

**SALUD RESPIRATORIA Y NIVELES DE CONTAMINACIÓN EN INSTITUCIONES
EDUCATIVAS UBICADAS EN VÍAS CON ALTO TRÁFICO VEHICULAR**

JUAN FELIPE FRANCO RAMÍREZ

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
BOGOTÁ D.C.
2007**

**SALUD RESPIRATORIA Y NIVELES DE CONTAMINACIÓN EN INSTITUCIONES
EDUCATIVAS UBICADAS EN VÍAS CON ALTO TRÁFICO VEHICULAR**

JUAN FELIPE FRANCO RAMÍREZ

Proyecto de grado presentado a la Universidad de Los Andes como requisito para optar
al título de Maestría en Ingeniería Ambiental

ASESOR

Eduardo Behrentz

CO-ASESOR

Néstor Y. Rojas

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
BOGOTÁ D.C.
2007**

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	
1. Introducción.....	1
2. Metodología.....	4
2.1 Descripción del estudio.....	4
2.2 Selección sitios de muestreo.....	4
2.3 Población a estudio.....	6
2.4 Cuestionarios.....	7
2.5 Estudio Piloto.....	7
2.6 Microambientes seleccionados en cada IED.....	8
2.7 Métodos de muestro de calidad del aire.....	8
2.8 Manejo de bases de datos y análisis estadístico.....	10
2.9 Validación de la información.....	11
3. Resultados y discusión.....	13
3.1 Características de la población a estudio.....	13
3.2 Antecedentes de salud respiratoria.....	14
3.3 Niveles de contaminación atmosférica.....	15
3.3.1 Comparación entre medidas de PM ₁₀ integradas y en tiempo real.....	15
3.3.2 Análisis descriptivo de la información.....	17
3.3.3 Caracterización de microambientes.....	20
3.4 Otros estudios.....	28
4. Conclusiones y recomendaciones.....	30
5. Referencias bibliográficas.....	32

RESUMEN

Bogotá es considerada actualmente como una de las ciudades más contaminadas de América Latina, principalmente por los altos niveles de concentración de material particulado (PM) proveniente del transporte público que usa un combustible diésel de baja calidad. Aunque la evidencia internacional de la asociación positiva entre la exposición a altos niveles de PM es creciente, para Bogotá y otras ciudades de países en desarrollo la información es aún muy limitada y presenta varios vacíos.

Se realizó el diseño de un estudio que busca caracterizar longitudinalmente la salud respiratoria y los niveles de concentración de material particulado y carbono elemental a los que están expuestos los menores en instituciones educativas ubicadas sobre vías de alto tráfico vehicular en Bogotá. Para alcanzar este objetivo se llevaron a cabo dos campañas de campo en dos semestres diferentes del año escolar (agosto a noviembre de 2006 y febrero a mayo de 2007). Con una población a estudio de 1302 menores de 4 instituciones a los que se les caracterizó sociodemográficamente y su salud respiratoria. Simultáneamente en cada campaña se realizaron medidas de material particulado PM_{10} , $PM_{2.5}$ y carbono elemental en diferentes microambientes de la institución y sus alrededores. Los resultados aquí presentados corresponden a la primera de tres campañas mediciones programadas para un periodo de tres años y constituyen la línea base del proyecto.

Las instituciones seleccionadas están ubicadas en inmediaciones de corredores vías considerados de alto tráfico vehicular que cuentan con diferente tipo de transporte público (transporte público colectivo: buses, busetas y colectivos y transporte público mixto: masivo + colectivo). La prevalencia de síntomas respiratorios encontrada a partir de análisis preliminar no permite identificar diferencias significativas entre los niños de las diferentes instituciones. Los niveles de material particulado y carbón elemental encontrados indican claramente que los menores están expuestos a concentraciones que superan los valores que han sido considerados como nocivos para poblaciones sensibles. Siendo de especial atención los altos valores encontrados en salones de

clase y espacios recreativos donde los niños(as) ya que se estima que son los microambientes donde los menores pasan la mayor parte del tiempo de su jornada escolar.

