiones gaseosas se utilizó una unidad Semtech-D de Sensors-Inc y para la medición de material particulado se utilizó una unidad DMM240 de Dekati. La unidad Semtech-D tiene la capacidad de medir monóxido de carbono (CO), hidrocarburos totales (THC), óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de carbono (CO₂). La unidad DMM240 mide material particulado menor a 1,5 micrones. Ambos equipos tienen una frecuencia de muestreo de 1 hertz.

Una vez recogidos los datos segundo a segundo de los equipos, se utilizó la metodología de *vsp*, la cual permite normalizar los resultados obtenidos en diferentes localidades y bajo diferentes patrones de conducción de manera que se obtengan resultados comparables. Así, se logró analizar los resultados de emisiones respecto de la energía utilizada por el vehículo para un instante dado, la cual es estimada a partir de variables medidas con un equipo GPS.

Resultados y conclusiones

Del análisis de las mediciones realizadas se obtienen dos tipos de resultados relevantes, 1) resultados por campaña distribuidos por *vsp* y 2) comparación de resultados de campañas de medición con modelos de estimación de emisiones utilizados en la región.

La *vsp* es la variable que mejor describe las emisiones de un vehículo. Por lo tanto, se utilizó esta variable para comparar las emisiones de cada una de las campañas en primera instancia. Este tipo de análisis permite discernir en qué tipo de situaciones “energéticas” del vehículo se presentan las mayores diferencias de emisiones en cada ciudad. Los resultados obtenidos

en cada una de las cuatro campañas realizadas se expresan en emisiones en gramos por segundo contra v_{SP} .

Los resultados obtenidos muestran que las emisiones aumentan a medida que el valor de v_{SP} pasa a positivo, y esto se repite para los tres niveles de estrés. En cada uno de los contaminantes se observa que las emisiones de México pesadas son más altas que las de las otras campañas. A su vez las emisiones de Santiago, corresponden a las más bajas. Este resultado se mantiene para las emisiones de CO_2 lo que significa que los vehículos medidos en México presentan un mayor consumo de combustible y son de tamaño mayor que el resto (lo contrario ocurre con los Santiago Livianos). En el caso de los NO_x (fig. 1) se observa que a partir del nivel de v_{SP} de 21,78 en el nivel de estrés -1,6 -3,1 las emisiones de NO_x bajan en casi todas las campañas, este fenómeno se debe a que los vehículos entran en un modo de enriquecimiento de combustible que reduce las emisiones de NO_x en situación de alta demanda de potencia. En el caso de los HC y el MP se observa la misma tendencia.

Los resultados de emisiones distribuidos en v_{SP} permitieron comparar las emisiones llevando cada una de las 143 mediciones a un mismo ciclo de conducción, en este caso el ciclo FTP 75.

Al realizar una comparación en porcentaje entre los resultados obtenidos bajo los diferentes métodos para las distintas ciudades se observa que en el caso de NO_x para la categoría livianos el modelo IVE 2.0 subestima las emisiones hasta en un 72% mientras que el modelo Copert IV las subestima hasta en un 55%. En el caso de la categoría pesados para NO_x las emisiones son sobrestimadas por el modelo IVE 2.0 hasta en un 216% mientras que el modelo Copert IV las sobrestima en un 177% como máximo. Las tendencias, por lo tanto, en NO_x son a subestimar en la categoría livianos y a sobrestimar en la de pesados. En el caso de MP las emisiones son sobrestimadas hasta en un 556% por el modelo IVE 2.0 y hasta un 684% por el modelo Copert IV en la categoría livianos. En el caso de la categoría pesados el mo-

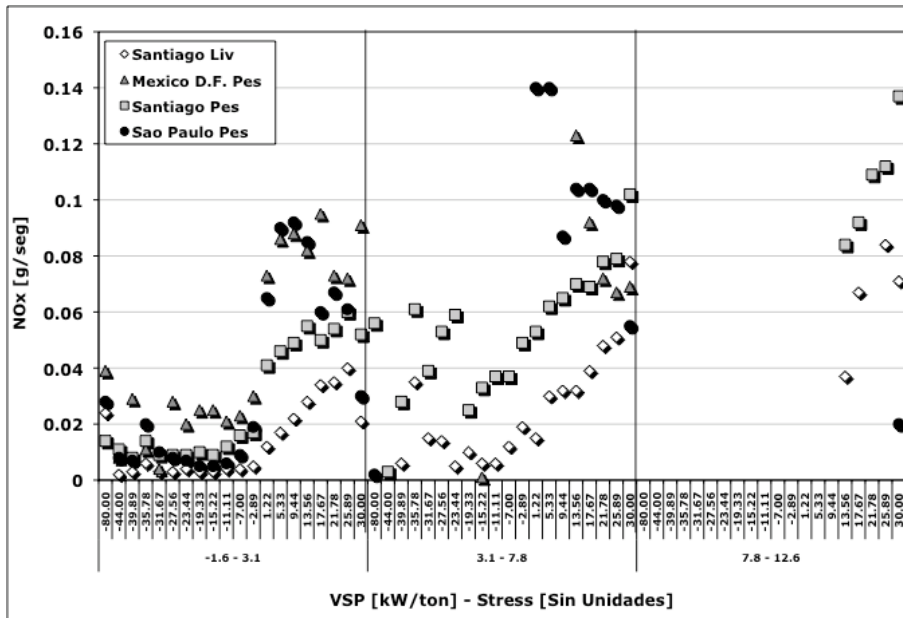


FIG. 1. Emisiones de nox según vsp, estrés por campaña

delo IVE 2.0 sobrestima las emisiones en un máximo de 884% y el modelo Copert IV hasta en un 514%.

La principal conclusión de este trabajo corresponde a la utilización de la metodología de potencia específica vehicular que permite comparar resultados medidos bajo diferentes condiciones de operación. De los resultados obtenidos se concluye que las emisiones normalizadas por ciclo de conducción presentan diferencias respecto de los modelos de emisiones internacionales. Esta realidad corrobora la necesidad de realizar campañas de emisión locales de manera de corregir los inventarios locales.

Bibliografía

JIMÉNEZ-PALACIOS. (1999), Understanding and Quantifying Motor Vehicle Emissions with Vehicle Specific Power and Tildas Remote Sensing, Massachusetts Institute of Technology.

Escenarios futuros de movilidad y emisiones¹

4-Bocarejo-Colombia-2

Jorge ACEVEDO,* Juan Pablo BOCAREJO† y Álvaro RODRÍGUEZ‡

Palabras clave: prospectiva, políticas de movilidad, emisiones por fuentes móviles atmosférica.

Resumen

La formulación de políticas y planes encaminados a mejorar las condiciones de calidad del aire en las ciudades requiere de la realización de proyecciones a mediano y largo plazo de las características de la movilidad y sus implicaciones en términos de emisiones.

Estas previsiones involucran múltiples elementos que van desde la manera en que se producirá el desarrollo urbano y regional, el crecimiento económico, la evolución de los patrones de movilidad y la distribución modal, las mejoras de la tecnología vehicular en lo relacionado con el desempeño ambiental, entre otros. El presente artículo explica cómo se realizaron dos escenarios, uno tendencial y otro basado en una visión de transporte sostenible, que dependen en buena parte de una fuerte capacidad institucional para actuar sobre la movilidad y el crecimiento de la ciudad.

¹ Esta comunicación retoma resultados de los escenarios desarrollados en Acevedo et ál. 2009. El transporte como soporte al desarrollo del país, Universidad de los Andes.

* Profesor asociado de Ingeniería Industrial, Grupo SUR.

Profesor asistente de la Universidad de los Andes, Grupo SUR, dirección: carrera 1ª núm. 18A-10, Bogotá, Colombia, A. A. 4976, Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, teléfono: +(57-1) 339 4949, fax: +(57-1) 332 4313, correo electrónico: jbobcarej@uniandes.edu.co.

‡ Profesor instructor Grupo SUR.



Página anterior

Página siguiente



Menú



Introducción y objetivos

La realización de estudios prospectivos de largo plazo contribuye de manera importante a la identificación de interacciones entre diversos elementos, en este caso, el desarrollo económico, el crecimiento urbano y demográfico, los patrones de movilidad y sus consecuencias sobre el consumo de combustible y las emisiones.

Existen diversas maneras de afrontar el desafío de predecir el comportamiento futuro. Ling (1998), plantea un espectro de posibilidades que van desde metodologías descritas como “hard” basadas en el desarrollo de modelos que buscan pronosticar de la manera más precisa posible las características futuras, hasta miradas más “soft” en las cuales se reconoce la ambigüedad e incertidumbre en algunos elementos, que invita a metodologías basadas en el desarrollo de escenarios.

Chatterjee y Gordon, (2005) plantean que, en general, el desarrollo de escenarios se basa en la oposición entre un desarrollo basado en el consumismo, individualismo y una situación más comunitaria de desarrollo. Oponen, asimismo, un escenario globalizado a un escenario regionalizado, esto a partir del análisis de proyectos recientes encaminados a la construcción de escenarios futuros en torno al transporte en el Reino Unido (Tavasszy et ál., 2000).

El objetivo de esta investigación es presentar escenarios de desarrollo futuro de la movilidad y su impacto sobre las emisiones.

Metodología

Para el caso de la prospectiva de la movilidad en las ciudades colombianas se adoptó una metodología combinada entre la aproximación determinista y la basada en escenarios. Se basó en la relación entre desarrollo econó-

mico, aumento en la motorización, aumento en la movilidad individual y recomposición de la distribución modal. Ejercicios previos en el ámbito mundial han tratado de establecer este tipo de relación (Schafer, 2000).

A partir de un escenario moderado de crecimiento económico, se estableció una relación entre el crecimiento del PIB per cápita y la motorización. Gómez (2008) ajustó una relación de tipo Gompertz a las características de nivel de ingreso y costo de adquisición de vehículos para el caso de motos y automóviles en Bogotá.

$$C_t^*(G_t) = \gamma \cdot e^{\alpha} e^{\beta \cdot G_t}$$

Esta relación fue proyectada hasta el año 2040 tomando en consideración una evolución de la distribución de ingresos de los colombianos.

Para el caso de la ciudad de Bogotá, esta distribución fue afectada por un mayor crecimiento previsto del PIB que el resto del país. Las proyecciones de motorización muestran que el parque automotor en Bogotá se duplicará cada década, alcanzando cerca de 4 millones de vehículos en el 2040. Este tipo de crecimiento es congruente con lo que ha sucedido en ciudades prósperas de América Latina como Santiago de Chile y São Paulo.

Por otra parte, también se ha establecido una relación entre el crecimiento del PIB y el crecimiento de la movilidad individual. Aunque los datos al respecto no son determinantes (WBCSD, 2004), la evidencia empírica permite establecer que el número de viajes diarios que realiza una persona de altos ingresos es mayor al de una de menores ingresos. A partir de una regresión exponencial de datos de diversas ciudades se estableció una relación entre el crecimiento del PIB y el crecimiento de la movilidad individual en Bogotá. De acuerdo con la ecuación obtenida, el número de viajes de los bogotanos pasará de cerca de 10 millones diarios en el 2008 a cerca de 22 millones para el 2040.

Resultados

A partir de esta información se establecieron dos posibles escenarios de desarrollo. Un escenario tendencial en el cual se supuso un patrón de crecimiento de la ciudad expandido y un fuerte uso del automóvil. En este escenario toda persona en capacidad de adquirir un vehículo, ya sea moto para los estratos bajos o automóvil para los estratos medio y alto, lo hará. Al poseer el vehículo privado lo utilizará a las tasas actuales de uso de ese tipo de vehículos, disminuyéndose entonces los viajes en transporte público. En este escenario, se prevé un aumento significativo de viajes en automóvil, que pasarán de una situación actual en la que apenas el 15% del total de viajes motorizados se realizan en vehículo privado a ser cerca del 50% en el año 2040. Esto implica un fuerte crecimiento en el consumo de combustible y por ende en las emisiones.

El cálculo de estos dos elementos incluyó la definición de supuestos de la evolución del desempeño ambiental de los vehículos, así como un modelo de renovación del parque.

El segundo escenario analizado corresponde a un esfuerzo de conservar una movilidad “sostenible” en las ciudades colombianas. Este escenario promueve un modelo urbano de desarrollo denso y de uso intensivo del transporte público. Este escenario plantea una meta esencial: que la participación de los viajes de transporte público en el total de viajes motorizados se mantenga al menos en un 60% del total de viajes de la ciudad. Para esto se requiere de un sistema de transporte público de alta calidad, en el cual al menos el 50% de sus viajes se realicen en sistemas con vía propia.

En este escenario el consumo de energía en BTU es mayor en cerca del 15% en el escenario 1 en el período 2010-2040. En términos de emisiones de efecto invernadero la diferencia estaría cercana al 30%. En el caso de PM_{10} los escenarios arrojan resultados similares, siendo el transporte público el principal responsable de este tipo de emisiones.

Bibliografía

- CHATTERJEE K.; GORDON A. (2005), *Planning for an unpredictable future: Transport in Great Britain, 2030*, *Transport Policy* 13, pp. 254-264.
- LING, T. (1998), *Exploring the environment for healthcare. The Madingley Scenarios*, disponible en: www.cambridgeforesight.com/madingley.htm, recuperado el 20 de octubre del 2005.
- TAVASSZY, L.; IDLING, M.; LAST, J.; SCHOCH, M. (2000), Transport forecasts for the European Union for 2020, in: *Behavioural Modelling. Proceedings of Seminar F held at the ptrc European Transport Conference*, Cambridge, 11-13 September. P441. ptrc Education and Research Services Ltd. Londres, pp. 171-183.



Efecto de la construcción de la infraestructura vial para el transporte masivo Metrolínea sobre la calidad del aire en dos zonas de Bucaramanga

4-Castro-Colombia-1

Henry CASTRO,^{*} Juan José REY,[†] Astrid BERENA,[‡]
 Laura Andrea RODRÍGUEZ,[§] Jurg NIEDERBACHER,^{**} Lina María VERA,^{††}
 Luz Libia CALA^{‡‡} y Fabio BOLÍVAR^{§§}

Palabras clave: contaminación del aire, material particulado, óxidos de nitrógeno, Ibuca, SITM-Metrolínea.

Introducción y objetivos

En los últimos años se ha percibido en el Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB) un aporte significativo de la contaminación atmosférica debido a las industrias y los vehículos. Este aporte ha sido registrado en tiempo real por la Red de Monitoreo de Calidad del Aire del Área Metropolitana de Bucaramanga, operada desde diciembre del año 2000 por la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la meseta de Bucaramanga (CDMB), obteniendo niveles de concentración elevados para material particulado, fracción respirable inferior a 10 micras (PM_{10}) y ozono troposférico (O_3) los cuales han superado en varias ocasiones la norma de calidad del aire es-

^{*}Ingeniero coordinador de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire, Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, dirección: carrera 23 núm. 37-63, Bucaramanga, Colombia, teléfono: (57) - 7 - 6346100, fax: (57)-7 6346100, correo electrónico: henry.castro@cdmb.gov.co.

[†]Médico epidemiólogo, Observatorio de Salud Pública de Santander.

[‡]Estudiante de Maestría en Epidemiología, Universidad Industrial de Santander.

[§]Médica epidemióloga, Observatorio de Salud Pública de Santander.

^{**}Neumólogo pediatra, Instituto Neumológico del Oriente, Universidad Industrial de Santander.

^{††}Médica epidemióloga, Universidad Industrial de Santander, estudiante de Doctorado en Epidemiología, Universidad de Wisconsin, EE. UU.

^{‡‡}Neumóloga pediatra, Instituto Neumológico del Oriente, Universidad Industrial de Santander.

^{§§}Internista neumólogo, Instituto Neumológico del Oriente, Universidad Industrial de Santander.



Página anterior

Página siguiente



Menú



tablecida en la resolución 601 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT).

Como actividad complementaria al monitoreo de la calidad del aire, la CDMB ejerce operativos de monitoreo y control sobre las fuentes fijas y móviles obteniendo la siguiente hipótesis: los vehículos son los principales aportantes de la contaminación atmosférica en el AMB. La hipótesis se basa principalmente en el crecimiento significativo en los últimos años de toda clase de vehículos, incluidas las motos, con un nivel de obsolescencia importante, especialmente en los vehículos de servicio público, y la deficiente infraestructura vial, lo que implica un aumento en la congestión vehicular y disminución de la velocidad promedio de cruce.

En este orden de ideas, el presente artículo pretende realizar el análisis de la información obtenida por estas dos estaciones para confirmar la hipótesis planteada por la CDMB desde hace varios años y de esta forma determinar el impacto real de la contaminación ambiental generada por las fuentes móviles que circulan en el Área Metropolitana de Bucaramanga.

Metodología

La CDMB cuenta con cinco estaciones automáticas y tres manuales, instaladas estratégicamente en el AMB. Dos de las ocho estaciones están instaladas en el área de influencia de la construcción de la infraestructura vial del SITM-Metrolínea que entrará en operación hacia finales del año 2009. Durante el desarrollo de las obras civiles, se hizo necesario realizar el cierre parcial y total de algunas vías, con lo cual se realizó el monitoreo con y sin presencia de vehículos durante aproximadamente dos años obteniendo información suficiente para realizar un estudio del impacto real de las fuentes móviles sobre la calidad del aire.

Se utilizó como medidor trazador de contaminación atmosférica la concentración de PM_{10} y la concentración de NO_x medida por las estaciones de

monitoreo de la $CDMB$ ubicadas en dos puntos de la ciudad. Las mediciones de NO_x son de carácter automático y se obtuvieron diariamente mientras que las de PM_{10} son automáticas —horarias para una estación de monitoreo y manuales— cada tres días en la otra estación de monitoreo.

Para la interpretación de datos se utilizó el índice metropolitano de la calidad del aire (Ibuca) el cual determina los niveles de riesgo expresados por colores: verde: muy buena calidad del aire, sin riesgo para población. Amarillo: buena calidad del aire, sin riesgo para la población general. Naranja: regular calidad del aire, comienza riesgo para la salud en poblaciones sensibles (previamente enfermas). Rojo: mala calidad del aire, riesgo documentado para población general. Violeta: muy mala calidad del aire, riesgo elevado de alteración para la salud, incluso con posibilidad de muertes por esta causa.

Resultados y conclusiones

El 6 de abril de 2006 fue la fecha oficial del inicio de la fase I del Proyecto de Construcción de la Infraestructura para el SITM-Metrolínea del AMB. A partir de este día y durante diez meses se realizó el cierre parcial de la carrera 15 donde se encuentra instalada, desde diciembre de 2000, la estación de monitoreo automática de calidad Centro.

Con el fin de realizar un análisis comparativo del comportamiento de la calidad del aire durante los tres momentos (antes, durante y después) importantes del efecto de la construcción de Metrolínea sobre la carrera 15, a continuación, se presentan las figuras entre los años 2005 y 2008 para los contaminantes PM_{10} y NO_x :

a) *Material particulado- PM_{10}* : entre los meses de abril y junio de 2006 se realizaron actividades de levantamiento cartográfico y adecuaciones de las redes de alcantarillado, eléctricas y acueducto que no demandaban levan-



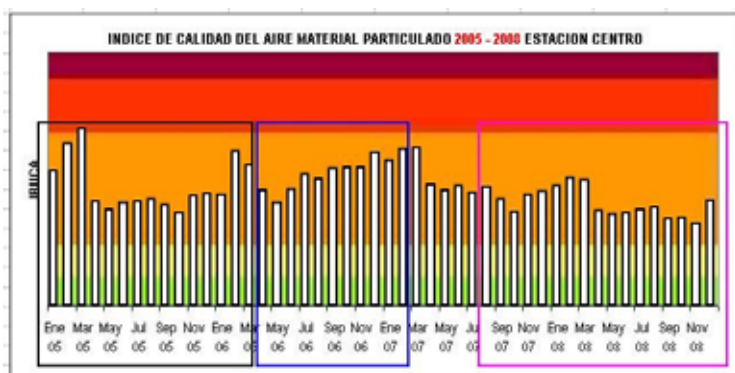


FIG. 1. Resultado de monitoreo de PM_{10} en términos del IBCA entre los años 2005 y 2008

tamiento significativo de escombros y polvo (material particulado). Luego desde el mes de julio de 2006 se iniciaron las actividades propias de la construcción de la infraestructura para Metrolínea, las cuales exigían la utilización permanente de maquinaria pesada y herramientas manuales, aumentando los niveles de ruido ambiental y material particulado en el aire.

Simultáneamente al desarrollo de estas actividades se habilitaba el otro carril para el paso de los vehículos de servicio público que deseaban dirigirse hacia el centro y norte de Bucaramanga.

Teniendo en cuenta que entre julio de 2006 y febrero de 2007 culminaron las obras de la fase I del proyecto Metrolínea, se puede explicar el incremento en la concentración de PM_{10} que experimentó el centro de Bucaramanga durante este período. A partir de agosto de 2007 vuelve la normalidad en la circulación de toda clase de vehículos sobre la carrera 15 y con ello, un valor similar de concentración de PM_{10} en el aire, como lo sucedido durante el año 2005. Con lo anterior se concluye que durante los meses de adecuación de la carrera 15, el material particulado fue generado principalmente por dos fuentes: los vehículos y el desarrollo de las obras civiles; esta última fuente fue la causa del incremento de PM_{10} en el aire durante parte de los años 2006 y 2007 como se observa en la figura 1.

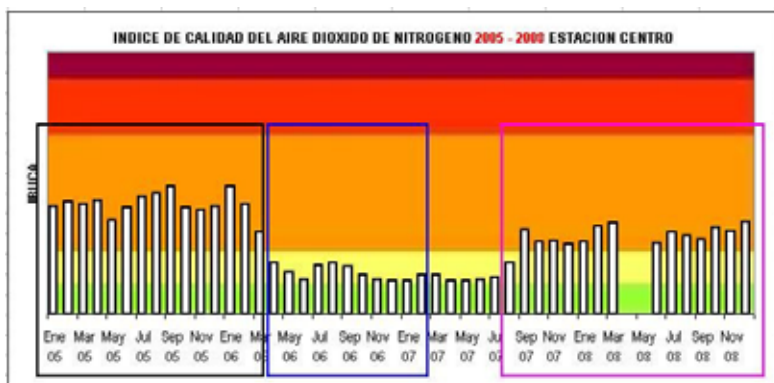


FIG. 2. Resultado de monitoreo de NO_2 entre los años 2005 y 2008

b) *Óxidos de nitrógeno*: se incluyó el análisis de este contaminante, debido a que su generación depende exclusivamente de las fuentes móviles que circulan en el centro de la ciudad, lo cual a su vez permite analizar más fácilmente el impacto de los vehículos sobre la calidad del aire:

La figura 2 muestra claramente la disminución de NO_2 en el aire, a partir del mes de abril de 2006 cuando se cierra parcial y totalmente la carrera 15 para iniciar los trabajos de construcción de la infraestructura para Metrolínea. En la figura se puede observar el comportamiento del contaminante durante los años 2007 y 2008, resaltando su nivel de concentración posterior al mes de agosto de 2007 cuando se autorizó nuevamente la utilización de la carrera 15 a toda clase de vehículos, situación que demuestra la influencia que poseen los vehículos como fuente generadora de los óxidos de nitrógeno.

Adicional a la estación Centro, la CDMB instaló una estación manual de PM_{10} en la intersección de la diagonal 15 con carrera 17 y calle 50, gracias a la colaboración de la Dirección de Tránsito de Bucaramanga, con el objeto de investigar el impacto positivo o negativo sobre la movilidad y calidad del aire de la zona con la construcción del paso subterráneo vehicular o túnel realizado entre el 29 de junio de 2007 y el 5 de julio de 2008.

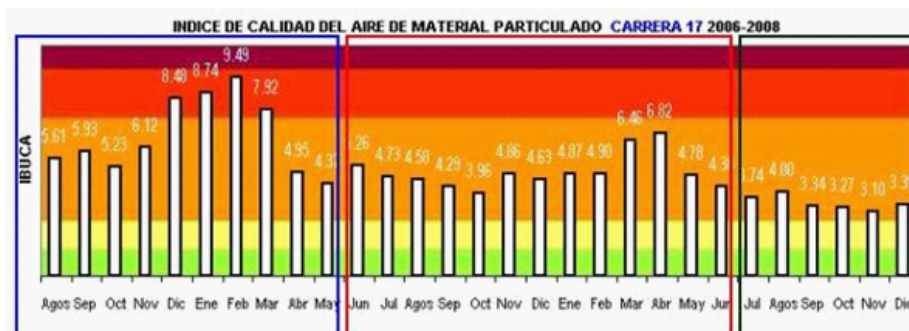


Fig. 3. Gráfica del IbUCA obtenido para el PM₁₀ en la carrera 17 entre agosto de 2006 y diciembre de 2008

La figura 3 muestra el comportamiento mes a mes de la concentración de material particulado en el aire, antes, durante y después de la construcción del túnel vehicular.

A continuación se definen los períodos de tiempo de los tres momentos de análisis: antes: entre agosto de 2006 y mayo de 2007 (cuadro azul); durante: entre junio de 2007 y junio de 2008 (cuadro rojo); después: entre julio de 2008; y hasta la fecha (cuadro negro).

Según los resultados de obtenidos, antes de la construcción del túnel vehicular la calidad del aire del sector se clasificaba entre “regular” (franja de color naranja) y “malo” (franja de color rojo) con valores que superaron en siete ocasiones la norma local de 134 microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) establecida para el PM₁₀. Adicionalmente, si se calcula el valor promedio anual de PM₁₀ y se compara con la norma nacional de 70 Ug/m^3 se supera en un 21,84%.

Durante la construcción del deprimido vehicular se observa una disminución en la concentración de PM₁₀ en comparación con los meses anteriores, debido principalmente al cierre en la carrera 17 entre calles 50 y 52 durante el desarrollo de la obra, obligando a los vehículos a escoger vías alternas fuera del área de monitoreo del equipo manual. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las actividades de construcción del túnel

ocasionaban levantamiento constante de material y polvo que afectaba la calidad del aire aunque en menor proporción que la emisión de gases y partículas provenientes de los vehículos, especialmente aquellos que utilizan diésel como combustible, como era la constante antes del inicio de la obra.

Posterior a la habilitación del túnel a toda clase de vehículos en el mes de julio de 2008, se ha evidenciado una mejora significativa en la movilidad de los vehículos, aumentando su velocidad cruce y, por lo tanto, mejorando la calidad del aire que respira la población, obteniendo niveles de clasificación epidemiológica cercanos al “moderado” (franja de color amarillo), lo cual indica que la población susceptible no tendrá riesgos significativos sobre su salud. En términos de concentración se obtuvo una disminución de 89,56 a 45,83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que equivale a una reducción del 48,83%.

Del anterior análisis se puede llegar a la conclusión de que este tipo de obras civiles ejecutadas en intersecciones viales de importancia en Bucaramanga se convierten en alternativas positivas para el mejoramiento de la movilidad vehicular y en acciones de control aceptables en el mejoramiento de la calidad del aire que respiramos.

Bibliografía

CDMB, Informes de calidad del aire en el Área Metropolitana de Bucaramanga 2005 a 2008.



Evaluación de las emisiones atmosféricas generadas a partir de la evaluación de fuentes móviles en Armenia

2-Sarmiento-Colombia-1

Hugo SARMIENTO,* César MOSQUERA,† Deisy CARO‡ y Andrés MONTOYA§

Palabras clave: aforo vehicular, movilidad, modelo Mobile 6.2, parque automotor.

Introducción y objetivos

El desarrollo económico en todo el mundo ha conducido a la tecnificación de un sinnúmero de procesos y al desarrollo de procesos en una enorme diversidad de áreas. El desarrollo en muchos de estos procesos ha estado desligado de las implicaciones ambientales que éstos generan. Uno de los procesos más relevantes que en cuanto a aportes de contaminantes a la atmósfera se refiere es el de la combustión.

Los procesos de combustión están asociados tanto a fuentes fijas como a fuentes móviles, sin embargo, el aporte de fuentes móviles cada vez más se torna relevante, especialmente en países como Colombia, pues la calidad de los

* Director del grupo de investigación en Aerosoles, profesor de la Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de La Salle, Colombia, Dirección: carrera 2ª núm. 10-70, Bogotá, Colombia. Universidad de La Salle, Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. +(57-1) 353.5360, Correo electrónico: hsarmiento@unisalle.edu.co.

† Egresado del programa de pregrado de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de La Salle, Colombia.

‡ Egresada del programa de pregrado de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de La Salle, Colombia.

§ Estudiante de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de La Salle, Colombia.



Página anterior

Página siguiente



Menú



combustibles dista enormemente de estándares europeos y americanos donde las concentraciones de azufre en los combustibles deben ser inferiores a 15 ppm.

Los enormes contenidos de azufre en los combustibles torna los procesos de combustión poco eficientes, facilitando la emisión de contaminantes como material particulado, SO_x , NO_x , voc's, entre otros. Es así que se hace imprescindible valorar el aporte de las fuentes móviles, por el enorme empleo que estas fuentes presenta. La ciudad de Armenia, por ser un corredor vial significativo en el país, se ve influenciado por la emisión de fuentes móviles de todo el transporte de carga que desde la costa Pacífica, especialmente de las zonas del Valle y el Cauca, se moviliza hacia el centro del país.

Por esta razón la Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRO) en colaboración con la Secretaría de Tránsito de Armenia (Setta) contrató la elaboración del inventario de fuentes móviles para Armenia.

Partiendo de lo anterior, las emisiones atmosféricas fueron calculadas y analizadas basándose en el inventario de fuentes móviles de la ciudad, elaborado para el mismo estudio durante noviembre y diciembre de 2008.

Metodología

La metodología utilizada incluyó la selección de puntos de muestreo, conteo de flujo vehicular, encuestas al parque automotor y monitoreo de vehículos en movimiento; luego, por medio del modelo de emisiones Mobile 6.2 se calcularon los factores de emisión para cada tipo de fuente y se determinaron las concentraciones de cada contaminante por tipo de vehículo y por tipo de vía.

Se aplicaron alrededor de 1200 encuestas a vehículos al llegar al parqueadero y para vehículos en movimiento. De la misma manera, se realizaron aforos vehiculares en trece vías entre arteriales principales, secundarias y locales mediante la metodología de filmación, discriminando así por tipo de vehículo, tipo de combustible, modelo, revisión técnico-mecánica, entre otros parámetros.

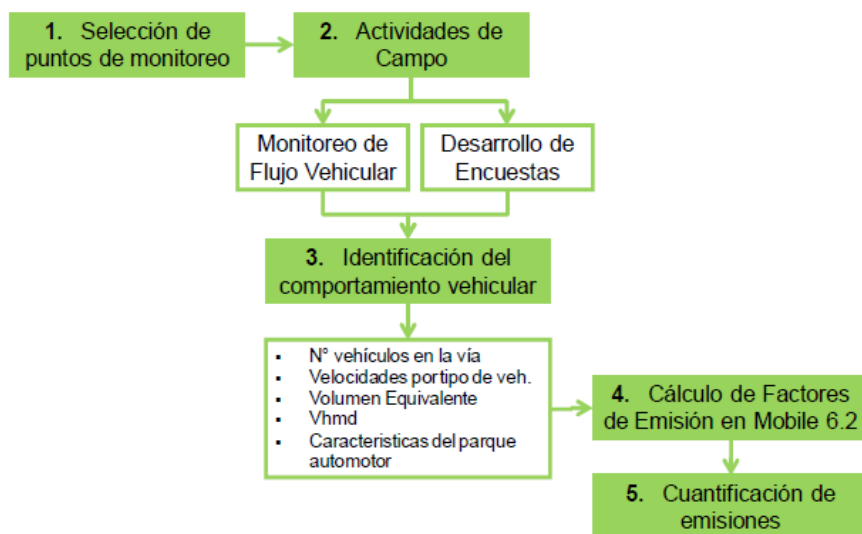


FIG. 1. Metodología de trabajo

Resultados y conclusiones

Los resultados (fig. 2) indican que las motocicletas son los mayores generadores de voc's, los buses de SO_4 , SO_2 , NO_x y CO_2 y ambos tipos de vehículo son los responsables de las emisiones de material particulado; en cuanto a las emisiones de CO, los taxis, automóviles y motocicletas presentan las concentraciones más altas.

Con respecto a las emisiones en cada vía, de las doce estaciones muestreadas las que presentan mayores valores de concentración de contaminantes son Terminal (carrera. 19), Maitama (cra. 18), Bomberos Norte (carrera. 19) y Bosque (carrera. 23) correspondientes a vías principales de la ciudad.

Paralelamente al análisis de emisiones de contaminantes criterio y otras sustancias de interés por parte de las fuentes móviles, se evaluó la movilidad de la ciudad, identificando el comportamiento horario y diario en cada una de las principales vías e intersecciones del casco urbano y teniendo en cuenta las variables de velocidad, número de vehículos y volumen equivalente.

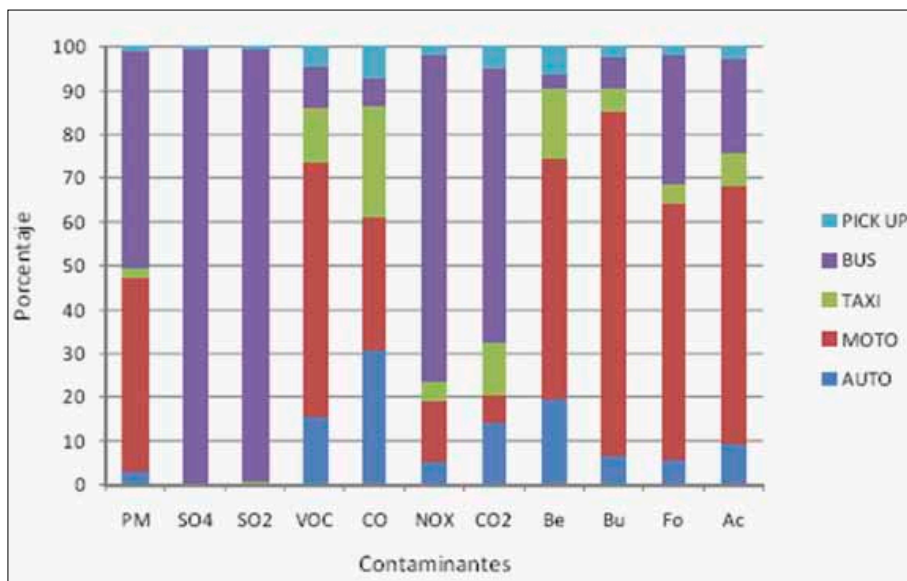


FIG. 2. Distribución porcentual por tipo de vehículo en Armenia

En cuanto al comportamiento horario, del análisis de movilidad se identificó que las horas de mayor tráfico vehicular son de 1 a 3 p. m. y de 4 a 6 p. m. Se determinó también que para las vías carrera 19, carrera 23 y carrera 11 existe un comportamiento diario diferenciado entre semana y fines de semana, mientras que las vías carrera 14 y carrera 18 presentan una baja variación de flujo durante toda la semana.

Con los registros obtenidos en las encuestas fue posible caracterizar la flota vehicular de la ciudad, encontrándose que de los vehículos encuestados más del 50% son automóviles particulares, el 89% usa gasolina, el 41% son oriundos de la ciudad y que tan sólo el 16% ha realizado la revisión técnico-mecánica.

A partir de este estudio actualmente se están elaborando programas para mejorar la movilidad de Armenia, de hecho, este documento se constituyó en la base para mantener la implantación de la medida de pico y placa en el centro de la ciudad y para tomar la decisión de implantarla.

Sesión 11:
Métodos de medición y análisis II

Distribución regional de metales
pesados en el Valle del Cauca

Evaluación de la incidencia del sector
de la construcción en la calidad del
aire del Valle de Aburrá

Material particulado, normatividad y
realidad en el Área Metropolitana del
Valle de Aburrá

Desarrollo del protocolo nacional de
inventario de emisiones

Distribución regional de metales pesados en el Valle del Cauca

1-Restrepo-Colombia-1

Germán RESTREPO* y Leonardo APONTE†

Palabras clave: material particulado, contaminación atmosférica, metales pesados.

Introducción y objetivos

El material particulado (PM) y los gases SO_2 , NO_2 , CO y el ozono constituyen los contaminantes atmosféricos clasificados como “criterio” por sus efectos en la salud. Las concentraciones máximas permisibles para estos compuestos son reglamentados por la resolución 601 de 2006 expedida por el MAVDT. El material particulado se clasifica como $PM_{2,5}$ o PM_{10} si su diámetro aerodinámico es menor de 2,5 o 10 μm , respectivamente. La norma de calidad de aire establece además los niveles máximos permisibles para contaminantes no convencionales con efectos carcinogénicos, incluyendo el plomo, cadmio, mercurio y vanadio, además del benceno y los hidrocarburos totales.

Teniendo en cuenta que los metales pesados forman parte del material particulado presente en el aire y que éstos representan un grave riesgo para la salud y el ambiente, la Corporación Autónoma Regional del Valle del

* Químico. Dirección Técnica Ambiental. Profesional especializado Grupo Manejo Ambiental de Centros Poblados. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Colombia, dirección: carrera 56 núm. 11 – 36. Cali, Colombia. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, cvc. + (57-2) 318.1700; Fax: +(57-2) 331.0186, correo electrónico: german.restrepo@cvc.gov.co.

† Químico. Dirección Técnica Ambiental. Profesional Contratista Grupo Manejo Ambiental de Centros Poblados. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Colombia.



Página anterior

Página siguiente



Menú



Cauca (cvc) realizó el proyecto de identificación de los metales presentes en el aire para conocer su distribución regional e identificar las posibles fuentes emisoras. Como parte de este proyecto se analizaron muestras colectadas en el sector industrial de Yumbo, donde están asentadas algunas de las mayores industrias, incluyendo plantas del sector metalúrgico, y en los municipios de Palmira, Jamundí, Cartago y Tuluá, en los que la principal actividad corresponde a la agricultura, además de alguna producción industrial.

El material particulado fino ($PM_{10} < 2,5$ micras) está conformado por productos de la combustión, principalmente del tráfico automotor y de la producción de energía y vapor. El material particulado grueso ($10 \text{ micras} < PM_{10} > 2,5$ micras) consiste primordialmente de material de origen geológico relacionado con actividades industriales, o la resuspensión de polvo de los suelos y de las carreteras. Las partículas finas pueden viajar en el aire distancias mayores de 100 km, por lo que se dificulta el seguimiento de su origen.

Las partículas finas, o fracción respirable, se atribuyen entonces a las partículas formadas por aglomeración de los gases presentes en las emisiones antropogénicas. Esta fracción incluye iones inorgánicos como los sulfatos, nitratos, amonio, carbón orgánico, aerosoles orgánicos y metales producto de la combustión. Las partículas gruesas, que corresponden a minerales finamente pulverizados por medios mecánicos, contienen principalmente óxidos de aluminio, silicio, hierro, calcio y potasio. En los ambientes urbanos el desgaste de las ruedas de los vehículos constituye una fuente importante de partículas gruesas y óxidos metálicos.

Como resultado de múltiples inventarios de emisiones realizados internacionalmente, se concluye que los combustibles fósiles constituyen la principal fuente de metales en la atmósfera, con Cr, Hg, Mn, Sb, Se, Sn y Tl provenientes de la combustión de carbón. Por su parte, el Ni y V provienen

principalmente de combustibles líquidos, mientras que la producción de metales no ferrosos es la mayor fuente de As, Cd, Cu, In, y Zn.

Metodología

Los análisis fueron realizados sobre muestras de PM colectadas en filtros de cuarzo con muestreadores de alto volumen (PM_{10} -HiVol), además de muestreadores secuenciales PM_{10} y $PM_{2,5}$. Los filtros con las muestras fueron analizados utilizando la metodología de espectrometría de rayos X por energía dispersiva polarizada, EDXA de acuerdo con la norma EPA IO 3.3.

El análisis de los resultados obtenidos se hizo teniendo en cuenta la composición de la corteza terrestre y la geología del área de estudio, además de las diversas actividades antropogénicas predominantes en esta región. Además, para diferenciar el origen por actividades antropogénicas de fuentes naturales, se incluye el concepto de factor de enriquecimiento (FE), definido como la relación de la concentración normalizada de un elemento en la muestra ambiental y en la corteza terrestre, y el factor de distribución de tamaño, de los elementos ($DFINA$) que diferencia la concentración de los metales presentes en la fracción fina de la fracción gruesa de las partículas. Se utiliza también la información meteorológica para verificar su influencia sobre las concentraciones halladas.

Resultados y conclusiones

En los resultados obtenidos se destaca la presencia de plomo en el área industrial de Yumbo, donde predomina la metalurgia y los elementos propios de las actividades mineras predominantes en cada sector.



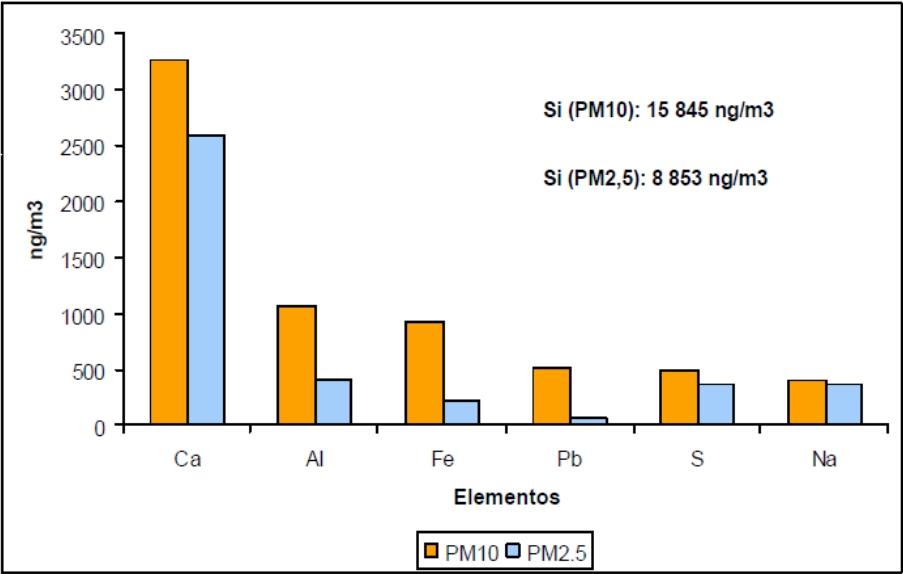


FIG. 1. Concentraciones de metales presentes en las fracciones PM_{10} y $PM_{2,5}$ en Yumbo

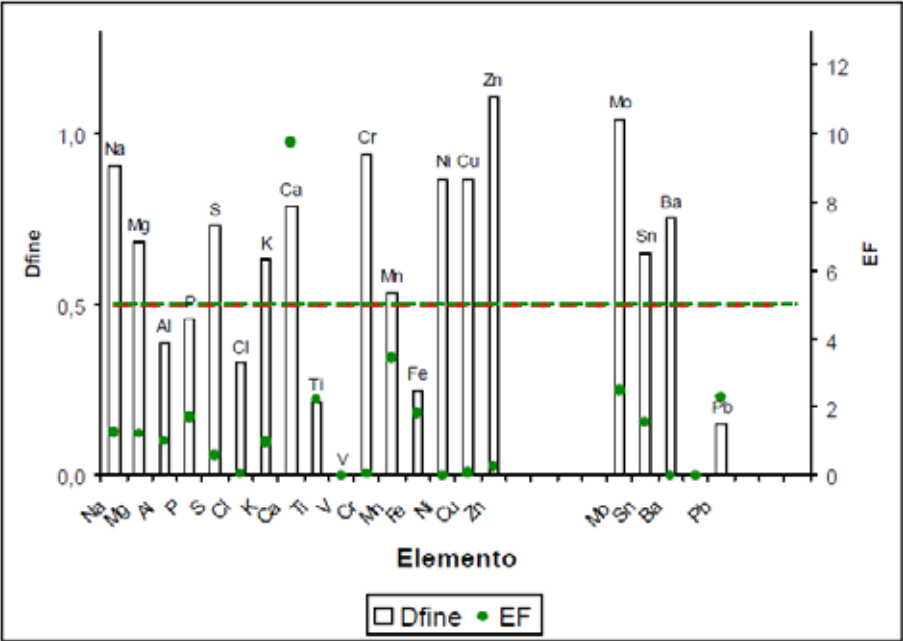


FIG. 2. Distribución de tamaño de partícula y factor de enriquecimiento, Yumbo

Bibliografía

- PACYNNA, J. M.; PACYNNA, E. G. (2001), An assessment of global and regional emissions of trace metals to the atmosphere from anthropogenic sources worldwide, *Environ Rev* 9:269-298.
- CHONG, N.-S.; SIVARAMAKRISHNAN, K.; WELLS, M. y JONES, K. (2002), *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and food chemistry*. Characterization of Inhalable Particulate Matter in Ambient Air by Scanning Electron Microscopy and Energy- Dispersive X-ray Analysis.
- FUNDACIÓN GENERAL DE APOYO A LA UNIVERSIDAD DEL VALLE, (2007), Agenda para la productividad y competitividad del distrito minero del Valle, Cali.
- FUKAI, T.; KOBAYASHI, T.; SAKAGUCHI, M. et ál. (2007, febrero), Chemical Characterization of Airborne Particulate Matter in Ambient Air of Nagoya, Japan, as Studied by the Multielement Determination with icp- aes and icp- ms. *Analytical Sciences*, v. 23.
- Particulate Matter - PM10 and PM2.5 Situation in Cyprus, disponible en: <http://www.airquality.dli.mlsi.gov.cy/Files/UploadedFiles/5%20Particulate%20Matter.pdf>.
- Intrinsic Flaws of Element Enrichment Factors (EFs) in Environmental Geochemistry (2000), *Environ. Sci. Technol.*, 34 (24), 5084-5091• DOI: 10.1021/es001339o <http://pubs.acs.org>.
- ROJAS, N. Y. (2008), *Métodos de medición de aerosoles*, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental.
- RUDNICK, R. L.; GAO, S. (2003), *Composition of the Continental Crust*. Elsevier Ltd. vol. 3, pp. 1-64.



Evaluación de la incidencia del sector de la construcción en la calidad del aire del Valle de Aburrá

1-Gómez-Colombia-1

Miriam GÓMEZ,* Enrique POSADA† y Gloria CARVAJAL‡

Palabras clave: partículas, emisión en construcción, índice de actividad, georreferenciación de construcción.

Introducción y objetivos

En todo momento de la historia de la humanidad se han arrojado materiales que pueden considerarse como contaminantes atmosféricos, sin embargo, es a partir del desarrollo industrial que ésta acción adquiere proporciones considerables, no sólo por la cantidad de contaminantes que llegan al aire, sino por su naturaleza y calidad.

La realización de un estudio sobre las condiciones que inciden en la variación de la calidad del aire no es una tarea fácil, es por su propia naturaleza un proceso complejo que incita a investigadores y expertos a profundizar rigurosamente en las diferentes metodologías que implican el planteamiento de estrategias e instrumentos de control, tendientes al mejoramiento de la calidad del aire.

* Directora del Grupo en Higiene y Gestión Ambiental Ghygam, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, dirección: carrera 48 núm. 7-51. Medellín, Colombia, teléfono: + (57-4) 3197900, ext. 230, fax: 3197908, correo electrónico: mgomez@elpoli.edu.co.

† Director de Proyectos Indisa S. A. Colombia.

‡ Ph. D. en Ingeniería de la Construcción y Gestión Ambiental y especialista en Gestión Ambiental. Universidad politécnica de Valencia, España.



Sobre esta temática se inició desde marzo de 2006, con la cofinanciación del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, un estudio sobre fuentes difusas de contaminación del aire en el Valle de Aburrá tendientes a la observación detallada de las condiciones que inciden en la emisión de material particulado como contaminante criterio en el sector de la construcción.

En este contexto las fuentes fijas, lineales y de área representan los principales focos de emisión de contaminantes atmosféricos en las ciudades del mundo, siendo entre ellas las fuentes difusas, las de mayor dificultad para su evaluación y control, debido a la inexistencia de ductos o canales para la realización de muestreos y pruebas de cálculo de la masa emitida.

Para el presente estudio se han considerado las emisiones de las obras de construcción, como objeto de investigación. Desde 1992 se han realizado actualizaciones en el estado del arte avanzándose en lo referente a la determinación de sus características fisicoquímicas, como pH, color y contenido de minerales.

El objeto de esta investigación consiste en evaluar los niveles de contaminación del aire en las zonas urbanas del Valle de Aburrá, mediante la operación de la red de monitoría de la calidad del aire y el uso de herramientas de modelación para estimar las emisiones de material particulado total proveniente de las obras de construcción sobre el área de influencia de las dichas fuentes de contaminación, mediante la implementación del Observatorio de la Actividad de la Construcción en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Metodología

La metodología incluyó varias fases: selección de fuentes y recolección de la información para obras civiles, estudio piloto en los municipios de la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, clasificación y georreferenciación de la información y procedimiento para la definición de un

índice de la actividad constructora, generación de mapas con los índices de calidad del aire por períodos seleccionados con la ubicación de las obras clasificadas por estados en el período correspondiente, estudio metodológico, definición y estimación aproximada de un factor de emisión de material particulado proveniente de la actividad constructora, con lo que se generó el mapa de emisiones de material particulado total proveniente de la actividad de la construcción en el Valle de Aburrá entre marzo del 2006 a noviembre del 2007.

Resultados y conclusiones

Los resultados obtenidos en el desarrollo de la metodología fueron los siguientes: inventario de obras mayores a 1000 m², estimación del índice de actividad de construcción para los municipios del Valle de Aburrá, estimación de un factor de emisión de material particulado para la actividad de la construcción y, finalmente, cálculo de las emisiones y análisis de correlación entre éstas y las concentraciones de material particulado en un formato simplificado como instrumento de gestión ambiental para el acompañamiento y control del sector de la construcción en el Valle de Aburrá.

El inventario de obras civiles 2007 para el Valle de Aburrá comprende un valor aproximado de 779 obras, de las cuales 236 fueron monitoreadas, siendo el trimestre de noviembre del 2006 a enero del 2007 el de mayor actividad.

El índice de actividad de la construcción (IA), definido en el presente estudio como la relación entre el área en construcción y el área habitada en una zona dada, fue calculado para las seis zonas del municipio de Medellín, según el Plan de Ordenamiento Territorial (POT), y para los restantes municipios de la jurisdicción, resaltándose alta variabilidad de la actividad constructora, con un incremento significativo del área construida con relación al área habitada, durante los meses de julio a diciembre. En la figura 1 se presenta esta información para el municipio de Medellín.



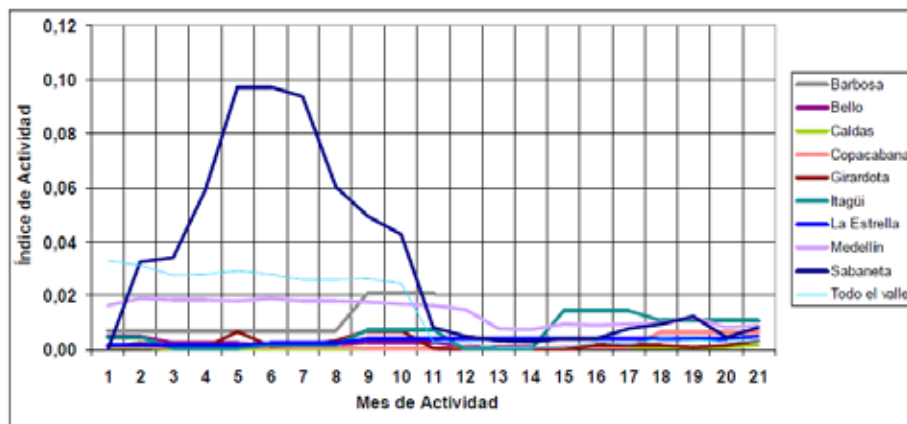


FIG. 1. Índice de la actividad de la construcción Valle de Aburrá, marzo del 2006, noviembre del 2007

Un factor de emisión de material particulado proveniente de la actividad de la construcción, fue estimado en $0,084 \text{ kg/m}^2\text{-mes}$, basado en la aplicación de factores encontrados en la revisión bibliográfica, validación de emisiones estimadas en la región, comparación con las concentraciones de PST en el Valle de Aburrá y el aporte de la actividad de la construcción mediante la aplicación del modelo fuente receptor MCF 1.0.

A partir del índice de actividad y la estimación del factor de emisión, se construye el mapa de emisiones de material particulado proveniente de la construcción para el Valle de Aburrá (fig. 2); para los años 2006 y 2007, evidenciándose que durante el 2006 la actividad de la construcción generó mayores emisiones hacia el sur del Valle; en el año 2007 las escalas predominantes de las emisiones en Medellín y el Valle de Aburrá están en el rango $0,00451\text{-}0,01140 \text{ kg/m}^2 \text{ año}$ y $0,01141\text{-}0,02300 \text{ kg/m}^2\text{.año}$, respectivamente.

Matemáticamente no fue posible encontrar un coeficiente de correlación que evidenciara una directa relación emisión-concentración para el sector de la construcción en todo el período de estudio, demostrándose la complejidad del problema de la calidad del aire.

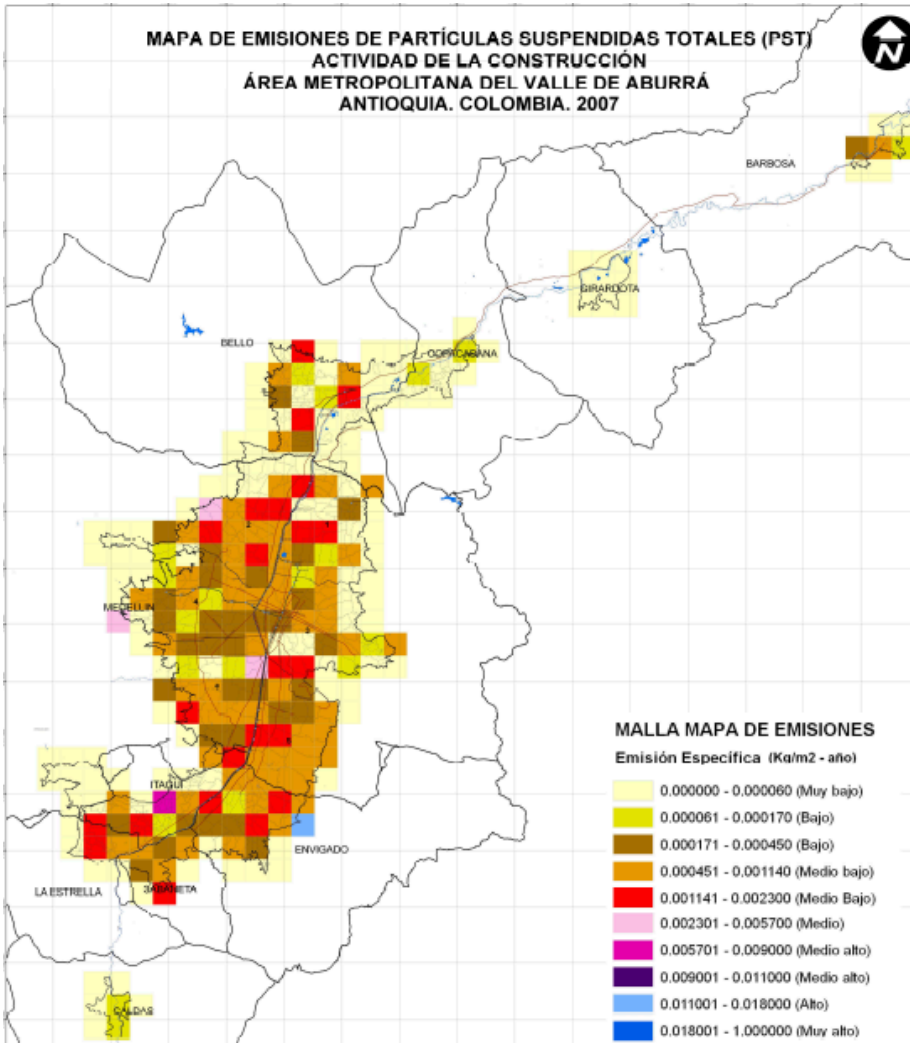


FIG. 2. Mapa de emisiones de partículas suspendidas totales (PST) generadas por la actividad de la construcción. Valle de Aburrá Antioquia, Colombia, 2007

El desarrollo del seguimiento y acompañamiento de la construcción generó un boletín periódico (*Observatorio de la Actividad Constructora*), como herramienta de planeación y de gran impacto en la evaluación del plan de mejoramiento de la calidad del aire, promovido por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Bibliografía

- AP-42 Proveniente de EPA, disponible en: <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/>.
- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (1999), *Plan estratégico ambiental metropolitano* (peam), Medellín, Colombia Limpia Ltda, Colnet Ltda., 299 p.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá, subdirección ambiental.
- BEDOYA, J.; ÁNGEL, C. y HENAO, J. (1986), Modelo de Dispersión Climatológica para Estudiar la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá (Colombia), *Revista Ainsa No. 12*.
- BOTERO, J. (1985), Modulo de Materiales de la Construcción, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Medellín.
- BRAND, P. (2001), La ambientalización de la planeación urbana, en: *Trayectorias urbanas en la modernización del Estado en Colombia*, Medellín, Universidad Nacional de Colombia, TM Editores, pp. 267-305.
- CÁMARA COLOMBIANA DE LA CONSTRUCCIÓN (CAMACOL), Censos 51,52, 53 y 54.
- CONSEJERÍA DEL MEDIO AMBIENTE COMUNIDAD DE MADRID (2001), *Estudio de Correlación de Partículas PM-10 y PM-2,5 Campaña año 2000*, Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, Madrid.
- CONTRALORÍA GENERAL DE LA REPÚBLICA (2001), *Estado de los recursos naturales y del medio ambiente. Ciudades y biodiversidad*, Bogotá D. C., 292 p.
- CONTRALORÍA GENERAL DE MEDELLÍN (2001), *Informe estado de los recursos naturales y del medio ambiente del municipio de Medellín*, Impacto ambiental de la gestión municipal 2000. Medellín. 229 p.
- CORANTIOQUIA (1997), *Plan de gestión ambiental regional 1998-2006*, Medellín, 494 p.
- Curso Gestión de la calidad del aire en las ciudades de América Latina* (2002), Tercera edición.
- DAGMA AGENDA AMBIENTAL (1998), Comunas 6 y 7, ITOpapeles & Cia. Ltda, Cali.
- DEGREMONT COLOMBIA S. A. (2001), *Evaluación de Calidad de Aire en la zona de influencia de la Planta de Aguas Residuales Cañaveralejo*, Cali.

Diagnóstico de las canteras del Valle de Aburrá; guía diccionario técnico de ingeniería civil (1996), División de investigaciones y asesorías. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad de Medellín.

DRAPER, N.; SMITH, H. (1998), *Applied Regression Analysis*, 3Ed, Wiley, New York. 1998.

ECHEVERRI, C. MOLINA, P. SILDARRIAGA, J. (2001, diciembre), Evaluación del material particulado en suspensión en el Valle de Aburrá. En: Red de Vigilancia de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá. Red de Monitoreo de la Calidad del Aire. *Boletín informativo* núm. 8., pp. 29-45,

Factor de emisión estimado para dos áreas del estado de California (EE. UU.), disponible en: <http://www.arb.ca.gov/ei/areasrc/fullpdf/full7-7.pdf>.

Factores de emisión para construcciones de tipo residencial suministrado por EPA, disponible en: <http://www.epa.gov/ttn/chief/eiip/techreport/volume09/residn3.pdf> suministrado por EPA, en <http://www.epa.gov/ttn/chief/eiip/techreport/volume09/residn3.pdf>.

GÓMEZ, M. (2001), Software modelo de correlación de fuentes de material particulado y muestras tomadas en el medio ambiente. En: Red de Vigilancia de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá. Red de Monitoreo de la Calidad del Aire. *Boletín informativo* núm. 8, pp. 21-26.

GROOMBRIDGE, B. (1992), *Global Biodiversity, Status of the Earth's Living Resources*. World Conservation Monitoring Centre London. Chapman and Hall, London, 585 pp.

KUHNS, H.; ETYEMEZIAN, V.; GREEN, M. et ál. (2003), Vehicle-Based Road Dust Emission Measurement - Part II: Effect of Precipitation, Wintertime Road Sanding, and Street Sweepers on Inferred PM10 Emission Potentials from Paved and Unpaved Roads, *Atmospheric Environment*, 37 (32), 4573-4582, 2003.

Mapa e intervalos de emisión de PM10 para la costa sur de California, condado Orange (EE. UU.), disponible en: http://www.esri.com/mapmuseum/mapbook_gallery/volume20/environment4.html.



NEVER DE NOEL (1997), *Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire*, México, McGraw-Hill.

RAMÍREZ, J.; TORO, M. (2001), Estudio de la formación de contaminantes fotoquímicos mediante la modelación matemática y sus efectos en la salud del Valle de Aburrá. En: Red de Vigilancia de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá. Red de Monitoreo de la Calidad del Aire. *Boletín informativo* núm. 8, pp. 46-58.

RAMÍREZ, J.; GÓMEZ, M. (2001), Índice de calidad atmosférica para el Valle de Aburrá. Un primer acercamiento. En: Red de Vigilancia de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá. Red de Monitoreo de la Calidad del Aire. *Boletín informativo* núm. 7, pp. 13-18.

Material particulado, normatividad y realidad en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá

1-Correa-Colombia-2

Mauricio CORREA,* Julio SALDARRIAGA† y Francisco MOLINA‡

Palabras clave: partículas totales, PM_{10} , $PM_{2,5}$ *

Introducción y objetivos

La normatividad ambiental sobre calidad del aire debe estar diseñada de acuerdo con la realidad de cada región; dicha normatividad debe tener el propósito fundamental de orientar las acciones dirigidas a la reducción de los niveles de contaminación atmosférica, principalmente para aquellas zonas densamente pobladas. Estas regulaciones deben establecer los niveles máximos de concentración que no deben ser excedidos durante un período de tiempo determinado con el fin de controlar los riesgos a la salud de las comunidades expuestas. Los estándares de calidad del aire deben ser coherentes con los niveles actuales de exposición, la disponibilidad de tecnología para su cumplimiento, los costos de control y las variables socioeconómicas y culturales de cada región (Inche, 2009). Durante las últimas décadas, la medición de la concentración de partículas suspendidas en la atmósfera ha sido uno de los principales criterios para definir el estado de la calidad del aire en las principales ciudades del mundo. Estas partículas son una mezcla compleja

* Profesor de la Escuela Ambiental, Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, Colombia, dirección: Escuela Ambiental, Universidad de Antioquia, A. A. 1226 Medellín, Colombia, teléfono: +(57-4)2195570, fax: +(57-4)2195574, correo electrónico: mcorrea8a@gamial.com, mcorrea@udea.edu.co.

† Profesor de la Escuela Ambiental, Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia, Colombia.

‡ Profesor de la Escuela Ambiental, Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia, Colombia.



Página anterior

Página siguiente



Menú



de material sólido o líquido suspendido en el aire. Dichas partículas varían en tamaño y composición dependiendo de su origen, de los mecanismos de formación y de las condiciones meteorológicas. Las partículas en la atmósfera se pueden clasificar en: partículas suspendidas totales (PST), las cuales poseen un diámetro igual o inferior a $100\ \mu m$, partículas respirables (PM_{10}) con diámetro menor de $10\ \mu m$ y partículas finas en las que se encuentran tanto las $PM_{2,5}$ (diámetros de partícula inferior a 2,5 micras) y las $PM_{1,0}$ (diámetros de partícula inferior a 1,0 micras) (Echeverry, 2001).

Varios estudios epidemiológicos en la última década han reportado que existe relación entre la exposición a corto plazo a PM_{10} y $PM_{2,5}$ con el aumento en la morbilidad y mortalidad, particularmente entre aquellas personas que presentan enfermedades respiratorias y cardiovasculares (Pope III, 2002 y 2004; Rosales, 2001). Según la OMS, se estima que entre el 1 y el 4% de la mortalidad de la población en ciudades de América Latina (alrededor de 200.000 personas mueren tempranamente cada año), es atribuible a la exposición a altos niveles material particulado suspendido en el aire (Rojas, 2005).

En Colombia, la normatividad ambiental ha avanzado a remolque de la legislación de los países en desarrollo. En la década de los años setenta, mientras que la EPA en los Estados Unidos decreta la Ley del Aire Limpio, en Colombia se legisla en forma general sobre los recursos naturales y la calidad del ambiente (Código Nacional de los Recursos Naturales, decreto 2811 de 1974; Código Sanitario Nacional, ley 9ª de 1979), y sólo en la década de los años ochenta se legisla en forma específica sobre el recurso aire (decreto 2 de 1982). Durante el 2006 aparece la resolución 601, la cual endurece la norma para el límite máximo permisible diario de PST , pasando de 400 a $300\ \mu g/m^3$; mientras que el promedio anual permanece sin modificación en $100\ \mu g/m^3$. En la misma resolución se inicia la aplicación de la norma para PM_{10} : $70\ \mu g/m^3$ promedio anual (este valor disminuirá en los años 2009 y 2011 a 60 y $50\ \mu g/m^3$, respectivamente) y $150\ \mu g/m^3$ como límite máximo diario.

En el contexto latinoamericano, países como Brasil, Chile y México ostentan una normatividad aún más estricta que la colombiana para valores límites permisibles de PST (Brasil: $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual y $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ diario; Chile y México: $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual y $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ diario). Para PM_{10} , sólo países como Brasil, Chile y México cuentan con valores máximos permisibles, los cuales están en consonancia con los estándares propuestos por agencias internacionales, que establecen $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio anual y $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ diario. Además, internacionalmente algunas agencias, incluyendo la EPA de los Estados Unidos y la OMS, también regulan las partículas con diámetro igual e inferiores a 2,5 micrones ($PM_{2,5}$), con valores máximos permisibles que están por debajo de los $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En este trabajo se realizó un análisis crítico de la dinámica normativa en el ámbito nacional sobre calidad del aire, comparando dicha evolución con la realidad de la calidad del aire en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Metodología

Se llevó a cabo un análisis comparativo entre los estándares nacionales establecidos para PST , PM_{10} e internacionales para $PM_{2,5}$ frente a los resultados de las mediciones ambientales para diferentes estaciones de calidad del aire localizadas en el interior del Valle de Aburrá. Posteriormente, se analizan dichos resultados a la luz de las medidas desarrolladas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá con el objetivo de alcanzar una menor concentración de material particulado. Finalmente, se proponen diferentes estrategias que pueden ser adoptadas para lograr el cumplimiento de la norma en forma racional.

Resultados y conclusiones

La figura 1 presenta la comparación entre las concentraciones ambientales de partículas en el centro de la ciudad de Medellín para el año 2008 (Estación



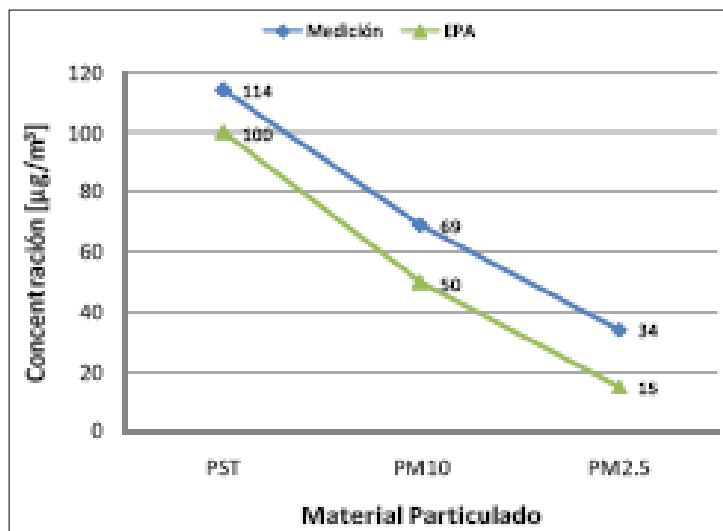


FIG. 1. Comparación de las concentraciones fijadas por la norma y las concentraciones ambientales en el centro de Medellín (estación Aguinaga, año 2008)

Aguinaga, Redaire 2001-2009) y la normatividad existente en Colombia o propuesta internacionalmente.

En la tabla 1 se presenta, para los diferentes tipos de material particulado, el grado de reducción que debe alcanzarse para cumplir con la norma. Es obvio que en la medida que nos desplazamos hacia partículas más finas, el cumplimiento de la norma exige reducciones mayores y, por lo tanto, mayor dificultad para alcanzar la norma. Las estrategias direccionadas hacia el endurecimiento de la normatividad para las partículas finas en el contexto nacional y regional, deben estar soportadas por trabajos de investigación sobre las fuentes de emisión y el monitoreo y caracterización del material particulado. Lo anterior se hace indispensable, dado que los estándares para partículas de menor tamaño implican un mayor grado de dificultad de cumplimiento.

De acuerdo con Bachmann (2007), la experiencia exitosa de los Estados Unidos en la gestión de la calidad del aire se fundamenta en un modelo de

TABLA 1. Porcentaje de reducción para cumplir la normatividad

Valores	PST	PM ₁₀	PM _{2,5}
Norma (ug/m ³)	100	50	15
Centro de Medellín (estación Aguinaga, año 2008)	114	69	34
% de reducción para cumplir norma	12,2	27,5	55,9

mejoramiento continuo que en primer lugar fija la normatividad a cumplir; luego determina la reducción necesaria en las emisiones para alcanzar la norma y desarrolla los programas específicos para lograr dichas metas de reducción; posteriormente, implementa y hace cumplir dichos programas; por último, realiza el seguimiento y evalúa los resultados iniciando un nuevo ciclo de mejoramiento de la calidad del aire. En el centro del modelo descrito se encuentra la investigación científica y tecnológica como motor del proceso de mejoramiento continuo. Aplicando el modelo anterior, los Estados Unidos han logrado cumplir con las normas de calidad del aire para PST alcanzando concentraciones promedio anuales del orden de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a partir del año 1982 y para PM₁₀ a partir del año 1990, con concentraciones promedio anuales del orden de 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bachmann, 2007).

En Colombia y específicamente en el Valle de Aburrá luego de 27 años de contar con normatividad específica (decreto 2 de 1982) hemos avanzado muy tímidamente en las acciones para determinar la reducción de contaminantes y desarrollar programas concretos para lograr dichas reducciones. Muestra de lo anterior es que a pesar de la mayor exigencia en las normas para el contaminante material particulado, a la fecha no hemos logrado cumplir con la norma para PST y cada vez es más difícil cumplir con las normas para PM₁₀ y PM_{2,5}. La realidad nos indica que es necesario hacer una reflexión seria sobre el modelo de gestión de calidad del aire que estamos utilizando y así como emulamos las normas internacionales debemos construir un modelo de gestión responsable de la calidad del aire que tenga en cuenta los siguientes elementos: aseguramiento de calidad en las mediciones (validación de



las metodologías); gradualidad, fijar en forma gradual las metas de reducción de la concentración de partículas en el ambiente; fortalecer la capacidad de investigación y desarrollo tecnológico en las universidades; implementación de medidas que impacten el centro del problema, en este caso que impacten la generación de partículas finas: transporte más limpio y mejores combustibles y concertación con los generadores del problema.

Bibliografía

- BACHMANN. J. (2007, junio), Will the Circle Be Unbroken: A History of the U.S.National Ambient Air Quality Standards. *J. Air & Waste Manage. Assoc.*, v. 57:652–697.
- ECHEVERRY, C. A.; MOLINA, F. y SALDARRIAGA, J. C. (2001, diciembre), Evaluación del Material Particulado en Suspensión en el Valle de Aburrá. En: *Boletín Redaire* núm. 8.
- INCHE J. L. (2009), *Gestión de la calidad del aire causas, efectos y soluciones*, disponible en: http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/libros/geologia/gestion_calidad/contenido.htm.
- POPE III, C. et ál. (2002), Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA*, March 6, 2002, v. 287, No. 9.
- POPE III, C. et ál. (2004), Cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to particulate matter air pollution. *Circulation*, v. 109.
- ROJAS N. Y. (2005, diciembre), *Material particulado atmosférico y salud. Una introducción a la problemática de la contaminación del aire por material particulado*. Universidad de los Andes.
- Red de Vigilancia de la Calidad del Aire en Antioquia. *Boletines informativos* núms. 6 a 17, 2001-2005.
- ROSALES CASTILLO, J. A. (2001, nov.-dic.), Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencias de estudios epidemiológicos, *Salud Pública de México*, v. 43, núm. 6.

Desarrollo del protocolo nacional de inventario de emisiones

1-Amaya-Colombia-2

Manuel AMAYA,* Helver REYES[†] y Francisco LEAL[‡]

Palabras clave: planes de gestión de la calidad del aire (PGCA), inventarios de emisiones (IE).

Introducción y objetivos

El Protocolo Nacional de Inventario de Emisiones parte de esfuerzos conjuntos del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), el Instituto de Estudios Ambientales (Ideam) y las autoridades ambientales y ha llevado un proceso de concertación de más de un año, éste permitirá estandarizar el desarrollo de este tipo de catastros bajo condiciones análogas de modo que la información sea comparable.

El desarrollo del protocolo fue contratado por el Fondo Nacional del Ganado (Fonade) con fondos de la banca multilateral (Banco Mundial), con la interventoría del MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial). Para el desarrollo del contrato fue favorecida en una licitación internacional la firma consultora de Colombia K2 Ingeniería Ltda.

* Ingeniero civil, Esp. Ing. Ambiental Universidad Industrial de Santander. Gerente general y consultor de la firma k2 Ingeniería Ltda., carrera 36 núm. 36-28, Bucaramanga, teléfono: 6352870, fax: 6351812, correo electrónico: info@k2ingenieria.com.

[†] Ingeniero civil de la Universidad Nacional de Colombia, especialista en Ingeniería Ambiental de la misma universidad, Curso especializado en Gestión de Residuos Centros Urbanos, coordinación Grupo Gestión Calidad de Aire MAVDT.

[‡] Ingeniero civil de la Universidad Industrial de Santander, especialista en Finanzas de la Universidad Eafit, Consultor de la firma k2 Ingeniería Ltda.



Página anterior

Página siguiente



Menú



Un aspecto importante del protocolo desarrollado es que se ha compatibilizado con el Protocolo Nacional de Monitoreo y Vigilancia de la Calidad del Aire con el eje central de los planes de gestión de la calidad del aire permitiendo que no se conviertan en esfuerzos aislados sino en herramientas complementarias que se centren en el mejoramiento de la calidad del aire.

Metodología

Este proyecto comprendió varias etapas cuyo fin último fue plantear un Protocolo Nacional para el Desarrollo de Inventarios de Emisiones adaptado a las condiciones del país. En él se estudiaron los inventarios realizados por varias instituciones nacionales junto con la experiencia de K2 Ingeniería Ltda. y un grupo de consultores reunidos para el desarrollo del proyecto que luego de juntar los elementos de experiencias en Colombia, experiencias internacionales, bibliografía nacional e internacional y la visión del MAVDT planteó un documento adaptado a las condiciones del país.

Las etapas seguidas para el desarrollo de este proyecto fueron:

1. Evaluación de información bibliográfica técnica existente.
2. Revisión de inventarios existentes desarrollados en el país: Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Bucaramanga, Antioquia, Cundinamarca y Cesar.
3. Planteamiento del nuevo protocolo.
4. Validación.

Resultados y conclusiones

Se desarrolló un conjunto de manuales que resumieron las técnicas, métodos y procedimientos para la construcción, revisión y actualización de inventarios de emisiones. Incluyó todas las probables fuentes de emisión que contribuyen a la contaminación del aire, teniendo en cuenta los



FIG. 1. Protocolo para la elaboración de inventarios de emisiones

contaminantes establecidos por las normas de calidad del aire, de emisiones y los contaminantes evaluados como peligrosos en cada sector o actividad. El protocolo aseguró la recopilación y diseminación de información, utilizando procedimientos estándar.

El estudio de los protocolos existentes en el país unido al estudio de experiencias internacionales permitió adaptarlo a las condiciones actuales de Colombia. Los documentos aplican no sólo a autoridades ambientales sino a consultores y laboratorios que desarrollan mediciones de calidad del aire así como industrias emisoras de contaminantes atmosféricos o empresas que estén obligadas a hacer gestión específica en calidad del aire.

El Protocolo para la Elaboración de Inventarios de Emisiones está constituido por una serie de manuales que contienen lineamientos, fundamentos y procedimientos para el desarrollo de IE en Colombia. Los manuales contienen las siguientes temáticas:

- Manual de fundamentos y planeación de inventarios de emisiones: se explican los fundamentos de un inventario de emisiones y se dan lineamientos de la manera en que debe llevarse a cabo. Se definen las características de éste, tales como el tipo de contaminantes, tipo

de fuentes, la distribución temporal y espacial de las fuentes de emisiones, etcétera.

- Manual de inventario de fuentes según propósito: documento en el que se plantean consideraciones técnicas para realizar inventarios de fuentes de emisión de material contaminante, según el propósito o interés que se tenga.
- Manual de bases técnicas para el programa de inventarios de emisiones: documento anual que contiene las bases técnicas y requerimientos de información para realizar los inventarios de emisiones. Incluye las técnicas de estimación de emisiones aplicables a diversos tipos de fuentes y contaminantes, métodos para la recopilación de la información, etcétera.
- Manual de inventario de fuentes puntuales: describe y explica las diferentes metodologías para obtener emisiones de fuentes fijas puntuales.
- Manual de inventario de fuentes difusas: describe y explica las diferentes metodologías para obtener emisiones de fuentes fijas dispersas.
- Manual de inventario de fuentes móviles: describe y explica las diferentes metodologías de cálculo de emisiones de este tipo de fuentes, utilizando factores y modelos.
- Manual de inventario de fuentes naturales: describe y explica las diferentes metodologías de cálculo de emisiones de este tipo de fuentes.
- Manual de evaluación del programa de inventario de emisiones: explica la forma de aplicación de control y aseguramiento de la calidad, así como de la determinación de la incertidumbre.
- Manual guía para el almacenamiento y manejo de la información de los inventarios: plantea la forma de gestión de los datos en un inventario de emisiones.
- Manual de documentación de inventario de emisiones: describe los formatos que se requieren para el desarrollo de las diferentes etapas de un IE.

Sesión 12:
Calidad del aire y transporte II

Desarrollo de un modelo matemático para la estimación de los niveles de ruido procedente del tráfico rodado

Inspección y mantenimiento para la reducción de emisiones gaseosas en una flota de camiones medianos diésel

Calidad de la conversión para el aprovechamiento ambiental del gas natural vehicular

Evolución reciente y perspectivas del mercado del carbono 2009

Desarrollo de un modelo matemático para la estimación de los niveles de ruido procedente del tráfico rodado

8-Zuluaga-Colombia-1

Claudia L. ZULUAGA,* Mauricio A. CORREA† y José F. JIMÉNEZ‡

Palabras clave: ruido urbano, tráfico vehicular, modelo predictivo.

Introducción y objetivos

En Colombia, durante las últimas décadas, han gobernado diferentes factores sociales y económicos que han desencadenado masivos desplazamientos de personas desde las zonas rurales hacia los principales núcleos urbanos. Este fenómeno ha derivado en un rápido aumento de la población, un incremento acelerado del parque automotor, un alto índice de construcción de edificaciones y obras civiles y una gran actividad industrial y comercial, lo cual ha propiciado un ambiente urbano con altos niveles de contaminación acústica.

Este trabajo presenta un análisis del impacto producido por el tráfico rodado y su composición, sobre los niveles de presión sonora encontrados en el área urbana del municipio de Envigado (Antioquia, Colombia). Diferentes parámetros acústicos (L_{eq} [dBA], L_{10} [dBA] L_{90} [dBA]), distribuidos

* IS, M. Sc. (c), Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental, Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental (giga) Universidad de Antioquia, Colombia, dirección: calle 67 núm. 53-108, bloque 20-345, Medellín, Colombia. Universidad de Antioquia, Escuela Ambiental, teléfono: +(57-4) 219 55 92, fax: +(57-4) 211 90 28, correo electrónico: czulu@udea.edu.co.

† IS, M. Sc., Ph. D.(c). Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental, Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental (giga) Universidad de Antioquia, Colombia.

‡ IC, M. Sc. Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.



Página anterior

Página siguiente



Menú



en el espacio y en el tiempo, fueron cuantificados en las inmediaciones de las principales vías de la zona centro del municipio. Los niveles promedio de presión sonora fueron evaluados y analizados respecto a la legislación ambiental vigente sobre ruido ambiental. Adicionalmente, a partir de las observaciones de campo se pudo obtener un modelo matemático, con un buen coeficiente de correlación, para estimar los niveles de presión sonora ambiental en centros urbanos caracterizados por su alto flujo vehicular.

Metodología

La metodología adoptada para la evaluación del ruido ambiental fue la sugerida por Brown y Lam (1977), en la cual se definen dos estrategias para la selección de los puntos de medición. La primera consiste en configurar los puntos de evaluación en una malla rectangular, en la cual los nodos coinciden exactamente con los cruces viales de la zona objeto de estudio. La segunda estrategia, considera una clasificación de áreas de atención prioritaria, teniendo presente los usos del suelo, la densidad demográfica, la proliferación de quejas y las vías con mayor demanda vehicular. Este procedimiento permitió seleccionar un total de 19 puntos de medición con las siguientes características: vía pavimentada y en buen estado; velocidad de circulación vehicular, entre 20 y 50 km/h; pendiente promedio de la vía, alrededor de 2%, vías estrechas, entre 6,5 y 10,5 m y presencia de superficies reflectantes en ambos lados de la vía, con altura promedio de 5,5 m. Se tomó como referencia la metodología propuesta en la resolución 0627 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial para la evaluación de ruido ambiental y se realizaron aforos vehiculares, en los cuales se discriminó la composición del tráfico en vehículos livianos, pesados y motos.

Mediante la determinación de los parámetros estadísticos: error cuadrático medio (RMS), error medio absoluto (MAE), error medio absoluto normalizado (NMAE), se evaluó el comportamiento de los diferentes de modelos predictivos de ruido reportados por la literatura para verificar su adaptabilidad a la

zona de estudio. Posteriormente, se utilizó la prueba de Mann-Whitney, para determinar la correspondencia entre los valores medidos y simulados. Los modelos fueron aplicados a un total de 239 datos y se verificó su acople con los valores medidos, dentro de un rango de ajuste de ± 3 dB (González, 2000).

Una vez encontrado que los modelos existentes no son adecuados para describir los niveles de ruido producto del tráfico vehicular, se propone desarrollar un modelo matemático específico para la zona de estudio. Los principales parámetros físico-espaciales y acústicos fueron organizados para obtener los coeficientes de correlación entre las diferentes variables, encontrando que el flujo vehicular total es la variable que tiene el mayor peso y que determina los niveles de ruido generados por el tráfico rodado, bajo las condiciones propias del municipio de Envigado.

Resultados

El modelo matemático para la predicción de los niveles de ruido por tráfico vehicular parte del modelo teórico generalista, donde el flujo total de vehículos es la única variable independiente. Se trabajó con un conjunto de 239 datos referidos al nivel de presión sonora y tráfico vehicular en un período de referencia de una hora. Por regresión se determinaron los coeficientes a y m obteniendo un coeficiente R de correlación de 0,62 y un acople del 92,1% de los datos dentro del rango de ± 3 dBA. Dado que el ajuste de correlación R no es un indicador adecuado para el análisis de los datos, puesto que los datos se distribuyen en forma de "manchas" y no de rectas (González, 2000), se aplicó la prueba de Mann-Whitney a las series de datos, obteniendo que éstas son comparables para un nivel de confianza α del 95 %.

El nivel sonoro continuo equivalente ($Leq,A, 1h$) en la zona centro del municipio de Envigado puede ser descrito dentro de un rango de ajuste de ± 3 dBA mediante la expresión:

$$Leq = 40,813 + 10,239 \log Q$$

Conclusiones

Los niveles de ruido ambiental medidos en los diferentes puntos evaluados en el zona céntrica del municipio de Envigado, el 85% de los casos, sobrepasa los límites máximos permisibles establecidos en la legislación para zonas clasificadas como de uso comercial, el cual es de 70 dB(A) para la jornada diurna. El 15% restante de los puntos evaluados, los niveles de ruido se encontraron muy cerca del límite establecido.

Para el caso de zonas de uso residencial, el 100% de los puntos evaluados, se encuentran entre 5 y 9 dB(A) por encima del valor máximo permisible de ruido ambiental (65 dB(A)) durante la jornada diurna.

Es evidente que los altos niveles de ruido ambiental en la zona centro del municipio de Envigado, son en un alto porcentaje responsabilidad del tráfico rodado. Lo anterior, permite concluir, que existe una delicada problemática de contaminación acústica en el sector. El nivel promedio equivalente de ruido, en zonas urbanas caracterizadas por vías de alto flujo vehicular, puede ser estimado con una razonable buena aproximación, mediante la aplicación del modelo matemático desarrollado, conociendo la cantidad y composición de la flota vehicular que transite por allí.

El modelo de predicción de ruido por tráfico vehicular se constituye en una herramienta clave para la gestión del ruido en el municipio de Envigado y el direccionamiento de acciones para la mejora de la calidad acústica y la calidad de vida de la comunidad en general.

Bibliografía

- ACEVEDO, J. et ál. (1978), El Ruido y su Relación con el tráfico en el Centro de Medellín. Medellín, *Contaminación Ambiental*, núm. 4, CIDI, UPB, pp. 26-34.
- ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ (AMVA) (2005), *Elaboración de los Mapas Acústicos y de Concentración de Monóxido de Carbono para los Municipios*

de la Jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Medellín, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.

BEDOYA, J. et ál. (1999), *Análisis del Ruido en el Centro de la Ciudad de Medellín*. Cali, 46 Congreso Sociedad, Ambiente y Futuro, Acodal, 29 al 31 de octubre del 2003, 12 pp.

BROWN, A. and LAM, K. C. (1977), *Urban noise surveys*. Applied Acustics, Australia. 20.

CARDONA, L. et ál. *Evaluación de la Reducción de Emisiones Contaminantes Atmosféricos por las Nuevas Normas de Tránsito en la Ciudad de Medellín*. Medellín, Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Mecánica.

CARDONA, J. M. et ál. (2005), *Metodología para Evaluación del Ruido Ambiental Urbano en la Ciudad de Medellín*, Medellín, Facultad Nacional de Salud Pública Héctor Abad Gómez, Universidad de Antioquia.

GONZÁLEZ, E. (2000), *Contaminación Sonora en ambiente urbano: Optimización del tiempo de muestreo en Montevideo y desarrollo de un modelo predictivo en un entorno atípico* [tesis doctoral], Universidad de la República Oriental del Uruguay, Montevideo, Uruguay.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA y DESARROLLO TERRITORIAL (2006), Resolución 0627, Bogotá.



Inspección y mantenimiento para la reducción de emisiones gaseosas en una flota de camiones medianos diésel

4-Parra-Colombia-1

Juan Carlos PARRA*

Palabras clave: diésel, inspección, mantenimiento, reducción emisiones.

Introducción y objetivos

Es una creencia común que la combustión de un diésel de mala calidad no puede lograr un bajo nivel de opacidad, tanto en vehículos nuevos como en antiguos. Algunas pruebas oficiales confirman esta creencia, pero ¿es esta situación debida únicamente a la calidad del diésel? O ¿las condiciones de mantenimiento de algunos motores también contribuyen a la obtención de estos altos niveles de opacidad?

En las condiciones de Bogotá, el diésel vendido en las estaciones de servicio tiene niveles de azufre con valores promedio de 500 ppm[1] , pero en otras ciudades del país los niveles son aún mayores (hasta 4500 ppm[2]). Con esta calidad de diésel no parecería probable lograr los nuevos niveles de calidad del aire exigidos por la autoridad ambiental en el país.

Muchas opiniones autorizadas han manifestado que con un combustible de baja calidad, no es posible obtener valores bajos de opacidad, pero la identificación de aspectos claves en las tareas de mantenimiento pueden reducir los índices de opacidad a pesar del alto contenido de azufre en el diésel.

* Ingeniero jefe VRTec Ltd., Colombia, Coca Cola Femsa S. A. de C. V., dirección: carrera 47 núm. 22A-99 Of. 503 Bogotá D. C., telefono (57- 1) 337 9230, fax (57-1) 446 6191, correo electrónico: vrtec@etb.net.co.



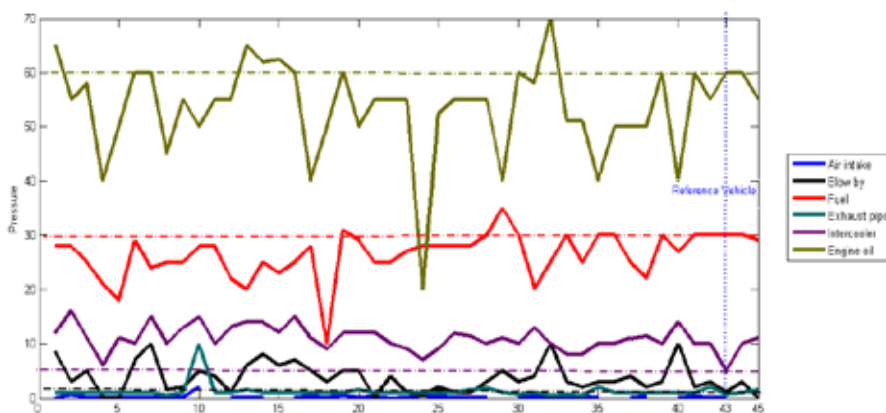


FIG. 1. Mediciones de presión para los vehículos DT 466 en ralentí

Metodología empleada

En aras de admitir o negar esta afirmación, las tareas de inspección recomendadas por el fabricante fueron introducidas en el programa regular de mantenimiento de diez vehículos pertenecientes a una compañía transportadora de alimentos en Bogotá, para verificar si los valores sugeridos eran mantenidos a las condiciones de Bogotá (2550 m snm). Estas mediciones mostraron unos valores de dispersión muy altos ($> a 35$), razón por la cual se decidió realizar la medición de temperaturas superficiales en 17 puntos diferentes del motor con el fin de tener información más detallada acerca del estado de éste. Para establecer los valores que deberían ser obtenidos en dichas condiciones y probar que un bajo índice de opacidad podría ser alcanzado, un índice de correlación entre temperatura y presión fue introducido para relacionar problemas presentes en cuatro de los principales sistemas del motor.

Resultados y conclusiones

Como resultado de la introducción de índices de sistema, tareas específicas de mantenimiento fueron realizadas en dichos vehículos obteniendo así

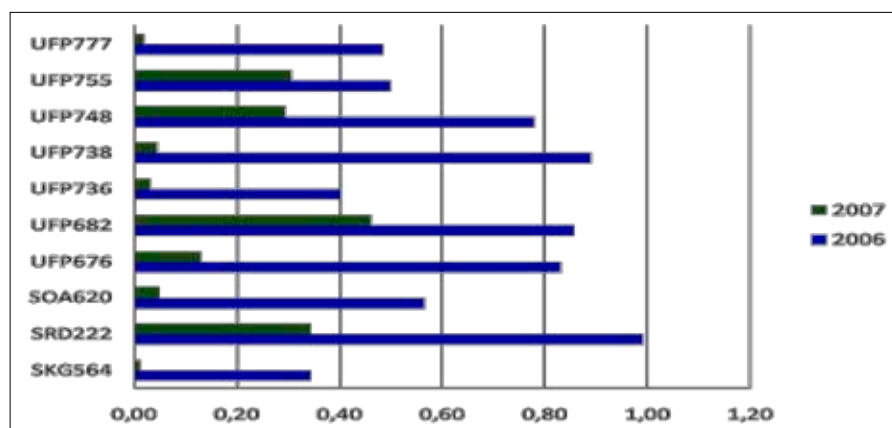


FIG. 2. Comparación de los datos de opacidad de los vehículos del estudio según resultados de la autoridad ambiental 2006-2007

una significativa reducción en el índice de opacidad el cual fue verificado por la autoridad ambiental entre dos mediciones realizadas con intervalo de un año: noviembre del 2006 y noviembre del 2007; la inclusión de parte de estas tareas específicas en el resto de la flota de vehículos de dicha compañía permitió una importante reducción en el índice global de opacidad.

Como resultado de la introducción de dichos parámetros de medición en estos vehículos se obtuvo una reducción de 35% en el valor promedio de la opacidad de los vehículos seleccionados, y de estos en solo tres vehículos se realizaron reparaciones mayores, en el resto de los vehículos las tareas de mantenimiento se limitaron a ajustes de operación y cambios de filtros.

Bibliografía

Calidad del diésel en Bogotá, <http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=148&conID=41038&pagID=129952>.

Norma Técnica Colombiana NTC 4231, Air quality, Measurement procedure and characteristics of the partial flow equipment for evaluating exhaust

gas smoke emissions from diesel powered mobile sources free acceleration test – Icontec 2002-08-05.

Snap acceleration smoke test procedure for heavy duty diesel powered vehicles – SAE J 1667 :1996.

EGES 175 -1 Engine Diagnostics – DT466 T530E Diesel engines with front mounted ECM, Navistar Inc, 1994.