Los resultados de este estudio muestran además la es necesidad seguir desarrollando investigaciones encaminadas a entender el problema de la contaminación atmosférica y su relación con la salud y condiciones de vida de los niños(as) de Bogotá. Y de esta manera generar impactos importantes en las políticas de salud pública para la ciudad.

RECONOCIMIENTO Y AGRADECIMIENTO A LAS ENTIDADES Y PERSONAS PARTICIPANTES EN EL ESTUDIO

A la Universidad de Los Andes: Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental y Facultad de Medicina.

Al Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental (CIIA). En especial a los estudiantes y asistentes de investigación que colaboraron las campañas de campo del estudio.

Al Grupo de Estudios Epidemiológicos de la Universidad de Los Andes (EPIANDES). En especial a los estudiantes y asistentes de investigación que participaron de las campañas de campo del estudio.

Al Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. En especial a los estudiantes asistentes de investigación del Grupo Interuniversitario de Calidad del Aire que participaron de las campañas de campo del estudio.

A la Facultad de Medicina de la Pontificia Universidad Javeriana. En especial a los doctores Iván Solarte y Gabriel Pascual.

A la Fundación Santa Fe de Bogotá. En especial al Dr. Juan Carlos Correa por su constante asesoría al proyecto.

A la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá. En especial a los doctores Gustavo Aristizábal y Luís Jorge Hernández.

A COLCIENCIAS entidad financiante del estudio.

A las tres personas directoras de este proyecto: Dra. Olga Lucía Sarmiento, Dr. Eduardo Behrentz y Dr. Néstor Rojas.

1. INTRODUCCIÓN

Bogotá es reconocida como uno de los centros urbanos más contaminados de América Latina (García y Pachón 2004; Rojas 2005) y es el material particulado (PM) el contaminante que presenta los niveles de concentración más altos en la ciudad, excediendo con frecuencia los estándares de calidad del aire. Esta situación es de especial atención si se tiene en cuenta la evidencia de los efectos negativos que la exposición a altas concentraciones de PM tiene sobre la salud respiratoria y cardiovascular de las personas. Evidencia creciente a través de diversos estudios internacionales que han asociado positivamente la contaminación atmosférica por material particulado con un incremento en morbilidad y mortalidad debida a enfermedades respiratorias y cardiovasculares (WHO 2000; OPS 2005).

Más específicamente las investigaciones han concluido que la exposición a altas concentraciones de PM está asociada con incrementos en síntomas de enfermedades respiratorias, decaimiento de los niveles de función pulmonar y desarrollo de enfermedades pulmonares crónicas, así como la producción de alergias específicas (Neas 2000; Nicolai 2002; Clancy et al 2002; Rabinovitch et al 2004; Alessandrini et al 2006; Bella et al 2006). Estudios epidemiológicos de tipo longitudinal desarrollados en Estados Unidos (Gaudeman et al 2007; Holguin et al 2007) y EUROPA (Kuehni et al 2006; Van Roosbroeck et al 2006) han demostrado como una exposición crónica a niveles elevados de material particulado esta asociada positivamente con una reducción de la función pulmonar especialmente en poblaciones sensibles como los niños.

La población infantil, debido a la condición de un sistema inmunológico aún en desarrollo, es considerada como altamente vulnerable a los efectos de negativos asociados con la contaminación atmosférica (Schwartz 2004; Kim et al 2004; Calderon et al 2003; WHO 2003). Además al presentar una tasa de respiración más altas que los adultos, ingieren una mayor dosis de contaminante por unidad de peso corporal (Sabin et al 2005). La potencial exposición de esta población aumenta debido a los patrones de actividad propios de su edad. Las anteriores cualidades los convierte en la población

objetivo (además de los adultos con enfermedades respiratorias y cardiovasculares) de los estudios encaminados a establecer relación entre salud respiratoria y la contaminación del aire (EPA 2003).