EGES 161 -1 Engine Diagnostics -DT466 & DT466E International Diesel engines, Navistar Inc, 1994.

Internal Combustion Engines, Applied thermosciences –Chap 8 – Heat and mass loss- Colin R Ferguson, 1986, John Wiley & Sons.

http://www.internationaldelivers.com/site_layout/engine/dt466detail.asp
March 24th - 2008.

Calidad de la conversión para el aprovechamiento ambiental del gas natural vehicular

1-Perea-Colombia-1

Jorge René PEREA*

Palabras clave: tecnología adecuada, diagnóstico, posconversión, contaminación atmosférica, centro de instalación.

Introducción y objetivos

Hoy en día, cuando los temas de ahorro y eficiencia económica son de vital interés para los ciudadanos, el uso de combustibles alternativos de menor costo toma una gran fuerza para paliar en algo el déficit económico. Pero estos combustibles de menor costo aplicados a las fuentes móviles deberán garantizar el no aumentar los problemas de impacto ambiental negativo, pues el ahorro de dinero de los ciudadanos no justificara en ningún caso el atropello a las políticas ambientales.

Los vehículos con gasolina como combustible original, pueden ser convertidos al uso de gas natural vehicular (GNV) sin impactar el medio ambiente y sí por el contrario mejorar la calidad del aire reduciendo los gases de efecto invernadero. Claro está que esta afirmación requiere de unos conceptos claros y definidos en la aplicación de tecnología, mano de obra calificada y transferencia de conocimiento por parte de fabricantes.

* Ingeniero de petróleos, PDD Inalde. Gerente GNV. Gas Natural S. A. ESP, dirección: calle 71ª núm. 5 - 38. Bogotá, Colombia. Gas Natural S.A. ESP. +(57-1) 3144500 extensión 14734 ; Fax: +(57-) 3144554, correo electrónico: rperea@gasnatural.com.



Página anterior

Página siguiente



Menú



Las ciudades de Bogotá y Bucaramanga cuentan hoy con unas políticas claras para la conversión de vehículos de gasolina a GNV, donde la utilización de herramientas especializadas en diagnóstico nos permiten garantizar y mejorar las condiciones de la actual legislación (resolución 910 del 5 de junio de 2008).

Metodología

El departamento técnico de la gerencia de GNV de la compañía Gas Natural S. A. ESP, desde el primer semestre del 2008 diseñó un programa que pretendía garantizar un control específico sobre cada uno de los vehículos a convertir utilizando los siguientes pasos:

1. Verificación previa del funcionamiento del motor y estado del vehículo (preconversión).
2. Verificar la tecnología original del vehículo, luego se selecciona el equipo correcto para el funcionamiento en gas (mínimo sugerido).
3. Puesta a punto del motor, utilizando los elementos requeridos (análizador de gases, vacuómetro, osciloscopio, entre otros) y estando regidos a una tabla de emisión de gases contaminantes, la que respeta la regulación ambiental (posconversión).
4. Certificación del vehículo que debe cumplir el protocolo PST-001.

Las anteriores recomendaciones, se encuentran enmarcadas bajo el protocolo de PST-001, protocolo que debe ser avalado por un organismo certificador que se encuentre registrado ante la Superintendencia de Industria y Comercio, el cual realiza la inspección en cada uno de los vehículos que cumplen estas condiciones.

Resultados y conclusiones

Los resultados del programa en Bogotá contados a partir del día en que arrancó el programa (4 de agosto del 2008 hasta el 31 de enero del 2008)

Tabla 1. Límites máximos de emisión permisibles para vehículos bicomcombustibles gasolina-gas natural vehicular o gasolina-GLP. Velocidad de cruce y en condición de marcha mínima, ralentí o prueba estática a temperatura normal de operación

Año modelo	% CO volumen	HC ppm
1970 y anterior	5	800
1971-1984	4	650
1985-1997	3	400
1998-posterior	1	200

Tabla 2. Límites máximos y mínimos establecidos por protocolo PST 001 para el control de vehículos bicomcombustibles gasolina-GNV

PRUEBAS EN MARCHA MÍNIMA (30 segundos)											
GASES	Lazo abierto				Lazo cerrado				Inyección de GNCV		
CO ₂	Mín.		10,0		Mín.		10,5		Mín.		11,0
CO	Mín.	0,0	Máx.	1,2	Mín.	0,0	Máx.	1,0	Mín.	0,0	Máx. 0,8
HC	Máx.		270		Máx.		200		Máx.		200

PRUEBAS A 2500 RPM (30 segundos)											
GASES	Lazo abierto				Lazo cerrado				Inyección de GNCV		
CO ₂	Mín.		10,5		Mín.		11,0		Mín.		11,5
CO	Mín.	0,0	Máx.	1,5	Mín.	0,0	Máx.	1,3	Mín.	0,0	Máx. 0,8
HC	Máx.		240		Máx.		200		Máx.		200

más de 4000 adaptaciones ceñidas a este procedimiento, mejorando el funcionamiento del vehículo y la reducción en gases emitidos, lo que demuestra que al realizar conversiones con las sugerencias enmarcadas en el protocolo PST-001 mejora el medio ambiente.

La resolución 910 de 2008 (tabla 1) muestra la legislación vigente para el control ambiental en fuentes móviles cuando el vehículo es bicomcombustible, ésta, que para nosotros es muy laxa en los volúmenes permitidos, contrasta con la exigida por el protocolo PST-001 (tabla 2) el cual clasifica las mediciones de acuerdo con la tecnología de suministro de combustible del

vehículo, mediciones en marcha mínima y velocidad de cruceo diferenciadas y hace verificación de gases adicionales, los cuales permiten garantizar una combustión más eficiente y beneficiosa para el medio ambiente.

Del total de los vehículos que se convirtieron en la ciudad de Bogotá bajo este protocolo se verificaron y tabularon 406 formatos de posconversión PST-001, certificados por Icontec, SGS, Bureau Veritas y Cotecna de los cuales podemos destacar los resultados obtenidos frente al mismo vehículo funcionando en gasolina, las deducciones comparativas nos dan reducciones promedio de hasta del 60% de CO, 14% de CO₂ y de 34% de HC. Adicionalmente, podemos destacar que un vehículo convertido pasó por un riguroso proceso de preconversión o diagnóstico inicial el cual permite evidenciar problemas de funcionamiento en gasolina, que son corregidos antes de realizar la conversión.

Bibliografía

GAS NATURAL S. A. ESP, disponible en: <http://www.gasnatural.com.co>, enlace *Vehículos*.

Evolución reciente y perspectivas del mercado del carbono 2009

7-Pedraza-Colombia-1

Éder PEDRAZA*

Palabras clave: mecanismo de desarrollo limpio, mercado del carbono, Protocolo de Kioto, mercado de derechos de emisión, transacciones basadas en proyectos.

Introducción y objetivos

Para enfrentar el desafío del cambio climático, muchas regiones y países, han introducido políticas que incentivan la adopción de medidas para reducir emisiones de gases efecto invernadero (GEI). Muchos de estos programas permiten disminuciones que podrán ser utilizadas por empresas y gobiernos para lograr cumplimiento con los compromisos de reducción de emisiones, tales como, el Régimen de Comercio de Emisiones de la Unión Europea (EU ETS [‘European Union Emissions Trading Scheme’] por sus siglas en inglés) y el Protocolo de Kioto (PK). El esquema europeo requiere reducir sus emisiones del dióxido de carbono (CO₂) de cerca de 12.000 instalaciones a partir de 2005-2012. El PK propone que países desarrollados reduzcan sus emisiones a un promedio de aproximadamente 5% por debajo de los niveles 1990, durante el período 2008-2012.

* Ingeniero químico. Especialista en Ingeniería Ambiental. Magíster en Planificación y Desarrollo Regional. Asesor en emisiones y calidad del aire, dirección: calle 25D núm. 34A-05. El Recuerdo. Bogotá, Colombia. +(57-1) 2440 217, correo electrónico: ederpedraza@hotmail.com.



A través del seguimiento de los volúmenes de reducción de emisiones de GEI, comercializados por los proyectos, se puede apreciar los renglones de mayor incidencia y perspectiva para algunas actividades productivas en los países en desarrollo. De igual manera, con la información disponible se establece la participación en el comercio de emisiones de las diferentes regiones. Asimismo, un aspecto importante en las opciones de reducción y compensación que ha venido a conocerse como un nuevo mercado paralelo, lo constituyen los compradores de reducciones verificadas de emisiones de proyectos voluntarios.

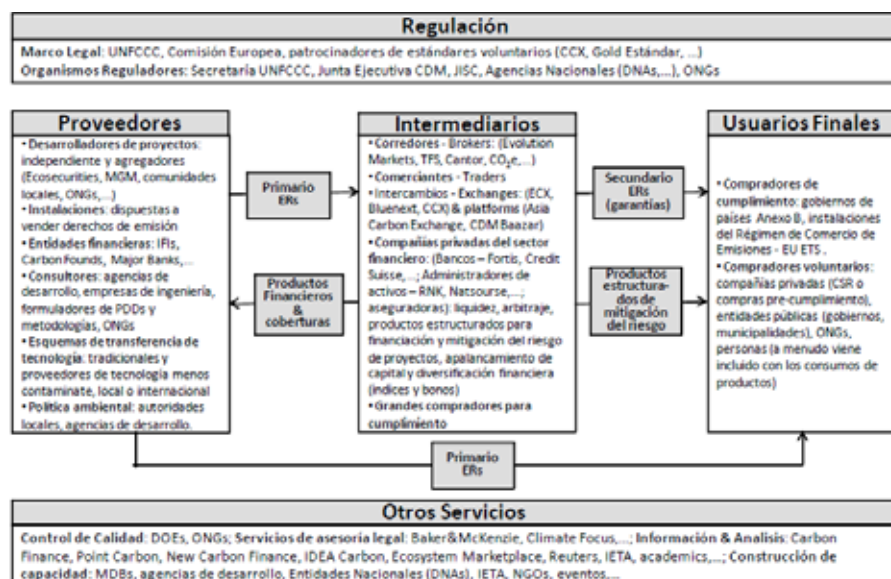
Metodología

Para la realización del trabajo y considerando el conocimiento existente en las diferentes instituciones y los trabajos previos realizados, y de acuerdo con el alcance esperado, éste se aborda de una manera descriptiva-explicativa. Asimismo, la forma de afrontar los hechos y el conocimiento es retrospectiva, pues se trata de examinar el comportamiento y la evolución histórica de ciertas variables, que permitan la utilización de herramientas de análisis y su relación.

Análisis y resultados

Las fases y el comportamiento del mercado de carbono

Según Caema, después de la firma inicial del PK se desarrolló un mercado de compradores en el cual se vieron actividades como la “subasta inversa” (búsqueda de proyectos al menor precio posible). Pero a partir del segundo semestre del 2001 se desarrolló una segunda fase de la demanda, un mercado de mayor envergadura dominado por las instituciones multilaterales que contribuyeron a la creación del mercado como tal. Estas entidades desarrollaron programas para el manejo de los riesgos y dirigieron flujos importantes de inversión hacia proyectos MDL.



Source: Capoor, Kavin. Ambrosi, Philippe. State and Trends of the Carbon Market 2009. World Bank. May. Washington DC. 2008.

Fig. 1. Principales actores e instituciones en el mercado del carbono

Según analistas económicos de distintas latitudes una tercera fase ha evolucionado hacia un mercado más líquido, transparente y equitativo para los diferentes países. Caracterizado por miles de oferentes y demandantes que intercambian CER emitidos y futuros, directamente entre sí, con más bajos costos de transacción. En estos últimos años, particularmente, se ha dado una expansión sin precedentes de las ofertas de proyectos relacionadas con el mercado voluntario de comercio de emisiones.

Actores e instituciones en el mercado del carbono

El rápido crecimiento del mercado tanto en número de proyectos como en cantidad de reducción de emisiones (tCO₂e reducidas) y la diversificación de actores e instituciones, ha sido posible gracias a una creciente estructuración del mercado (fig. 1), cada uno de éstos hace parte de la cadena de valor, que va desde la identificación y la creación de un activo de carbono hasta la entrega del bien al usuario final.

Transacciones en el mercado de carbono

El mercado global de carbono ha seguido aumentando, alcanzando un valor total de transacciones de aproximadamente USD 126 billones de dólares a finales del 2008, el doble de su valor de 2007. Alrededor de USD 92 billones de dólares de este valor, se explica por las transacciones de derechos de emisión y derivados del EU ETS. El segundo mayor segmento es el mercado secundario de reducciones de emisiones certificadas (sCERs), que es un mercado financiero con transacciones *spot*, operaciones de futuros y opciones de transacción por más de USD 26 billones de dólares. Para este mismo año, el 2008, las transacciones basadas en proyectos (MDL) alcanzaron un valor de USD 6,5 billones de dólares, decreciendo un 12% respecto a los valores del año inmediatamente anterior.

Para realizar un análisis del comportamiento y el desempeño del mercado del carbono, más allá de los valores monetarios transados, se muestran a continuación los datos de los últimos años relacionados específicamente con: volúmenes de emisiones comercializadas a través de proyectos figura 2a, compradores de reducciones de emisiones figura 2b, comercio de emisiones por región figura 2c, así como el porcentaje de volúmenes comercializados por tecnología (fig. 2d) (Capoor, K.; Ambrosi, P. 2009).

Conclusiones y perspectivas

Habida cuenta del aumento considerable de participantes en el mercado de carbono, tanto institucionales como individuales, así como de una mayor oferta de activos de diferentes iniciativas Kioto (EU ETS, MDL) y no Kioto (Regional Greenhouse Gas Initiative y Western Regional Climate Initiative en Estados Unidos, NSW de Australia, Voluntarios, etc.), se hace necesario llegar a una estandarización de transacción de activos, para así integrar y catalizar varios segmentos, ello repercutiría en un mejor y más previsible acceso a dichos mercados.

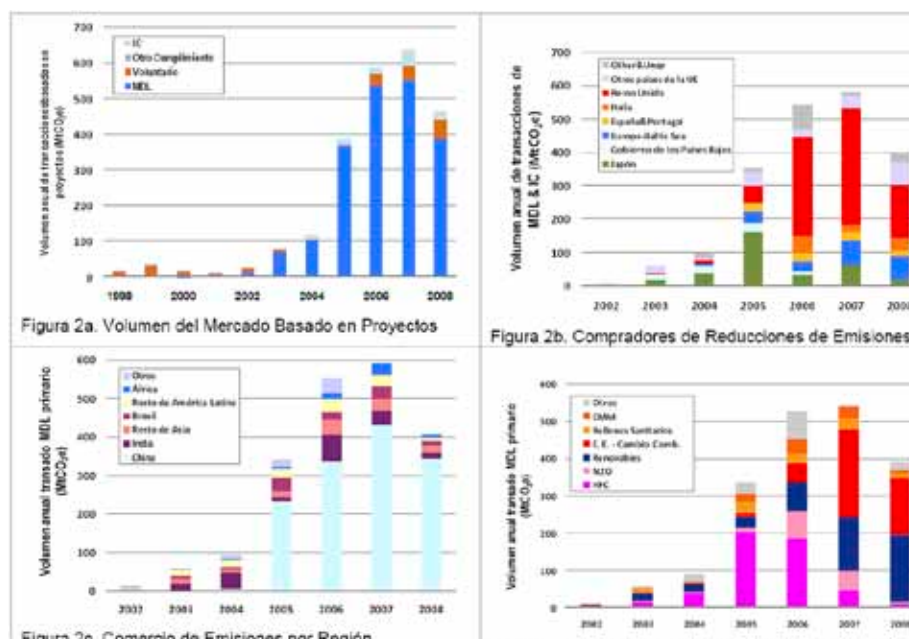


FIG. 2. Transacciones en el mercado del carbono basadas en proyectos

Asimismo, se espera un escenario a la baja para el MDL y la IC, pues recientemente se ha producido la primera serie de importantes transacciones de unidades de cantidades asignadas (AAU); situación similar acontece con el esquema de inversión verde (GIS), dejando sin bance el marco de oferta y demanda residual para el 2012 (tabla 1). Esto sugiere que 2009 se perfila hacia una corta demanda de reducción de emisiones basadas en proyectos, a menos que se logre una señal reguladora positiva más allá de 2012, que pueda ampliar el horizonte de las inversiones de capitales en el mercado del carbono.

La expectativa y los diferentes programas alrededor del mundo para reducir y compensar el cambio climático, deben alentar a los países industrializados a asumir verdaderos objetivos ambiciosos en línea con las reducciones necesarias. Lo presentado hasta ahora por los distintos planes de las principales economías industrializadas, sólo permite llegar a una reducción del 10 al 15% por debajo de los niveles de emisiones de 1990 (tabla 2). Este

Tabla 1. Oferta y demanda en perspectiva

Demanda Potencial de Países Industrializados (MtCO ₂ e)		Potencial Oferente (MtCO ₂ e)		
País o entidad	Demanda Kyoto		Probable	Max
UE	1,200	Potencial GIS	990	1,910
Gobierno (EU-15)	450	Fed. Rusa	??	??
Sector Privado (EU ETS)	750	Ucrania	500	1,000
Demanda adicional posible	125	EU-8+2	490	910
Japón	400	Otros EITs	-	-
Gobierno de Japón	100			
Sector Privado Japonés	300			
Demanda adicional posible	125			
Rest of Annex B	35	CDM+JI	1,671	1,430-1,974
Gobierno	20	MDL	1,489	1,330 -
Sector Privado	15	IC	172	1,724
TOTAL	1,635			100 - 250
Gobierno	570			
Sector Privado	1,065			
Demanda adicional posible	250			

Tabla 2. Metas de reducción 2020 de los países desarrollados

País o región	Objetivo 2020	Objetivo 2020 (ref: emisiones 1990)	Objetivo 2020 (ref: emisiones 2005)
UE	20% por debajo de los niveles de 1990, ampliados hasta 30% si hay acuerdo internacional	-20% a -30%	-14 a -25%
Australia	5% por debajo de los niveles de 1990, ampliados hasta 15% - 25% si hay acuerdo internacional	+13% a +1%, posible -11%	-11% a -21%, posible -30%
Canadá	20% por debajo de los niveles de 2006	-3%	-22%
EEUU	17% por debajo de los niveles de 2005	-4%	-17%
Meta total		-10% a -15	-16% a -21%

Nota: Las emisiones GEI de 1990 y 2005 excluyen LULUCF
Source: Capoor, Karsz, Ambrosi, Philippe. State and Trends of the Carbon Market 2009. World Bank. May. Washington DC. 2009

nivel se encuentra muy por debajo de las reducciones del 25 al 40%; que conduciría a una estabilización de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, propuesto por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC).

La señal de precios del mercado efectivamente ha estimulado las acciones para reducir los gases efecto invernadero responsables del cambio

climático. Esto es claro cuando se aprecia el mercado EU ETS y la respuesta de países en vías de desarrollo hacia los mecanismos asados en proyectos. Sin embargo, el reciente período recesivo ha llevado a la disminución de las emisiones totales de los sectores de la economía mundial y, por tanto, se espera un camino más fácil de los países anexo B para el cumplimiento del Protocolo de Kioto.

Bibliografía

- CAPOOR, K.; AMBROSI, P. (2009), *State and Trends of the Carbon Market 2008*, World Bank, May, Washington.
- CAPOOR, K.; AMBROSI, P. (2008), *State and Trends of the Carbon Market 2008*, World Bank, May, Washington.
- CENTRO ANDINO PARA LA ECONOMÍA EN EL MEDIO AMBIENTE (CAEMA), (2005), *El Mercado del MDL después de la Entrada en Vigor del Protocolo de Kyoto*, v. 5. núm. 3, p. 3.
- GAUTAM, D. (2005), *Climate Change Mitigation and the CDM*. Greenhouse Gas Market Report 2005 – IETA, MGM Internacional.
- KOLLMUSS, A.; ZINK, H.; POLYCARP, C. (2008), *Making Sense of the Voluntary Carbon Market. A Comparison of Carbon Offset Standards*, SEI-US - Tricorona - SEI-US, WWF Germany.
- RAUFER, R. (2004), *El Mercado de Carbono. Taller “Proyectos de Generación Eléctrica bajo el Mecanismo de Desarrollo Limpio”*, UN-DESA, Guayaquil.
- State and Trends of the Carbon Market 2005* (2005, september 5-7), World Bank Carbon Finance Business. International Emissions Trading Association - IETA, Workshop on Landfill Gas Development and the CDM, Denpasar, Indonesia.



2. Exposición de pósteres

Análisis de la tendencia del comportamiento de material particulado en microambientes de colegios distritales en Bogotá

Reorganización energética y modal del transporte de pasajeros para una movilidad sustentable en Bogotá

Nuevas tecnologías en el transporte y oportunidades para Colombia

Evaluación espacio-temporal de aerosoles fungi asociados a las etapas de tratamiento del relleno sanitario Palangana, Santa Marta

Alternativas de reducción a la exposición de niños a material particulado en colegios distritales de Bogotá

Determinación de la exposición de los usuarios de la ciclorruta en la calle 80 de Bogotá al PM_{10}

Determinación de metales, metaloides, iones, compuestos orgánicos y negro de carbón en material particulado colectado en tres ciudades de América Latina

Metales y metaloides en muestras de polvo de la calle colectadas en la ciudad de Buenos Aires, Argentina

Eliminación de H_2S a través de oxidación regenerativa con hierro quelado

Evaluación de los niveles de contaminación en las zonas del Valle de Aburrá

Incidencia de síntomas irritativos oculares y respiratorios y contaminación atmosférica en una cohorte de preescolares en Bucaramanga, Colombia

Datos existentes en el área del Caribe y América Central con vistas a la implementación del modelo CCATT-BRAMS en Cuba

Estrategias de evolución para determinar el comportamiento espacio-temporal de la concentración de material particulado PM_{10}

Análisis de la calidad de los combustibles líquidos comercializados en la ciudad de Bogotá

Propuesta para la creación de distritos de calidad del aire como herramienta de gestión ambiental

Factores que inciden en las emisiones y gestión de la calidad del aire en Bogotá

Caracterización de la exposición a contaminantes atmosféricos en ambientes interiores relacionados con el uso de gasodomésticos

Caracterización de los niveles de contaminación por ruido en Bogotá: estudio piloto

Modelación de la dispersión de óxidos de azufre en la macrozona central de Chile

Ingenieros Sin Fronteras – ingeniería en pro de la comunidad

Muestreo de emisiones en fuentes fijas en Colombia. Diagnóstico actual y estandarización de actividades mediante una intercomparación de procedimientos en campo

Evaluación del riesgo asociado con la contaminación del aire en Bogotá utilizando el índice de calidad de vida

Actualización del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá

Actualización del inventario de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas en Bogotá

Análisis de la calidad del aire en tres megaciudades de América Latina

Estudio de emisiones al año 2010 para diferentes alternativas del transporte en el Valle de Aburrá



[Página anterior](#)

[Página siguiente](#)



[Menú](#)



Análisis de la tendencia del comportamiento de material particulado en microambientes de colegios distritales en Bogotá

3-Zapata-Colombia-1

Elizabeth ZAPATA,* Olga Lucía SARMIENTO† y Néstor ROJAS‡

Palabras clave: contaminación atmosférica, microambientes, método de Loess, material particulado, colegios distritales.

Introducción y objetivos

La contaminación atmosférica es una de las principales preocupaciones de la salud pública en Bogotá. Entre los efectos a la exposición prolongada a material particulado (PM) se destacan el efecto agudo en la mortalidad y la morbilidad debido a enfermedades respiratorias y cardiovasculares (OPS, 2005), el incremento en síntomas de enfermedades respiratorias, la disminución en la función pulmonar y aumento en los días de actividad restringida, entre otros (Rosales, 2001).

La exposición diaria de una persona a la contaminación del aire es la sumatoria de su exposición en varios ambientes a lo largo del tiempo, lo cual lleva a la acumulación de contaminantes inhalados. Cada espacio particular en el que sucede la exposición se conoce como microambiente.

* Egresada del Programa de Pregrado en Ingeniería Química, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, dirección: carrera 30 núm. 45-03. Laboratorio de Ingeniería Química, oficina 206. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Bogotá, Colombia, tel: +(57-1) 3165000, ext. 14304, fax: +(57-1) 3165000, ext.: 14304.

† Profesor asistente. Facultad de Medicina, Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.

‡ Profesor asociado. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia, correo electrónico: nyrojasr@unal.edu.co.



Página anterior

Página siguiente



Menú



El lugar de residencia, la calle, el paradero de bus, la cabina del vehículo de transporte, el salón de clase, son ejemplos de microambientes en los cuales transcurre un día de la vida de un niño en edad escolar. Por lo tanto, mientras mayor sea el número de microambientes en los cuales se midan las concentraciones de contaminantes del aire, mejor será la valoración de la exposición diaria de los individuos.

En Bogotá, la contaminación en microambientes puede ser más severa que la contaminación del aire urbano (Behrentz, 2007) considerando que la población bogotana permanece aproximadamente el 85% del tiempo diario en microambientes interiores: 50% del tiempo en la vivienda, 30% en el lugar de trabajo o estudio y el 5% restante en otros microambientes como almacenes y restaurantes (Espinosa, 2007).

Lo anterior evidencia la necesidad de desarrollar estudios orientados a medir los niveles de contaminación a los que están expuestos los menores en edad escolar dentro y fuera de lugares que ellos visitan con frecuencia. En este trabajo se presentan los resultados del análisis del comportamiento del material particulado en cuatro microambientes de colegios distritales (tabla 1) ubicados en Bogotá. Este análisis hace parte de un estudio de mayor alcance que pretende comparar los efectos de dos sistemas de transporte en calidad del aire, salud respiratoria, acondicionamiento cardiopulmonar, actividad física y calidad de vida en niños de Bogotá.

Se diseñó una campaña de campo con el fin de identificar eventos especiales en cada microambiente, los cuales podrían generar un incremento en la concentración de los diferentes contaminantes. Se registraron manualmente eventos claramente diferenciables que pudieran causar un cambio en la concentración de material particulado. Esta información permitió explicar gran parte de los picos de concentración registrados con los equipos de medición continua.

Tabla 1. Microambientes evaluados

MICROAMBIENTES		
M1	Exterior	Calzada
M2	Exterior	Punto más cercano a la vía dentro del colegio (PMCAV)
M3	Exterior	Cancha
M4	Interior	Salón

Tabla 1. Microambientes evaluados

Metodología

Se elaboró la base de datos estratificada por colegio distrital, contaminante y microambiente. La base de datos creada cuenta con mediciones realizadas entre los meses de febrero a mayo de 2008. Las mediciones se realizaron en períodos de seis a ocho horas dependiendo del microambiente y del colegio a evaluar, y se hicieron durante días hábiles en que los niños asistieron a clase.

Después de crear y validar la base de datos, se realizaron los gráficos de series de tiempo para cada microambiente en cada colegio distrital. En estos gráficos, se asociaron los picos de contaminación con los eventos especiales que se registraron y se identificaron durante la campaña de medición.

Debido a la importancia del análisis de las tendencias de los datos mostrados por los equipos de medición continua, se realizó un procedimiento de suavización de datos aplicando el método de Loess en cada uno de los microambientes estudiados. Este método estadístico permite observar la tendencia en el comportamiento de la concentración de material particulado e identificar eventos especiales y patrones que ayuden a caracterizar los microambientes en estudio.

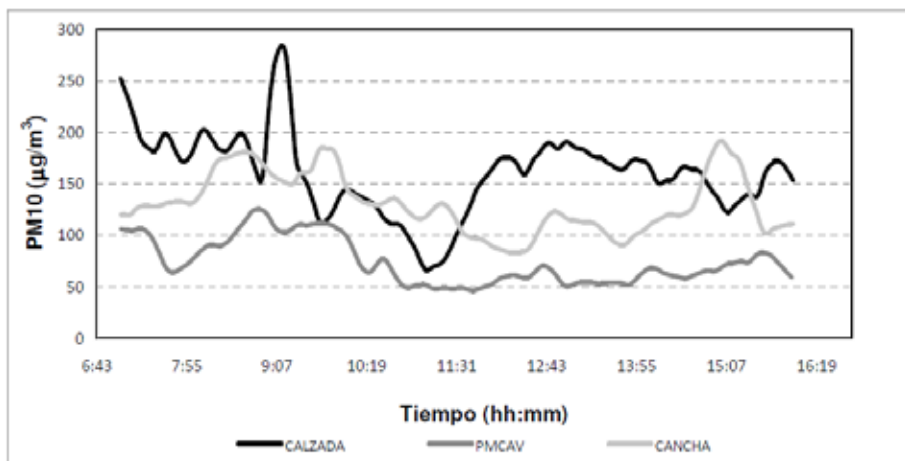


FIG. 1. Concentración de PM₁₀ en microambientes exteriores. Serie de tiempo suavizada por el método de Loess

Resultados y conclusiones

La tendencia encontrada por el método de Loess es afectada por eventos especiales que ocurren dentro y en cercanías a los microambientes estudiados, por ejemplo: actividades de aseo, movimiento continuo de los alumnos, movimiento de tierra en áreas de cultivo, arranque de vehículos cerca de los equipos de medición, hacinamiento de los alumnos en las canchas y en salones, personas fumando, entre otros.

Utilizando el método de Loess se encontró que los microambientes exteriores (calzada, PMCAV y cancha) presentan la misma tendencia general del comportamiento de material particulado. En horas de la mañana se presenta un pico de contaminación pronunciado cuya duración máxima aproximada es de cuatro horas y en la tarde se presenta otro pico de contaminación menos pronunciado al presentado en la mañana y de menor duración (fig. 1).

Las concentraciones de contaminantes dependen tanto de las condiciones meteorológicas como de las emisiones que se generan en un

sector específico. La principal fuente de contaminación en los cuatro colegios distritales es el tipo de transporte público y la cantidad de vehículos que circulan sobre la vía de estudio. En Bogotá la mayoría de las vías presentan sus máximos volúmenes de vehículos en horas de la mañana y en horas de la tarde, lo que explicaría los picos de contaminación que se presentan a lo largo de la jornada diaria de medición.

La diferencia en la duración y en los niveles de contaminación alcanzados entre los dos picos de contaminación registrados se explica desde el punto de vista meteorológico. El nivel de contaminación en la mañana está afectado por la inversión térmica, lo que significa que hay una condición limitante para la dispersión de contaminantes. Cuando se presenta inversión térmica hay una reducción del volumen efectivo de aire en que los contaminantes se emiten y hay bajas velocidades del viento, lo que representa limitada dispersión horizontal y vertical de los contaminantes. Es decir, la altura de la capa de mezcla y las velocidades del viento son más elevadas en horas de la tarde que en horas de la mañana, lo que permite mayor transporte y dispersión de los contaminantes (Ideam, 2005).

Para el microambiente salón no se encontró una tendencia general y repetitiva. Para cada colegio evaluado, la tendencia encontrada por el método de Loess es diferente y depende principalmente de tasas de ventilación y hacinamiento de los alumnos.

Bibliografía

- BEHRENTZ, E. (2007), *Contaminación en interiores: El nuevo reto para las autoridades ambientales*. Cambio Climático y su Impacto en la Servicios Públicos, Andesco, Universidad de los Andes.
- ESPINOSA, M. (2007), *Caracterización de los rangos de exposición a contaminantes atmosféricos en Bogotá: estudio piloto*, Bogotá, Universidad de los Andes.

- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM), (2005), *Contaminación atmosférica caso Bogotá*.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS), (2005), Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, *Evaluación de los Efectos de la Contaminación del Aire en la Salud de América Latina y el Caribe*.
- ROSALES, A.; TORRES, M.; FERNÁNDEZ, G.; BORJA, V. (2001), Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencias de estudios epidemiológicos. *Salud Pública de México*, v. 43, núm. 6.
- SABIN, L. D.; KOZAWA, K.; BEHRENTZ, E. et ál. (2005), Analysis of real-time variables affecting children's exposure to diesel-related pollutants during school bus commutes in Los Angeles, *Atmospheric Environment* 39: 5243–5254.
- SOLARTE, I.; CAICEDO, M.; RESTREPO, S. (1999), *Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Santafé de Bogotá*, Bogotá Pontificia Universidad Javeriana.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS), (2005), *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre*.



Reorganización energética y modal del transporte de pasajeros para una movilidad sustentable en Bogotá

4-Velandia, Colombia-1

Edder A. VELANDIA *

Palabras clave: transporte, energía, desarrollo, calidad del aire, Bogotá.

Introducción y objetivos

El crecimiento demográfico y los acelerados cambios productivos, culturales, urbanos y geopolíticos han generado un incremento de las necesidades de desplazamiento de la población en Bogotá y su área de influencia durante las últimas décadas. De igual forma, el valor del tiempo ha crecido como resultado de las transformaciones sociales y si bien los medios de comunicación han reducido algunos desplazamientos, se ha generado una cultura favorecida por el incremento de los ingresos per cápita y una economía estable: el vehículo como elemento de bienestar individual y familiar. Al mismo tiempo, la movilidad de mercancías y el uso de los medios de transporte como medio de trabajo se han incrementado.

Bajo esta necesidad se han desarrollado una serie de políticas e implementado diferentes obras de infraestructura que han definido la estructura de transporte de pasajeros en la ciudad. Sin embargo, luego de inversiones considerables y reformas de diferente índole, la problemática continúa y se aprecian percepciones de estancamiento. En términos de país, el

* M. Sc. MIC, ingeniero civil, docente de la Facultad de Ingeniería, coordinador del Proyecto Movilidad Sustentable, Centro de Investigaciones en Desarrollo Sustentable y Cambio Climático, Universidad de La Salle, Colombia, dirección: carrera 2ª núm. 10-70. Bogotá, Colombia. (+57-1) 2829679; correo electrónico: evelandiad@unisalle.edu.co; ingeaved@gmail.com.

transporte consume el 39% de la energía total con una tasa de crecimiento del 2,14% anual. Dicha demanda de energía está soportada en un 91% por el diésel y las gasolinas, y el 9% restante por biocombustibles, GNV, keroseno y de forma marginal, la electricidad (UPME, 2007).

Por su parte, en Bogotá circulan 1,3 millones de vehículos soportados en combustibles fósiles (SMD, 2008). Este hecho, sumado al incremento de la motorización particular y las deficiencias de la política de control de emisiones ha generado problemas ambientales, sociales y económicos que reducen la efectividad de las medidas implementadas y afectan el bienestar de sus habitantes. Bajo este escenario, es indiscutible la necesidad de identificar alternativas de reorganización modal y energética del transporte de pasajeros en Bogotá con el propósito de mejorar la sustentabilidad del sector transporte.

Metodología

La primera fase de la investigación consistió en una descripción y diagnóstico del transporte en Bogotá y su área de influencia, sus energéticos y problemas asociados utilizando la información disponible. Posteriormente, se consideran las políticas de transporte y energía actuales, las medidas adoptadas y los modelos de transporte internacionales con el fin de conocer los programas y tecnologías de transporte sustentables. Finalmente, se define el potencial de medios alternativos a la motorización y, utilizando las estrategias implementadas por otras ciudades, se proponen nuevos medios de transporte, energéticos alternativos y transformaciones basadas en la intermodalidad con el fin de maximizar la accesibilidad, redefinir la cultura, ofrecer medios de transporte sustentables y reducir los impactos colaterales.

Resultados y conclusiones

En Bogotá, las necesidades de desplazamiento se aproximan a los 9,5 millones de viajes, los cuales, son cubiertos por el transporte público colectivo y masivo en un 57%; particular y otros medios motorizados en un 25% y utilizando medios no motorizados el 18%. En promedio, el tiempo de viajes es de 56 minutos y el 60% de las personas cree que la movilidad en la ciudad no ha mejorado durante los últimos cuatro años (CCB, 2008).

Al analizar estos indicadores y confrontarlos con la inversión realizada por la ciudad durante este período de tiempo se observa que aún aumentando los recursos para inversión, desarrollo de campañas de educación e implementación de normas restrictivas a la circulación de vehículos, la movilidad no mejora notablemente. Al mismo tiempo, con grandes inversiones para el mejoramiento del diésel para la región, controles de emisiones y programas de chatarrización aún existen altas concentraciones de elementos contaminantes en el aire con altos impactos colaterales y costos asociados.

Con el objeto de simplificar la dinámica asociada al esquema actual de transporte motorizado en Bogotá se desarrolló la figura 1.

Análisis: el uso de vehículos con sistemas de combustión ineficientes que utilizan combustibles cuyos precios no son regulados genera un incremento en el costo de operación del servicio. Por su parte, el mejoramiento de los combustibles fósiles no es garantía de un menor impacto en el ambiente debido a la existencia de otras condicionantes como eficiencia de las tecnologías utilizadas, hábitos de uso del transporte, mantenimiento y calibración de vehículos, prácticas de conducción, número de vehículos en operación.



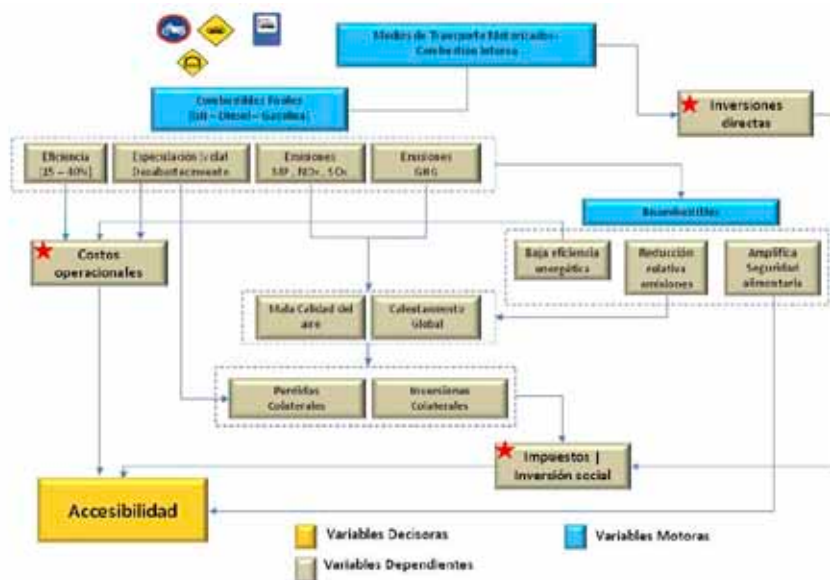


FIG. 1. Causa-efecto movilidad soportada por transportes con combustible fósil en Bogotá



FIG. 2. Medios de transporte para el nuevo esquema de movilidad en Bogotá



FIG. 3. Acciones para garantizar la sustentabilidad del transporte en Bogotá

De igual forma, el uso de combustibles fósiles menos contaminantes no significa la desaparición de las emisiones y se necesita de un análisis de impactos colaterales asociados a estos combustibles a mediano y largo plazo, revisión de los balances energéticos y costos de inversión para garantizar confiabilidad del suministro. Con relación a los impactos en la calidad del aire y emisiones GHG se generan problemas colaterales que producen impactos en el ambiente, en el sector salud y en el sector productivo. Estos problemas implican inversiones colaterales públicas y familiares. Los costos asociados a impactos ambientales transfieren costos adicionales al servicio. Finalmente, el incremento de la motorización genera un mayor costo de mantenimiento de vías y una mayor demanda de infraestructura con implicaciones energéticas y ambientales. Más infraestructura reduce los recursos para inversión social e incrementa los impuestos. En resumen, los altos costos colaterales, sociales, ambientales, operacionales y económicos asociados al transporte

de pasajeros en Bogotá, son evidencia de una baja movilidad y poca sustentabilidad del sector.

Bajo este panorama, algunas acciones para la reorganización modal y energética del transporte en Bogotá con bajo costo o asumibles por las administraciones y la población para atender de mejor forma sus necesidades de desplazamiento, garantizar su bienestar y propender un desarrollo sustentable se plantean en las figuras 2 y 3. Dichas acciones, estructuradas bajo modelos de transporte internacionales y estudios de oportunidad reales para la ciudad se enfocan en tres aspectos: gestionar accesibilidad, proveer alternativas de transporte sustentables e intervenir la cultura ciudadana.

Bibliografía

CÁMARA DE COMERCIO DE BOGOTÁ (CCB), (2008), *Observatorio de movilidad*, Bogotá.
SECRETARÍA DE MOVILIDAD DISTRITAL (SMD), (2008), *Informe de movilidad*, Bogotá.
UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME), (2007), *Informe energético*. Colombia.

Nuevas tecnologías en el transporte y oportunidades para Colombia

4-Velandia-Colombia-2

Edder A. VELANDIA*

Palabras clave: transporte, tecnología, energía, ambiente, Colombia.

Introducción y objetivos

Los problemas locales relacionados con la mala calidad del aire en las principales ciudades del mundo, sumado a los problemas de calentamiento global y deterioro de la capa de ozono son hechos que han motivado a los líderes de los países industrializados, centros de investigación y la industria a desarrollar e implementar estrategias alternativas a las prácticas que comúnmente se realizan en un área claramente identificada como no sustentable en el actual modelo de desarrollo: el transporte. En este sentido, el creciente consumo de recursos no renovables a través de sistemas de combustión ineficientes que generan emisiones contaminantes; elevados costos de infraestructura; costos colaterales asociados a las emisiones generadas; incremento de los costos asociados a los combustibles fósiles, son evidencia de la no sustentabilidad del transporte. Actualmente, este sector es responsable del 30% del consumo final de la energía, el 60% del consumo de combustibles fósiles líquidos y aporta el 22% de las emisiones totales de CO₂ en el mundo (IEA, 2008).

* M. Sc. MIC Ingeniero civil, docente de la Facultad de Ingeniería, coordinador del Proyecto movilidad sustentable. Centro de Investigaciones en Desarrollo Sustentable y Cambio Climático, Universidad de la Salle, dirección: carrera 2ª núm. 10-70, Bogotá, Colombia, teléfono: (+57-1) 2829679, correo electrónico: ingeaved@gmail.com, evelandiad@unisalle.edu.co.



Página anterior

Página siguiente



Menú



Bajo el actual escenario de crisis económica, social y ambiental se proponen cambios estructurales en las maneras de desplazarnos y en los medios de transporte que utilizamos. En este sentido, las nuevas tecnologías de tracción en el transporte que propenden por el uso racional de energéticos o el uso de energéticos con bajas emisiones son una alternativa dentro del modelo de desarrollo existente. Bajo este hecho se plantea una investigación que busca identificar las nuevas tecnologías, impactos y oportunidades para Colombia. Conocer las tecnologías y políticas implementadas en países desarrollados permitirá orientar los planes de modernización y competitividad del país a mediano y largo plazo.

Metodología

Identificados los problemas de sustentabilidad energética, ambiental y social del transporte se realiza una investigación acerca de las nuevas tecnologías de tracción implementadas en otras latitudes, híbridas y eléctricas con el fin de identificar bondades, limitaciones e impactos. De igual forma, teniendo en cuenta el escenario nacional se proyectan las posibles oportunidades de desarrollo de dichas tecnologías y los requerimientos para su implementación como una alternativa de uso racional de recursos, desarrollo tecnológico y reducción de emisiones del transporte en las grandes ciudades colombianas.

Resultados y conclusiones

Los medios de transporte con tracción híbrida y eléctrica hacen parte de las nuevas tecnologías que el hombre ha desarrollado en búsqueda de su autosuficiencia energética y desarrollo sustentable en el transporte. En este sentido, los sistemas de transporte con celdas de combustible utilizan una pila donde reacciona oxígeno e hidrógeno desde la cual se alimenta el sistema de tracción y operativo del vehículo. En el resultado de la reacción se

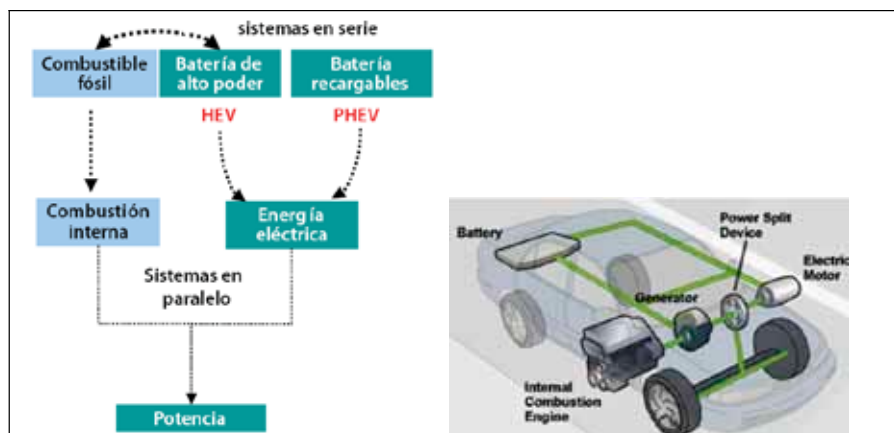


FIG. 1. Sistemas de tracción híbridos

produce vapor de agua, el cual, puede condensarse para controlar su emisión en forma de gas. Este tipo de vehículos logran autonomías superiores a 300 km con 0,1 m³ de hidrógeno.

La tecnología de celdas de combustible posee una alta eficiencia energética y presenta excelentes resultados asociados a potencia y velocidad. No obstante, las limitaciones de esta tecnología radican principalmente en los altos costos tecnológicos y ambientales de la producción a gran escala del hidrógeno, carencia de un sistema de distribución y suministro adecuado y confiable, poca memoria tecnológica.

Por su parte, los sistemas híbridos y eléctricos son una tecnología de transición al hidrógeno. Los híbridos son una tecnología que utiliza como fuente de energía dos tipos de energéticos: combustibles fósiles y electricidad, incorporando varios tipos de acumuladores y conversores de energía (fig. 1). De igual forma, los híbridos se pueden clasificar en híbridos no recargables (HEV) e híbridos recargables (PHEV). Un HEV permite un ahorro entre el 30 y 40% del consumo de combustible fósil mientras que un PHEV permite un ahorro del 50 y 80% (fig. 2). Con relación a emisiones, los híbridos permiten una reducción superior al ahorro de combustible fósil al utilizar tecnologías de tracción inteligentes (EPRI, 2008).