Dado a que las emisiones de material particulado son, en un porcentaje importante, debidas a la combustión de motores diésel en fuentes móviles (Baldassarri et al 2006), es de especial preocupación los niveles de PM encontrados en inmediaciones de vías con alto flujo vehicular. Se ha encontrado que menores cuyas viviendas y/o colegios están ubicados cerca de vías altamente transitadas han presentado reducción en el desarrollo de su función pulmonar e incremento de síntomas respiratorios (Van Roosbroeck et al 2006; Kim et al 2004; Peters et al 1999). Por esta razón se hace necesario caracterizar en el mayor rango posible los niveles de concentraciones a los que están expuestos los menores en los espacios donde desarrollan sus actividades diarias, que están cercanos a estas vías de alto tráfico.

Estos espacios particulares de exposición se conocen como microambientes en los que el niño permanece por diferentes periodos de tiempo según su patrón de actividades. El colegio, la casa, los medios de transporte, parque y espacios exteriores son un ejemplo de lugares considerados como microambientes. Se reconoce la importancia de caracterizarlos con el objetivo de establecer medidas más específicas de los niveles de concentración a los que están expuestos los menores (Han et al 2007; Behrentz et al 2005). Tan relevante como evaluar los ambientes exteriores es poder caracterizar también los ambientes interiores en los que el niño permanece, especialmente si estos se encuentran localizados cerca de una vía de alto tráfico vehicular.

Para Bogotá lo anterior tiene una implicación aún más relevante ya que las altas concentraciones de PM en la ciudad se deben principalmente a las fuentes móviles (especialmente transporte público que opera con combustibles diésel) (MMAVDT 2006). A tal punto que la exposición a PM al lado de las vías es probablemente el aspecto más visible de la contaminación del aire en Bogotá. Grandes nubes de humo emitidas por los buses, camiones y vehículos que usan combustible diésel, son parte de

una imagen diaria en los principales corredores viales de la ciudad. Situación que a pesar del reciente cambio en el sistema de transporte público que viene experimentando la ciudad, es aún una constante.

El estudio que aquí se presenta tiene como objetivo principal caracterizar la salud respiratoria y los niveles de contaminación a los que están expuestos los menores en Instituciones Educativas Distritales ubicadas sobre corredores viales de alto tráfico, que serán influenciados por el desarrollo de la tercera fase del sistema de transporte masivo en Bogotá. Los resultados de este proyecto constituyen la línea base de un estudio comparativo longitudinal, que aún está en desarrollo. En él se está evaluado si los recientes cambios en el sistema de transporte (de transporte público convencional: buses, busetas y colectivos a transporte público masivo: Transmilenio) que ha tenido Bogotá en los últimos años, presentan alguna asociación con los niveles de contaminación atmosférica en la ciudad y su subsiguiente efecto con la calidad de vida, salud respiratoria y función pulmonar de la población en edad escolar.

2. METODOLOGÍA

2.1 Descripción del estudio

Se presenta a continuación un estudio descriptivo de cohorte transversal que representa la línea base de un proyecto diseñado longitudinalmente titulado: **Estudio comparativo de los efectos de dos sistemas de transporte en calidad del aire, salud respiratoria, actividad física y calidad de vida en niños en la ciudad de Bogotá.** Se presentará en este documento los resultados de la primera de tres mediciones programadas para un periodo de tres años.