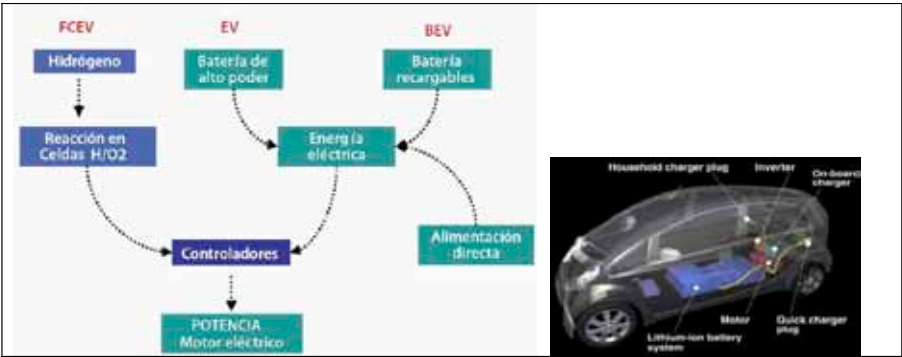


FIG. 2. Sistemas de tracción eléctricos



Fig. 3. Eficiencia energética por medio de transporte

Finalmente, los sistemas de transporte “full electric” utilizan exclusivamente la energía eléctrica suministrada desde baterías recargables (vehículos, motos, bicicletas, montacargas) o conexión directa a la red (sistemas de transporte masivo). Estos sistemas de uso localizado o exigencias urbanas son silenciosos, no contaminantes y de alta eficiencia (fig. 3).

Algunos limitantes de los HEV, BEV y PHEV son la escasa capacidad de almacenamiento químico de energía, problemas de reducción de potencia del vehículo bajo algunas configuraciones y costos propios de tecnologías en desarrollo, sin embargo, los sistemas de tracción eléctrica en transporte masivo poseen más de cien años de uso y desarrollo.

En conclusión, algunos beneficios del uso la tracción eléctrica en zonas urbanas son la reducción de emisiones, mejor aprovechamiento de la capacidad eléctrica instalada, generación de economías de escala en el sector energía y transporte, disminución de la dependencia del petróleo, desarrollo de nuevas tecnologías en el manejo y uso de la energía eléctrica: V_2G , redes inteligentes y aprovechamiento de fuentes renovables (Santini, 2006). Finalmente, el uso de sistemas de transporte masivo eléctrico en las ciudades permitirá un mejor uso de la energía; mejoramiento de la calidad del aire; aumento de la movilidad; nuevos desarrollos urbanos y culturales; control de los impactos ambientales asociados.

A mediano plazo (diez años), las oportunidades visibles de la tracción eléctrica en el país se encuentran en la bicicleta eléctrica y el transporte masivo. En este sentido, la bicicleta eléctrica tiene oportunidades a corto plazo si se desarrollan políticas tributarias que reduzcan sus costos y estimulen su uso. A largo plazo existen oportunidades para vehículos PHEV-BEV. Finalmente, en países europeos la participación de la electricidad en el transporte representa el 3% de la energía total, mientras que para Colombia se estima a largo plazo una demanda de 1600 GWh/año que equivalen a 35 millones de galones diésel o 0,48 millones de toneladas de CO_2 .

Bibliografía

AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA (IEA), (2008), *Informe mundial de la energía*, US.
ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE (EPRI), (2008), *Journal spring* 2008, US.
SANTINI (2006), Fuel consumption, operational attributes and potential markets for PHEV. Climate policy initiative meeting for clean air policy. US.

Evaluación espacio-temporal de aerosoles fungi asociados a las etapas de tratamiento del relleno sanitario Palangana, Santa Marta

3-Camargo-Colombia-1

Yiniva CAMARGO* y Andrés VÉLEZ†

Palabras clave: bioaerosoles, residuos sólidos, *Aspergillus* sp., hongos, calidad de aire.

Introducción y objetivos

Recientes estudios sobre contaminación del aire y salud en América Latina y el Caribe establecen una asociación entre morbilidad y mortalidad con el deterioro de la calidad del aire en los principales centros urbanos, convirtiéndose esta situación en motivo de preocupación para la salud pública. Dentro de las actividades antropogénicas generadoras de emisiones atmosféricas se puede citar la gestión integral de residuos sólidos que se encuentra asociada al riesgo biológico como resultado de la exposición poco controlada a diferentes clases de microorganismos, responsables de infecciones, alergias o toxicidad; así es como se han reportado resultados de investigaciones que demuestran que los sistemas de manejo de residuos pueden contribuir a la dispersión de microorganismos, considerándose

* Docente catedrático de Ingeniería Ambiental y Sanitaria y líder del Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales. Instituto de Investigaciones Tropicales (Lintropic), Universidad del Magdalena, Colombia, dirección: carrera 32 núm. 22-08, Santa Marta, Colombia, Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad del Magdalena, teléfono: (57-5) 4301292, fax: (57-5) 4303618, correo electrónico: ycamargo@unimagdalena.edu.co.

† Ingeniero ambiental y sanitario, coordinador del Laboratorio de Calidad de Aire. Universidad del Magdalena, Colombia.



Página anterior

Página siguiente



Menú



una fuente de riesgo para la salud de los trabajadores del lugar y los habitantes de la comunidad aledaña.

Estas emisiones de origen biológico, producto de las actividades anteriormente expuestas, se encuentran constituidas por virus, bacterias, esporas, polen y, en general, cualquier resto de microorganismos con un diámetro aerodinámico comprendido entre 0,5 y 100 μm denominándose bioaerosoles, (Cox & Wathes, 1995) donde se permite considerar como de mayor importancia aquellas partículas con un diámetro inferior a 5 μm , que pueden ser inhaladas y depositadas en los alvéolos pulmonares, causando infecciones o reacciones alérgicas muy bien documentadas.

El comportamiento aerodinámico de estas partículas se encuentra gobernado por sus propiedades físicas, las condiciones ambientales y la exposición a distintos tipos de estrés ambiental que dan lugar a su inactivación; durante el tiempo que permanece suspendido en el aire, el material viable puede ser transportado por la acción del viento convirtiéndose en uno de los principales problemas en las plantas de tratamiento de residuos orgánicos que puede afectar tanto a los trabajadores de la planta que están en contacto directo con los focos donde se generan, como a los habitantes de las zonas colindantes (Sánchez-Monedero et ál., 2006). Siendo el origen exacto y el número de microorganismos presentes en cada etapa del proceso, dependiente de la naturaleza del material a descomponerse y de los organismos presentes en el mismo (Crawford, 1985).

El relleno sanitario del distrito de Santa Marta localizado en el sector denominado Palangana del cual recibe su nombre, cuenta con un área de 53 Ha; se encuentra ubicado aproximadamente a un 1 km del barrio Fundadores, costado derecho de la carretera que conduce a Bahía Concha (Ingeambiente Ltda., 2004). Su proximidad a la urbanización Altos de Bahía Concha y los barrios Fundadores y Bastidas, crea una preocupación que centra su origen en el conocimiento que se tiene de los sistemas de disposición final de residuos sólidos y su relación con la generación de contaminantes atmosféricos diversos, como es el caso de las emisiones de bioaerosoles; estas emisiones

determinadas por sus características físicas y las condiciones ambientales de la zona de estudio, están asociadas a enfermedades respiratorias y afecciones dermatológicas por la presencia de microorganismos patógenos.

El presente estudio evaluó la concentración de bioaerosoles fungi asociada a los procesos de disposición y manejo de residuos sólidos en el relleno sanitario Palangana ubicado en el distrito de Santa Marta, a partir de la cuantificación y distribución espacio-temporal de los hongos presentes en el área de estudio.

Metodología

El área de estudio está conformada por el sitio de disposición final de residuos sólidos del distrito de Santa Marta que se encuentra ubicado en el parque distrital Bondigua sobre la vía que conduce a Bahía Concha y que colinda con la comunidad de los barrios Altos de Bahía Concha, Fundadores y Bastidas.

Se seleccionaron tres estaciones de monitoreo ubicadas en el relleno sanitario Palangana en las diferentes etapas de disposición de residuos sólidos y sobre un eje imaginario trazado en la dirección del viento: laguna de lixiviados (1), celda activa del relleno sanitario (1), celda pasiva del relleno sanitario (1) y una estación de control (blanco) aislada de la influencia directa de las emisiones del relleno sanitario. En estos puntos se realizaron seis muestreos en jornadas mañana y tarde, utilizando para la recolección de muestras un impactador de cascada de dos etapas, a un flujo constante de 28,3 l/min, durante tres minutos y ubicado a una altura de 1,5 m, colectando las muestras en Agar Saboreaud con dextrosa al 2%.

Las muestras recolectadas por duplicado fueron incubadas a 28 °C por un período de cinco días para garantizar el máximo crecimiento de los hongos y, posteriormente, se cuantificaron e identificaron macroscópicamente y microscópicamente. El cálculo de la concentración promedio representativa del período de muestreo se realizó mediante un promedio geométrico de las concentraciones obtenidas, discriminado por jornada y tipo de microorganismo.

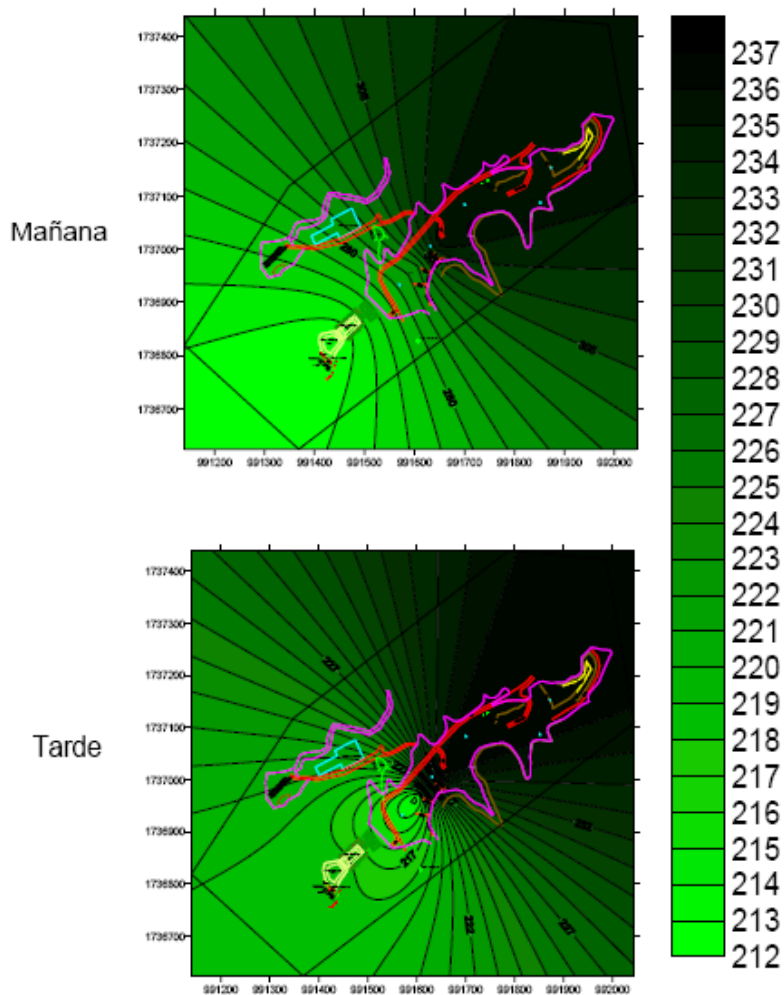


FIG. 1. Distribución espacial del promedio geométrico de la concentración de hongos en el relleno sanitario

La representación espacial de las concentraciones de aerosoles fungi se muestran en Spatial Plot mediante el método de interpolación Kriging del *software* Golden Surfer V 8,0; esta representación se realizó en función de las jornadas mañana y tarde, que permitieron el análisis de la distribución temporal.

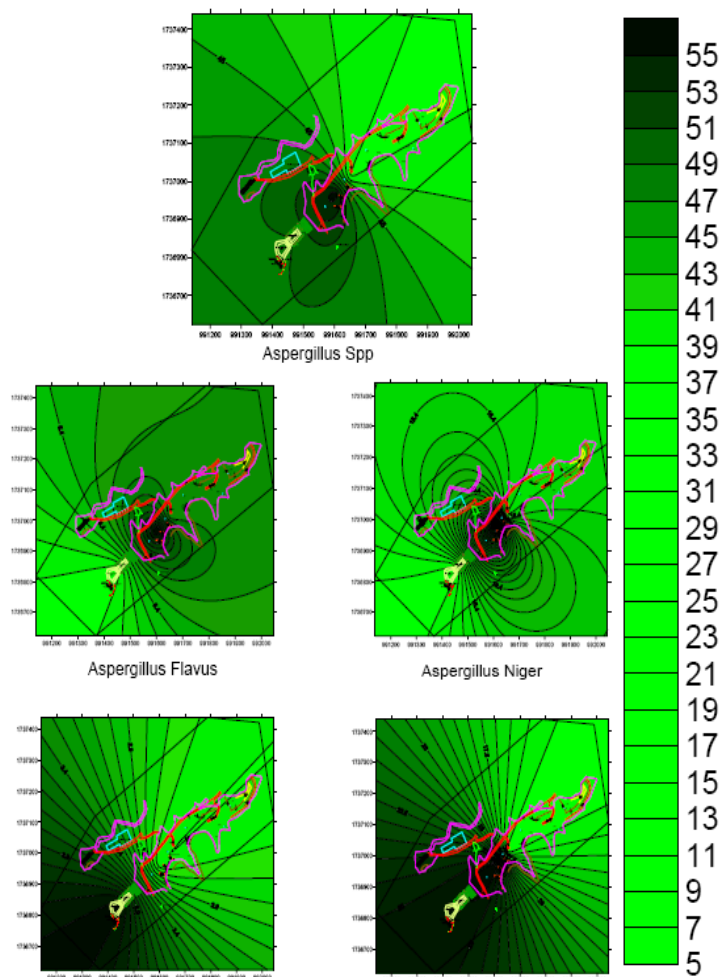


FIG. 2. Distribución espacial de géneros de hongos en el relleno sanitario (*Aspergillus* spp. y sus especies)

Resultados y conclusiones

Posterior al período de incubación de aerosoles fungi fueron identificados diecinueve géneros de hongos, predominando *Aspergillus* spp. con un 45,50%, representado la especie *Aspergillus terreus* el 41,80%, seguidos de *Aspergillus niger* con un 35,87%, *Aspergillus flavus* con el 16,28% y *Aspergillus fumigatus* con un 6,05%; además, se reporta 23,3% de *Penicillium* spp. y

18,60% de *Geotrichum* spp. La presencia de los demás géneros identificados se registra en un rango entre 3 y 0,03%. Se concluye que la mayoría de los bioaerosoles fungi identificados se encuentran asociados a las actividades de disposición y manejo de residuos en la celda activa del relleno sanitario.

Bibliografía

COX, C. S. & WATHES, C. M. (1996), *Bioaerosols Handbook*. Nueva York, CRC, Lewis Publishers, 621 p.

CRAWFORD, J. H. (1985), *Composting of agricultural wastes. Biotechnology Applications and Research*. Technonic Publishing Co. EE. UU., p. 67-77.

SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; ROIG, A.; CAYUELA, M. L. & STENTIFORD, E. I. (2006, enero), Emisión de bioaerosoles asociada a la gestión de residuos sólidos. En: *Revista Ingeniería* v. 10, No. 1; p. 39-47

Alternativas de reducción a la exposición de niños a material particulado en colegios distritales de Bogotá

3-Blanco-Colombia-1

Lyda A. BLANCO* y Néstor Y. ROJAS†

Palabras clave: material particulado, microambientes, sistemas de ventilación, cercas vivas.

Introducción y objetivos

Mediciones de material particulado (PM) de tamaño inferior a $10 \mu m$ en algunos colegios distritales de Bogotá han arrojado concentraciones en el intervalo de 37 a $78 \mu g m^{-3}$ al interior de salones de clase y de 52 a $65 \mu g m^{-3}$ para el mismo tamaño de PM . Debido a que los niveles encontrados son claramente superiores a los recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2005), se reconoce la necesidad de buscar alternativas que permitan la reducción a la exposición a este tipo de contaminante.

Un estudio preliminar que asocia tasas de ventilación en salones de clase y el desempeño de los estudiantes (Shaughnessy et ál., 2006) sirve como base para la propuesta de reducir los niveles de exposición a PM y otro tipo de contaminantes implementando sistemas de suministro de aire, para reducir no sólo el efecto negativo en la actividad respiratoria de los niños expuestos (Marcer, 2000), sino también los problemas de desarrollo de las habilidades

* Ingeniera química. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

† Profesor asociado. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. Carrera 45 núm. 26-85. Laboratorio de Ingeniería Química, oficina 206. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, tel. +(571) 3165000, ext. 14304, fax. +(571) 3165000, ext. 14301.

cognitivas producto de elevados niveles de contaminación. Wyon et ál. (2004), evaluaron el efecto del mejoramiento de la calidad de aire sobre el aumento en la calidad de vida y productividad alcanzadas mediante sistemas de ventilación y se concluye que el control efectivo de niveles de contaminantes, especialmente PM y CO_2 , son clave en el momento de establecer condiciones óptimas de trabajo en el caso de instituciones educativas.

En este estudio se propone la reducción de los riesgos de enfermedades producidas por exposición a material particulado proveniente del ambiente exterior en edificaciones mediante la adaptación de sistemas de ventilación y filtración del aire, ajustando los diseños de dichos sistemas a las condiciones de las instalaciones de los colegios de la manera más económica posible. Además de los sistemas de ventilación, se proponen técnicas de aislamiento de las edificaciones, con el fin de mejorar la respuesta humana a la modificación de los patrones de flujo de aire existentes, utilizando estructuras del tipo cercas vivas, las cuales constituyen una alternativa efectiva y de costo razonable en la reducción de flujo de viento sobre superficies afectadas por contaminantes transmitidos por ese medio.

Metodología

La edificación evaluada corresponde al colegio distrital La Palestina, la cual consta de edificaciones de una planta con seis secciones en uso. Está proyectada la construcción de seis estructuras: biblioteca, aula múltiple, ludoteca, dos bloques de aulas de clase y la consecución de la obra iniciada en los laboratorios. Las edificaciones son construidas en ladrillo y el techo es de tipo chapa, es decir, en forma de triángulo soportado por varillas.

Diseño del sistema de ventilación

Se hizo un reconocimiento de las estructuras existentes y la ubicación de las edificaciones futuras, con el fin de determinar la ruta de instalación del sistema de ventilación que permita reducir los niveles de concentración de PM .

TABLA 1. Cambios de ambiente para cada edificación

Aulas	8
Biblioteca y salamúltiple	10
Ludoteca	12
Laboratorio	6
Sala cómputo	6

El caudal de aire requerido para las edificaciones se estableció de acuerdo con el número de cambios de ambiente en función de las características de los ocupantes y del destino de uso de los espacios reportados en la norma Ashrae en la sección de cálculo de caudales de circulación.

Se propone un sistema de suministro de aire a través de ventiladores individuales para cada edificación. La evaluación de las dimensiones se hizo usando el *software* Duct Designer de la casa Trane®.

Cercas vivas

Se propone el diseño de barreras ambiental y visualmente más amigables, teniendo en cuenta que la edificación evaluada se encuentra habitada principalmente por niños, quienes son los más afectados por los altos niveles de concentración de PM_{10} encontrados. Estudios previos de este tipo de barreras físicas presentan buenos resultados luego de su instalación y el impacto visual es mínimo, en comparación con el que se puede presentar con construcciones artificiales ancladas al suelo, como la que limita el colegio en este momento.

Resultados y conclusiones

Sistema de ventilación

Los elementos necesarios para el sistema total se lista a continuación:

TABLA 2. Requerimientos de lámina

	Cantidad m²	Calibre
Total lámina	599,46	22
	659,41	Seguridad
	142,48	Calibre 24
	156,73	Seguridad

TABLA 3. Requerimientos de rejilla

Rejillas	Cantidad	Dimensión (in)
RDA	12	36 x 16
	12	28 x 12
	10	24 x 10
	6	22 x 8

TABLA 4. Requerimientos de difusores

Difusores	Cantidad	Dimensión (in)
D4V	4	6 x 6
	1	8 x 8
	2	16 x 16
	4	18 x 18
	2	20 x 20
	1	14 x 14

TABLA 5. Requerimientos de filtros

Filtros	Cantidad	Dimensión (in)
DPD7	3	12 x 24
	28	24 x 24
	1	20 x 20

TABLA 6. Requerimientos de prefiltros

Prefiltro	Cantidad	Dimensión (in)
DPM7	3	12 x 24
	28	24 x 24
	1	20 x 20

TABLA 7. Requerimientos de ventiladores

Ventiladores	Cantidad	Potencia (HP)
BDF	3	1/4
	3	1/2
	1	3/4
	2	1
	1	2
	1	7 1/2

Cerca viva

La cerca formada por árboles de tilo como especie de mayor tamaño para el surco principal y abutilón para el surco secundario, por ser la especie de menor tamaño. Se ubicó en el costado norte del colegio, en el lugar donde actualmente se encuentra el muro de ladrillo que separa la IED de la calle 80, con el objetivo de sustituirlo, como ocurrió con los demás muros de la IED evaluada. En los casos anteriores, fueron levantadas estructuras de malla tipo panal y la incorporación de la cerca viva es compatible con esta estructura.

TABLA 8. Requerimientos de especies

Especie	Cantidad
Tilo	47
Abutilón	33

Se concluye que la implementación del sistema de ventilación es una alternativa viable desde el punto de vista técnico y su aplicación en el campo propuesto depende de la asignación de presupuesto por parte de la Secretaría de Educación Distrital o de la Secretaría de Salud si se tiene en cuenta la solución al problema de efectos por exposición a contaminantes del tipo material particulado.

Es posible la reducción del costo total del montaje si se evalúa el uso de filtros y prefiltros lavables. Por otro lado, los equipos de suministro pueden ser ensamblados en Colombia, reduciendo costos por ese concepto.

Bibliografía

- MARCEY, G.; GEMIGNANI C.; BERARDINO L. et ál. (2000), The effects of air pollution on children. *Aerobiologia*, Volume 16, Number 1, March 2000, pp. 35-37(3).
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS) (2005), *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Actualización mundial 2005. Resumen de evaluación de los riesgos.
- SEPPÄNEN, O.; FISK, W. J.; LEI, Q. H. (2006), Ventilation and performance in office work. *Indoor air* 16(1): 28-36.
- SHAUGHNESSY, R. J.; HAVERINEN-SHAUGHNESSY, U.; NEVALAINEN, A.; MOSCHANDREAS, D. (2006), A preliminary study on the association between ventilation rates in classrooms and student performance. *Indoor Air*. Volume 16 Issue 6, pp. 465-468.
- WYON D. P. (2004), The effects of indoor air quality on performance and productivity. *Indoor quality* 14 Suppl 7:92-101.
- ZURAIMI, M. S.; THAM, K. W.; CHEW, F. T.; OOI, P. L. (2007), The effect of ventilation strategies of child care centers on indoor air quality and respiratory health of children in Singapore. *Indoor air* 17(4):317-27.

Determinación de la exposición de los usuarios de la ciclorruta en la calle 80 de Bogotá al PM_{10}

3-Fajardo-Colombia-1

Óscar A. FAJARDO* y Néstor Y. ROJAS†

Palabras clave: ciclorrutas, exposición personal, PM_{10} .

Introducción y objetivos

El uso de la bicicleta como un medio de transporte alternativo ha tomado fuerza en los últimos años y estudios muestran valores significativos de uso. Además, tiene un fuerte respaldo desde los entes gubernamentales, por ser un modo limpio, saludable y económico de transporte, al mismo tiempo que alivia un poco el caos vehicular que afronta la capital actualmente. Pero el asumir por sí que al utilizar la bicicleta para movilizarse de un punto a otro se está obteniendo un beneficio para la salud, sin tener en cuenta las condiciones en las que se realiza esta actividad, puede ser engañoso.

Durante la actividad física el cuerpo aumenta la tasa de respiración, lo cual se traduce en mayor cantidad y velocidad de inhalación de aire. Las vías respiratorias quedan expuestas a la entrada de agentes contaminantes suspendidos en el aire y el cuerpo inevitablemente recibirá dosis mayores de PM , produciendo problemas de salud.

* Ingeniero químico, Universidad Nacional de Colombia.

† Profesor asociado. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Dirección: carrera 45 núm. 26-85, Laboratorio de Ingeniería Química, oficina 206. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Bogotá, Colombia. Tel. +(57-1) 3165000 Ext. 14304. Fax. +(57-1) 3165000 Ext. 14302, correo electrónico: nyrojasr@unal.edu.co.



Página anterior

Página siguiente



Menú



Estudios previos en diversos países han demostrado que los niveles de exposición de los ciclistas son menores que los medidos dentro de carros y buses, atribuyendo esto a que los ciclistas circulan al lado de los vehículos y no detrás, reduciendo la exposición directa a los exhostos. Adicionalmente, con tráfico congestionado los ciclistas hacen uso de las ciclorrutas y evitan quedar atrapados por el tráfico, reduciendo su tiempo de exposición a los gases (Ami Thai et ál., 2008).

Este trabajo es una aproximación inicial al estudio de la exposición de ciclistas a la contaminación del aire en la ciudad de Bogotá, enfocado en el material particulado de tamaño menor a 10 μm . Tomando como piloto la ciclorruta en la calle 80, se busca establecer una estrategia de estudio en futuras investigaciones para las ciclorrutas en general.

Metodología

Muestreo

Se seleccionaron dos puntos de muestreo sobre la ciclorruta de la calle 80. La selección del primer punto de muestreo, denominado CAI, respondió al alto flujo de ciclistas y vehículos (pesados, transporte público y particulares). En este punto transitan tanto buses articulados del sistema Transmilenio como buses públicos de transporte tradicional.

El segundo punto de muestreo estuvo ubicado a 1,6 km al oriente del primero, en el colegio distrital Palestina, junto a la ciclorruta, y cercano a la intersección con la avenida Boyacá. El transporte público de esta locación está compuesto únicamente por los articulados de Transmilenio.

La instalación de los equipos se hizo de lunes a viernes, por cerca de ocho horas (6 a. m. a 2 p. m.), que responde a la franja horaria de mayor uso de la ciclorruta por trabajadores y estudiantes, quienes son sus principales usuarios.

Durante las tres primeras semanas se realizaron muestreos únicamente en el punto CAI, en busca de una tendencia temporal en la concentración del material particulado. Luego se instaló el equipo en Palestina, tratando de determinar si las concentraciones son similares a lo largo de la ciclorruta.

Instrumentación

Se utilizaron impactadores Harvard (HI) con cabezales para recolección de particulado de 10 μm en filtros de teflón de 37mm y unidades de bombeo.

Para el análisis gravimétrico de los filtros se utilizó una balanza electrónica Sartorius ME 36S que permite una legibilidad de 1 μg .

Análisis estadístico

Al realizar el análisis estadístico de las concentraciones calculadas se despreciaron los valores que estuviesen 1,5 veces del rango intercuartil por encima del tercer cuartil, o por debajo del primero.

Para las concentraciones de las tres semanas de muestreo simultáneo se realizaron una prueba de comparación de media (prueba t) y un análisis de varianza (Anova).

Determinación de dosis diaria promedio

Para la determinación de la dosis diaria promedio que el ciclista recibe es necesario hacer una discriminación por género, edad, tiempo de exposición y nivel de esfuerzo físico. Por tal razón, se elaboró, validó e implantó una encuesta en los mismos horarios y lugares (CAI y Palestina) que los muestreos. Un total de 73 encuestados fueron la base del estudio.

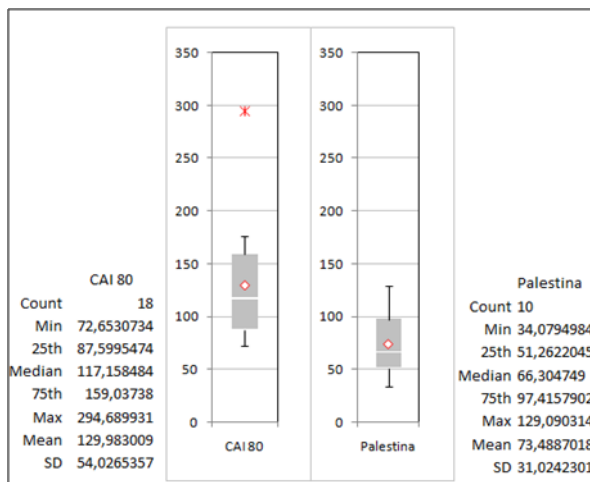


Fig. 1. Diagrama BoxPlot e información de percentiles, media (mean) y desviación estándar (sd)

Resultados y conclusiones

Las concentraciones calculadas en este documento, reflejan un estado crítico de la calidad del aire en la calle 80, concentraciones significativamente altas se presentan en la intersección de Quirigua, donde se ubicaba el primer punto de estudio, que superan en su totalidad la norma vigente anual de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y cerca del 30% superan la norma diaria de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Para la estación de Palestina nunca se superó la norma diaria, pero el 50% de los días de estudio la concentración estuvo por encima de la norma anual (fig. 1).

Se pudo establecer una tendencia en la concentración del PM_{10} a lo largo de la semana en ambos puntos de muestreo. Los viernes se presentaron las concentraciones más altas de PM_{10} para ambas locaciones, mientras que los martes y miércoles se mantienen con los valores más bajos. Se observó una fuerte similitud de las líneas de tendencia entre los dos puntos, con una aparente mayor concentración en el punto CAI, probablemente debida a la cercanía a la intersección vial en la cual hay presencia de articulados y transporte público convencional. Únicamente el viernes de la cuarta semana Palestina presentó una concentración mayor que CAI.

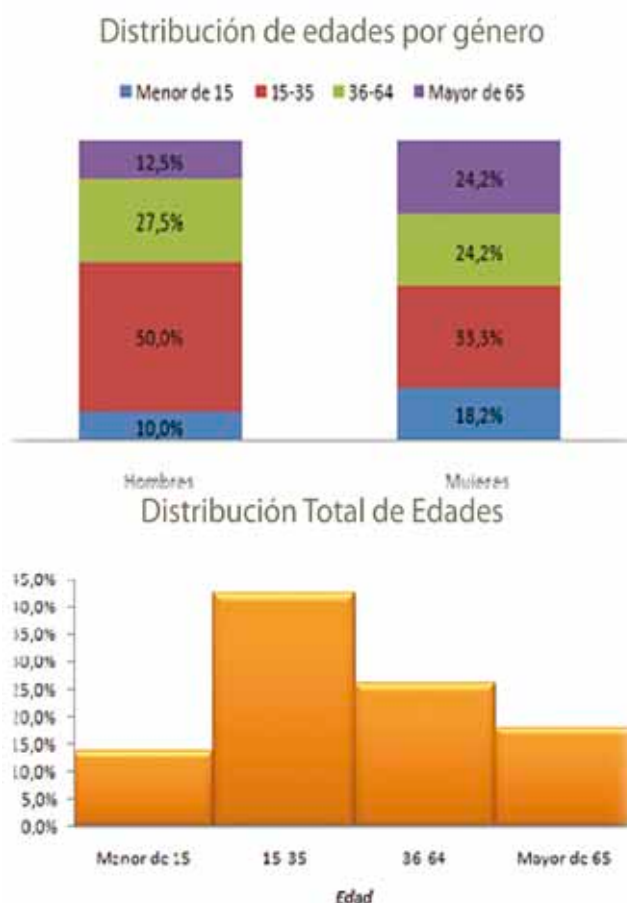


FIG. 2. Distribución de edades en la población que respondió la encuesta

Las pruebas estadísticas para la diferencia de medias y análisis de varianza, sin embargo, permitieron concluir que no existe diferencia entre la concentración de PM_{10} entre los puntos de muestreo, a pesar de la diferencia en la composición del transporte que transita entre ellos.

El 45% de los usuarios que respondieron a la encuesta fueron mujeres y un 55% fueron hombres. Su distribución de edades se observa en la figura 2.

La encuesta permitió determinar la distancia promedio recorrida, su velocidad promedio y el esfuerzo realizado por los usuarios de la ciclorruta. Con

esta información y las concentraciones medidas en la ciclorruta, se estimó la tasa de respiración y la dosis diaria de PM_{10} inhalada por ellos. Los resultados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Dosis diaria promedio para la población de estudio

Población	ADD (mg/Kg/día)
H. adultos ejercicio ligero	0,0641
H. adultos ejercicio pesado	0,1282
H. 15 ejercicio ligero	0,0755
M. adultas ejercicio ligero	0,0650
M. adultas ejercicio pesado	0,1404
M. 15 ejercicio ligero	0,0765
M. 15 ejercicio pesado	0,1513

Bibliografía

- ADAMS, H. S.; NIEUWENHUIJSEN, M. J.; COLVILE, R. N. (2001), Determinants of fine particle ($PM_{2,5}$) personal exposure levels in transport microenvironments, London, UK. *J Atmospheric Environment*. 35, 4557-4566.
- ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, *Plan maestro de movilidad para Bogotá*, disponible en: http://www.movilidadbogota.gov.co/contenido.asp?plantilla=1&pub_id=704&pag_id=1351&cat_id=239, recuperado el 21 de octubre de 2008.
- DE HARTOG, J.J.; HOEK, G.; PETERS, A. et ál. (2003), Effects of fine and ultrafine particles on cardio respiratory symptoms in elderly subjects with coronary heart disease. *American Journal of Epidemiology*; 157:613-623.
- EL-FADEL, M.; MASSOUD, M. (2000), Particulate matter in urban areas: health-based economic assessment. *J. the science of the total environment* (257): 133-146.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), *Exposure Factors Handbook*, disponible en: <http://www.epa.gov/ncea/efh/report.html>, recuperado el 20 de noviembre de 2008.

- INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION (ICRP66), (1994). Publication 66: Human respiratory tract model for radiological protection, *Annals of the ICRP*, 24.
- MOSQUERA, J. (2008), Entendiendo el uso de la bicicleta como medio de transporte en Bogotá; una aproximación cualitativa, Simposio Colombiano de Ambientes Urbanos y Salud Pública, Bogotá.
- NAMBDEO, A.; BELL, M. C. (2005), Characteristics and health implications of fine and coarse particulates at roadside, urban background and rural sites in UK, *J. environment International*; 31: 565-573.
- POPE III, C. A.; DOCKERY, D. W. (2006), Health effects of fine particle air pollution: lines that connect. *J. air waste Manage Assc* 2006; 56(6): 709-42.
- SALMA, I.; BALASHAZY, I.; HOFMANN, W. et ál. (2002), Effect of physical exertion on the deposition of urban aerosols in the human respiratory system, *J. Aerosol Science*. 33 983-997.
- SALMA, I.; MAENHAUT, W., ZÁRAY, G. (2002), Comparative study of elemental mass size distributions in urban atmospheric aerosols, *J. Aerosol Science*; 33: 339-356.
- THAI, A.; MCKENDRY, I.; BRAUER, M. (2008), Particulate matter exposure along designated bicycle routes in Vancouver, British Columbia. *J. Science of the total environment*. (405):26-35.



Determinación de metales, metaloides, iones, compuestos orgánicos y negro de carbón en material particulado colectado en tres ciudades de América Latina

1-Dos Santos-Argentina-2

Grupo Argentina,^{*} Grupo Brasil 1,[†] Grupo Brasil 2,[‡]

Grupo Colombia[§] y Patricia SMICHOWSKI^{**}

Palabras clave: PM₁₀, metales, iones, compuestos orgánicos, SAEMC.

Introducción y objetivos

La atmósfera es un medio importante de transporte global de contaminantes aun a grandes distancias. Como consecuencia, la población de las grandes ciudades está expuesta a los distintos componentes presentes en el material particulado. Las partículas en suspensión, a diferencia de los contaminantes gaseosos, consisten entonces, en una mezcla generalmente compleja de materiales que pueden contener metales y metaloides, ácidos, iones, material biológico y otros compuestos orgánicos e inorgánicos.

Toda estrategia efectiva para la prevención y el control de la contaminación atmosférica incluye un diagnóstico adecuado del problema. Por lo

^{*} Marina Dos Santos, Julieta Marrero, Patricia Smichowski, gerencia química. Comisión Nacional de Energía Atómica, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina.

[†] María de Fátima Andrade, Américo Kerr. Departamento de Ciências Atmosféricas Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas e Instituto de Física, Universidade de São Paulo.

[‡] Pérola Vasconcellos, Davi Z. Souza, Kátia Nascimento, Fernando Cavalcante, Maria Perpétua Araújo, Instituto de Química da Universidade de São Paulo.

[§] Eduardo Behrentz, Juliana Rivera, Melissa Parra. Grupo de estudios en sostenibilidad urbana y regional, Universidad de los Andes.

^{**} Investigadora. Gerencia química. Comisión Nacional de Energía Atómica y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina, Dirección: av. Gral Paz 1499, B1650 KNA-San Martín, Pcia de Buenos Aires, Argentina. +(54-11) 6772 7873; Fax: +(54-11) 6772 7886; correo electrónico: smichows@cnea.gov.ar.



Página anterior

Página siguiente



Menú



tanto, es necesario identificar y cuantificar los contaminantes presentes en las partículas atmosféricas.

Este estudio es llevado a cabo por el Grupo Aerosoles en el marco del Proyecto South America Megacities and Climate Change 'Megaciudades de Sudamérica y Cambio Climático' (SAEMC) y reúne, de manera coordinada, los recursos e intereses de varios laboratorios de tres países de América Latina: Argentina, Brasil y Colombia. Tiene como finalidad realizar una caracterización completa de material particulado colectado en los tres países. Contempla la determinación de metales, metaloides, iones, negro de carbón y compuestos orgánicos en 55 muestras colectadas durante un período de ~ 40 días.

Metodología

El Grupo Aerosoles elaboró un protocolo de trabajo de común acuerdo con todos los laboratorios participantes.

Se colectaron 55 muestras de PM_{10} en Buenos Aires, Bogotá y São Paulo durante ~ 40 días en 2008. El período de muestreo dependió de las características climáticas de cada ciudad.

El grupo Brasil 1 colectó las muestras en filtros de Nuclepore® (polycarbonato) de 0,4 y 8,0 μm . El resto de los grupos utilizó filtros de fibra de cuarzo de 8 x 10". Cada filtro de cuarzo se dividió en varias porciones que fueron enviadas a los distintos países para que las determinaciones de un mismo grupo de elementos/iones/compuestos orgánicos fueran realizadas por los mismos operadores.

Aluminio, As, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, S, Sb, Ti y V se determinaron por espectrometría de emisión óptica con fuente de plasma (ICP OES). Aluminio, Br, Ca, Cl, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, P, Pb, S, Si, Ti y V se determinarán por fluorescencia de rayos X (XRF).

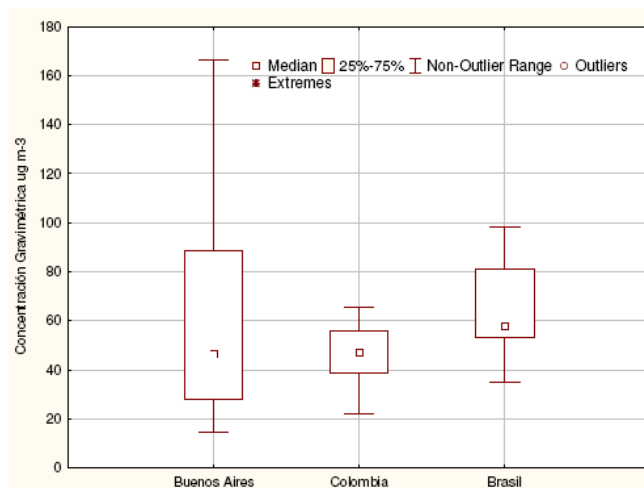


FIG. 1. Concentraciones ($\mu\text{g m}^{-3}$) gravimétricas de las muestras colectadas en Buenos Aires, Bogotá y São Paulo

La cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) se empleó para determinar iones y también compuestos orgánicos.

Para validar los resultados sobre la concentración de metales, el material de referencia NIST 1648 (urban particulate matter) fue sometido al mismo procedimiento analítico que las muestras.

Resultados y conclusiones

El proyecto se encuentra en ejecución y, por lo tanto, sólo se informan resultados preliminares de los análisis realizados entre los tres países.

La figura 1 muestra las concentraciones gravimétricas de las tres ciudades estudiadas. En todos los casos estuvieron comprendidas entre 40 y 50 $\mu\text{g m}^{-3}$.

El grupo de Argentina determinó la concentración de los siguientes elementos: Al, As, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, S, Sb, Ti y V por ICP OES. Los filtros se pusieron en solución utilizando digestión ácida asistida por microondas. Se emplearon 8 mL de ácido nítrico y 2 mL de ácido fluorhídrico. Los elementos mayoritarios determinados fueron Al, Ca, Mg y Fe.

Los iones cuantificados en la fase acuosa por los grupos de Bogotá y São Paulo son: Na^+ , NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , K^+ , Ca^{2+} , NO_3^- , NO_2^- , Mg^{2+} .

Con respecto a los compuestos orgánicos, se determinaron hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHS), n-alcanos, aldehídos, cetonas y ácidos orgánicos. La tabla 1 muestra resultados preliminares de los análisis del grupo Brasil 2.

TABLA 1. Concentración de compuestos orgánicos en Bogotá y São Paulo

ng m ⁻³	San Pablo	Bogotá	
	Sitio SPA	Sitio BOI	Sitio BOV
Aniones inorgánicos	8870	4809	2713
Acidos orgánicos	534	403	332
Cationes	3506	1626	1445
n-alcanos	209	212	*
PAH	42	26	*
n-aldehidos	2	37	*
n-cetonas	25	209	*
PM ₁₀ (µg m ⁻³)	38 ± 14	106 ± 47	46 ± 6

Este estudio es el primero realizado de manera coordinada entre tres ciudades de América Latina por el Grupo Aerosoles en el marco del proyecto SAEMC.

Agradecimientos

Proyecto Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) CRN II 2007, auspiciado por la National Science Foundation (EE. UU.), Grant Geo-0452325.

Metales y metaloides en muestras de polvo de la calle colectadas en la ciudad de Buenos Aires, Argentina

1-Fujiwara-Argentina-1

Fabián FUJIWARA,* Raúl JIMÉNEZ,[†] Laura DAWIDOWSKI,[‡] Darío GÓMEZ,[§]
Griselda POLLA,** Victoria PEREYRA^{††} y Patricia SMICHOWSKI^{‡‡}

Palabras clave: material sedimentable, fraccionamiento, composición, técnicas instrumentales.

Introducción y objetivos

El polvo de las calles es el primer destinatario de las emisiones vehiculares. Su *resuspensión* es una de las mayores fuentes de material particulado en ambientes urbanos. Por esta razón, se han llevado a cabo estudios

* Estudiante de doctorado. Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, Universidad de San Martín. Becario del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Gerencia Química, Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina.

[†] Investigador. Gerencia química, Comisión Nacional de Energía Atómica.

[‡] Investigadora. Gerencia química, Comisión Nacional de Energía Atómica. Instituto de Investigaciones e Ingeniería Ambiental, Universidad de San Martín. Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

[§] Investigador. Gerencia Química, Comisión Nacional de Energía Atómica. Instituto de Investigaciones e Ingeniería Ambiental, Universidad de San Martín. Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

** Investigadora. Gerencia de Investigación y Aplicaciones, Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina.

^{††} Estudiante de doctorado. Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental, Universidad de San Martín. Becaria de la Agencia de Promoción Científica Tecnológica. Gerencia Química, Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina.

^{‡‡} Investigadora. Gerencia Química, Comisión Nacional de Energía Atómica. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina, Dirección: av. Gral Paz 1499, B1650 KNA-San Martín, Pcia de Buenos Aires, Argentina. +(54-11) 6772 7873; Fax: +(54-11) 6772 7886; correo electrónico: smichows@cnea.gov.ar.



Página anterior

Página siguiente



Menú



relacionados con la determinación de metales pesados en este tipo de muestras en diferentes ciudades del mundo usando diferentes técnicas analíticas (Herngren, 2006). En menor medida, se han hecho estudios sobre la determinación de compuestos orgánicos en polvo de las calles.

El tránsito es la principal fuente de diversos contaminantes a los que se denomina elementos relacionados con el tránsito (ERT) y que son considerados como contaminantes emergentes. En nuestro grupo es un tema de permanente interés y ha informado por primera vez para una ciudad de América Latina el contenido de Pt y el Rh (proveniente de los convertidores catalíticos de los automóviles) en material particulado colectado en Buenos Aires (Bocca, 2006). Otro elemento considerado fue el Sb (se utiliza en las pastillas de frenos) con concentraciones entre 0,87 y 15,3 ng m⁻³ (Gómez, 2005).

Con relación a esta problemática se han llevado a cabo recientemente estudios para evaluar la influencia de los ERT en la contaminación de las áreas urbanas. Las fuentes más importantes de estos elementos son: caños de escape, desgaste de materiales, pastillas de freno, desgaste de los neumáticos, convertidores catalíticos, pavimento y polvo de las calles.

El objetivo de este trabajo es caracterizar física y químicamente el polvo de las calles de Buenos Aires como indicador y fuente de contaminación atmosférica.

Metodología

Se colectaron veinte muestras de polvo de las calles de la megaciudad de Buenos Aires durante tres meses en quince sitios agrupados en cinco zonas con diferentes patrones de tránsito y densidad poblacional. Las muestras se separaron por tamaño de partícula utilizando un tamiz en cascada y se obtuvieron las siguientes fracciones: A: < 37 µm, B: < 55, C: < 75 y D: < 100. Posteriormente, cada fracción se sometió a una digestión ácida (2 ml HNO₃, 6 ml HCl y 1 ml HF).

Para determinar los componentes mayoritarios en las muestras sólidas (minerales, silicatos) se utilizó difracción de rayos X (XRD) y rayos X dispersivos en energía.

Los elementos mayoritarios, minoritarios y traza (Al, As, Ca, Cd, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, S, Sb, Sn, y Zn) se determinaron en las soluciones ácidas de las cuatro fracciones por espectrometría de emisión óptica con fuente de plasma (ICP OES). Se prestó especial atención a la determinación de los elementos marcadores del tránsito vehicular como Cu, Mo, Pb, Ni, S, Sb y Zn

Resultados y conclusiones

A modo de ejemplo, se presentan los resultados obtenidos para la zona 1 ya que los niveles de concentración son similares en las cinco zonas consideradas (fig. 1). La zona 1 abarca $\sim 5 \text{ km}^2$, en un área residencial relativamente cercana a la autopista que rodea la ciudad. Las concentraciones elementales pueden organizarse en tres grupos: 1) $\text{Fe} > \text{Al} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{S} > 1000 \mu\text{g g}^{-1}$; 2) $1000 \mu\text{g g}^{-1} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > 100 \mu\text{g g}^{-1}$; 3) $100 \mu\text{g g}^{-1} > \text{Ni} > \text{Sb} > \text{Sn} > \text{Mo} > \text{As} > \text{Cd} > 1 \mu\text{g g}^{-1}$. En términos generales, excepto en la zona 3, las concentraciones en la fracción A son mayores que en la fracción B. Estas diferencias son más significativas para los elementos con concentraciones $< 100 \mu\text{g g}^{-1}$. Cabe destacar que los elementos con mayor grado de toxicidad (As, Cd, Ni, Sb) se encuentran en las concentraciones menores.