2.2 Selección de sitios de muestreo

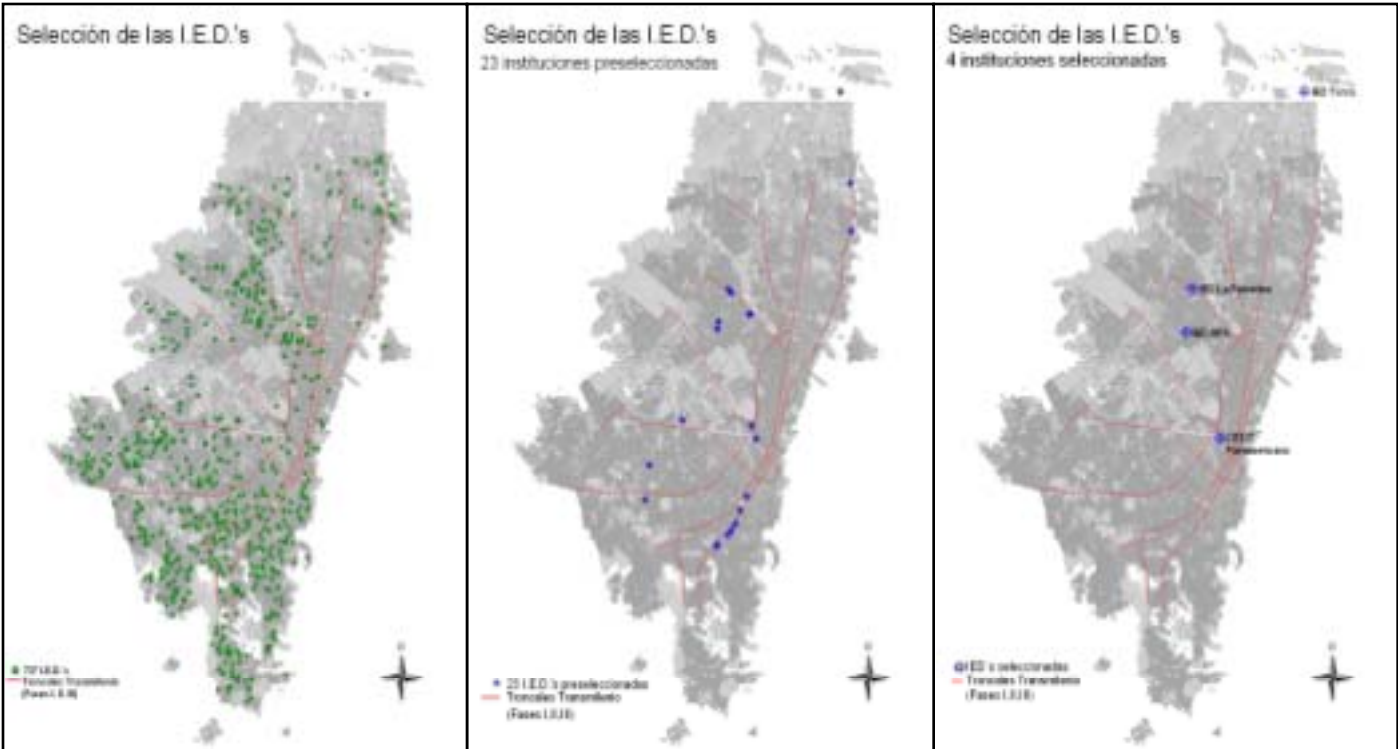
Se seleccionaron cuatro instituciones educativas distritales (IED) ubicadas en diferentes localidades de la ciudad de Bogotá. Tres de estas instituciones están ubicadas sobre vías principales consideradas de alto tráfico vehicular y una institución está localizada en zona rural al norte de la ciudad, sobre una vía de bajo flujo vehicular. Las vías sobre las que están ubicadas las instituciones debían cumplir con los siguientes criterios de selección:

- Eje vial que ya cuente con sistema de transporte masivo Transmilenio fases I ó II: Una (1) IED.
- Eje vial por el que circule transporte público colectivo y que este planeado para ser convertido a Transmilenio fase III : Una (1) IED.
- Eje vial por el que circule transporte público colectivo: Una (1) IED.
- Eje vial en área con baja contaminación: Una (1) IED.