Los factores de enriquecimiento (fig. 2) muestran que un típico ERT como es el Sb (componente de las pastillas de freno) presenta el mayor grado de enriquecimiento ($\text{FE} > 100$) en las cinco zonas y en todos los casos resultó con mayor FE en la fracción A.

Otros ERT como Cu, Pb, S y Mo presentan $\text{EF} > 10$. Un caso a resolver para dilucidar cuáles son las posibles fuentes es el del Cd cuyos EF en las cinco zonas y en ambas fracciones es > 10 . Dos de los elementos denominados geológicos como Ca y Mg resultaron empobrecidos ($\text{EF} < 1$) en todos los casos.



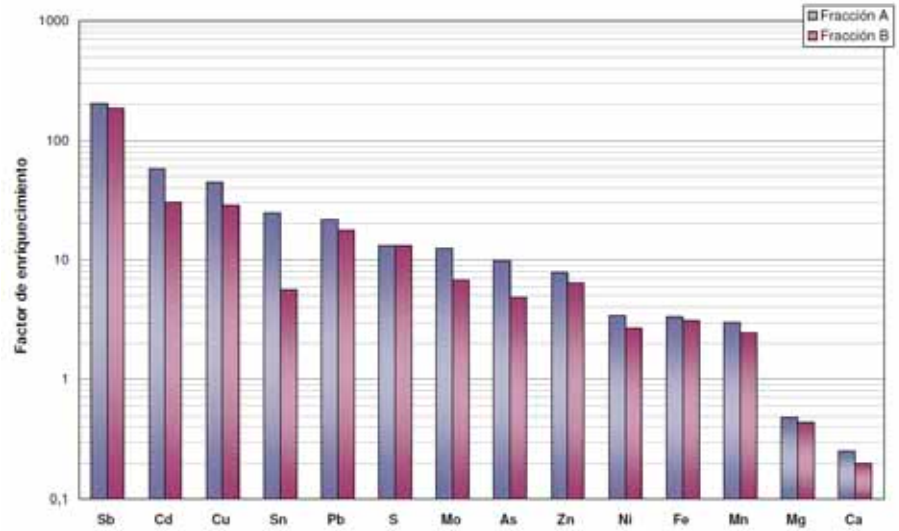


FIG. 1. Concentraciones elementales medidas en la fracción A y B, zona 1

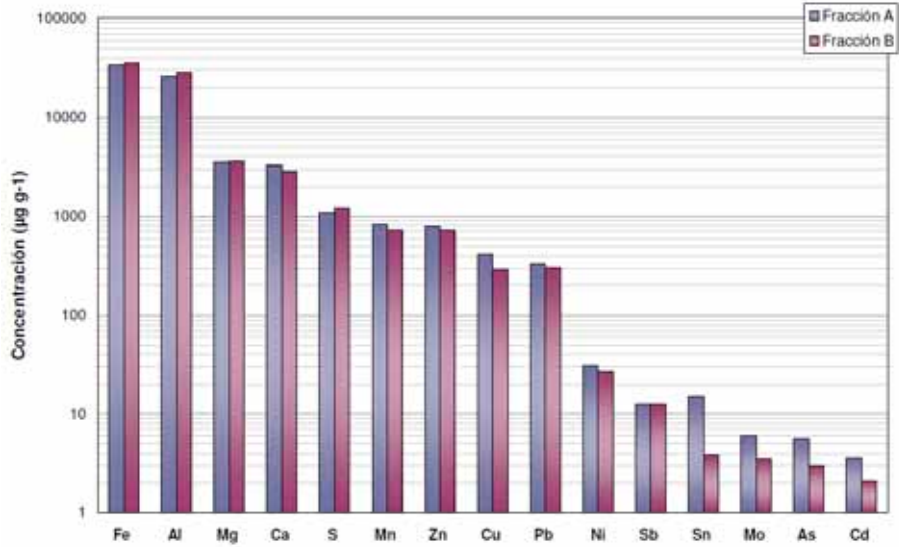


FIG. 2. Factores de enriquecimiento en las fracciones A y B, zona 1

Otro caso que hay que resaltar son los FE en la zona 3 (centro de la ciudad) donde la mayoría de los elementos resultaron más enriquecidos en la fracción B que en la A.

Agradecimientos

Inter-American Institute for Global Change Research (IAI) CRN II 2007, auspiciado por la National Science Foundation (EE. UU.), Grant Geo-0452325. PICT 23-32494 Agencia Nacional de Promoción Científico Tecnológica, Argentina.

Bibliografía

- BOCCA, B.; CAIMI, S.; SMICHOWSKI, P. et ál. (2006), Monitoring Pt y Rh in urban aerosols from Buenos Aires, Argentina, *The science of the total environment*, 358:255-264.
- GÓMEZ, D. R.; GINÉ, M. F.; SÁNCHEZ BELLATO, A. C. SMICHOWSKI, P. (2005), Antimony: a traffic related element in the atmosphere of Buenos Aires, Argentina, *Journal of environmental monitoring*, 7:1162-1168.
- HERNGREN, L.; GOONETILLEKE, A.; AYOKI, G. A. (2006), Analysis of heavy metals in road-deposited sediments. *Analytica Chimica Acta*, 571:270-278.

Eliminación de H_2S a través de oxidación regenerativa con hierro quelado

18-Rincón-Colombia-1

Pablo RINCÓN* y Manuel RODRÍGUEZ†

Palabras clave: ácido sulfhídrico [H_2S], quelatos de hierro, absorción.

Introducción y objetivos

El ácido sulfhídrico (H_2S) generado en los procesos de descomposición anaerobia de la materia orgánica es indeseable cuando es emitido a la atmósfera debido a su desagradable olor, las propiedades corrosivas y su toxicidad. Diversas tecnologías se han aplicado para removerlo ya presente en los efluentes gaseosos.

Los procesos de absorción química han sido ampliamente utilizados para la remoción de compuestos olorosos (Yamamoto, Okubo, Hung, & Zhang, 2005), (Gómez & Cantero, 2007). Sin embargo, el consumo del químico tiene un costo y los productos de la reacción pueden ser indeseables para el medio ambiente (Nabais, 2006).

Se han creado procesos de absorción química en los cuales el químico es regenerado. Son procesos basados en reacciones de oxidación-reducción (redox). En general, el H_2S es oxidado a través de la reacción con un catalizador,

* Egresado de la Maestría en Ingeniería Ambiental. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Profesional asistente de investigación del Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental. Universidad de los Andes, Colombia, Dirección: carrera 1ª este núm. 19A-40. Bogotá, Colombia. AA 4976. Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. +(57-1) 339.4949; Fax: +(57-1) 332.4313. pabl-rin@uniandes.edu.co.

† Profesor asistente Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes, Colombia.



Página anterior

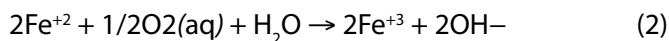
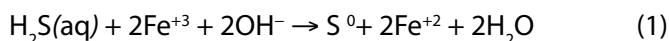
Página siguiente



Menú



el cual es alternativamente reducido y luego oxidado para regenerarse (Gómez & Cantero, 2007). Usualmente se han utilizado compuestos quelados de hierro para este propósito. El proceso puede resumirse a través de las siguientes reacciones:



La remoción del H_2S es selectiva a azufre elemental (S^0), el hierro en estado férrico (Fe^{+3}) en el quelato es el que participa en la remoción reduciéndose a hierro ferroso (Fe^{+2}) para luego ser regenerado a través de oxígeno (Piché, Ribeiro, Bacaoui, & Larachi, 2005).

A través de un proceso de absorción en una torre empacada en contracorriente se estudió la remoción de H_2S , a través de dos quelatos de hierro utilizados y producidos por la industria agrícola (Agtiferro y Kelatex). De esta manera, se pretende probar las condiciones de operación del reactor que generan una mayor remoción y la explicación de la afectación de éstas. El consumo, la regeneración del quelato y S^0 como producto, también fueron investigados.

Metodología

La unidad piloto construida para esta investigación consiste en una torre de acrílico por donde fluye el gas a través de material de llenante. El material llenante consiste en anillos raschig dispuestos aleatoriamente. El H_2S fue generado a través de la reacción con ácido clorhídrico (HCl) y sulfuro de sodio (Na_2S) a través de la siguiente reacción (Mejía & Giraldo, 1998).



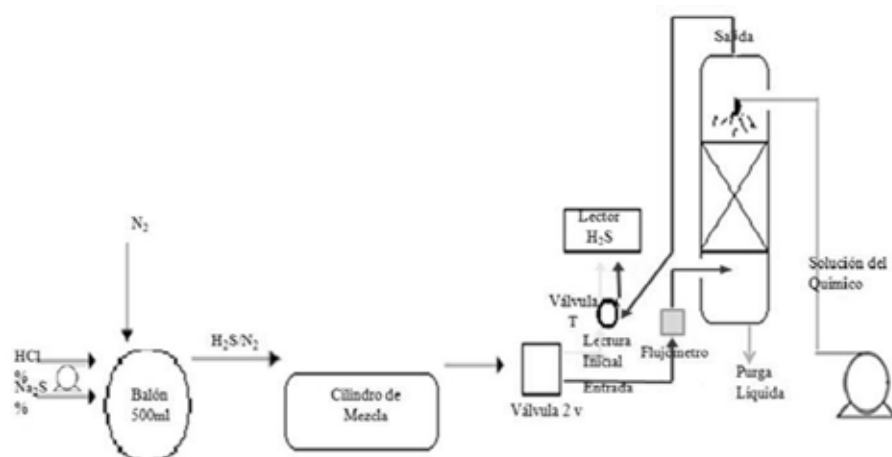


FIG. 1. Diagrama de flujo

El H_2S generado es arrastrado por N_2 , la mezcla $\text{H}_2\text{S}/\text{N}_2$ llega a un cilindro que permite una mejor mezcla para que la concentración sea más estable. Luego del cilindro una válvula de dos vías permite el ingreso a una válvula T, la cual permite ingresar a lector de H_2S (Toxirae plus–Rango de medición: 0,0 a 100,0 ppm). Ésta es la manera de obtener la lectura inicial (línea de flujo color claro), como se muestra en la figura 1. La válvula de dos vías permite también el ingreso a un flujómetro (Dwyer) y, posteriormente, al reactor. El aire tratado va al lector de H_2S para la lectura de la concentración de salida (línea de flujo color oscuro). En la base del reactor hay una válvula para la purga del líquido. Los químicos de la reacción para producir H_2S deben diluirse en agua desionizada para que el H_2S no se produzca en grandes concentraciones y éstas no sean inestables.

Se utilizaron tres valores de concentraciones a la entrada en la operación del reactor (20, 40 y 60 ppm) y tres valores de flujo del gas (2, 4,5 y 10 sfch). El interés de la dilución de los químicos es que la concentración a la entrada de H_2S sea lo más estable y cuantificable posible. Se determinaron las concentraciones de HCl y de Na_2S que para cada condición de la matriz de operación (flujo y concentración de H_2S) la concentración de entrada

fuese lo más estable posible durante diez minutos y el promedio de los datos cercano al valor requerido de C por la condición de operación. La concentración a la salida se lee también durante diez minutos a partir del minuto 0,5 donde se comienzan a ver remociones.

Para poder ver el consumo del hierro en estado férrico se utilizó una titulación con permanganato de potasio (KMnO_4) creada específicamente para este proyecto.

La determinación del producto de la reacción de H_2S con hierro quelado se determinó generando una pasta filtrada al final de la reacción y enviada a fluorescencia por rayos X para determinar las fases de azufre presentes en la muestra.

Resultados y conclusiones

El H_2S es removido por la absorción con quelatos de hierro. Al aumentar el flujo de gas y la concentración de H_2S las concentraciones a la salida son inestables y las remociones disminuyen.

Con agtiferro (EDDHA Fe) subiendo el pH a 11 unidades las remociones alcanzadas están por encima del 90% para flujos desde 2 a 10 scfh y una concentración de H_2S alrededor de 20 ppm, como se puede observar en la figura 2.

Con Kelatex (EDTA Fe) las remociones son más bajas, y para el flujo de 10 scfh la remoción es nula. Sobre el Kelatex el pH no se puede subir por encima de 8 pues el EDTA no es estable por encima de esta unidad de pH. Al subir el pH a 8 la remoción de H_2S mejora, logrando remociones alrededor de 70, 85 y 90% para flujos de 2, 4,5 y 10 scfh respectivamente y una concentración alrededor de 20 ppm, como se puede observar en la figura 3.

A través de la titulación con KMnO_4 se comprobó que la remoción del H_2S se realiza por el hierro en estado férrico, éste se transforma a hierro ferroso. El hierro ferroso puede ser regenerado con oxígeno. Los dos químicos son reutilizables.

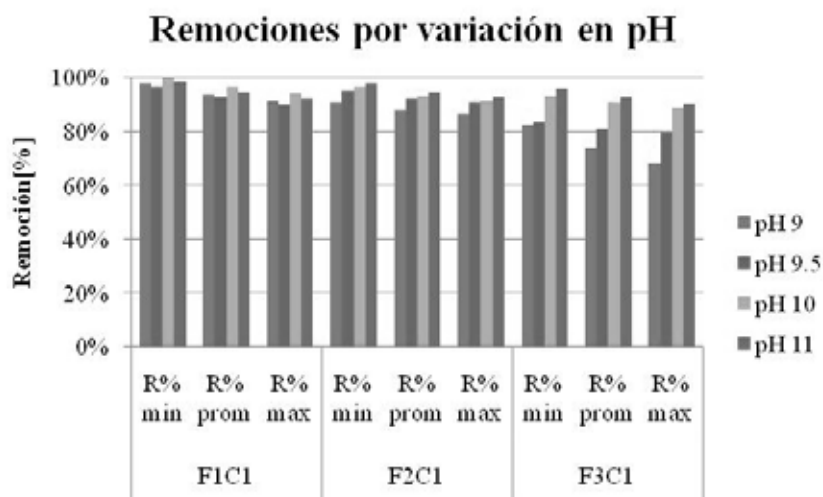


FIG. 2. Porcentajes de remoción en tres condiciones de operación, variación del pH con agtiferro

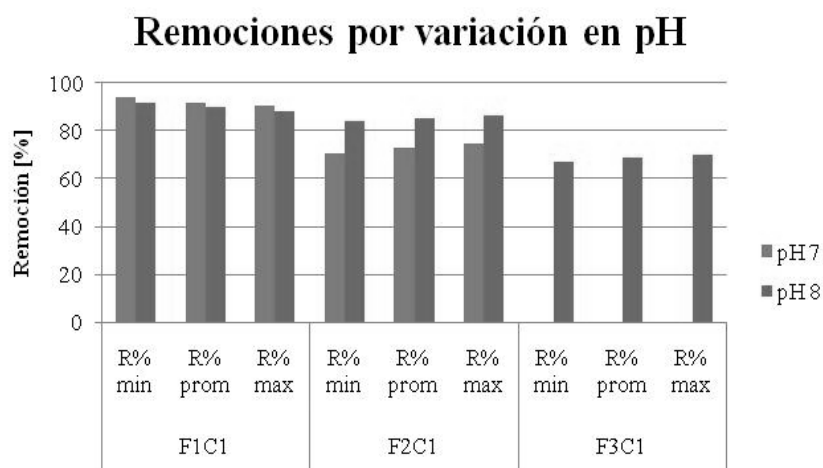


FIG. 3. Porcentajes de remoción en tres condiciones de operación, variación del pH con kelatex

Las únicas fases de azufre presentes en la pasta producida en la remoción con los dos quelatos es azufre elemental. La congruencia entre la absorbancia de la muestra y una muestra patrón de S^0 concluye que S^0 es una fase presente en la pasta. Ningún otro patrón de fases de azufre o sulfuros de hierro presentaron concordancias con los picos de la muestra.

Bibliografía

- MEJÍA, J. G. & GIRALDO, E. (1998), *Biofiltros como controladores en la emisión de olores*. Bogotá, Universidad de los Andes, Tesis para optar el título de Ingeniero Civil.
- NABAIS, R. (2006). Odors Treatment: Physicochemical Technologies. In X. Nicolay, *Odors in the Food Industry* (p. 109). Springer US.
- PICHÉ, S., RIBEIRO, N., BACAUI, A., & LARACHI, F. (2005). Assessment of a redox alkaline/iron- chelate absorption process for the removal of dilute hydrogen sulfide in air emissions. *Chemical Engineering Science* 60, 6452–6461.
- YAMAMOTO, T., OKUBO, M., HUNG, Y.-T., & ZHANG, R. (2005). Odor Pollution Control. In L. K. Wang, N. C. Pereira, & Y.-T. Hung, *Advanced Air and Noise Pollution Control* (pp. 273-334). Humana Press.



Evaluación de los niveles de contaminación en las zonas del Valle de Aburrá

1-Rincon-Colombia-1

Carmen Elena ZAPATA,* Carlos Mario SEPÚLVEDA†
y Andrea Viviana MARÍN‡

Palabras clave: redes de monitoría, PM_{10} , ozono, contaminación atmosférica.

Resumen

El presente estudio fue desarrollado en el Valle de Aburrá, que se caracteriza por ser un valle estrecho con problemas de inversión térmica y localizado en la cordillera de los Andes. El estudio fue realizado por la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín en convenio con el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, que actúa como autoridad ambiental. El objeto fue optimizar el proceso de monitoreo de calidad de aire en las zonas urbanas del Valle de Aburrá.

En el 2008 la red de calidad del aire del Valle de Aburrá aumentó la cantidad de estaciones (21 estaciones), con respecto al año 2007, con la puesta en marcha de dos estaciones automáticas fijas, Ditaires y El Poblado, se realizó la conversión de 10 medidores de PST a PM_{10} , se instalaron un $PM_{2,5}$ secuencial, en la estación Politécnico, y dos PM_{10} automáticos, en El Poblado y Sabaneta, que fueron donados por el MAVDT al AMVA.

* Ingeniera de petróleos y M. Sc. Water Environment Management, profesora asociada de la Universidad Nacional de Colombia, Directora operativa Red de Monitoreo de Calidad de Aire del AMVA.

† Ingeniero Sanitario, Ingeniero Operativo Red de Monitoreo de Calidad de Aire del AMVA.

‡ Ingeniera Química, Amva, Interventora Convenio Red de Monitoreo de Calidad de Aire. Dirección: carrera 80 núm. 65-223, bloque M3 sótano, Redaire, Facultad de Minas, Medellín, Colombia. (574) 4255108 telefax, correo electrónico: redaire@unalmed.edu.co, cezapata@unal.edu.co, cmsepulveda@une.net.co, andrea.marin@metropol.gov.co.

Resultados y conclusiones

Los resultados de material particulado en suspensión (PST) muestran que se supera la norma anual colombiana de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ definida en la resolución 601 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; especialmente en las estaciones de la zona centro y sur del Valle de Aburrá. La estación Miguel de Aguinaga y Colegio El Rosario (Itagüí), son las más contaminadas de todas las estaciones con promedios geométricos anuales de $109 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $99 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Las estaciones del municipio de Girardota y UPB son las que presentan menores promedios en el año, con valores entre $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $82 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En la estación Universidad Nacional, Facultad de Minas, se alcanzaron a medir cerca de cuatro muestras de PST antes del 10 de abril, cuando se convirtió el equipo a PM_{10} . Estas concentraciones de PST fueron superiores a $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$, donde se tuvo gran influencia de los trabajos de construcción y remodelación de las vías de la carrera 80 con calle 65 e infraestructura. Los cambios de circulación vehicular del cruce de la avenida 80 con la calle 65, realizados después del 19 de mayo, mejoraron considerablemente la movilidad en el sector, que se han reflejado en la disminución de las concentraciones de partículas PM_{10} .

Las concentraciones de PM_{10} , figura 1, con equipos manuales, indican que la estación Universidad Nacional, Facultad de Minas, y Politécnico son las estaciones más contaminadas con promedios anuales de $83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Las estaciones Barbosa y Copacabana son las estaciones menos contaminada por PM_{10} . Los equipos automáticos de PM_{10} muestran valores muy parecidos a los registrados por los equipos manuales. El 100% de los datos supera la norma anual de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ definida por la OMS.

Las concentraciones diarias de $\text{PM}_{2,5}$ registradas en las estaciones Miguel de Aguinaga, Poblado, CES, Politécnico y Ditaíres variaron entre $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$

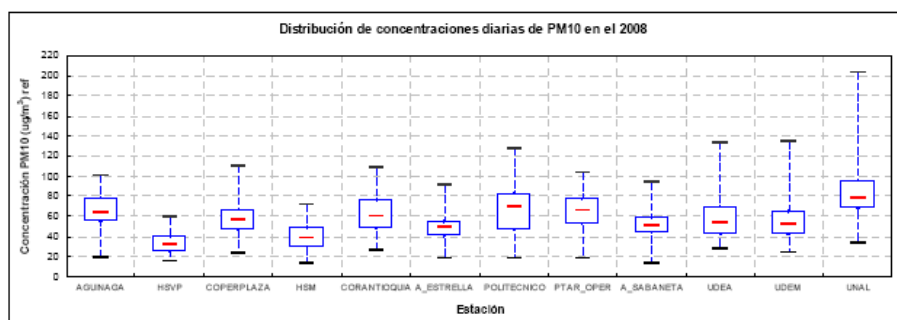


FIG. 1. Distribución de concentraciones de PM_{10} en el 2008: Equipos manuales

y $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo la más contaminada, por $PM_{2,5}$, la estación Miguel de Aguinaga y la menos contaminada la estación Poblado-CES. Comparando estas concentraciones con la norma diaria de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de la EPA, que se puede aplicar en Colombia según la resolución 601 del MAVDT, en la ciudad se presentaron 91, 54, 29 y 6 excedencias diarias en las estaciones Miguel de Aguinaga, Ditaires, Politécnico y Poblado Universidad CES que equivalen al 41, 21, 32 y 3% de los datos respectivamente.

Los resultados del índice de calidad del aire de la EPA (EE. UU.) aplicados a los resultados muestran que las partículas son las responsables de la categoría atmosférica buena o moderada. El $PM_{2,5}$ en las estaciones Miguel de Aguinaga, Poblado, Politecnico y Ditaires, es el contaminante responsable de la calidad del aire, "No saludables para grupos sensibles" en la mayoría de los casos.

A partir del 1º de julio de 2008 se presentan disminuciones de concentraciones de partículas PST (entre 3,1 y 13,0%), PM_{10} (entre 0,4 y 24,3%) y $PM_{2,5}$ (entre 8,7 y 12,1%), debido a una serie de factores como son por la mejora de la calidad del diésel, las condiciones meteorológicas, la mejora en la movilidad y el pico y placa.

Bibliografía

ZAPATA, C. E., et ál. (2009, enero), Calidad del aire en el Valle de Aburrá en el 2008. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Convenio 543 de 2008.



Incidencia de síntomas irritativos oculares y respiratorios y contaminación atmosférica en una cohorte de preescolares en Bucaramanga, Colombia

3-Rodríguez- Colombia-2

Laura Andrea RODRÍGUEZ,^{*} Juan José REY,[†] Astrid BERENA,[‡] Henry CASTRO,[§]
Jurg NIEDERBACHER,^{**} Lina María VERA,^{††} Luz Libia CALA ^{‡‡} y Fabio BOLÍVAR^{§§}

Palabras clave: contaminación del aire, asma, signos y síntomas respiratorios, preescolar, prevalencia.

Introducción y objetivos

Las acciones humanas han tenido un efecto perjudicial en la composición del aire, especialmente porque la quema de combustibles fósiles y otras actividades industriales han introducido contaminantes, incluidos el dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), óxidos de nitrógeno (NO_x) y partículas sólidas y líquidas conocidas como material particulado. El material particulado es un contaminante crítico, de muy variable composición química, denominado primario ya que éste se emite directamente por fuentes naturales, antropogénicas e

^{*} Médica epidemióloga, Observatorio de Salud Pública de Santander, calle 49 núm. 27^a-74, Observatorio de Salud Pública de Santander, Bucaramanga, Tel-Fax. 7- 6434407, correo electrónico: lauravi78@gmail.com.

[†] Médico epidemiólogo, Observatorio de Salud Pública de Santander.

[‡] Estudiante de Maestría en Epidemiología, Universidad Industrial de Santander.

[§] Ingeniero coordinador red de monitoreo de calidad del aire, Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga.

^{**} Neumólogo pediatra, Instituto Neumológico del Oriente, Universidad Industrial de Santander.

^{††} Médica epidemióloga, Universidad Industrial de Santander, estudiante de Doctorado en Epidemiología, Universidad de Wisconsin EE. UU.

^{‡‡} Neumólogo pediatra, Instituto Neumológico del Oriente, Universidad Industrial de Santander.

^{§§} Internista neumólogo, Instituto Neumológico del Oriente, Universidad Industrial de Santander.

industriales; monitoreado en el ámbito mundial por la importancia que representan sus efectos sobre la salud humana.

Desde diciembre del año 2000, en Bucaramanga la Red de Monitoreo de Calidad del Aire, operada por la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) registra niveles de concentración elevados para material particulado fracción respirable inferior a 10 micras (PM_{10}) y ozono troposférico (O_3) en algunas zonas de la ciudad, los cuales han superado en varias ocasiones la norma de calidad del aire establecida en la resolución 601 expedida por el Ministerio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

En Bucaramanga un análisis reciente de morbilidad basado en los registros individuales de prestación de servicios (RIPS) estableció que el asma es la tercera causa de atención en consulta externa y la primera en urgencias entre la población pediátrica de los diferentes regímenes de aseguramiento.

El objetivo del estudio fue determinar la incidencia de síntomas irritativos oculares y respiratorios en la población preescolar de dos zonas con diferentes niveles de contaminación atmosférica según los registros de la red de monitoreo de calidad del aire en Bucaramanga, Colombia.

Metodología

Estudio observacional analítico de cohorte comparando la incidencia de síntomas irritativos oculares y respiratorios (tos seca, tos con flemas, asfixia, sibilancias, uso de dispositivos de inhalación, lagrimeo, estornudo y necesidad de consulta médica por estos síntomas) por un período de un año en menores de siete años en dos zonas de la ciudad con niveles diferentes de contaminación por material particulado.

La zona denominada de alta contaminación correspondió a tres barrios del centro de la ciudad con promedio de PM_{10} diario de $80\mu g/m^3$, mientras que la zona denominada de baja contaminación correspondió a un barrio de la zona occidental de la ciudad con promedios diarios de $42\mu g/m^3$.

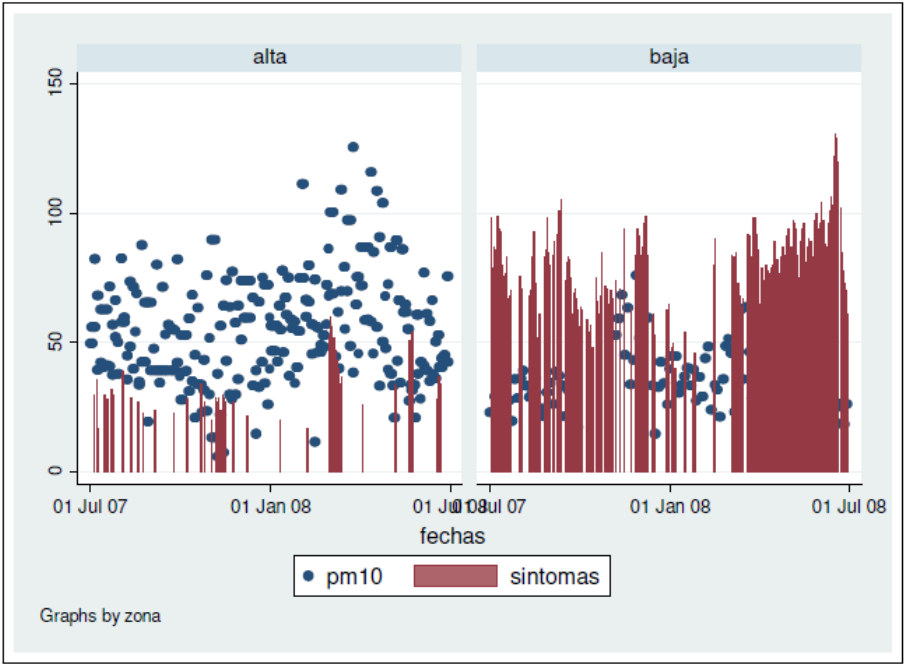


FIG. 1. Frecuencia total de síntomas irritativos oculares y respiratorios en menores de siete años y niveles de material particulado (PM_{10}) en dos zonas de Bucaramanga, Colombia

La morbilidad sentida fue medida con un calendario diario de síntomas registrado por padres o cuidadores previamente entrenados para tal fin. La recolección de los calendarios se realizó de forma mensual y la verificación del registro diario se realizó de forma telefónica.

Para el análisis de la información se construyó una base de datos por datos individuales y una segunda para datos agrupados por día, zona de contaminación y barrio. En el análisis se presenta la información obtenida del análisis de la base con datos agrupados. Para el procesamiento y análisis de la información bivariada se utilizaron diferencias de medias evaluadas por prueba de test t de student y para el análisis multivariado se utilizó un modelo de regresión lineal múltiple para ajustar el efecto de la zona de contaminación por otras variables ambientales como temperatura, humedad,

precipitación, presión atmosférica, dirección y velocidad de los vientos e intensidad solar.

Resultados y conclusiones

Se estudiaron 768 niños con un promedio de 48,2 meses, distribuidos de forma homogénea en las zonas de alta y baja contaminación. El promedio diario de PM_{10} durante los doce meses de seguimiento fue de $34,52 \pm 12,7$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con un rango intercuartílico entre 25,93 y 42,37 en la zona de baja contaminación, mientras que en la zona de alta contaminación el promedio fue de $55,51 \pm 20,53$ con un rango intercuartílico entre 39,17 y 68,82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

El análisis bivariado mostró diferencias significativas ($p < 0,000$) de la incidencia de todos los síntomas entre las dos zonas de estudio, siendo mayores en la zona de baja contaminación (fig. 1).

El modelo de regresión lineal mostró que la variabilidad de los síntomas irritativos oculares y respiratorios se explica en un 58% por la variabilidad del material particulado (PM_{10}) en las dos zonas de comparación. El modelo multivariado final no mostró modificación de la asociación entre la contaminación atmosférica y la presencia de síntomas irritativos oculares y respiratorios dada por las otras variables ambientales estudiadas.

Como conclusión creemos que es posible que en Bucaramanga los factores de contaminación intradomiciliaria puedan tener un mayor efecto sobre la presencia de síntomas irritativos y respiratorios en menores de siete años que los contaminantes externos, por lo cual se requieren nuevos estudios que evalúen esta nueva hipótesis.

Financiación: Este estudio ha sido financiado por Colciencias (Proyecto 651734519008), el Observatorio de Salud Pública de Santander, la Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga, el Instituto Neumológico del Oriente, la Universidad Industrial de Santander y la Secretaría de Salud de Santander.

Bibliografía

- ARÉVALO, M.; REYES, M. et ál. (2003), Asma y Rinitis alérgica en pre-escolares de Cali, *Colombia Médica*; 34(1):4-8.
- ALVIS, N.; DE LA HOZ, F. (2008), Contaminación del aire domiciliario y enfermedades respiratorias (infección respiratoria aguda baja, epoc, cáncer de pulmón y asma): evidencias de asociación, *Rev Fac Med*; 56: 54-64.
- ANTOVA, T.; PATTENDEN, S. et ál. (2008), Exposure to indoor mold and children's respiratory health in the paty study, *J Epidemiol and Community Health*; 62: 708-714.
- ARANGUEZ, E.; ORDOÑES, J. et ál. (1999), Contaminantes atmosféricos y su vigilancia, *Rev Esp Salud Pública*;73: 123-32.
- ASHER, M.; KEIL, U. et ál. (1995), International study of asthma and allergies in childhood (Isaac): rationale and methods, *Eur Respir J*; 8:483-91.
- BALLESTER, F. (2003), La evaluación del impacto en salud.de la contaminación atmosférica, *Rev. Salud Ambiente*; 3(2):102-107.
- BRUNEKREEF, B.; Forsberg, B. (2005), Epidemiological evidence of effects of coarse airborne particles on health, *Eur Respir J*; 26(2): 309-18.
- CABRALES, C.; GARCÍA, H.; RAMÍREZ, G., Estudio aerobiológico en la ciudad de Bucaramanga, *Revista de alergia, asma e inmunología*, disponible en: <http://encolombia.com/medicina/alergia/alergia12203-estudio.htm>.
- CHIARELLA, P.; VARGAS, R. et ál. (2004), Prevalencia de síntomas respiratorios compatibles con asma en niños escolares de 13 y 14 años de San Martín de Porras (Lima) y de Huancayo. *Enferm Tórax*; 48(1): 50-58.
- COLOMBIA, Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial, resolución 601 de 4 de abril de 2006 "por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia".
- CURTIS, L.; REA, W.; et ál. (2006), Adverse health effects of outdoor air pollutants, *Environ Int*; 32 (6):815-30.



- DALES, R.; Liu, L. et ál. (2008), Quality of indoor residential air and health, *CMAJ*; 179: 147-52.
- DASTON, G.; FAUSTMAN, E. et ál. (2004), A Framework for assesing risk to children from exposure to environmental agents, *Envirom Health Prespect*; 112:238-56.
- DENNIS, R.; CARABALLO, L. et ál. (2004), Asthma and other allergic conditions in Colombia: a study in 6 cities, *Ann Allergy Asthma Inmunol*; 93:568-74.
- DIMITROULOPOLOU, C.; ASHMORE, M. et ál. (2006), Indair: A probabilistic model of indoor air pollution in UK homes, *Atmospheric Environment*; 40:6362-79.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA), (2004, July), *Particulate Matter Research Program*.
- FERNÁNDEZ, M.; BENÍTEZ FERNÁNDEZ, M. et ál. (2005), Validation of the Spanish version of the Phase III Isaac questionnaire on asthma, *J Invest Allergol Clin Immunol*; Vol. 15(3): 201-210.
- FRANKLIN, P. (2007), Indoor air quality and respiratory health of children, *Pediatric Respiratory Reviews*; 8: 281-6.
- LANDRIGAN, P.; KIMMEL, C. et ál. (2004), Children's health and the environment: public health issues and Challenges for risk assessment. *Envirom Health Prespect*; 112:257-65.
- OBSERVATORIO DE SALUD PÚBLICA DE SANTANDER (2006), *Indicadores de morbilidad basados en el Registro Individual de Prestación de Servicios (RIPS)*, Bucaramanga.
- OMS-OPS, Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. Control de la Contaminación del Aire, disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org>.
- RIVAS, E.; BARRIOS, S. et ál. (2008), Fuentes de contaminación intradomiciliaria y enfermedad respiratoria en jardines infantiles y salas cuna de Temuco y Padre Las Casas, Chile, *Rev Med Chile*; 136: 767-74.
- ROMEO, E.; DE SARIO, M. et ál. (2006), pm10 exposure and asthma exacerbations in pediatric age: a metanalysis of panel and time seires studies, *Epidemiol Prev*; 40: 245-54.

- ROMERO, M.; MAS, P. et ál. (2004), Contaminación atmosférica, asma bronquial e infecciones respiratorias agudas en menores de edad de La Habana, *Salud Pública Mex*; 46:222-33.
- ROSALES, J.; TORRES, V. et ál. (2001), Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencia de estudios epidemiológicos, *Salud Pública Mex*; 43: 544-55.
- SALO, P.; XIA, J. et ál. (2004), Indoor allergens, asthma, and asthma related symptoms among adolescents in Wuhan, China, *Ann Epidemiol*; 14: 543-50.
- SOLARTE, P.; Caicedo, M.; Restrepo, S. (2002), Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Bogotá, *Revista Médica Sanitas*, vol. 5(2).
- STARK, P.; CELEDÓN, J. et ál. (2005), Fungal levels in the home and allergic rhinitis by 5 years of age, *Environ Health Perspect*; 113:1405-09.
- TELLES, M.; ROMIEU, I. et ál. (1997), Efecto de la contaminación ambiental sobre las consultas por infecciones respiratorias en niños de la ciudad de México, *Salud Pública Mex*;39(6).
- VARGAS, F. (2005), La contaminación ambiental como factor determinante de la salud, *Rev. Esp. Salud Pública* 79:117-127.
- WARD, D.; AYRES, J. (2004), Particulate air pollution an panel studies in children: a systematic review, *Occup Environ Med*; 61(4):e13.
- ZAMORANO, A.; MÁRQUEZ, S. et ál. (2003), Relación entre bronquiolitis aguda con factores climáticos y contaminación ambiental. *REv Me4d Chile*; 131:1117-22.



Datos existentes en el área del Caribe y América Central con vistas a la implementación del modelo CCATT-BRAMS en Cuba

1-Sánchez Gácita-Cuba-1

Madeleine SÁNCHEZ,* Leonor TURTÓS†, Norberto DÍAZ,‡
Marcelo Félix ALONSO⁴ y Karla M. LONGO**

Palabras clave: dispersión, contaminantes atmosféricos, calidad de aire, emisiones, inventario.

Introducción y objetivos

El deterioro de la calidad de aire en las grandes ciudades, como resultado de las emisiones del transporte, las industrias y otras fuentes antropogénicas, resulta cada vez más preocupante. Aunque La Habana no presenta los elevados valores de contaminación observados en grandes ciudades de América, la utilización de tecnologías atrasadas y combustibles de baja calidad ocasionan emisiones comparativamente elevadas dados los indicadores de desarrollo y la densidad de población (Turtós, 2006). La implementación del modelo CCATT-BRAMS (Freitas, 2007a) en Cuba permitiría una evaluación más completa del problema de la contaminación en el país.

* Estudiante de maestría en Meteorología. Grupo GMAI. Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (INPE) Brasil, Dirección: Divisão de Geofísica Espacial - DGE Av. Dos Astronautas, 1758, Jd. da Granja, São José dos Campos, SP, Brasil, CEP: 12227-010. (+55 12) 3945-6742, madeleine.sanchez@cptec.inpe.br.

† Investigadora principal del Grupo de Impacto Ambiental de la División de Energía. Cuba energía, Cuba.

‡ Especialista en SIG del Grupo de Impacto Ambiental de la División de Energía. Cuba energía, Cuba.

⁴ Estudiante de Doctorado en Meteorología. Grupo GMAI. Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales INPE, Brasil.

** Coordinadora del grupo GMAI. Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales, (INPE), Brasil.



El presente trabajo consistió en la búsqueda de la información de emisiones disponible en la región, con énfasis en Cuba; así como en el análisis de la calidad y suficiencia de ésta.

Metodología

Se obtuvieron los datos globales de emisiones anuales provistos por Edgar (Olivier, 2001*a* y 2001*b*), para el año 2000, con una resolución de un grado (Edgar 32FT, 2000). Las emisiones de NH_3 , con resolución de medio grado, se obtuvieron a partir de las bases globales (Bouwman et ál., 1997 y 2002) y corresponden a los años 1990 y 1995.

Los datos de emisiones para Cuba fueron tomados del reporte para el año 2002 del inventario nacional de emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero (abreviando: inventario nacional), el cual incluye, además, actualizaciones a los reportes para los años 1990, 1994, 1996, 1998 y 2000 (López, 2005). Se trata de datos que, en general, no están desagregados por regiones. Se contó además con información detallada de las emisiones de plantas térmicas (>50 MW) para el año 2003. Para la región se encontró además el inventario detallado de emisiones de México, desagregado por municipios.

Los datos para Cuba reportados por Edgar y el Inventario Nacional fueron comparados para determinar la aplicabilidad de los datos de Edgar en el país. A partir de este análisis se propone un conjunto de datos a emplear en el país.

Resultados y conclusiones

La comparación entre los totales reportados para Cuba en el inventario nacional y los reportados por la base de datos Edgar, para el año 2000, (tabla 1) muestran que los datos Edgar sobrevaloran las emisiones para los diferentes contaminantes, con la excepción de los compuestos orgánicos volátiles

diferentes de metano (COVDM) y de los óxidos de azufre, para los cuales Edgar reporta valores significativamente inferiores a los reportados en el inventario nacional. Esta diferencia se atribuye al empleo de combustibles de elevado contenido de azufre.

TABLA 1. Emisiones para Cuba (Gg/año), inventario nacional de gases de efecto invernadero y base de datos internacional Edgar, año 2000

	Inventario Nacional de Emisiones	EDGAR
Contaminante	2000	2000
CO ₂	25.915,34	40.167
CH ₄	325,67	456,5
N ₂ O	10,41	28,2
NOX	104,76	268,5
CO	706,18	1480
COVDM	429,92	250,9
SO2	510,21	307,7

Considerando la distribución espacial existen deficiencias importantes en Edgar para el caso de Cuba, por ejemplo: las celdas donde se localiza la ciudad de La Habana (celdas -82,23 y -83,23) no presentan valores de emisiones significativos, encontrándose éstos en la celda (-82,22).

Dados los elementos anteriores sobre la calidad de los datos Edgar sobre Cuba, se propone emplear los datos del inventario nacional, desagregando las emisiones de acuerdo con un promedio pesado por población, para aquellos sectores que no estuviesen desagregados. Para las plantas térmicas se tomaron los datos para el año 2003, luego de haber descontado los mismos del sector energía.

Como continuación a este trabajo se plantea el empleo de la metodología descrita en (Alonso, 2008) para la mejora de los datos existentes en la base de datos Edgar para la región y la aplicación de una mejor estrategia de desagregación de los datos en el inventario nacional, para determinar el mejor conjunto de datos en el caso Cuba.

Se plantea además el análisis del caso de México con vistas a la inclusión de éste en los estudios de correlación que impliquen la mejora de los inventarios de emisiones en el resto de la región.

Bibliografía

- ALONSO, M. F.; LONGO, K. M.; FREITAS, S. R. y MELLO, R. (2008), New anthropogenic emissions database upgraded with South America inventory data. En preparación para *Atmospheric Environment*.
- BOUWMAN, A. F., LEE, D. S., ASMAN, W. A. H. et ál. (1997), A Global High-Resolution Emission Inventory for Ammonia. *Global Biogeochemical Cycles*, 11(4), 561-587. 1997.
- BOUWMAN, A. F.; BOUMANS, L. J. M. y BATJES, N. H. (2002), Estimation of global NH₃ volatilization loss from synthetic fertilizers and animal manure applied to arable lands and grasslands. *Global Biogeochem. Cycles*, 16(2), doi: 10.1029/2000GB001389, p. 1024.
- FREITAS, S. R.; LONGO, K.; DIAS, M. et ál. (2007), The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 1: Model description and evaluation. *Atmos. Chem. Phys. Discuss*, disponible en: <http://www.atmos-chem-phys-discuss.net/7/8525/2007/acpd-7-8525-2007.pdf>>, 7, 8525-8569.
- LÓPEZ C., et ál. (2005, septiembre), Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Efecto Invernadero. Reporte para el Año 2002 y actualización para los años 1990, 1994, 1996, 1998 y 2000. *PRCT 30201: Protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible*. República de Cuba, AMA/INSMET La Habana,

- OLIVIER, J. G. J. y BERDOWSKI, J. J. M. (2001*a*), Global emissions sources and sinks. En: BERDOWSKI, J., GUICHERIT, R. y B.J. HEIJ (eds.) *The Climate System*. A.A. Balkema Publishers/Swets & Zeitlinger Publishers, Lisse, The Netherlands, pp. 33-78.
- OLIVIER, J. G. J. y; BERDOWSKI, J. J. M.; et ál. (2001*b*), Bloos Applications of Edgar. Including a description of Edgar 3.0: reference database with trend data for 1970-1995. *RIVM, Bilthoven*. RIVM report no. 773301 001/ NOP report no. 410200 051..
- TURTÓS, L.; MENESES, E.; SÁNCHEZ M. et ál. (2006), Assessment of the impacts on health due to the emissions of Cuban power plants that use fossil fuel oils with high content of sulfur. Estimation of external costs. *Atmospheric environment*, doi: 10.1016/j.atmosenv.2006.10.062.



Estrategias de evolución para determinar el comportamiento espacio-temporal de la concentración de material

particulado PM_{10}

16-Peña-Colombia-1

Alejandro PEÑA,* María Victoria TORO† y Jesús Antonio HERNÁNDEZ‡

Palabras clave: computación evolucionaria (EC), NUPFS (funciones de puffs no uniformes), Takagi Sugeno (TKS), rastreo gaussiano hacia atras usando puffs (BGPT), macropuffs, modelo Lagrangiano de puffs (LGP).

Introducción y objetivos

Uno de los principales interrogantes cuando se trata de mitigar los efectos de la concentración por material particulado PM_x en una zona de estudio, lo constituye el hecho de determinar su comportamiento espacial en el tiempo. Para determinar este comportamiento, se presenta una serie de limitantes tanto físicas, las cuales están representadas por la cantidad disponible de estaciones de monitoreo de la calidad del aire, o en la imposibilidad de llevar a cabo campañas masivas de medida, que permitan identificar el comportamiento del contaminante a través del tiempo, sobre todo en zonas en las cuales existen áreas de difícil acceso, así como matemáticas, que van desde la representación espacio-temporal de la concentración, pasan-

* Candidato a doctor en Ingeniería. Doctorado en Energía y Medio Ambiente. Universidad Pontificia Bolivariana. Profesor asociado, Escuela de Ingeniería de Antioquia, Envigado, Colombia, Dirección: km. 2, variante al Aeropuerto José María Córdova, Envigado, Colombia. Escuela de Ingeniería de Antioquia, Ingeniería Mecatrónica. (+57-4) 354 90 90 Ext. 253; Fax: (+57-4) 386 11 60, correo electrónico: pfjapena@eia.edu.co.

† Ph. D. Grupo de Investigaciones Ambientales, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia.

‡ Ph. D. Grupo de Investigación en Inteligencia Computacional, Instituto de Automática y Control, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.



Página anterior

Página siguiente



Menú



do por la estimación de las emisiones en fuente, el tipo de contaminante, y cómo y de qué forma una descarga de PM_x puede afectar un punto en el espacio (Aceña et ál., 2007), (Martín et ál., 2007). Para solucionar este problema, se propone la construcción de un modelo basado en los principios de la ec, que permita describir el comportamiento espacial de la concentración a través del tiempo, mediante la manipulación genética de una estructura de solución o individuo en términos de un proceso estocástico, que determina una estrategia de evolución (EE) a través del tiempo que dura una campaña.

Metodología

El modelo propuesto, estará inspirado en los conceptos de un Kohonen Features Map (KFM), el cual determinará una estructura de solución compuesta por tres submodelos integrados en una estructura de solución o individuo. Un primer submodelo es utilizado para la estimación de emisiones en fuente, basado en los principios de un modelo lagrangiano de puffs gaussianos (Martín et ál., 2002) y en los conceptos de un modelo BGPT (Backward Gaussian puff tracking) (Israelsson et ál., 2006). Un segundo submodelo es utilizado para la interpolación representación del comportamiento analítico espacial de la concentración para PM_{10} , a través de una serie de funciones base o NUPFS que indican la concentración de puffs en la zona de estudio, y que servirán de base al interpolador TKS (Peña, Hernández, 2005) (Peña, Hernández, 2007a) (Peña, Hernández, 2007b), y un tercer submodelo que describe el comportamiento de las emisiones estimadas, como un proceso estocástico en términos de un movimiento browniano geométrico (MBG). La manipulación genética del operador de mutación en términos del proceso, determinará una EE, la cual permitirá establecer una serie de acciones encaminadas a disminuir las áreas de la zona de estudio, en la cual hay una mayor actividad o una mayor concentración de puffs o material particulado PM_x en el espacio.

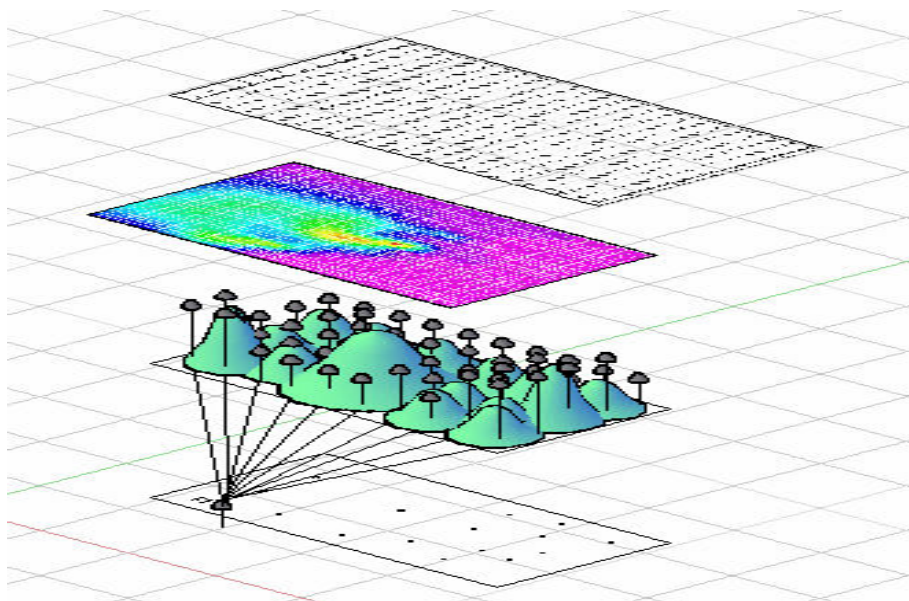


FIG. 1. Estructura del modelo evolutivo para determinar el comportamiento espacio temporal de la concentración para PM_{10}

Para la validación del modelo propuesto para el caso general de estimación ($n_{\text{fuentes}} > m_{\text{estaciones}}$), fue llevada a cabo una campaña de medida en una zona de estudio, que comprende unos $25 \times 25 \text{ km}^2$ al interior de la ciudad de Medellín durante el año 2008. Para ello se utilizaron 5 estaciones de monitoreo, y 401 fuentes puntuales de emisión. La dinámica del modelo está determinada por una serie de campos horarios de viento medidos a una altura de 10 m, mientras que el comportamiento de cada uno de los genes del individuo, representará la cantidad de contaminante contenida en cada uno de los puffs emitidos por cada una de las fuentes a través del tiempo.

Resultados y conclusiones

El modelo evolutivo logró superar los limitantes espaciales que un grupo de $m_{\text{estaciones}}$ de monitoreo arrojan sobre el comportamiento espacial del fenómeno. Igualmente, a diferencia de los métodos utilizados por la

geoestadística y la inteligencia computacional para la representación de este tipo de fenómenos, los cuales basan su potencialidad en la cantidad y la calidad de la muestra de puntos que representan el fenómeno en la zona de estudio, el modelo basó su potencialidad en una serie de macropuffs o NUPFS que identifican la concentración de puffs en el espacio, macropuffs que posteriormente son utilizados por el modelo TKS para la representación analítica del comportamiento espacial de la concentración para PM_x . Las mediciones de concentración en cada una de las m estaciones de monitoreo, sin embargo, permitieron establecer una serie de patrones de cambio para las superficies, mientras que la descripción del comportamiento genético de la estructura de solución como un proceso estocástico, permitió la manipulación genética del operador de mutación, lográndose una serie de mapas de pronóstico que describirán, de una manera más integral, el comportamiento de la superficie a través del tiempo que dura una campaña, y en términos de una serie de acciones encaminadas a mitigar los efectos que la concentración de material particulado PM_x pueda ocasionar sobre una zona de estudio.

Bibliografía

- ACEÑA, M., B. MARTÍN, F. DE PASCUAL A. (2007), Estimación de Emisiones de Partículas PM_{10} desde fuentes difusas. Congreso Colombiano de Calidad de Aire. Universidad Nacional de Colombia.
- CRUZADO J. J. (2004), *Algoritmos de Estimación e Interpolación de Parámetros Geofísicos* Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez, [tesis del grado] Maestría en Ciencias de Ingeniería de Computadoras, Mayagüez.
- ISRAELSSON, P.H.; DO KIM, Y.; ADAMS, E. E. (2006), *A comparison of three Lagrangian approaches for extending near field mixing calculations* ScienceDirect, Elsevier, EM & S 21, 1631-1649, doi: 10.1016/j.ensoft.2005.07.008

- MARTÍN LL., F.; GONZÁLEZ, C.; PALOMINO, I. et ál. (2002), *Sicah: Sistema Informático para el control y prevención de la contaminación atmosférica en la Huelva* Ministerio de Ciencia y Tecnología, Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (Ciemat).
- MARTÍN LL., F.; PUJADAS, M.; ARTIÑANO, B. et ál. (2006), Estimates of atmospheric particle emissions from bulk handling of dusty materials in Spain. *Harbours*. (2007), disponible en: www.elsevier.com/j.atmosenv.2006.12.003.
- PEÑA-P., A. & HERNÁNDEZ-R. (2005), Interpolation and Exploration of Response Surfaces using Evolutionary NURBS, LaGrange Constraint and Cylindrical Operators. *Gecco 2005*, Washington, EE. UU., (ACM-1-59593-010-8/05).
- PEÑA, P. A.; HERNÁNDEZ, R. J.; PARRA, C. (2007), Modelo Evolutivo Integrado para la Interpolación/ Descomposición de Modelos Digitales de Elevación 2^{da}. Conferencia Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información. Oporto, Portugal.
- PEÑA, P.A., HERNÁNDEZ-R. J. (2007), Compression of Free Surface Base don the Evolutionary Optimisation of A NURBS-Takagi Sugeno System. 23 rd. ISPE CARS&FOF 07, Bogotá.

Análisis de la calidad de los combustibles líquidos comercializados en la ciudad de Bogotá

4-Ruiz-Colombia-1

Alba M. RUIZ,* Edna L. DELGADO† y Eduardo BEHRENTZ‡

Palabras clave: contaminación atmosférica, fuentes móviles, gasolina oxigenada, ACPM, estaciones de servicio.

Introducción y objetivos

Se encuentra ampliamente documentado que las emisiones de gases y partículas contaminantes del aire que son producidas por las fuentes vehiculares (fuentes móviles) se relacionan de forma muy cercana con el tipo y la calidad de combustibles empleados por las mismas (Bello et ál., 2000; Hsieh et ál., 2002; Kalligeros et ál., 2003). Esto se debe a que las características físicas y químicas de los combustibles afectan la forma en que se lleva a cabo la combustión al interior de los motores de los vehículos. Del mismo modo, dichas características suelen tener un impacto en el tipo de tecnología de control de emisiones que puede ser utilizada por los vehículos.

Asimismo, se ha identificado que el mejoramiento de la calidad de los combustibles constituye una de las estrategias más eficientes para la

* Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (SUR). Universidad de los Andes, Colombia.

† Coordinadora administrativa laboratorio ambiental. Universidad de los Andes, Colombia.

‡ Director Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (SUR). Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes, Colombia, dirección: carrera 1ª este núm. 19A-40. Bogotá, Colombia. A. A. 4976. Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. +(57-1) 339.4949; Fax: +(57-1) 332.4313, correo electrónico: ebehrent@uniandes.edu.co.



reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de las fuentes móviles (PCFV-PNUMA, 2007) y que las características y propiedades del combustible que es comercializado y distribuido al usuario final no sólo dependen del proceso de refinación y transporte previo a dicha comercialización, sino de los protocolos de almacenamiento y de eventuales procesos de adulteración.

En Colombia, Ecopetrol (Compañía Nacional de Petróleo) es la única empresa que se encarga del proceso de transformación de hidrocarburos para satisfacer la demanda nacional de combustibles. Por esta razón, se esperaría que las cerca de 430 estaciones de servicio que existen en la ciudad de Bogotá sean surtidas mediante los diferentes distribuidores mayoristas, con combustibles de calidad equiparable a la obtenida tras el proceso de refinación.

El objetivo del trabajo que se discute en este documento consistió en evaluar la calidad de los combustibles líquidos comercializados en la ciudad de Bogotá, mediante un análisis de sus propiedades más relevantes en términos de la tendencia a la formación de contaminantes atmosféricos. A través de este análisis se buscó realizar una caracterización de los combustibles que permitiera: 1) establecer la relación entre éstos y las emisiones de contaminantes atmosféricos provenientes de fuentes móviles; 2) evaluar el grado de cumplimiento de la normativa nacional aplicable; y 3) detectar eventuales casos de irregularidades en la distribución de combustibles líquidos al usuario final.

Metodología

Se desarrolló una campaña de campo en la cual fueron recolectadas las muestras de los dos tipos de combustibles líquidos disponibles para vehículos en la ciudad de Bogotá: gasolina oxigenada con 10% de etanol y aceite combustible para motores diésel (ACPM). Estas muestras se obtu-

vieron de 108 estaciones de servicio (EDS) distribuidas espacialmente en las diferentes localidades que conforman la ciudad, de modo que la selección de éstas fuera representativa de las condiciones de Bogotá.

Posteriormente, se realizó el análisis de las muestras recolectadas, evaluando parámetros específicos para cada tipo de combustible (contenido de etanol, plomo, presión de vapor y contenido de gomas en gasolina; contenido de aromáticos, ceniza e índice de cetano para el ACPM) y otros parámetros comunes para los dos (densidad, contenido de azufre, contenido de agua, destilación y contenido energético).

Las técnicas analíticas utilizadas para la evaluación de los parámetros corresponden a métodos estándar desarrollados por la American Society for Testing and Materials (ASTM). Para el caso del ACPM el contenido de aromáticos se determinó mediante el método de adsorción con indicador fluorescente (ASTM-D1318); el contenido de cenizas fue determinado por combustión (ASTM-D482) y el índice de cetano se calculó a partir de la información sobre densidad y destilación del combustible (ASTM-D4737). Para el caso de la gasolina, se empleó una técnica de espectroscopia por absorción atómica (ASTM-D3237) para determinar el contenido de plomo; la presión de vapor se determinó por el método Reid (ASTM-D323) y el contenido de gomas se determinó por evaporación (ASTM-D381). En ambos tipos de combustible, el contenido de azufre se determinó empleando un espectrofotómetro de fluorescencia de rayos X (ASTM-D2622); la densidad, mediante el uso de termo-hidrómetros (ASTM-D287); el contenido de agua por titulación coulométrica Karl-Fischer (ASTM-D6304); el contenido energético empleando una bomba calorimétrica (ASTM-D4809) y la destilación mediante un destilador atmosférico (ASTM-D86).

Resultados y conclusiones

En términos generales, los resultados obtenidos demuestran que los combustibles líquidos comercializados en Bogotá se ajustan y corresponden a

la reglamentación vigente para la ciudad (figs. 1 y 2). Esto nos da una buena noticia y permite que las políticas que se establezcan para lograr una mejora en la calidad del aire de la ciudad partan de dicho conocimiento. Asimismo, este hecho indica que las irregularidades que en algunos casos se presentan en la calidad del combustible que es entregado al usuario final, son propias de falencias en la distribución y almacenamiento por parte de distribuidores mayoristas o minoristas.

Para el caso de la gasolina se encontró que gran parte de las muestras registran un cumplimiento absoluto de la normativa (fig. 1). Sin embargo, se observó un número importante de casos en los cuales la temperatura para el 50% del volumen evaporado en la destilación se encuentra por debajo del límite inferior del rango establecido por la norma colombiana. Vale la pena mencionar que un elevado valor para esta temperatura se encuentra relacionado con mayores emisiones de hidrocarburos, deficiencias en el arranque en frío y en el funcionamiento a temperatura ambiente de los vehículos. Al mismo tiempo, un valor bajo para dicha temperatura se encuentra asociado con efectos ambientales que se consideren nocivos. Asimismo, se debe resaltar que en algunos países como México y Brasil, este parámetro solamente se encuentra reglamentado con un límite superior.

Respecto al ACPM se encontró una importante correlación entre el contenido de azufre y el índice de cetano y la densidad. Todos estos parámetros se encuentran asociados con emisiones de material particulado en fuentes vehiculares. Adicionalmente, se observó que cerca del 50% de las violaciones a la norma se presentaron en estaciones de servicio que no están claramente asociadas con un distribuidor mayorista (estas EDS son denominadas “banderas blancas”). De hecho, todos los casos encontrados de violaciones al contenido máximo de azufre en el ACPM correspondieron a muestras recolectadas en banderas blancas.

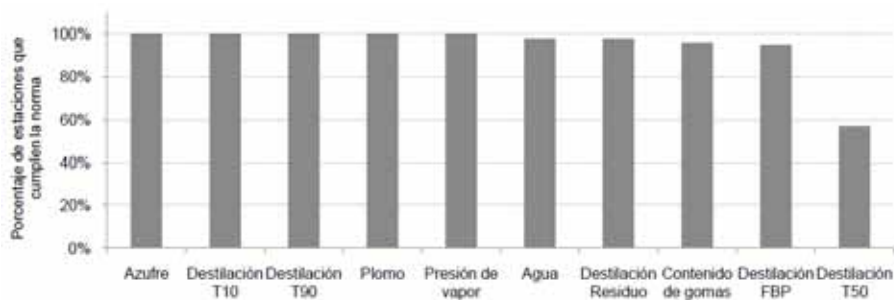


FIG. 1. Diagnóstico de cumplimiento de la norma para gasolina

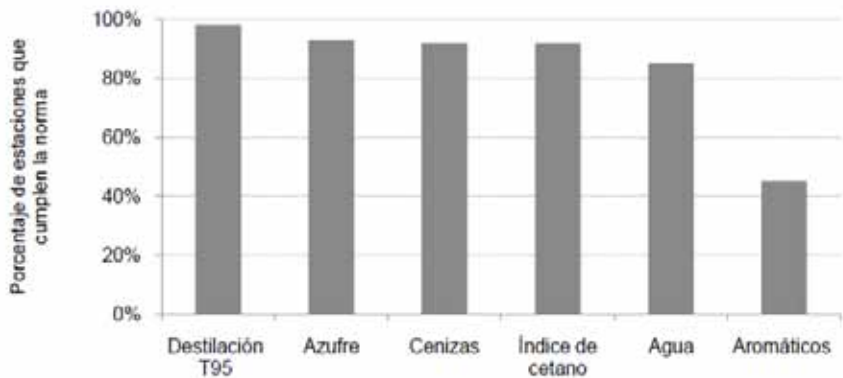


FIG. 2. Diagnóstico de cumplimiento de la norma para ACPM

Las banderas blancas típicamente cuentan con una infraestructura limitada, se localizan en la periferia de la ciudad (en zonas de difícil acceso) y sus usuarios son principalmente buses y busetas del servicio de transporte público colectivo, camiones y volquetas. Considerando que el principal problema de contaminación atmosférica en la ciudad de Bogotá se encuentra asociado con el material particulado, y teniendo en cuenta la relación entre éste y el contenido de azufre en el combustible, resulta de especial importancia que se controlen este tipo de irregularidades.

Agradecimientos

Este trabajo corresponde al estudio elaborado por el Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (SUR) de la Universidad de los Andes y contratado por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá (SDA) como parte del convenio de cooperación 081 de 2007.

Reconocemos de manera especial la colaboración de Jesús Miguel Sepúlveda, Édgar Erazo y Fernando Molano por parte de la SDA. Asimismo, agradecemos la valiosa información suministrada por la Secretaría Distrital de Salud y el apoyo prestado por sus funcionarios, en especial Luis Jorge Hernández y Oscar Noreña.

Finalmente destacamos la participación en el análisis de algunas de las muestras por parte del Instituto Colombiano del Petróleo, el Laboratorio de Crudos y Derivados de la Universidad Nacional de Medellín y el Laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de los Andes.

Bibliografía

- BELLO, A.; TORRES, J.; HERRERA, J.; SARMIENTO, J. (2000), The effect of diesel properties on the emissions of particulate matter. *Ciencia, Tecnología y Futuro* 2: 31-46.
- HSIEH, W.; CHEN, R.; WU, T.; LIN, T. (2002), Engine performance and pollutant emission of an SI engine using ethanol-gasoline blended fuels. *Atmospheric Environment* 36: 403–410. 2002.
- KALLIGEROS, S.; ZANNIKOS, F.; STOURNAS, S.; LOIS, E. (2003), Fuel adulteration issues in Greece. *Energy* 28: 15–26.
- Alianza para combustibles y vehículos limpios* (2007), Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Abriendo la puerta a los vehículos limpios en países en desarrollo y en transición: El papel de los combustibles de bajo azufre.

Propuesta para la creación de distritos de calidad del aire como herramienta de gestión ambiental

7-Espinosa-Colombia-1

Mónica ESPINOSA* y Eduardo BEHRENTZ†

Palabras clave: zona de no cumplimiento, autoridad ambiental, normativa ambiental, red de monitoreo, planes de descontaminación.

Introducción y objetivos

La normativa colombiana (decreto 979 y resolución 601 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial) establece la obligación por parte de las autoridades ambientales de declarar “zonas de no cumplimiento” en aquellas áreas en las que no se cumpla con los estándares de calidad del aire. Sin embargo, estas mismas normas no especifican una metodología clara para delimitar geográficamente dichas zonas. Como respuesta a esta situación y con el objetivo de optimizar la gestión de las autoridades locales, se propone la creación de distritos de calidad del aire (DCA). Esta propuesta se relaciona también con un segundo aspecto de la normativa nacional, relativo al cubrimiento territorial que deben tener las redes de monitoreo de calidad del aire del país.

* Coordinadora de proyectos. Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (SUR). Universidad de los Andes,

† Director del Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (SUR). Universidad de los Andes, Dirección: carrera 1ª este núm. 19 A-40. Edificio Mario Laserna, Piso 6. Universidad de los Andes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Bogotá, Colombia. +(57-1) 339 4949; Fax: +(57-1) 332 4313, correo electrónico: ebehrent@uniandes.edu.co.



Página anterior

Página siguiente



Menú



Metodología

Se realizó una revisión detallada y cuidadosa de las metodologías que se utilizan globalmente para delimitar las zonas de no cumplimiento (e. d., lugares en donde se incumplen las normas de calidad del aire). Durante el análisis de dicha información se tuvieron en cuenta las condiciones de calidad del aire de cada país, la efectividad que ha tenido la gestión de la calidad del aire por parte de las autoridades locales, la normativa vigente y la capacidad técnica y operativa requerida en cada caso. Con esta revisión se lograron identificar herramientas técnicas y lineamientos generales a considerar en la elaboración de la propuesta para el caso de Colombia. De manera paralela a la revisión de casos internacionales, se analizaron las zonas del país que han sido declaradas como “áreas fuente de contaminación” (e. d., zonas de no cumplimiento) y las metodologías que se han utilizado en el país para delimitar dichas zonas. A partir de las revisiones de casos y los análisis realizados, se llegó a la propuesta de creación de DCA, que se describe a continuación.

Resultados y conclusiones

De manera general, la metodología propuesta consiste en dividir el territorio nacional en zonas de menor extensión que cumplan ciertos criterios de calidad del aire. Estas zonas serán categorizadas según su propio nivel de contaminación. Finalmente, según la clasificación en referencia, se implementarán los planes para el manejo de la calidad del aire. En los puntos siguientes se mencionan los lineamientos para la conformación de los DCA (figs. 1 y 2).

1. Tal y como se dijo anteriormente, la creación de DCA consiste en la delimitación de áreas con calidad de aire similar que cubren todo el territorio nacional. Para la delimitación de éstas se utilizarán límites de división política existentes, lo cual cuenta con las siguientes ventajas: a) cada zona del país hace parte de un único municipio o ciudad

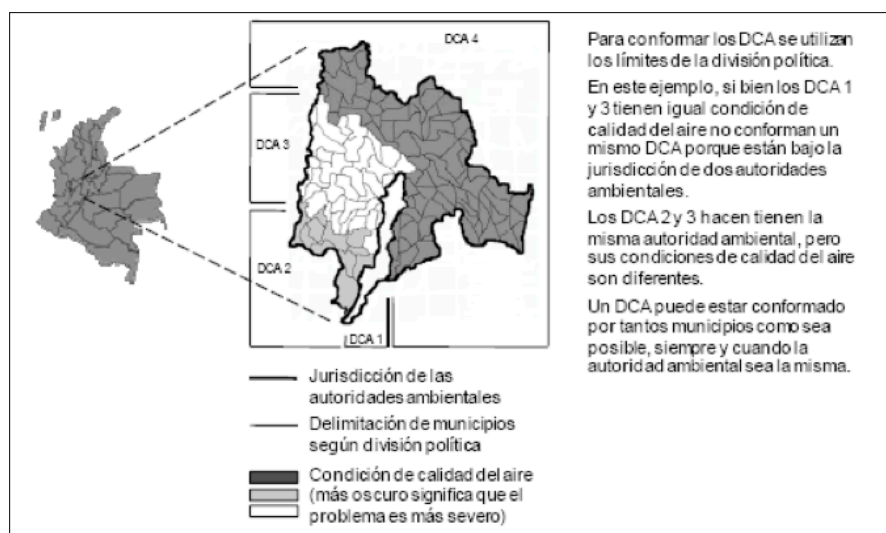


FIG. 1. Ejemplo de delimitación de los DCA

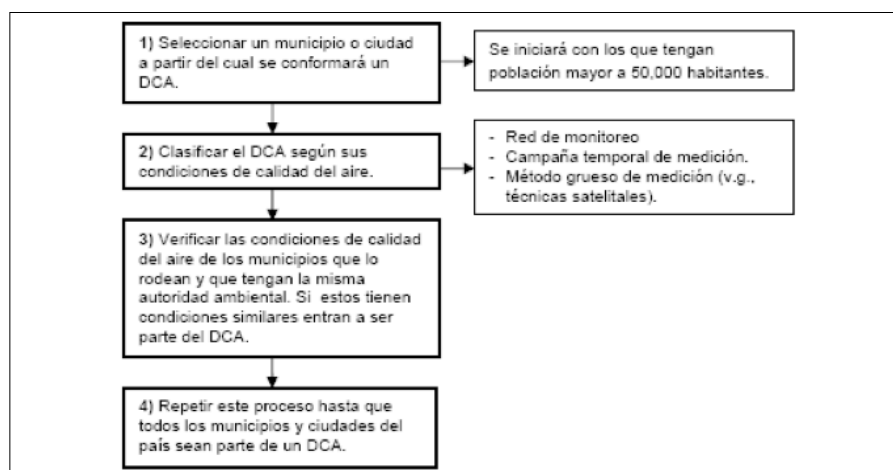


FIG. 2. Algoritmo para la conformación de los DCA



FIG. 3. Clasificación de los DCA

con límites administrativos definidos, b) cada municipio y ciudad ya se encuentra bajo la jurisdicción de una única autoridad ambiental, cuya función, en cuanto a la calidad del aire, se encuentra definida en la normativa nacional.

2. El área mínima para conformar un DCA es un municipio, pero un DCA puede estar conformado por un conjunto de municipios y ciudades siempre y cuando éstos compartan la misma autoridad ambiental (fig. 1).
3. Para crear los DCA es necesario conocer las condiciones de calidad del aire de las zonas que los conformarán. Debido a que no todas las autoridades ambientales locales realizan monitoreo de la calidad del aire, la conformación de los DCA se realizará de manera gradual, iniciando por las ciudades y municipios con población superior a 50.000 habitantes. Actualmente, esto equivale a 114 ciudades y municipios en los que habita el 80% de la población urbana del país y el 25% de la población rural. Las zonas del país que cumplan este requisito y que no cuenten con redes de monitoreo, deberán realizar campañas de medición de calidad del aire. Para los municipios que tengan población menor a 50.000 habitantes, y donde se presuponga que no se presentan problemas serios de contaminación del aire, se propone utilizar métodos de medición más gruesos tales como técnicas de medición satelitales (fig. 2).

4. Los DCA se clasificarán según su condición de calidad del aire, en alguna de las categorías que se presentan en la figura 3, de acuerdo con el nivel de cada contaminante criterio. La clasificación de las ciudades y municipios que tengan diferentes condiciones de calidad del aire dentro de su territorio se realizará según la condición más crítica.
5. La delimitación geográfica de las zonas de no cumplimiento corresponde a la de los DCA.
6. La creación de DCA supone la implementación de un plan de manejo de calidad del aire, diseñado de manera específica para cada caso. Esto implica una gestión más integral ya que involucra planes de reducción, prevención y control de la contaminación atmosférica en todos los distritos de calidad del aire del país, y no sólo en los que se estén excediendo los estándares. La implementación de un mismo plan de calidad del aire en una zona relativamente extensa facilita las actividades de seguimiento y control. Adicionalmente, esto motiva la implementación de medidas regionales las cuales suelen ser más efectivas en el control de la contaminación atmosférica.
7. La viabilidad de esta propuesta depende de la importancia que las autoridades den a la calidad del aire, pues se requieren esfuerzos significativos para su desarrollo. Asimismo, una condición inicial es la de garantizar la confiabilidad de los monitoreos. Esto último exige fortalecer la capacidad técnica de medición al interior de las autoridades ambientales.

Esta propuesta da respuesta a la delimitación geográfica de las zonas de no cumplimiento, y adicionalmente plantea la ampliación geográfica de la cobertura de la información de calidad del aire, lo que permite a su vez el desarrollo de planes de manejo de la calidad del aire en todo el territorio nacional. La creación de DCA implica el fortalecimiento de las instituciones

ambientales y de la capacidad de gestión de las autoridades ambientales de orden local, regional y distrital.

Agradecimientos

Se agradece al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) por proveer la financiación del trabajo que originó estos resultados (Convenio 062 de 2008). Se agradece de forma especial a César Buitrago, Alexander Valencia y Sandra Reina de la Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible del MAVDT.

Bibliografía

- AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE ESTADOS UNIDOS, EPA (1990), *Código Federal de Bibliografía*, CFR, 40, Parte 52. Título I, Estándares de calidad del aire, Sección 110.
- JEFATURA DEL ESTADO (2007), *Ley 34 de 2007*. Calidad del Aire y Protección de la Atmósfera. BOE No. 275, 16 de noviembre de 2007. España. 2007.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (2006), *Resolución 601 de 2006* "Por la cual se establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia".
- MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA, COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE (1996), *Declaración zona saturada por ozono, material particulado respirable, partículas en suspensión y monóxido de carbono, y zona latente por dióxido de nitrógeno a la Región Metropolitana de Santiago de Chile*.
- MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA (1995), *Decreto Supremo No. 94 de 1995*. Reglamento que fija el procedimiento y etapas para establecer planes de prevención y descontaminación. Santiago de Chile.
- NATIONAL SOCIETY FOR CLEAN AIR (NSCA), (2004), *Air quality management areas: a review of procedures and practice for local authorities*, Londres.
- PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA (2006), *Decreto 979 de 2006* "Por el cual se modifican los artículos 7º, 10, 93, 94 y 108 del Decreto 948 de 1995".

Factores que inciden en las emisiones y gestión de la calidad del aire en Bogotá

7-Pedraza-Colombia-2

Éder PEDRAZA*

Palabras clave: causas de la contaminación del aire, aumento de las emisiones, modelo de gestión de la calidad del aire en Bogotá, estrategias de reducción de la contaminación del aire.

Introducción y objetivos

El alcance de la gestión de la calidad del aire en las ciudades se ha ampliado en las últimas dos o tres décadas. Sin embargo, el énfasis y el éxito de las actividades del manejo han cambiado; si bien se ha logrado un progreso significativo en la mejora de la calidad del aire en algunas grandes ciudades, también se deben afrontar retos importantes relacionados las consecuencias de las altas concentraciones de contaminantes, que causan efectos negativos en la salud pública de los habitantes en todo tipo de urbes y regiones.

Los objetivos que se han trazado para la realización de este trabajo, en primera instancia, tienen que ver con la identificación de los factores o variables más relevantes que influyen en la contaminación del aire en Bogotá. También se esboza el modelo de gestión, basado en estos factores o variables, que ha promovido la autoridad ambiental local con el propósito de disminuir o

* Ingeniero químico. Especialista en Ingeniería Ambiental. Magíster en Planificación y Desarrollo Regional. Asesor en Emisiones y Calidad del Aire, dirección: calle 25D núm. 34A-05, El Recuerdo. Bogotá, Colombia, teléfono: +(57-1) 2440 217, correo electrónico: ederpedraza@hotmail.com.



Página anterior

Página siguiente



Menú



mitigar los efectos de estas emisiones. Asimismo y a manera de evaluación de la gestión, se realiza una cuantificación de la “ganancia ambiental” que representa la tendencia del crecimiento económico del distrito capital contra el comportamiento de las concentraciones del material particulado o PM_{10} en la última década.

Metodología

En cuanto al período y secuencia de las variables se trata de un estudio de corte longitudinal, que considera el conocimiento existente en los diferentes proyectos y trabajos realizados tanto por la propia institución como por otros entes relacionados. De acuerdo con el alcance esperado, este estudio se aborda de una manera descriptiva explicativa. Asimismo, la forma de afrontar los hechos y el conocimiento es retrospectiva pues se trata de examinar el comportamiento histórico de ciertas variables, con el propósito de entender su magnitud, estabilidad y consistencia, que permitan la utilización de ciertas herramientas de análisis relacional y su tendencia.

Resultados y conclusiones

Identificación de factores relevantes

Las causas fundamentales en el aumento de las emisiones en la ciudad tienen que ver, en general, con la calidad y el consumo de los combustibles según las tecnologías empleadas (tanto en fuentes fijas de emisión como móviles) para derivar algún provecho de estos (figs. 1a y 1b). Si nos basamos en la aseveración de algunos estudios previos (JICA, 1992; Uniandes, 2002), que identifican las fuentes móviles como las que aportan mayor carga contaminante en la ciudad, resulta preponderante el factor del crecimiento, composición y edad del parque automotor (figs. 1c, 1d y 1e); asimismo, el estado de las vías de la ciudad (fig. 1f).

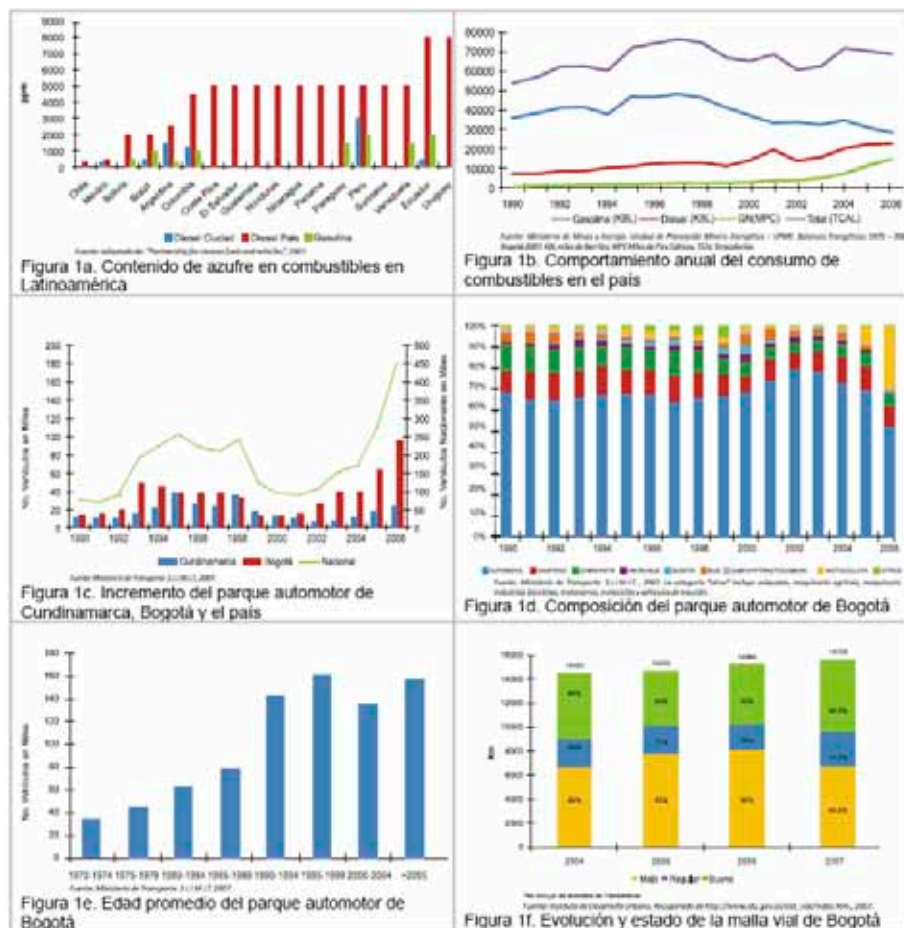


FIG. 1. Principales factores que inciden en la carga contaminante de Bogotá

También se deben considerar otros factores asociados como la utilización o no de tecnologías de control de emisiones, el modo de operación y mantenimiento de los vehículos, la disponibilidad de suficientes ejes viales y el eficiente manejo del tráfico, entre otros.

Acciones y gestión de la calidad del aire

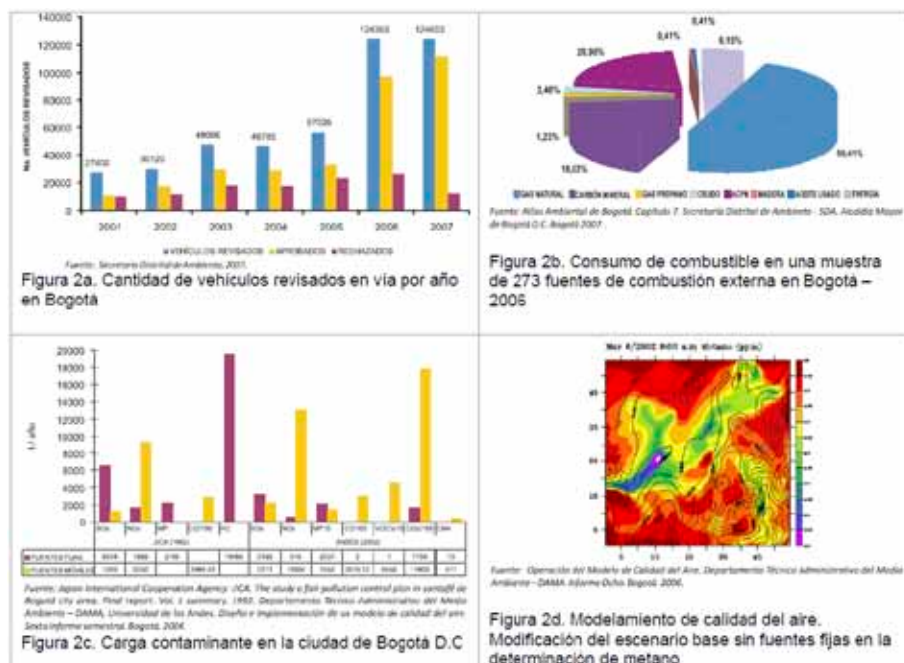
Las acciones de la autoridad ambiental para el mejoramiento de la calidad del aire en la ciudad se caracterizan por la incorporación de una amplia serie de planes, programas y proyectos encaminados al control de algunos de los factores que producen el aumento de emisiones a la atmósfera. A continuación se enuncian los programas más importantes que ha emprendido la institución en los últimos años:

- Establecimiento de la red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá (RMCAB).
- Programa de control de emisiones de fuentes fijas.
- Programa de control de emisiones de fuentes móviles (restricción vehicular – pico y placa, día sin carro, autorregulación).
- Inventario de emisiones y promoción del uso de combustibles alternativos.
- Campañas de información y educación.
- Proyecto Acercar.
- Diseño y operación del modelo de calidad del aire, MCA.
- Establecimiento de la mesa de calidad del aire Bogotá, región, etc.

Abajo se muestra gráficamente la evolución y el desempeño de algunos de estos programas (figs. 2a, b, c y d).

Evaluación de la gestión

Como evaluación de las acciones de la autoridad ambiental, es decir, de los programas desplegados en los últimos años y según los datos disponibles, podría pensarse que para controlar la contaminación por material particulado, que es el problema más importante en Bogotá, es necesario



controlar más estrictamente la emisión de las industrias. Sin embargo, un inventario sólo puede tener en cuenta las emisiones directas de las fuentes y no los contaminantes creados por reacciones químicas y procesos físicos en la misma atmósfera.

Gran parte de las emisiones de SO_2 y NO_x se transforman en material particulado una vez salen de las chimeneas o de los escapes de los vehículos, formando lo que se denomina material particulado secundario. Las estrategias de control deben orientarse tanto a la industria como a los vehículos, más aún cuando la exposición de la población a la contaminación de los vehículos es mucho mayor.

La figura 3 representa la ganancia ambiental registrada en el distrito capital por medio de dos curvas: el porcentaje de variación del PIB regional anual tomando como base el PIB de 1998 y el porcentaje de variación de las

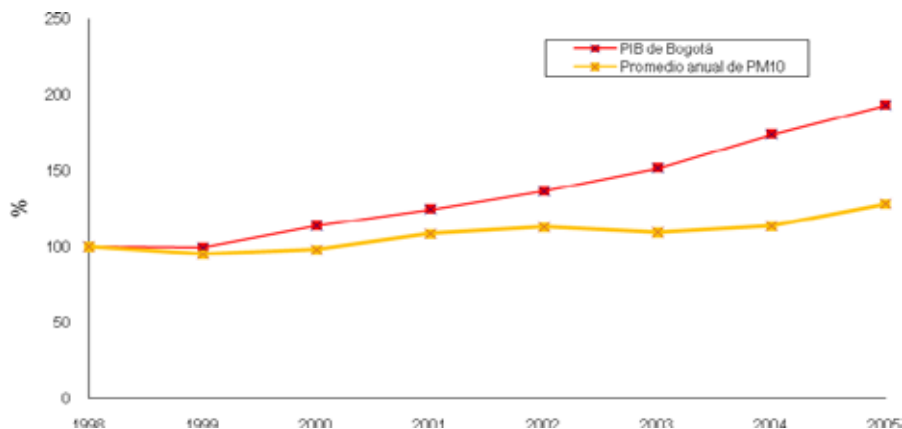


Fig. 3. Crecimiento económico del Distrito Capital y tendencias de PM_{10}

concentraciones anuales de PM_{10} , tomando como base el promedio anual de 1998. En ella se aprecia el sostenido crecimiento económico que ha experimentado en los últimos años Bogotá, en conjunto con el aumento moderado de las concentraciones de PM_{10} . La ganancia ambiental es el resultado de los esfuerzos de la autoridad ambiental de Bogotá, en coordinación con el Gobierno distrital, el Gobierno nacional, el sector industrial, de combustibles, de transporte y todas las bogotanas y los bogotanos. Los esfuerzos han sido muy grandes y los resultados importantes.

Bibliografía

COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE (2002), *Código Nacional de Tránsito*. Ley 769 de 2002. Fondo de Prevención Vial.

COLOMBIA. MINISTERIOS DE TRANSPORTE Y AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL (2005), *Resolución 3500 del 21 de noviembre de 2005*.

DEPARTAMENTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE (DAMA), Universidad de los Andes. (2004), *Diseño e implementación de un modelo de calidad de aire para Bogotá*. Informe semestral 6.

- DEPARTAMENTO TÉCNICO ADMINISTRATIVO DEL MEDIO AMBIENTE, DAMA-RMCAB (2006), *Informe anual de calidad del aire del año 2005*. Bogotá.
- GIRALDO, L.; BEHRENTZ, E. (2006), *Estimación del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá e identificación de variables pertinentes*.
- JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA), (1992), The study o fair pollution control plan in Santafé de Bogotá city area. *Final Report*. Vol. 1 Summary.
- MCGRAHAN, G.; MURRAY, F. (2003), Air pollution and health in rapidly developing countries. *Stockholm Environment Institute*. Earthscan.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS), (1999), Air Quality Guidelines for Europe. WHO Regional Publications, European Series. Copenhagen, Organización Mundial de la Salud, Oficina Regional para Europa, disponible en: <http://www.who.dk>.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAM (UNEP), (2007), Partnership for cleaner fuels and vehicles. Contenido de azufre en combustibles en Latinoamérica.



Caracterización de la exposición a contaminantes atmosféricos en ambientes interiores relacionados con el uso de gasodomésticos

3 - Franco - Colombia - 1

Juan Felipe FRANCO,* Carolina OBANDO,[†] Juan Pablo QUIJANO[‡] y Eduardo BEHRENTZ[§]

Palabras clave: monóxido de carbono, tasa de ventilación, microambientes.

Introducción y objetivos

Existe plena evidencia científica que indica cómo la exposición a altas concentraciones de monóxido de carbono (CO) se encuentra relacionada con severos problemas de salud en las personas, incluyendo la muerte (OMS, 2000; Prockop, 2007). El CO es un gas incoloro e inodoro que se produce como resultado de la combustión incompleta de materiales fósiles, entre los que se incluye el gas natural residencial.

En Bogotá el gas natural es un combustible de uso masivo en viviendas. Esta situación es relevante teniendo en cuenta que ha sido reportado que altas concentraciones de CO en ambientes interiores residenciales son consecuencia en parte del uso frecuente de los gasodomésticos que allí se encuentren instalados (Zhang, 1999). Dichas circunstancias han generado preocupación en las autoridades ambientales y de salud pública locales. Estas instituciones han entendido que la evidencia disponible, en cuanto a

* Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional. Universidad de los Andes, Colombia.

[†] Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional. Universidad de los Andes, Colombia.

[‡] Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional. Universidad de los Andes, Colombia.

[§] Director Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes. Colombia, Dirección: Carrera 1ª este núm. 19A – 40. Edificio Mario Laserna, piso 6. Bogotá, Colombia, teléfono: +(57-1) 339.4949 x 3545, fax: +(57-1) 332.4313, correo electrónico: ebehrent@uniandes.edu.co.



Página anterior

Página siguiente



Menú



los niveles de exposición a CO en la ciudad, es contundente y el tema debe ser tratado como prioridad.

Como respuesta a la situación anterior se planteó como objetivo general del estudio que aquí se presenta, caracterizar los niveles de exposición a la contaminación por CO en una muestra representativa de viviendas en la ciudad de Bogotá que utilizan gasodomésticos de manera frecuente.

Metodología

Se desarrolló una extensa campaña de campo en la que se adelantaron mediciones de concentraciones atmosféricas de CO, así como determinaciones de la tasa de ventilación en una muestra estratificada de 73 viviendas en Bogotá. En cada vivienda se caracterizaron de forma simultánea dos microambientes: cocina y zona social.

Cada prueba realizada correspondió a la operación continua y simultánea de dos estaciones de monitoreo de CO en tiempo real (resolución temporal de treinta segundos), por un período de 24 horas. El equipo utilizado es un sensor Langan T15n (Langan Products Inc., California-EE. UU.). Este instrumento basa su funcionamiento en una celda electroquímica que le permite cuantificar las concentraciones de monóxido de carbono en un rango entre 0,5 y 200 ppm.

Adicionalmente, una de estas estaciones estaba también provista de un monitor de dióxido de carbono (CO₂), Telaire 7001 (General Electric Co, EE. UU.), utilizado para determinar la tasa de ventilación al interior de las cocinas de las viviendas.

Se suministró a cada usuario un cuestionario de caracterización de la vivienda en el que se cuantificaban otras variables importantes propias de cada residencia. De la misma manera, se le solicitó a los usuarios el diligenciamiento de un formato de diario de actividades en el cual se reportaban los momentos en los que se hacía uso de los gasodomésticos. Dado que en algunas de las viviendas se realizaron duplicados de los experimentos, el número total de mediciones fue de 117.

Resultados y conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, el uso de gasodomésticos tiene un impacto directo y significativo en las concentraciones de CO que se perciben en el interior de una vivienda (fig. 1). Se identificaron diversas variables que influyen en los niveles de contaminación por CO en viviendas donde se hace uso frecuente de gasodomésticos. Entre éstas se pueden destacar el número y tipo de gasodomésticos, el estado de mantenimiento de éstos y las condiciones físicas del espacio en el que se encuentran instalados. Todas estas variables se relacionan a su vez con el estrato socioeconómico de la vivienda. En general, viviendas pertenecientes a los estratos socioeconómicos más bajos presentaron mayores niveles de contaminación por CO (fig. 2).

Para algunos de los casos estudiados, son de especial preocupación los niveles de contaminación registrados. En ellos las concentraciones de CO encontradas sobrepasan los niveles considerados por las autoridades ambientales y de salud pública como perjudiciales para la salud de las personas.

Los calentadores de agua se ubican como el segundo gasodoméstico instalado más común (después de la estufa a gas) en viviendas de la ciudad. Se determinó que es altamente recomendable que estos artefactos sean instalados en espacios exteriores (fig. 3). Si la vivienda en cuestión no permite esta opción, los calentadores, sin importar su capacidad, deben ser provistos de ductos de evacuación de productos de la combustión. Asimismo, se determinó que la ausencia de ventanas en espacios interiores de la vivienda y de una apropiada ventilación se encuentra asociada con elevados niveles de contaminación por CO.

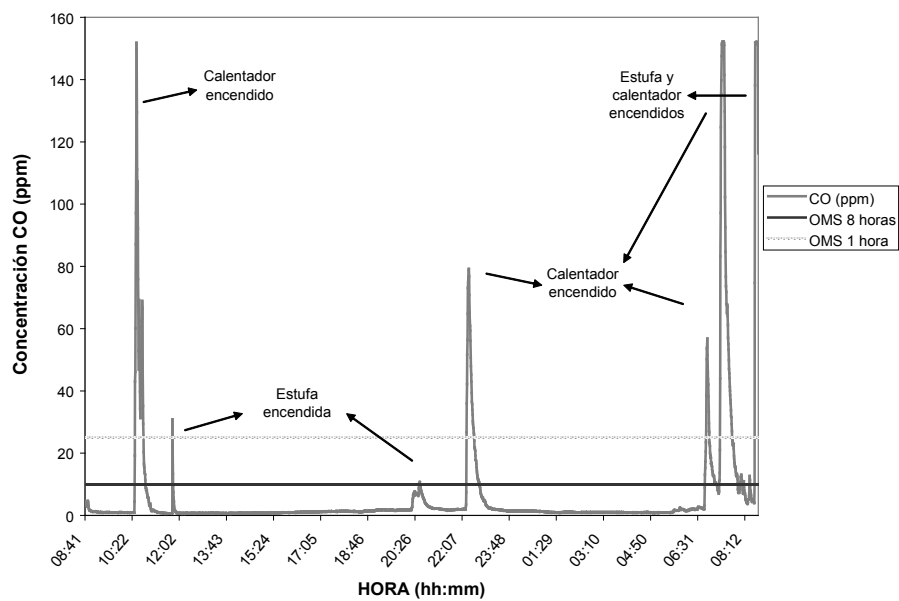


FIG. 1. Concentraciones de CO y su relación con el uso de gasodomésticos. Las líneas horizontales corresponden a los valores guía de la Organización Mundial de la Salud (10 ppm para un período de ocho horas y 25 ppm para un período de una hora)

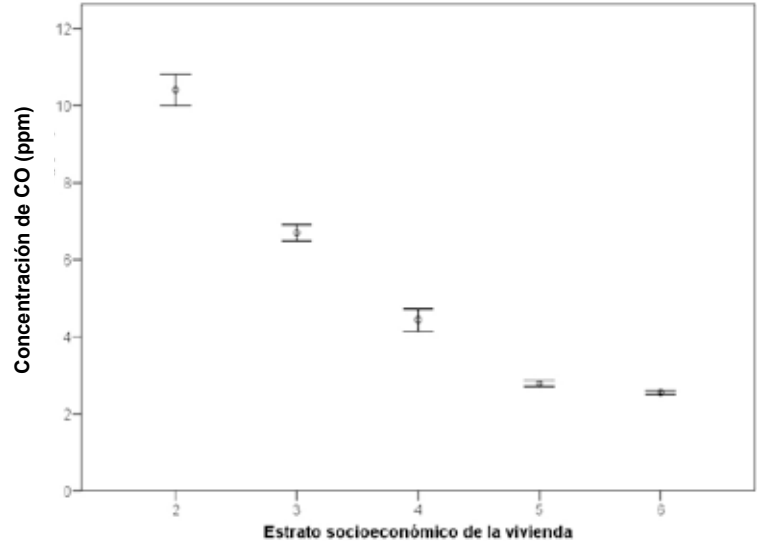


FIG. 2. Media e intervalo de confianza del 95% para las concentraciones de CO en la cocina de la vivienda por estrato socioeconómico (gasodoméstico encendido)

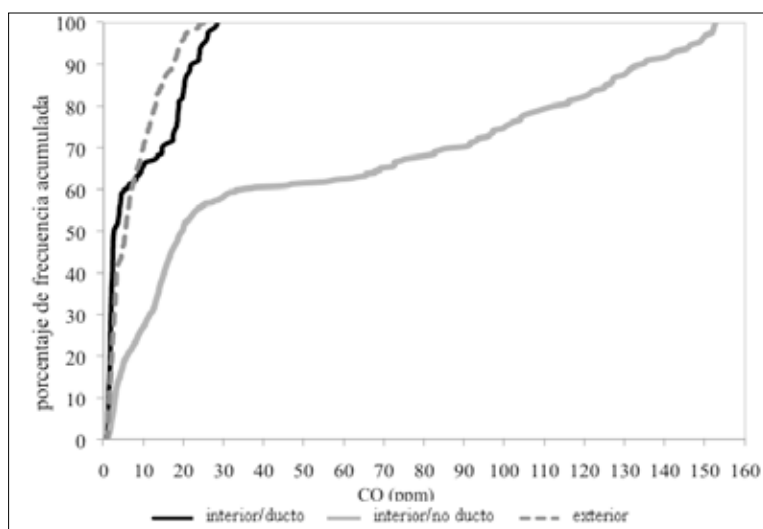


FIG. 3. Porcentaje de frecuencia acumulada para las concentraciones de CO asociadas con el uso de calentadores de agua operados con gas natural (diferenciadas por posición del uso del calentador)

Agradecimientos

La realización de este proyecto fue posible gracias al financiamiento de la empresa Gas Natural S. A., ESP, a través del convenio de cooperación interinstitucional que existe entre dicha entidad y la Universidad de los Andes. Los autores agradecen la colaboración de Andrés Soto y Claudia Arévalo funcionarios de Gas Natural S. A., ESP.

Bibliografía

- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS) (2000), *Air quality guidelines*. Regional Office for Europe, Copenhagen, Denmark, Air Quality Guidelines.
- PROCKOP, L. D.; CHICHKOVA, R. (2007), Carbon monoxide intoxication: An updated review. *Journal of the Neurological Sciences* 262, 122–130.
- ZHANG, J.; SMITH, K. R.; UMA, R. et ál. (1999), Carbon monoxide from cook-stoves in developing countries: 2. Exposure potentials. *Chemosphere: Global Change Science* 1, 367-375.



Caracterización de los niveles de contaminación por ruido en Bogotá: estudio piloto

8-Pacheco-Colombia-1

José PACHECO,* Juan Felipe FRANCO† y Eduardo BEHRENTZ‡

Palabras clave: contaminación auditiva, presión sonora, microambientes, tráfico vehicular.

Introducción y objetivos

Después de la contaminación del aire y del agua, la Organización Mundial de la Salud (OMS) decretó la contaminación auditiva como el más relevante problema de carácter ambiental en el mundo (OMS, 2005). Según este organismo el ruido es un problema que genera reconocidos impactos negativos en la salud de las personas incluyendo el deterioro del sistema auditivo, pérdida del sueño, dificultades para dormir, fastidio y agotamiento mental.

De forma similar a otros problemas ambientales, la contaminación auditiva continúa creciendo paralelamente con el desarrollo de las ciudades. Así, la construcción de nuevas autopistas y el incremento del parque automotor hacen del tráfico vehicular una de las principales fuentes de ruido en los centros urbanos (OMS, 2005).

* Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional, Universidad de los Andes, Colombia, dirección: carrera 1ª este núm. 19A-40, edificio Mario Laserna, piso 6. Bogotá, Colombia, teléfono: +(57-1) 339.4949 x 3545, fax: +(57-1) 332.4313, correo electrónico: jos-pach@uniandes.edu.co.

† Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional, Universidad de los Andes, Colombia.

‡ Director Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes, Colombia.



Página anterior

Página siguiente



Menú



Para el caso de Bogotá la autoridad ambiental local ha realizado estudios con el objetivo de evaluar los niveles de contaminación auditiva en la ciudad (SDA, 2008). Dichos trabajos se han enfocado en la generación de mapas de ruido y en la identificación de fuentes fijas de emisión que permiten establecer el cumplimiento o no de los niveles permitidos por la reglamentación local.

El objetivo de este trabajo fue el de caracterizar los niveles de contaminación auditiva en microambientes en espacios abiertos considerados de alto impacto en Bogotá.

Metodología

Se seleccionaron ocho microambientes en cuatro zonas de la ciudad. Esta selección se realizó siguiendo la categorización establecida en la resolución 627 del 7 de abril de 2006. En ésta, la ciudad se divide en distintos sectores de acuerdo con el nivel de ruido ambiental que allí se percibe (sector A: tranquilidad y silencio; sector B: tranquilidad y ruido moderado; sector C: ruido intermedio restringido y sector D: zona suburbana o rural de tranquilidad y ruido moderado). Para cada sector se seleccionaron, a partir de recorridos de reconocimiento, dos escenarios (mejor y peor escenario) clasificados según la contaminación auditiva percibida en el lugar.

En los puntos de medición seleccionados se llevaron a cabo determinaciones de presión sonora en tiempo real, utilizando un sonómetro tipo 1 (marca Areva-Metravib, referencia Solo) durante periodos de ocho horas (con resolución temporal de 10 segundos). En cada experimento se registraron y almacenaron en la memoria del equipo las variables de presión sonora continua equivalente ($LA_{eq,8h}$), presión sonora en cada intervalo de tiempo ($Leq,10s$), presión sonora máxima registrado ($LA_{max,8h}$), presión sonora mínima registrado ($LA_{min,8h}$), valor pico (L_{peak}), percentiles estadísticos (L_{10} , L_{50} , L_{90}). Estos registros se determinaron usando el modo de ponderación lenta.

Adicionalmente, a la prueba antes descrita, se realizaron determinaciones de presión sonora en tres corredores viales de la ciudad de Bogotá (seleccionados de acuerdo con la cantidad y el tipo de tráfico que circula por éstos). Durante esta medición se registraron datos con resolución temporal de un segundo en ponderación rápida. Cada experimento tuvo una duración de dos horas y se llevaron a cabo dos pruebas cada día, de tal manera que se estableciera una diferencia entre los horarios de mayor congestión (horas pico) y menor congestión vehicular (horas valle). Simultáneamente a la determinación de presión sonora al lado de la vía, se realizaron filmaciones con una cámara de video digital. A partir de las grabaciones obtenidas fue posible cuantificar y caracterizar el tráfico vehicular en cada corredor vial seleccionado.

Resultados y conclusiones

Los niveles de presión sonora registrados en los microambientes evaluados fueron (en la mayoría de los casos) superiores a los valores establecidos como máximos permitidos por la normativa local. Esta situación es de especial atención en los sectores clasificados como A y D, en donde incluso en el microambiente seleccionado como “mejor escenario”, se registraron niveles de ruido superiores a los límites reglamentarios.

A partir de los resultados obtenidos fue posible observar que dos microambientes distintos categorizados en un mismo sector pueden presentar niveles de presión sonora significativamente diferentes (fig. 1). Dicha diferencia se encuentra directamente relacionada con las características circundantes que encierran al microambiente (v. gr., si el microambiente evaluado se encuentra localizado cerca de una vía de alto tráfico vehicular o no). Para un mejor análisis de la información consignada en la figura 1 es importante aclarar que la unidad para cuantificar la presión sonora (decibel) corresponde a una escala logarítmica.

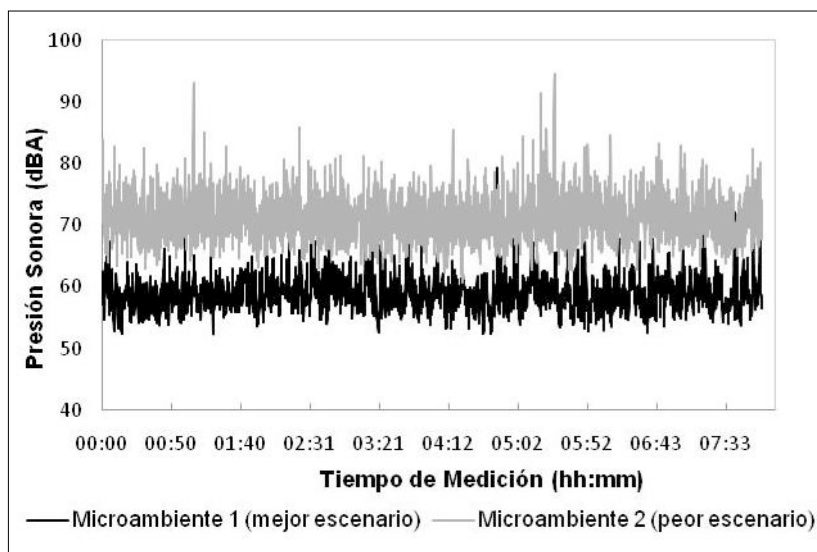


FIG. 1. Series de tiempo de presión sonora en mediciones de ruido ambiental. El microambiente “mejor escenario” corresponde a una clínica ubicada en los límites del perímetro urbano de la ciudad. El microambiente “peor escenario” corresponde a una clínica ubicada en el centro de la ciudad cerca de dos vías de alto tráfico vehicular

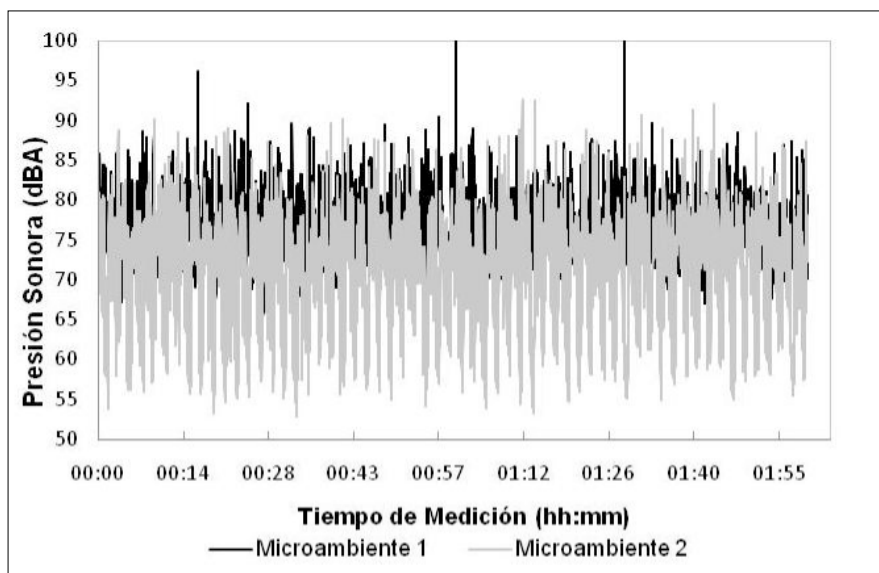


FIG. 2. Serie de tiempo de presión sonora al lado de la vía. Microambiente 1, vía con tráfico mixto (incluidos buses articulados del sistema de transporte masivo). Microambiente 2, vía con tráfico predominante de vehículos particulares y presencia de semáforos

De la evaluación de la contaminación auditiva proveniente del tráfico vehicular, se pudo concluir que no sólo la cantidad y el tipo vehículos son factores determinantes de los valores de presión sonora registrados. Otras variables tales como la velocidad de los automotores y la presencia o no de semáforos en la vía tienen también relación directa con dichos niveles de contaminación. En la figura 2 se presenta la serie de tiempo de presión sonora para dos de los corredores viales caracterizados en este estudio.

Bibliografía

- ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE (2007), Campaña distrital contra la contaminación por auditiva: ¡Ssshhh! Mejor sin ruido, Bogotá.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS), (1999), Departamento para la protección del ambiente humano. Guidelines for community noise, Genova.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS), (2004), Centro de salud pública de Berlín. Who Lares, *Final report*, Noise effects and morbidity.



Modelación de la dispersión de óxidos de azufre en la macrozona central de Chile

2-Castillo-Chile-1

Carlos CASTILLO* y Laura GALLARDO†

Palabras clave: modelación atmosférica, dispersión de contaminantes, óxidos de azufre.

Introducción y objetivos

En la macrozona central de Chile habita aproximadamente el 49% de la población de Chile (INE, 2003) y confluye una porción importante de la actividad productiva del país. En esta zona, especialmente en la cuenta de Santiago, la geografía y el clima son desfavorables para la dispersión de contaminantes atmosféricos, especialmente durante invierno (Garreaud y Rutllant, 2006).

El anticiclón subtropical del pacífico suroriental ejerce una gran influencia en esta región durante casi todo el año, resultando en una persistente inversión térmica de subsidencia, vientos predominantes desde el ssw, con precipitaciones concentradas en los meses de invierno, debido

* Estudiante de Ingeniería Civil de Minas y Magíster en Ciencias, con mención Geofísica. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Ayudante de investigación, Centro de Modelamiento Matemático, Universidad de Chile, dirección: av. Blanco Encalada 2120 piso 6, Santiago, Chile; Código Postal. 8370459; Centro de Modelamiento Matemático, Universidad de Chile; teléfono: (56)(2) 978-4623; Fax: (56)(2) 688-9705; carcasti@ing.uchile.cl.

† Ph. D. Meteorología Química, Universidad de Estocolmo. Profesora asociada al Departamento de Geofísica, Universidad de Chile. Investigadora asociada al Centro de Modelamiento Matemático, Universidad de Chile.



Página anterior

Página siguiente



Menú



principalmente a frentes de latitudes medias. Durante el tránsito al este y por la zona sur del país, los anticiclones fríos migratorios suelen generar las condiciones físicas y dinámicas para la formación de vaguadas costeras en el litoral centro-norte de Chile (Garreaud et ál., 2002). La importancia de las vaguadas costeras está en que intensifica la inversión térmica, lo que puede conducir a episodios críticos de contaminación atmosférica (Garreaud y Rutllant, 2006; Gallardo et ál., 2002).

Uno de los contaminantes más importantes que hay en la macrozona central de Chile corresponde a los óxidos de azufre (Gallardo et ál., 2002; Olivares et ál., 2002), asociados principalmente a las emisiones de azufre proveniente de la quema de combustibles fósiles, la quema de biomasa, las emisiones oceánicas de dimetilsulfuro y emisiones volcánicas de azufre. En la zona central de Chile, sin embargo, la fuente principal de emisión de azufre a la atmósfera proviene de las grandes fundiciones de cobre presentes en esta zona, Caletones, Ventanas y Chagres. Estas fuentes son responsables de cerca del 0,4% de las emisiones antrópicas de azufre del planeta (Rodhe et ál., 1995).

El dióxido de azufre (SO_2) es el gas con contenido de azufre predominante en el aire contaminado. Presenta efectos sobre la salud (WHO, 1999), la vegetación (García Huidobro et ál., 2001) y el balance radiativo (Alfonso y Raga, 2002; Twomey, 1974; Albrecht, 1989).

Previamente se han realizado trabajos sobre la dispersión de óxidos de azufre en la zona central de Chile (Olivares et ál., 2002; Gallardo et ál., 2002) y su impacto en la agricultura (García Huidobro et ál., 2001) con una resolución horizontal de $0,1^\circ$ para 1999.

En este trabajo se utiliza una resolución de 4 km, para un área mayor que en los trabajos anteriores y para el año 2005, de modo de observar el comportamiento de la calidad del aire al cambiar las emisiones, con una mejor resolución espacial y con una mayor cantidad de datos tanto de emisiones como de calidad del aire.

El objetivo general de este trabajo es realizar modelación de las condiciones atmosféricas y de la dispersión de azufre oxidado de la macrozona central de Chile, a modo de evaluar la calidad del aire y compararla con el año 1999.

Metodología

Primero se realizó una recopilación de la información meteorológica y de concentración de dióxido de azufre en las diversas estaciones de monitoreo de la macrozona central de Chile entregado principalmente por la Comisión Nacional de Medio Ambiente (Conama), Autoridad Sanitaria de la Región Metropolitana (ASRM) y la Dirección Meteorológica de Chile (DMC). Los datos de emisiones fueron otorgados por Conama y las fundiciones de cobre. Estos datos fueron validados de modo de eliminar aquellos que no tenían un sentido físico o datos que están fuera de las tendencias estadísticas.

Se realiza una simulación de las condiciones atmosféricas de la macrozona central de Chile utilizando el modelo meteorológico MM5. Los resultados de esta simulación son comparados con las observaciones luego de ser validadas, a modo de analizar la capacidad del modelo de representar las condiciones atmosféricas observadas.

Con los campos meteorológicos de la simulación y los datos de emisiones, se realiza una simulación de la dispersión y deposición de azufre oxidado para la macrozona central de Chile utilizando el modelo de dispersión, química y deposición polyphemus (Mallet et ál., 2007). Dado que el modelo no presenta una química simplificada de azufre oxidado, ésta es implementada previamente.

Los resultados de la simulación son comparadas con las observaciones, de modo de analizar qué tan bien representa el modelo, las observaciones. Luego, se estima la carga de azufre oxidado en la vertical y se compara con los resultados entregados por imágenes satelitales, OMI. Finalmente, con estos resultados, se analiza el cambio de la calidad del aire de dióxido de azufre en la macrozona central de Chile y se compara con la de 1999.

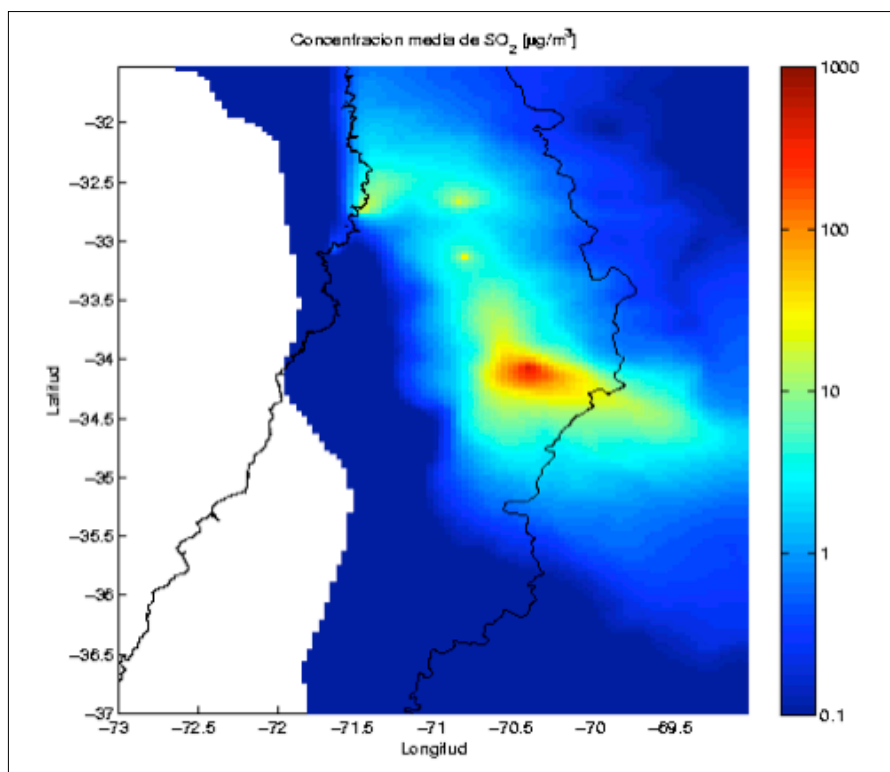


Fig. 1. Concentración promedio de dióxido de azufre. Resultado obtenido de simulación de enero 2005

Resultados y conclusiones

Los resultados de la simulación meteorológica muestran que el modelo es capaz de representar bien las condiciones generales de la atmósfera, aunque presenta dificultades en la representación del viento meridional y de la humedad relativa, como se puede ver en la tabla 1 que resume los principales estadísticos obtenidos para enero del 2005. Los estadísticos mostrados en la tabla 1, son similares a los obtenidos por otras simulaciones realizadas para la zona central de Chile y por el modelo meteorológico MM5 para otras partes del mundo (Gilliam et ál., 2006).

La simulación de óxidos de azufre presenta un comportamiento similar al obtenido en los trabajos previos, con una buena representación lejos de las grandes fuentes y con una sobrestimación de la concentración de dióxido de azufre cerca de las grandes fuentes emisoras, que pueden deberse a una mala manipulación de los datos de las estaciones y a una saturación del modelo cerca de las fuentes.

En la figura 1 se muestra la concentración promedio de dióxido de azufre en el área simulada para enero de 2005. Al comparar los resultados alcanzados, con los obtenidos para el año 1999, se observa que ha habido una disminución considerable de la concentración de dióxido de azufre en la atmósfera debido a la disminución de las emisiones de las grandes fundiciones de cobre y a la disminución de azufre en el combustible. Pero, aún la concentración en muchas zonas está sobre lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud, lo cual hace necesario seguir disminuyendo las emisiones de azufre en esta zona para lograr una mejor calidad de vida.

TABLA 1. Estadísticas obtenidas para los distintos campos meteorológicos de la simulación del modelo MM5 para enero de 2005 y comparación con las observaciones

	BIAS	R	IOA	MAE	N	Promedio modelo	Promedio observación	Desviación estándar modelo	Desviación estándar observación
Temperatura (°C)	-0,8	0,85	0,89	2,9	20113	19,6	20,4	5,9	5,2
Humedad relativa (%)	7,0	0,70	0,75	14,6	16795	65,2	58,3	19,9	16,8
Presión (hPa)	-1,3	0,54	0,39	5,3	4320	991,3	992,6	1,7	2,9
Viento zonal (m/s)	0,1	0,64	0,74	1,3	21120	2,1	2,0	1,7	1,8
Viento meridional (m/s)	0,5	0,20	0,44	2,2	20340	1,4	0,9	1,9	1,6
Radiación solar (W/m ²)	36,5	0,98	0,99	60,4	642	349,1	312,7	425,7	377,1

Bibliografía

- ALBRECHT, B. (1989), Aerosols, cloud microphysics and fractional cloudiness. *Science*, 245, 1227-1230.
- ALFONSO, L.; RAGA, G. (2002), Estimating the impact of natural and anthropogenic emissions on cloud chemistry Part I. Sulfur cycle, *Atmospheric Research*, 62, 33-55.
- GALLARDO, L.; OLIVARES, G.; LANGNER, J.; AARTHUS, B. (2002), Coastal lows and sulfur pollution in Central Chile, *Atmospheric Environment*, 36,23,3829-3841.
- GARCÍA-HUIDOBRO, T.; MARSHALL, F.; BELL, J. (2001), A risk assessment of potencial agricultural losses due to ambient SO₂ in the central regions of Chile, *Atmospheric Environment*, 35,29, 4903-4915.
- GARREAUD, R., RUTLLANT, J., FUENZALIDA, H. (2002), Coastal Lows along the Subtropical Coast of South America: mean Structure and Evolution, *Monthly Weather Review*, 130, 75-88.
- GARREAUD, R. RUTLLANT, J. (2006), Factores Meteorológicos de la Contaminación Atmosférica en Santiago. Capítulo 2 en: *Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica*, en: Santiago R. Morales, Colección de Química Ambiental, Editorial Universitaria, pp. 36-53.
- GILLIAM, R., HOGREFE, C., RAO, R. (2006), New methods for evaluating meteorological models used in air quality applications. *Atmospheric Environment*, 40, 5073-5086.
- Instituto Nacional de Estadísticas. Censo 2002. Síntesis de resultados. (2003).
- MALLET, V., QUÉLO, D., SPORTISSE, B. et ál. (2007), Technical Note: The air quality modeling system Polyphemus", *Atmospheric chemistry physics discuss*, 7(3).
- OLIVARES, G., GALLARDO, L., LANGNER, J., AARTHUS, B. (2002), Regional dispersion of oxidized sulfur in Central Chile, *Atmospheric Environment*, 36, 23, 3819-3828.
- RODHE, H., LANGNER, J., GALLARDO, L., KJELLSTRÖM, E. (1995), Global scale transport of acidifying pollutants. *Water, Air and Soil Pollute*. 85, 37-50.
- TWOMEY, S. (1974), Pollution and the planetary albedo. *Atmospheric Environment*, 8, 1251-1256.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (1999), World Health Organization Guideline for Air Quality Geneva.

Ingenieros Sin Fronteras: ingeniería en pro de la comunidad

1-Vaca-Colombia-1

Oscar VACA,* Santiago CORTÉS,† María Paula VALDERRAMA,‡ Paula GONZÁLEZ,§
Sebastián HERNÁNDEZ** y Andrea MALDONADO††

Palabras clave: calidad de vida, innovación comunitaria, agua segura.

Introducción y objetivos

Problemáticas como la calidad de aire en interiores, el manejo adecuado de residuos y la calidad de agua para consumo son los principales aspectos que impactan en la calidad de vida y la salud de una comunidad. Bajo este contexto y considerando la ingeniería como una herramienta para intervenir en las comunidades más vulnerables de nuestro país nace el grupo Ingenieros Sin Fronteras Colombia, el cual se encuentra conformado por un grupo de estudiantes y profesores de la Universidad de los Andes y de la Universidad Minuto de Dios, quienes han unido conocimientos y experiencias

* Estudiante de pregrado en Ingeniería Ambiental. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes, Colombia.

† Estudiante de pregrado en Ingeniería Ambiental. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes, Colombia.

‡ Estudiante de pregrado de Ingeniería Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de los Andes, Colombia.

§ Estudiante de pregrado de Ingeniería Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de los Andes, Colombia.

** Estudiante de pregrado de Ingeniería Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de los Andes, Colombia.

†† Profesor instructor. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Centro de investigaciones en Ingeniería Ambiental. Universidad de los Andes, Colombia, Dirección: carrera 1ª núm. 18A-10. Bogotá, Colombia. AA 4976. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería. +(57-1) 339.4949; Fax: +(57-1) 332.4313, correo electrónico: and-mald@uniandes.edu.co.



Página anterior

Página siguiente



Menú



en pro de la sociedad, con el fin de desarrollar proyectos ingenieriles económicamente sostenibles y culturalmente viables. Uno de los proyectos actualmente en curso, consideró que de los 136 millones de personas que habitan en zonas rurales, alrededor de 5,4 millones no cuentan con sistemas de abastecimiento de agua, 8,2 millones carecen de unidades sanitarias o alcantarillado para disponer sus aguas servidas y sólo el 1,5 millones tienen acceso a agua tratada (Unicef, 2005), es decir, que cerca del 89% de las personas que viven en zonas rurales no tienen acceso a agua potable. La no disponibilidad de estos servicios trae consecuencias en la salud de las comunidades. La diarrea, el cólera y otras enfermedades relacionadas con la contaminación del agua son una causa importante de la morbilidad y mortalidad infantil; entre el 2004 y el 2006, 20.000 niños murieron por causa de enfermedades producidas por la mala calidad del agua (Unicef, 2005).

Bajo este contexto Ingenieros sin Fronteras, en un primer proyecto se enfocó en la problemática de agua para consumo en algunas regiones del país, este proyecto se conoció como Proyecto de Innovación Comunitaria (PIC) y su objetivo fue disminuir la morbimortalidad producida por el consumo de agua no apta para el ser humano mediante el desarrollo de una tecnología sostenible para suministrar un agua segura en las comunidades, permitiéndoles una mejor calidad de vida.

Metodología

El desarrollo del proyecto PIC implicó la selección de una comunidad con problemas de agua potable cercana a Bogotá. El proyecto fue desarrollado en el municipio de Guaymaral (Cundinamarca) con la participación de 16 familias (70 personas).

Tras el consentimiento de la comunidad para participar en el proyecto, se procedió a evaluar las características del agua de consumo de la población, acorde con éstas se investigaron diferentes tecnologías que permitieran tratar el agua y suministrar agua segura a la población.

Posterior a la evaluación técnica, económica y de sostenibilidad de las tecnologías propuestas se seleccionó un sistema de filtración lenta, se realizó el montaje del sistema en el laboratorio con el fin de evaluar el agua tratada y determinar la efectividad del filtro. Una vez se obtuvieron resultados satisfactorios se procedió a implementar la tecnología en la comunidad. El seguimiento de la implementación se encuentra en desarrollo.

Resultados

Considerando los resultados de la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua que consumía la comunidad (tabla 1). Se optó por implementar un sistema de filtración lenta, fundamentado en el establecimiento de un lecho filtrante compuesto por material granular que permite la retención de materia suspendida en el agua, y la generación de un proceso biológico desarrollado por la acumulación de materia orgánica lo que repercute en el mejoramiento de la calidad del agua, principalmente en los parámetros microbiológicos.

TABLA 1. Caracterización del agua de consumo de la comunidad

Parámetro	Unidad	Resultado
Alcalinidad	mg/L-CaCO ₃	13,2
Color	UPC	10
Conductividad	μS/cm	62,7
	18.7°C	
Dureza total	mg/L-CaCO ₃	17,7
pH	pH	5,90
Hierro	mg/L-Fe	0,04
Turbiedad	NTU	0,644
Coliformes totales	UFC/100cc	100-1000

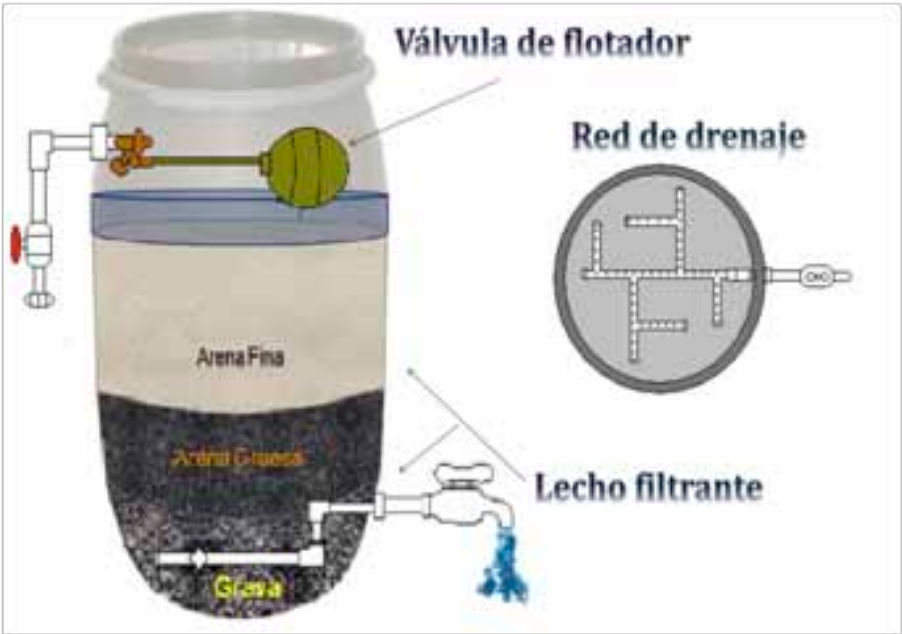


FIG. 1. Esquema de los filtros de arena diseñados e implementados

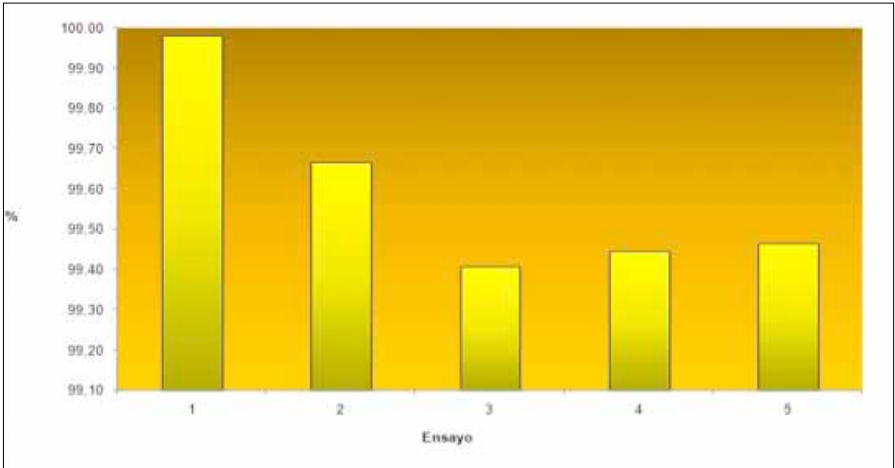


FIG. 2. Porcentajes de remoción de coliformes y *E. Coli* en los filtros implementados

Se diseñaron dos filtros lentos de arena y se evaluó su eficiencia. Un filtro A compuesto de una capa de arena fina, una de arena gruesa y otra de grava; y un filtro B con dos capas arena fina y grava. Los parámetros utilizados como referencia para la eficiencia del filtro fueron coliformes totales y *E. Coli*, debido a que están directamente relacionados con la actividad de microorganismos que pueden causar deterioros en la salud humana. Los análisis del agua tratada permitieron determinar una mayor eficiencia del filtro A (fig. 1).

Los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados en el agua tratada en el laboratorio y en los implementados fueron: coliformes totales, *E. Coli*, turbidez, color, pH y dureza.

Los filtros mostraron una disminución del color, regulación del pH manteniéndolo en niveles estables entre el 6,5 y 9 y una remoción superior al 90% de coliformes y *E. Coli* en los filtros (fig. 2).

Conclusiones

Ingenieros Sin Fronteras permite la interacción activa de estudiantes de diferentes ingenierías y universidades, en el desarrollo de proyectos técnica y económicamente factibles, generando soluciones a problemáticas reales de comunidades colombianas.

El proyecto PIC generó resultados óptimos en la comunidad intervenida, mejorando la calidad del agua de consumo de una comunidad, con una tecnología eficiente y que por sus características y costos es reproducible y apropiable por ésta, lo que repercutirá en las condiciones de salud de la población.

Resultados como los obtenidos en el proyecto PIC fueron consecuencia de la exhaustiva investigación, la adecuada aplicación de conocimientos teórico-prácticos y la adaptación de los estudiantes a diferentes grupos de trabajo, tanto interdisciplinarios como interinstitucionales.

La experiencia y el aprendizaje de este primer proyecto generó una metodología de trabajo que permitirá el desarrollo de futuros proyectos que esperamos incluyan diferentes universidades u organizaciones interesadas en la formación de ingenieros con una clara identificación de su responsabilidad social y a su vez contribuir en la solución de problemáticas relacionadas con la calidad de agua, los residuos sólidos y calidad de aire en interiores, componentes críticos en la conformación de viviendas saludables en comunidades marginadas.

Bibliografía

UNICEF, PROCURADURÍA GENERAL DE LA NACIÓN (2005, MARZO), *La infancia, la adolescencia y el medio ambiente sano en los planes de desarrollo departamental y municipal: Una mirada a la planeación local a favor de los derechos de los niños, las niñas y los adolescentes colombianos*, capítulo 3.

Muestreo de emisiones en fuentes fijas en Colombia. Diagnóstico actual y estandarización de actividades mediante una intercomparación de procedimientos en el campo

5-Vargas-Colombia-1

Freddy A. VARGAS,* Liliana CORTÉS,* Jeremías GÓMEZ,†

Gabriel SALDARRIAGA† y Néstor Y. ROJAS‡

Palabras clave: muestreo isocinético, intercomparación, emisiones, fuentes fijas.

Introducción y objetivos

Los muestreos de emisiones de fuentes fijas (MEFF) en Colombia se vienen aplicando desde hace más de 20 años. En general, se han definido como marcos procedimentales los métodos promulgados por la Agencia para la Protección Ambiental Americana (US-EPA) como se puede constatar en las normas ambientales anteriores (DAMA, 2001; DAMA, 2003). Actualmente, se ha venido trabajando en la traducción técnica oficial de las normas por las autoridades ambientales colombianas, según las resoluciones 909 de 2008 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT, 2008). Aun cuando éstos son métodos técnicos estandarizados, algunos consultores que practican las mediciones en campo algunas veces expresan falta de confianza frente a los procedimientos aplicados y resultados obtenidos en los MEFF que reportan algunas consultoras del mismo gremio, escepticismo que se encuentra tam-

* Estudiantes de la Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad Nacional de Colombia. Asistentes de investigación, Grupo de Investigación en Calidad del Aire.

† Profesionales especializados, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Ideam. Área de Acreditación.

‡ Profesor asociado. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Dirección: carrera 45 núm. 26-85, Laboratorio de Ingeniería Química, oficina 206. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Bogotá, Colombia, tel. +(57-1) 3165000, ext. 14304, fax. +(57-1) 3165000, ext. 14302, correo electrónico: nyrojasr@unal.edu.co.



Página anterior

Página siguiente



Menú



bién, como constancia, en los resultados de investigaciones recientes desarrolladas en el país (Fandiño y Behrentz, 2009).

Es evidente entonces que se requiere un sistema que permita, no solamente hacer un diagnóstico de los procesos actuales en los MEFF, sino la generación de un esquema que apoyado en los sistemas de aseguramiento de calidad de los consultores garantice la generación de información confiable, tanto a las autoridades ambientales como a las empresas y a la sociedad en general.

La unidad de acreditación del Ideam, es la encargada de operar los sistemas de acreditación e intercalibración analítica, bajo los cuales están sometidos los laboratorios que producen información cuantitativa física, química y biótica para los estudios o análisis ambientales y, desde 2007, conjuntamente con el Grupo de Investigación en Calidad del Aire de la Universidad Nacional de Colombia (GCAUN) han venido diseñando un sistema que permita que los consultores y laboratorios encargados de los MEFF sigan un sistema de aseguramiento de calidad que permita la generación de información confiable y reducir factores que puedan generar diferencias en los resultados reportados entre consultores.

Con este objetivo el Ideam y el GCAUN evaluaron diferentes alternativas para adelantar la intercomparación de los procedimientos en campo de las organizaciones aceptadas por el Ideam, según la resolución 292 de 2006, para realizar los MEFF. Una vez definido el esquema de intercomparación, se desarrollaron dos ejercicios con el acompañamiento de un auditor externo de la Agencia Ambiental Canadiense, lo que permitió hacer el diagnóstico general de los procedimientos que los consultores utilizan, encontrando algunas diferencias en la aplicación de los métodos técnicos y en algunos casos el uso de equipos no adecuados. Finalmente, se proponen normas de competencia laboral que deben cumplir los encargados de realizar los MEFF.

Metodología

La evaluación de alternativas para comparar la aplicación de los métodos tuvo en cuenta experiencias internacionales en este campo, en especial los ejercicios adelantados por México y España.

En México, la entidad encargada de acreditar (Procuraduría Federal para el Medio Ambiente [Profepa]) y el Centro de Nacional de Metrología (Cenam) programan pruebas de laboratorio para evaluar la aptitud técnica en la medición de contaminantes emitidos por fuentes fijas y fuentes fijas incineradoras, particularmente CO , NO_x y O_2 . En general, es una prueba donde los laboratorios o consultores efectúan mediciones con analizadores electroquímicos en un sistema diseñado para producir mezclas de gases estándar (Cenam, 2007; 2006).

En España se privilegia la realización de ejercicios en campo, donde, en general, las fuentes a monitorear no presentan concentraciones constantes de emisión de contaminantes, sin embargo, se aprovecha para hacer seguimiento a los procedimientos de medición (DMAH, 2005a; DMAH, 2005b).

Luego del análisis de alternativas mediante un proceso analítico jerárquico, donde se analizaron criterios técnicos, logísticos, jurídicos y económicos, decidiéndose al final realizar intercomparación de procedimientos en campo. Se coordinaron los ejercicios en las instalaciones de Bavaria S. A. en Bogotá, donde un total de trece empresas consultoras realizaron las mediciones bajo la supervisión del personal de acreditación del Ideam y de Jorge Marson, ingeniero de la Agencia Ambiental Canadiense.

Paralelamente y teniendo en cuenta los resultados de los ejercicios de intercomparación, se empezó a trabajar en la creación de normas de competencia laboral, con el objetivo de asegurar que aquellos quienes efectúan las mediciones puedan demostrar ante la sociedad que conocen y dominan los métodos de medición de emisiones en fuentes fijas.



Resultados y conclusiones

En general, del ejercicio de intercomparación se identificaron algunos aspectos que se pueden agrupar en:

- Diversas interpretaciones de los métodos: problema evidenciado en el muestreo de NO_x , donde los consultores usaron diferentes procedimientos, algunos muy alejados del método aplicable.
- Falta de dominio de los métodos: aunque, en general, los métodos se conocían, se evidenció en algunos grupos falta de experticia, o lagunas de conocimiento, por ejemplo desconocimiento del límite de fugas permisible en un muestreo, deficiente recuperación de las muestras de material particulado y uso de sondas y sellantes no adecuados.
- Oportunidades de mejoramiento: en la planeación y ejecución de los muestreos se identificó que algunos consultores no realizan el mantenimiento adecuado a sus equipos, no se llevaban repuestos críticos de respaldo y estructuras de equipo de trabajo piramidales, donde una sola persona conocía (en algunos casos sin llegar a dominar) los procedimientos.

De lo anterior se desprende que el punto más crítico para asegurar la calidad de la MEFF es la formación y experiencia del personal, por lo que la elaboración de la norma de competencias laborales (NCL) para nivel de supervisión y asistencia de los muestreos. Éstas (NCL) se han desarrollado bajo la metodología implementada en el SENA, y se han puesto a discusión entre los consultores, teniendo una buena aceptación.

En general, los errores comunes y las recomendaciones desprendidas de los ejercicios de intercomparación se socializaron adecuadamente entre

los consultores, programándose una formación de alto nivel en la cual se logró que se definiera un marco común para la realización de las MEFF.

Bibliografía

- CENAM (2006), *Informe de resultados obtenidos en la prueba de aptitud técnica para laboratorios ambientales de medición y análisis de emisiones a la atmósfera de acuerdo con la norma oficial mexicana nom-098-semarnat-2002*. Centro Nacional de Metrología dirección de metrología de materiales división materiales orgánicos.
- CENAM (2007), Protocolo para la prueba de aptitud técnica 630-QS003-0076-PA para laboratorios ambientales de medición y análisis de emisiones a la atmósfera de acuerdo con la NOM- 098-Semarnat-2002. Centro Nacional de Metrología dirección de metrología de materiales división materiales orgánicos, abril.
- DAMA (2001), *Resolución 391 de 2001*. Normas técnicas y estándares ambientales para la prevención y el control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire en el perímetro urbano de la ciudad de Bogotá. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente. Bogotá
- DAMA (2003), *Resolución 1208 de 2003*. Por la cual se dictan sobre prevención y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas y protección de la calidad del aire. Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente. Bogotá.
- DMAH (2005a), Ejercicio de aptitud e intercomparación para muestreo y determinación de contaminantes atmosféricos partículas sólidas carbono orgánico total, gases de combustión. Generalitat de Catalunya Departament de Medi Ambient i Habitatge Direcció General de Qualitat Ambiental.
- DMAH (2005b), Resultados del ejercicio de aptitud e intercomparación para el muestreo y determinación de contaminantes atmosféricos. Generalitat de Catalunya Departament de Medi Ambient i Habitatge Direcció General de Qualitat Ambiental.



FANDIÑO, M. y BEHRENTZ, E. (2009), Actualización del inventario de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas en Bogotá a través de mediciones directas. Master. Universidad de los Andes, disponible en: http://biblioteca.uniandes.edu.co/Tesis_12009_primer_semestre/525.pdf.

MAVDT (2008), *Resolución 909 de 2008*, por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Evaluación del riesgo asociado con la contaminación del aire en Bogotá utilizando el índice de calidad de vida

7-Obando-Colombia-1

Carolina OBANDO,* Andrés VIRGÜEZ,[†] Mauricio SÁNCHEZ[‡] y Eduardo BEHRENTZ[§]

Palabras clave: material particulado, emisiones industriales, esperanza de vida, política ambiental, valor del tiempo libre.

Introducción y objetivos

Según estudios del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Bogotá es una de las tres ciudades latinoamericanas con más altos niveles de contaminación del aire (BID, 2005). Esta contaminación tiene efectos importantes en la salud de la población, especialmente de ancianos y niños, pues afecta los sistemas respiratorio y cardiovascular (Pope et ál., 2008). De esta realidad proviene el interés de implementar medidas que contribuyan a disminuir la formación de contaminantes, por las distintas fuentes de emisión.

El material particulado (PM) no sólo es el contaminante atmosférico que presenta un mayor índice de excedencias en la ciudad de Bogotá respecto a la legislación vigente (Gaitán, 2007), sino que además es el que presenta mayores efectos sobre los humanos (OMS, 2004). Según estudios

* Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional. Universidad de los Andes, Colombia.

[†] Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional. Universidad de los Andes, Colombia.

[‡] Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes, Colombia.

[§] Director del Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes, Colombia, Dirección: carrera 1ª este núm. 19 A- 40. Bogotá, Colombia. AA 4976. Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. + (57-1) 339.4949; Fax: + (57-1) 332.4313; ebehrent@uniandes.edu.co.



previos (Behrentz, 2008), una de las medidas más estratégicas para lograr una reducción en las emisiones de PM provenientes del sector industrial es la promoción del uso del gas natural.

Una política en este sentido requiere de una juiciosa evaluación integral que incluya no sólo las componentes técnicas sino también una cuantificación de sus impactos económicos y sociales.

Para dichos propósitos, en este estudio se utilizó la metodología del índice de calidad de vida 'Life quality index' (LQI), una herramienta de análisis por medio de la cual es posible evaluar estrategias de control de riesgo y examinar la efectividad de las regulaciones diseñadas para reducir riesgos para la vida, la salud y el ambiente.

Metodología

Para la evaluación de la conveniencia de la promoción del gas natural por parte de la industria de Bogotá, se llevó a cabo el cálculo del LQI teniendo en cuenta los efectos generados con la implementación de dicha política.

Este índice (ecuación 1) es función del producto interno bruto per cápita (g), la esperanza de vida (e) y el tiempo disponible para disfrutar de la vida con buena salud ($1-w$)¹.

$$L = gwe^{(1-w)} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Como paso inicial se recolectó información relacionada con mortalidad, PIB, esperanza de vida y tiempo libre en Bogotá. Posteriormente, se evaluó el eventual cambio en las emisiones de las fuentes fijas de la ciudad como resultado de un mayor uso de gas natural en la industria y se determinó la consecuencia de estas disminuciones en el inventario de emisiones y en las concentraciones de material particulado inferior a 10 micras (PM_{10}).

¹ w es el tiempo para producir riqueza por parte de la población.

A continuación, se determinó la afectación (expresada en términos de muertes evitadas) de los individuos expuestos a la concentración, mediante el uso de una función concentración-respuesta. Finalmente, a partir de dichos resultados, se calculó el desplazamiento de la curva de esperanza de vida de los bogotanos como consecuencia de la aplicación de la política en referencia.

De forma paralela, se realizó una valoración económica de la implementación de la medida, teniendo en cuenta el costo de conversión de las calderas industriales y la eventual participación del gobierno en dicha inversión.

Resultados y conclusiones

La implementación del uso de gas natural como combustible en el sector industrial traería consigo una disminución importante en la concentración atmosférica de PM_{10} . Un aumento en el número de empresas participantes del proceso de conversión produciría una reducción significativa en la concentración atmosférica de PM_{10} (si el 100% de hornos y calderas fueran usuarios de gas natural se generaría una reducción de alrededor de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en las concentraciones atmosféricas de este contaminante de la ciudad).

La reducción en la concentración atmosférica de PM_{10} produciría a su vez una reducción en el número de muertes anuales. A través de una reducción de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la concentración atmosférica de PM_{10} , la esperanza de vida en la ciudad aumentaría en aproximadamente un año.

Simultáneamente, el PIB disminuiría como consecuencia de la inversión necesaria para la conversión industrial a gas natural. No obstante, esta disminución representaría el 0,2% (87 millones de pesos) del PIB de la ciudad.

Finalmente, el aumento en la conversión de industrias al gas natural traería consigo un aumento en el LQI de la ciudad (fig. 1). Esto significa que las condiciones de vida para los miembros de la sociedad bogotana mejorarían con la promoción del uso del gas natural como combustible de la industria bogotana.

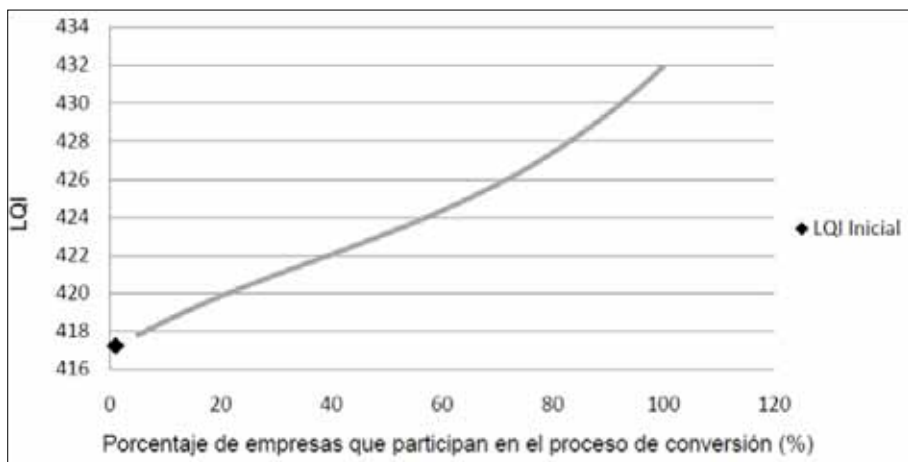


FIG. 1. LQJ según la cantidad de empresas participantes en las conversiones a gas natural

Agradecimientos

Agradecemos de forma especial a Felipe Muñoz Giraldo; agradecemos también a la Secretaría de Ambiente de Bogotá (SDA) por financiar el estudio que originó estos resultados, a través del contrato 140 de 2008.

Bibliografía

- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (s. f.), *Retos del medio ambiente urbano en América Latina*, recuperado el 28 de febrero de 2009, disponible en http://www.iadb.org/sds/env/site_7026_s.htm.
- BEHRENTZ, E., SÁNCHEZ, N. (2008), *Definición de elementos técnicos para la formulación de políticas distritales encaminadas al mejoramiento de la calidad del aire en Bogotá D.C.* Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental. Universidad de los Andes.
- GAITÁN, M. (2007), *Evaluación de la calidad del aire de Bogotá con base en la información de la RMCAB*. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (s. f.), *Contaminantes del Aire*. Lección 4, recuperado el 28 de febrero de 2009, disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsci/E/fulltext/orienta/cap4c.pdf>.

POPE, C., RENLUND, D., KFOURY, A. Relation of heart failure hospitalization to exposure to fine particulate air pollution.

NATHWANI, J., LIND, N., PANDEY, M. (1997), *Affordable safety by choice: the life quality method*. Institute for Risk Research, University of Waterloo.



Actualización del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá

4-Rodriguez-Colombia-1

Paula RODRÍGUEZ,* Nancy SÁNCHEZ† y Eduardo BEHRENTZ‡

Palabras clave: mediciones en ruta, instrumentación en tiempo real, flota vehicular, factores de emisión.

Introducción y objetivos

Bogotá es uno de los mayores centros urbanos de América Latina. Actualmente la ciudad cuenta con más de ocho millones de habitantes (DANE, 2005) y 1,2 millones de vehículos (SDM, 2008), de los cuales aproximadamente el 75% son vehículos particulares. El sistema de transporte urbano público tiene dos actores principales: buses de transporte público colectivo (TPC) y el sistema de transporte masivo Transmilenio (TM). Adicionalmente, a la ciudad llegan diariamente miles de camiones provenientes de otras regiones del país.

Dado que se encuentra ampliamente documentado que las emisiones vehiculares contribuyen en gran medida al problema de contaminación que enfrenta la ciudad en la actualidad, el desarrollo de inventarios de emisiones de fuentes móviles se convierte en una herramienta esencial para la formulación de políticas de control de la contaminación del aire.

* Egresada del programa de Maestría en Ingeniería Ambiental. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes, Colombia.

† Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana Regional (SUR). Universidad de los Andes, Colombia.

‡ Director del Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes, Colombia, Dirección: Carrera 1ª este núm. 19A-40. Bogotá, Colombia. A. A. 4976. Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. +(57-1) 339.4949; Fax: +(57-1) 332.4313, correo electrónico: ebehrent@uniandes.edu.co.



Página anterior

Página siguiente



Menú



En el trabajo discutido en este documento se realizó la actualización del inventario de emisiones provenientes de fuentes vehiculares para la ciudad de Bogotá. Los factores de emisión de este inventario fueron obtenidos mediante una campaña de campo sin precedentes en los centros urbanos de Colombia, y en el que se realizaron más de doscientas mediciones directas en el tubo de escape y bajo las condiciones reales de operación de los vehículos.

Metodología

La información necesaria para estimar el inventario de emisiones provenientes de fuentes móviles vehiculares fue recopilada en dos etapas. En primer lugar, se recolectó la información existente referente al tamaño y distribución de la flota de la ciudad así como de sus respectivos factores de actividad.

Posteriormente, con el fin de determinar los factores de emisión (FE, expresados en gramos de contaminante generados por cada kilómetro recorrido) de los vehículos se llevó a cabo una masiva campaña de campo en la que se realizaron experimentos de mediciones directas de emisiones, utilizando técnicas en tiempo real y bajo condiciones reales de operación de los vehículos. La muestra de vehículos incluye automotores alimentados con gasolina, ACPM y gas natural (GNV).

La metodología utilizada para la determinación de los FE corresponde al protocolo definido en el proyecto IVE¹ (ISSRC, 2004), el cual ha sido estandarizado de forma rigurosa y aplicado con éxito en cerca de 15 ciudades alrededor del mundo.

¹ El modelo internacional de emisiones vehiculares (IVE) es usado como herramienta de cálculo para la estimación de inventarios de emisiones de fuentes vehiculares. Este modelo fue desarrollado por investigadores de la Universidad de California y el Centro Internacional de Investigación de Sistemas Sostenibles (ISSRC) y financiado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA).

Resultados y conclusiones

Las fuentes vehiculares en Bogotá emiten anualmente a la atmósfera más de 4.800.000 toneladas de dióxido de carbono; 450.000 toneladas de monóxido de carbono; 30.000 toneladas de óxidos de nitrógeno; 60.000 toneladas de hidrocarburos y 1100 toneladas de material particulado fino.

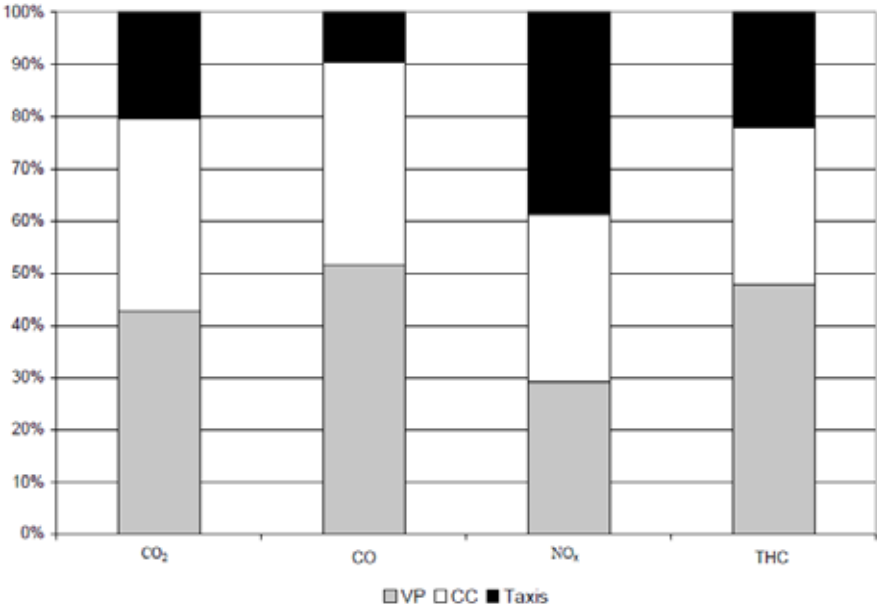
Al comparar los resultados obtenidos para vehículos provistos de convertidores catalíticos con aquellos relacionados con vehículos que no cuentan con estos dispositivos, se puede apreciar el gran impacto asociado con el uso de esta tecnología de control de emisiones. En particular, para el caso de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos totales (THC), los vehículos equipados con convertidores catalíticos exhibieron FE significativamente inferiores.

Según lo presentado en la figura 1, los taxis generan contribuciones significativas al inventario de emisiones de vehículos livianos a pesar de representar sólo el 6% de la flota. Sin embargo, las emisiones de la flota liviana se encuentran dominadas por los vehículos privados. Para el caso de $PM_{2,5}$ (material particulado de diámetro menor a 2,5 micras), el servicio público colectivo es el sector de la flota que domina el inventario de emisiones, generando un aporte superior al 50%. Por otro lado, el aporte de $PM_{2,5}$ por parte de la flota de buses de Transmilenio es inferior al 3% (fig. 2).

En este proyecto se logró detectar que los beneficios ambientales que han sido asociados a la reconversión tecnológica de vehículos de gasolina a vehículos duales (gasolina-GNV) no son necesariamente tan importantes como se había pensado. Esta situación se explica por las inevitables limitaciones asociadas con los procesos de reconversión, donde no es fácil replicar las condiciones operacionales de un vehículo que opera de acuerdo con las especificaciones originales del fabricante.

Una de las conclusiones más importantes es que se debe continuar con los esfuerzos para lograr la distribución de ACPM de calidad internacional,





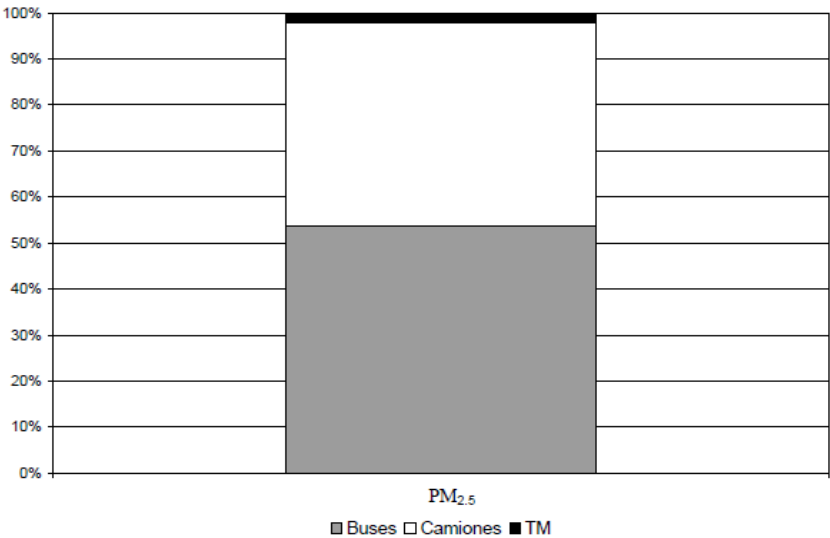
VP = Vehículos de pasajeros; CC = Camperos y camionetas

FIG. 1. Contribución de las categorías vehiculares al inventario de emisiones provenientes de vehículos de carga liviana de Bogotá

de tal forma que se sigan logrando reducciones de emisiones en toda la flota que usa este combustible y se permita el uso de tecnologías de control de emisiones para motores diésel. También, es necesario implementar programas de chatarrización, renovación y modernización del parque de vehículos de carga pesada, así como de mantenimiento preventivo y especializado de éstos.

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaría Distrital de Ambiente por proveer los fondos que hicieron posible estos resultados, a través del contrato realizado como parte del convenio de ciencia y tecnología número 347 de 2006. Se agradece de forma especial a Jesús Miguel Sepúlveda y Édgar Erazo.



Nota: Buses incluye buses, busetas, microbuses y alimentadores del sistema Transmilenio. TM corresponde a la flota de vehículos articulados del sistema de transporte masivo de la ciudad

FIG. 2. Contribución de las categorías vehiculares al inventario de emisiones de material particulado provenientes de vehículos de carga pesada de Bogotá

Agradecemos también las contribuciones del International Sustainable Systems Research Center y la Universidad de Chile (a través del Dr. Mauricio Osses), Robinsson A. Rodriguez, Sebastián Tolvett, Mauricio Gaitán, Orlando Venegas, Agustín Zamudio y Luis Miguel Castro.

Bibliografía

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ (2007), Estudio sobre los centros de actividad logística de carga de Bogotá (Calcab). Volumen I: Diagnóstico y caracterización de la logística.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS (DANE). Censo General 2005, [en línea].

GIRALDO & BEHRENTZ (2005), Estimación del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá e identificación de variables pertinentes. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes.

MINISTERIO DE TRANSPORTE. REPÚBLICA DE COLOMBIA (2006), Parque automotor de transporte de carga en Colombia. Dirección de transporte y tránsito. Grupo de investigación y desarrollo en transporte.



Actualización del inventario de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas en Bogotá

5-Fandiño-Colombia-1

Magdalena FANDIÑO, * Sandra BRAVO,† Nancy SÁNCHEZ‡ y Eduardo BEHRENTZ§

Palabras clave: muestreos isocinéticos, inventario de fuentes, factores de emisión, chimeneas industriales.

Introducción y objetivos

Un inventario de emisiones, definido como la contabilidad de todas las emisiones causadas por las diferentes fuentes de contaminación atmosférica, es un instrumento y una herramienta de gran importancia para la elaboración de las estrategias encaminadas al control de la contaminación del aire (Nansai et ál., 2003; Garg et ál., 2001; Elbir et ál., 2004). La información generada en un inventario de emisiones permite, entre otras cosas, determinar la eficacia de los programas y políticas que han sido implementados y que pretenden disminuir el impacto de las fuentes contaminantes. Esto es particularmente cierto para ciudades de países en desarrollo, donde la voluntad política hacia la protección del medio ambiente puede verse limitada debido a la competencia que existe con otras prioridades y dificultades afrontadas por los gobiernos locales.

*Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana Regional (SUR). Universidad de los Andes, Colombia

†Egresada del Programa de Maestría en Ingeniería Ambiental. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes, Colombia.

‡Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana Regional (SUR). Universidad de los Andes, Colombia.

§Director del Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes, Colombia, dirección: carrera 1ª este núm. 19A-40. Bogotá, Colombia. A. A. 4976. Universidad de los Andes, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, teléfono: +(57-1) 339.4949; fax: +(57-1) 332.4313, correo electrónico: ebehrent@uniandes.edu.co.



Página anterior

Página siguiente



Menú



Bogotá (Colombia) es una ciudad en constante cambio y que ha gozado de un crecimiento económico importante en años recientes. Este crecimiento, sin embargo, viene acompañado de un incremento en el consumo de combustibles fósiles y, por consiguiente, en un incremento en las emisiones de contaminantes atmosféricos, especialmente material particulado (PM) y sustancias precursoras de ozono (Gaitán et ál., 2007).

El trabajo discutido en este documento consistió en la actualización del inventario de emisiones provenientes de fuentes industriales localizadas en el perímetro urbano de Bogotá; haciendo uso de métodos de medición directa en chimeneas. Este es un estudio sin precedentes en la ciudad que se constituye en la base para la formulación de estrategias y políticas para el control de las emisiones de fuentes fijas en la ciudad de Bogotá.

Metodología

El inventario de emisiones fue realizado en varias etapas. En primer lugar, se llevó a cabo una masiva campaña de campo en la que se realizaron decenas de mediciones de tipo isocinético en chimeneas industriales localizadas en el interior del perímetro urbano. Estas mediciones se realizaron en una muestra representativa de fuentes industriales, haciendo uso de los métodos 1 a 8 de la EPA, correspondientes a muestreos en chimeneas (EPA, 2008). Para todos y cada uno de los monitoreos realizados, se determinaron las concentraciones en el gas efluente de material particulado (PM), óxidos de azufre (SO_x) y óxidos de nitrógeno (NO_x). A partir de estos resultados, se determinaron los factores de emisión de las especies contaminantes bajo estudio (expresados en términos de gramos de contaminante producido por cada tonelada de combustible que es utilizado).

En segundo lugar, se realizó un empadronamiento del sector industrial de la ciudad en el que se visitaron cerca de 3000 industrias con el fin de recolectar información primaria y relacionada con el nivel de consumo de

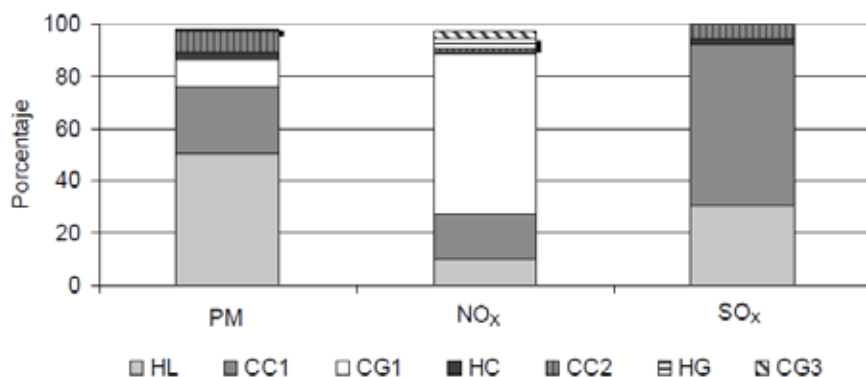
combustible y el tipo de tecnología utilizada en los procesos productivos. De forma paralela, se llevó a cabo un cuidadoso análisis basado en fotografías aéreas de alta resolución con el fin de determinar el número de chimeneas existentes en la ciudad.

Finalmente, se combinaron los resultados obtenidos en las actividades antes mencionadas con el fin de obtener el inventario de emisiones de Bogotá, en términos de toneladas de contaminantes emitidas por año. Estos resultados fueron validados y ajustados haciendo uso de un balance energético en toda la ciudad.

Resultados y conclusiones

Las fuentes industriales en Bogotá emiten anualmente a la atmósfera 1400 toneladas de material particulado; 2600 toneladas de óxidos de nitrógeno; y 2200 toneladas de óxidos de azufre. Los resultados del estudio muestran que las emisiones de las fuentes que utilizan gas natural fueron muy inferiores a aquellas relacionadas con las fuentes que utilizan carbón como combustible (fig. 1). A pesar de que el 9% del sector industrial utiliza carbón como combustible, estas industrias aportan el 86% de las emisiones de material particulado y más del 90% de las emisiones de óxidos de azufre.

Adicionalmente, se logró documentar que la producción no tecnificada de ladrillo es la más importante fuente de contaminación por material particulado en la ciudad a pesar de que no se cuenta con numerosos establecimientos de este tipo. Este sector específico, es responsable del 50% de las emisiones de material particulado a pesar de representar menos del 5% de las chimeneas industriales de la ciudad. Esto significa que el control de emisiones a este sector debe ser considerado como una de las principales prioridades para la autoridad ambiental. Esto se debe no sólo a la importancia de éste sino a la efectividad que tendrían las medidas de control teniendo en cuenta el relativamente bajo número de fuentes. En



CG1 = Calderas a gas natural con capacidades mayores a 100 BHP y años modelo previos o iguales a 1997; CG2 = Calderas a gas natural con capacidades mayores a 100 BHP y años modelo posteriores a 1997; CG3 = Calderas a gas natural con capacidades menores o iguales a 100 BHP; HG = Hornos a gas natural; CC1 = Calderas a carbón con capacidades mayores a 100 BHP; CC2 = Calderas a carbón con capacidades menores o iguales a 100 BHP; HC = Hornos a carbón; HL = Hornos ladrilleros.

FIG. 1. Contribución relativa de las diferentes categorías industriales al inventario de emisiones de PM, NO_x y SO_x

este mismo sentido, una segunda prioridad debe estar asociada con las calderas que hacen uso de carbón como combustible.

La industria bogotana ha migrado de forma muy importante hacia el uso del gas natural como combustible para sus procesos productivos. Esta situación es altamente conveniente desde el punto de vista de las emisiones de material particulado y óxidos de azufre y, por lo mismo, se deben continuar y fortalecer los instrumentos que pretenden incentivar el uso del gas natural en la industria.

Los resultados de este trabajo confirman que la localidad de Puente Aranda es la zona de Bogotá en donde se concentra el mayor número de empresas asociadas con emisiones atmosféricas, así como el mayor número de chimeneas de tipo industrial. Sin embargo, debido a la actividad de producción no tecnificada de ladrillo, la localidad de Usme es la principal responsable de las emisiones de material particulado (fig. 2).

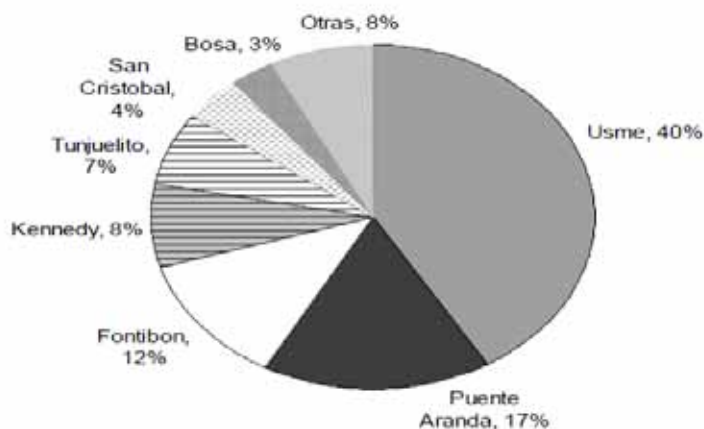


FIG. 2. Aporte porcentual a las emisiones de PM por cada localidad de Bogotá

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaría Distrital de Ambiente por proveer los fondos que hicieron posible estos resultados, a través del contrato realizado como parte del convenio de ciencia y tecnología número 347 de 2006. Se agradece de forma especial a Jesús Miguel Sepúlveda y Édgar Erazo.

Agradecemos también las contribuciones de Robinson Rodríguez, Édgar A. Virgüez y Mauricio Gaitán.

Bibliografía

ELBIR & MUEZZINOGLU (2004), Estimation strengths of primary air pollutants in the city of Izmir, Turkey. *Atmospheric Environment*, 38: 1851-1857.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OF THE UNITED STATES (EPA), (2008), Emissions Measurement Center.

- GAITÁN, M.; CANCINO, J. y BEHRENTZ, E. (2007), Análisis del estado de la calidad del aire en Bogotá. *Revista de Ingeniería*. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia, 26: 81-92.
- GRAG SHUKLA, BHATTACHARYA & DADHWAL (2001), Sub region /district and sector level of SO₂ and NO_x emissions for India: assessment of inventories and mitigation flexibility. *Atmospheric Environment*, 35: 703-713.
- NANSAI, MORIGUCHI & TOHNO (2003), Compilation and application of Japanese inventories for energy consumption and air pollutant emissions using input-output tables. *Environmental Science and Technology*, 37: 2005-2015.



Análisis de la calidad del aire en tres megaciudades de América Latina

1-Parra-Colombia-1

Daniela M. E. PARRA,* Mauricio GAITÁN† y Eduardo BEHRENTZ‡

Palabras clave: redes de monitoreo, diagnóstico, concentración de contaminantes, normas de calidad del aire.

Introducción y objetivos

Se ha comprobado que hay una relación directa entre el desarrollo industrial y el aumento de la contaminación atmosférica en centros poblados.¹ Por esta razón, los grandes esfuerzos que se han realizado en la reducción de este tipo de contaminación han estado articulados con las condiciones específicas de las ciudades; en términos de sus flotas vehiculares, sus dinámicas industriales y las condiciones meteorológicas.

De igual forma, es fundamental conocer las condiciones de calidad del aire in situ, para determinar los niveles de contaminación a los que se expone la población, los cuales son producto de la creciente actividad industrial así como del crecimiento de las flotas vehiculares.² Para esto, se suelen utilizar

* Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (SUR). Universidad de los Andes, Colombia.

† Egresado de la Maestría en Ingeniería Ambiental. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes, Colombia.

‡ Director del Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (SUR). Universidad de los Andes, Colombia, Dirección: carrera 1ª este núm. 19A-40. Bogotá, Colombia. A. A. 4976. Universidad de los Andes, Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional (SUR). Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. (57-1) 3394949; Fax: (57-1) 3324313. correo electrónico: ebehrent@uniandes.edu.co.

¹ Clean Air Act (CAA), 42 U.S.C. 7401–7626, [como se modificó según la ley pública 108–201, de febrero 24 de 2004]. 2004, p. 7.

² *Ibíd.*, p. 7.

las denominadas redes de monitoreo de la calidad del aire (RMCA), cuyo objetivo principal ha sido efectuar un diagnóstico constante de la situación de la calidad del aire en los centros urbanos.

Las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en lo que se refiere a calidad del aire, se basan en estudios realizados para evaluar el impacto en la salud causado por los diferentes contaminantes atmosféricos y así establecer límites máximos de exposición para sustancias tales como material particulado en fracciones respirable y fina (PM_{10} y $PM_{2,5}$), óxidos de nitrógeno y azufre (NO_x , SO), ozono troposférico (O_3) y monóxido de carbono (CO). El objetivo de estas recomendaciones es servir de apoyo a las autoridades ambientales y de salud pública para los procesos de expedición de normas que, según su nivel de desarrollo y capacidad de gestión, puedan ser cumplidas.³

El objetivo principal de este estudio fue la realización de un diagnóstico comparativo de la calidad del aire en Bogotá, México y Santiago de Chile; con respecto a las guías de la OMS y de acuerdo con los datos oficiales de calidad del aire para cada una de estas ciudades.

Metodología

Los datos registrados en las RMCA fueron obtenidos de las agencias ambientales de cada ciudad en períodos comprendidos entre 1997 y 2008. Se empleó la mayor cantidad de registros de contaminantes posible en cada caso. La información fue organizada en una base de datos en la que se excluyeron datos inválidos, tales como concentraciones menores o iguales a cero.⁴

³ Organización Mundial de la Salud. Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre; actualización mundial 2005; resumen de evaluación de los riesgos. 2006, p. 7.

⁴ En todos los casos en que se descartaron datos, se dio una explicación técnica y se generó el correspondiente reporte de control de calidad. La base de datos original no fue modificada.

Adicionalmente, para todos los análisis tan sólo se tuvo en cuenta los casos en los que se contara con al menos el 75% de los datos. Se calcularon promedios y medias móviles y se calculó el índice porcentual de excedencias (IPE; ecuación 1).

$$IPE = \sum_i \left(\frac{N_E}{N_D} \right) \cdot 100 \quad \text{Ecuación (1)}$$

N_E es el número de veces en el que el promedio excede la guía o norma usada como referencia. Esta última es elegida según los propósitos del análisis. N_D es el número total de datos válidos disponibles en cada una de las estaciones (i) de la red.

Resultados y conclusiones

En las tres ciudades analizadas se observaron porcentajes de excedencia mayores al 90% para PM_{10} ; con respecto a la guía anual de la OMS. Esto demuestra una vez más que el material particulado es uno de los principales riesgos para la salud de los habitantes de estas ciudades. El segundo lugar en excedencias fue ocupado por el NO_x , con una proporción diferente para cada ciudad: 73% para México, 38% para Santiago y 25% para Bogotá.

La figura 1 muestra el comportamiento histórico del IPE para PM_{10} en las tres ciudades estudiadas. Al comparar con la norma de $20 \mu g/m^3$, el IPE en ningún caso estuvo por debajo del 90% en este período. Se observa que el IPE de Bogotá tiende a ser superior al 95% y muestra una ligera tendencia al alza. Los IPE anuales de México indican una tendencia más estable, y exhiben los valores más bajos de las tres ciudades. Por el contrario, Santiago muestra en general los valores más altos, sin indicios claros de una disminución en el período analizado.

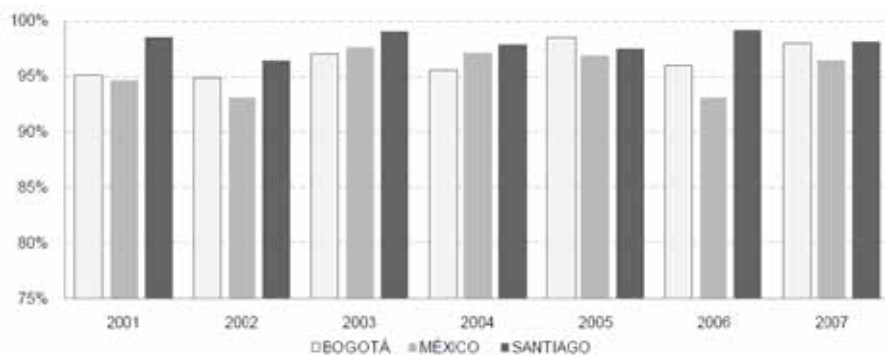


Fig. 1a. IPE anual (basado en promedios diarios y la guía de larga duración de la OMS -20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -)

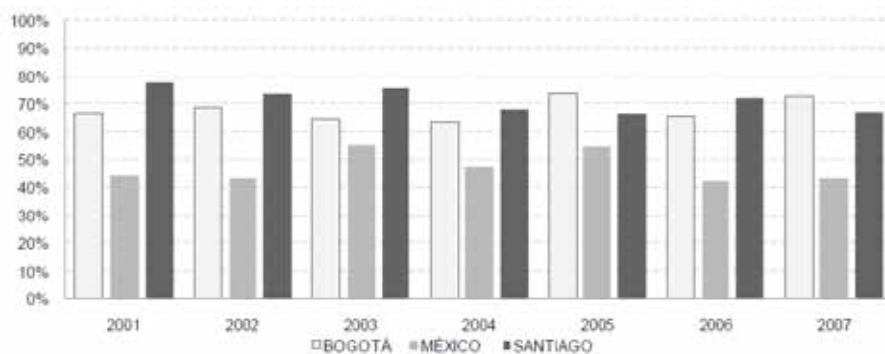


Fig. 1b. IPE anual (basado en promedios diarios y la guía de corta duración de la OMS -50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -)

Para el caso del IPE que hace referencia a la norma de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, los datos de México están alrededor del 50% y son significativamente inferiores a los de Bogotá y Santiago. En contraste, las tendencias de Santiago y Bogotá no son claras. Aunque la mayoría de los IPE anuales de Santiago son superiores a los de Bogotá, en 2005 y 2007 ocurre el caso contrario.

La figura 2 muestra las series de tiempo para una estación en cada ciudad, todas éstas localizadas en sectores reconocidos por su alta contaminación. Durante el período de análisis, los IPE calculados con respecto a la guía anual y a la guía diaria son de 96 y 68% (Bogotá), 96 y 48% (México) y

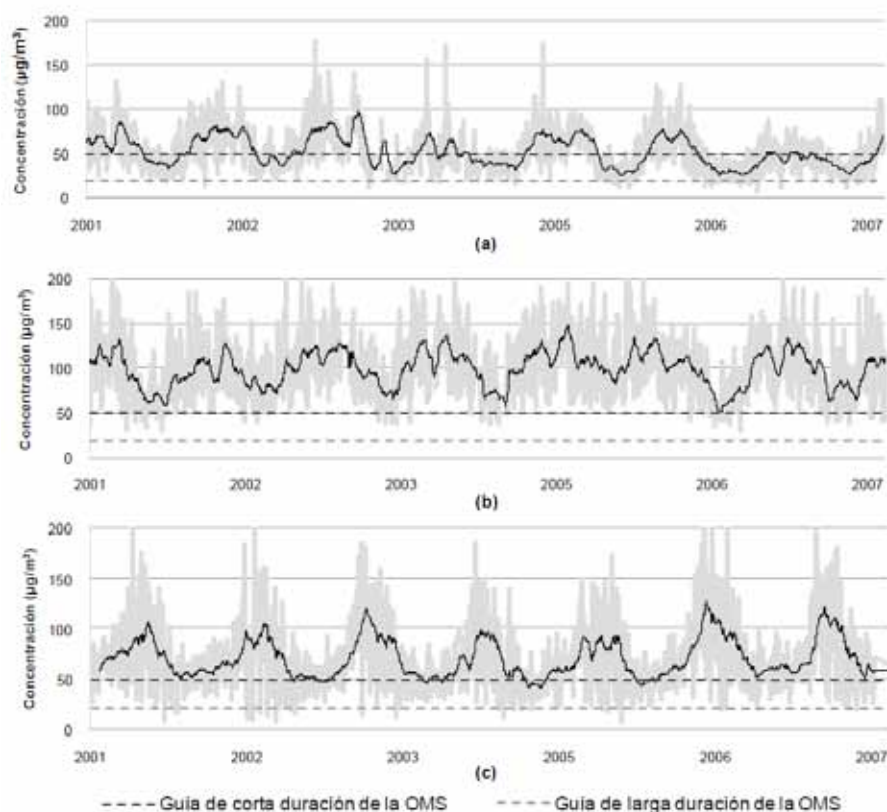


FIG. 2. Promedios diarios de PM_{10} y media móvil ($p = 30$) en una estación. a) Bogotá (Puente Aranda); b) México (Xalostoc); c) Santiago (Independencia)

98 y 72% (Santiago), respectivamente. En este mismo lapso se observa la alta estacionalidad de la contaminación del aire. Este comportamiento se relaciona con las dinámicas meteorológicas propias de la ciudad y la zona climática en la que se encuentra cada una.

Los períodos en que las medias de Bogotá y México aumentan y disminuyen son similares, mientras que se observa un comportamiento de espejo entre las estaciones de México y Santiago, que se encuentran en

estaciones climáticas opuestas en el mismo período. No obstante los valores medios oscilan sobre un valor mayor en el caso de México, los valores extremos que se observan en Santiago tienen una mayor influencia en su IPE anual. El rango en que se encuentran los valores extremos es amplio, pero el lapso de ocurrencia entre uno y otro es corto. Esto puede deberse a las condiciones meteorológicas locales, tales como los vientos que redistribuyen el material particulado en la ciudad. Además, la estacionalidad de Santiago es visiblemente más definida que la de México y Bogotá, lo que puede estar relacionado con la presencia de estaciones climáticas más definidas.

Agradecimientos

Este estudio hace parte del proyecto Adaptation to the Health Impacts of Air Pollution and Climate Extremes (Adapte), financiado por el Inter-American Institute for Global Change Research (IAI). Extendemos un especial agradecimiento a sus miembros y colaboradores: Patricia Romero Lankao, Alejandro León, Laura Dawidowski, Griselda Günther, Rosana Abrutsky, Karla Caneo, Olga Wilhelmi, Angélica Rosas, Mercy Borbor, Paulina Aldunce y Steve Sain.

Estudio de emisiones al año 2010 para diferentes alternativas del transporte en el Valle de Aburrá

M. Victoria TORO, Jossual SERNA*

Palabras clave: emisiones, fuentes móviles, calidad del aire, transporte metropolitano.

Introducción y objetivos

El Área Metropolitana del Valle de Aburrá, como autoridad ambiental urbana, viene implementando una serie de estrategias que buscan conocer la calidad del aire, la dispersión de contaminantes en este recurso natural, la dinámica de contaminantes en la atmósfera, entre otras, las cuales se pretende articular a través de un proyecto donde se administre toda la información relacionada con este tema y se definan acciones de protección y control del recurso aire. Para este efecto, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, suscribió el convenio 075 de 2008, con la Universidad Pontificia Bolivariana que tiene por objeto “Evaluar los niveles de contaminación del aire en las zonas urbanas del Valle de Aburrá”. El convenio establece el desarrollo de diferentes proyectos que permiten obtener herramientas para la evaluación y análisis del componente atmosférico en la región. Las simulaciones especiales se realizan a partir de modificaciones a los modelos de emisión, meteorología y calidad del aire, fundamentados en criterios y proyecciones futuras para permitirle a la autoridad ambiental estimar las posibles variaciones en las condiciones ambientales de su jurisdicción. En este sentido, pudieron evaluarse diferen-

* Grupo de Investigaciones Ambientales UPB. Medellín, Colombia, correo electrónico: victoria.toro@upb.edu.co, dirección: Circular 01 núm. 70-01, Medellín, Colombia, teléfono: (57-4)4159084; fax (57-4) 4159082.



tes opciones de operación del sistema de mediana capacidad Metroplús, articulado al Plan Maestro de Movilidad para el Valle de Aburrá. Las simulaciones presentadas a continuación se han realizado con el fin de conocer los impactos ambientales de las medidas proyectadas en el sector transporte.

Objetivos

Presentar el estudio de impactos ambientales por la entrada en operación del sistema de transporte masivo del Valle de Aburrá para diferentes escenarios de funcionamiento.

Antecedentes

En el año 2004, la Universidad Pontificia Bolivariana mediante convenio con el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) desarrollaron el sistema metropolitano de la calidad del aire (Simeca) a partir del cual puede simularse diferentes impactos ambientales ocasionados a la matriz aire provenientes del desarrollo de proyectos de ciudad como el Metroplús. Dicho sistema ha sido la base de diversas investigaciones y trabajos de consultoría financiados por parte de la autoridad ambiental, en este caso el AMVA.

Al realizar pronósticos meteorológicos y de calidad aire, Simeca se convierte en una herramienta importante para la gestión ambiental del Valle de Aburrá, pudiendo establecer las mejores estrategias locales para minimizar la contaminación proveniente de fuentes móviles y fijas que afectan la salud de la población metropolitana.

Resultados

Reducción de emisiones en el Valle de Aburrá

El material particulado menor de 10 micrómetros es uno de los contaminantes críticos del Valle de Aburrá. Por ello se simuló su variación de acuerdo

con las diferentes alternativas del sistema integrado de transporte masivo del Valle de Aburrá conformado por Metro, Metroplús con sus rutas alimentadoras y su respectiva chatarrización.

Los resultados muestran que la alternativa troncal eléctrica con alimentadores a gas natural y la alternativa en la que el sistema completo usa gas natural, son las de menores emisiones de PM_{10} . Cabe anotar que se evaluaron nueve alternativas entre las cuales las diferencias en las emisiones son poco significativas. Esto ocurre debido a que las comparaciones se realizan con las emisiones totales del parque automotor en donde el SIT representa el 7% del total de vehículos.

Pronóstico de la calidad del aire en el Valle de Aburrá

Con la implementación de Metroplús, la calidad del aire mejora pero aún no cumple con la norma nacional para ozono (61 ppb), esto ocurre debido a que la flota del sistema representa el 7% del parque automotor de buses del Valle de Aburrá, sin embargo, para lograr el mejoramiento de la calidad del aire es necesario que todo el parque automotor utilice combustibles limpios.

Con referencia a otros componentes es necesario recalcar que el monóxido de carbono CO depende de la eficiencia de la combustión, el CO_2 es importante debido a su impacto con respecto al cambio climático. Otros componentes como son los compuestos orgánicos volátiles se disminuirían con las alternativas estudiadas.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en los escenarios de Metroplús puede concluirse que:

El combustible que presenta menores emisiones de CO_2 y PM_{10} , corresponde al gas natural.



El sistema eléctrico gas genera la menor emisión de PM_{10} y después el sistema de todos con gas natural.

El escenario 6 que contempla la operación de Metroplús con Euro IV, sin chatarrización fue el que presentó el mayor aumento de las emisiones totales.

La disminución de emisiones de CO_2 en todas las simulaciones se atribuye a la estrategia de chatarrización de buses para el 2010.

El crecimiento de las emisiones totales en el Valle de Aburrá con respecto al total estimado en el 2007 se atribuye al crecimiento del parque automotor para el 2010.

Con el sistema Metroplús operando con electricidad y alimentadores a gas natural se obtiene la mayor reducción total de emisión y de calidad del aire, respecto al escenario base.

La estrategia de chatarrización es fundamental para garantizar reducciones de emisión en el Valle de Aburrá.

El escenario base que corresponde al año 2010 con Euro I, duplica las emisiones que podrían obtenerse en las diferentes alternativas de operación de Metroplús, incluyendo chatarrización.

A partir del modelo de fuentes móviles Etrome, se pudieron establecer diferentes escenarios de tráfico en el Valle de Aburrá, con el propósito de evaluar la variación de las emisiones de contaminantes mediante la implementación del sistema Metroplús. Adicionalmente, se pudo aplicar el modelo meteorológico RAMS y fotoquímico CAM_x, con el fin de identificar cambios en la calidad del aire por ozono y PM_{10} principalmente. Estos modelos son una herramienta importante para que la autoridad ambiental pueda prever cambios en las condiciones ambientales de la región.

Bibliografía

ALZATE, J. M.; BUILES, L. A.; RAVE, C. C. et ál. (2007, mayo), Análisis de alternativas tecnológicas y energéticas para el sistema Metroplús bajo una evaluación integrada Energía Ambiente Economía. *Revista Gestión y Ambiente*, v. 10, núm. 1.

AMVA, UPB (2006), Actualización del inventario de emisiones con georreferenciación. *Convenio 323 de 2005*. AMVA-UPB Medellín.

ENVIRON 2007 (2006), Comprehensive Air Quality Model CAM_x, disponible en: <http://www.camx.com>.

INTERNATIONAL VEHICLE EMISSION (IVE) (2004), *Model Users Manual*. Versión 1.1.1. Summer, disponible en: <http://www.gssr.net/ive>.

NATIONAL OCEANIC ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA), (2007), Real Time Environmental Application and Display System, disponible en: <http://www.arl.noaa.gov/ready/cmet.html>.

STEER DAVIS GLEAVE, ACERO, N. P. Y AKIRIS (2008, mayo), Estructuración técnica legal y financiera del Sistema Integrado de Transporte Público del Valle de Aburrá. Informe Final, Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

TREMBACK, C. Regional Atmospheric Modeling System Rams, disponible en: <http://www.atmet.com>.



**Este libro se compuso en caracteres
MyriadPro 11/18, en octubre de 2010,
año del Bicentenario de la Independencia
de la República de Colombia (20 de julio de 1810)**

Como continuación del Primer Congreso Colombiano de Calidad del Aire y Salud Pública, se convocó a la comunidad técnica y científica, a los miembros de corporaciones y entidades encargadas de velar por el medio ambiente y la salud, así como a tomadores de decisiones y ciudadanos interesados en tales temas, a que participaran en la segunda versión de este evento. Esta segunda edición fue una excelente oportunidad para conocer el estado actual del estudio y control de la contaminación del aire.

La presente publicación contiene una recopilación de los ponencias presentadas en el II Congreso Colombiano y Conferencia Internacional de Calidad de Aire y Salud Pública. Compila los resúmenes de las presentaciones orales, según la sesión temática en la que fueron presentados, y los resúmenes de los trabajos exhibidos en la sesión de pósteres.