Para la selección de las IED se contó con el apoyo de la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, quienes suministraron la base de datos de las instituciones educativas que pertenecían al programa Escuelas Generadoras de Calidad de Vida. Las 737 IED vinculadas al programa fueron geocodificadas utilizando un sistema de información geográfica (ArcView GIS). Haciendo uso de las herramientas del mismo software se aplicó un filtro de 100 metros de cercanía a las vías de interés y como resultado se

preseleccionaron 23 instituciones. A estas 23 IED y a sus alrededores se le realizaron recorridos de reconocimiento en donde se pretendía identificar y evaluar los siguientes aspectos:

- Cercanía a la vía de interés: Instituciones cuyas edificaciones estuvieran entre 0 y 10 metros de distancia desde la vía.
- Factores de confusión: No estar ubicadas en localidades de Bogotá consideradas por la Secretaría Distrital de Ambiente como de alta contaminación atmosférica (p.ej. Puente Aranda). No estar realizando construcciones o reparaciones físicas a las edificaciones.
- Género y grado escolar: Instituciones a las que acudieran niños de ambos sexos y que contarán con niveles académicos de primaria y secundaria.



Gráfica 1. Mapa de Bogotá con instituciones geocodificadas y ubicación de las IED seleccionadas

Como resultado de los recorridos de reconocimiento se obtuvieron las cuatro IED donde se desarrolló el estudio. La Gráfica 1 esquematiza en un mapa de la ciudad de Bogotá

el proceso de selección de las instituciones. A continuación se enumera cada una de las instituciones seleccionadas y la vía sobre la que esta localizada.

- IED 1: IED Torca, localizada en la carrera 7^a con calle 232. Esta IED fue seleccionada como control.
- IED 2: IED Robert F. Kennedy, localizada en la avenida Boyacá con calle 64. Esta IED fue seleccionada como institución sobre vía con transporte público colectivo que no será transformada a Transmilenio.
- IED 3: IED Panamericano, localizada en la calle 26 con carrera 37. Esta institución fue seleccionada como institución sobre vía con transporte público colectivo que será transformada a Transmilenio en la tercera fase.
- IED 4: IED La Palestina, localizada en la calle 80 con carrera 77. Esta institución fue seleccionada como institución sobre vía con transporte público masivo, Transmilenio.

2.3 Población a estudio

Después de seleccionadas las IED a trabajar se diseñó una estrategia de acercamiento a cada institución a través de las entidades distritales. Una vez realizado el contacto y convenida la entrada a la IED, se realizaron reuniones de presentación del estudio a directivos, profesores, padres y niños en donde se les invitó a participar del proyecto. Utilizando el conducto regular de cada institución, se les envió a padres o acudientes legales de los niños(as) un consentimiento informado donde aprobaban o rechazaban la participación de su hijo(a) en el proyecto.

Un total de 1302 menores entre 5 y 15 años de edad, de las cuatro IED seleccionadas respondieron afirmativamente al consentimiento que se les envió. Esto equivale a una respuesta del 96% del total de la población elegible. A cada menor y a sus respectivos padres se les aplicó un cuestionario de caracterización socio-demográfica. En él se incluyeron preguntas propias de sus familias, su sitio de vivienda, condiciones económicas entre otras. Este cuestionario con el objetivo de identificar aspectos específicos de los niños(as) participantes en el estudio.

2.4 Cuestionarios

A cada menor y a sus respectivos padres se les aplicó un cuestionario de caracterización socio-demográfica donde se les consultaba aspectos relacionados con su familia, su sitio de vivienda y el ambiente en el que convive el niño(a). Así mismo se les suministró un cuestionario relacionado con su historia médica y salud respiratoria. Estos cuestionarios fueron adaptados de la metodología utilizada en el estudio ISAAC (International Study on Asthma and Allergies in Childhood) (Mallol 2000) y validados en estudios previos para Bogotá desarrollados por la Secretaría Distrital de Salud.

2.5 Estudio piloto

Se desarrolló un estudio piloto previo al inicio de las campañas de campo del estudio. Durante éste se ajustaron los protocolos de operación de los equipos de medición de calidad del aire, se adaptaron y validaron culturalmente los cuestionarios socio-demográficos y de salud, y se ajustó la logística general del trabajo de campo.

Como población a estudio se seleccionaron 30 menores de tercer grado de una institución educativa distrital localizada en la localidad de Engativá. Con ellos se siguió el mismo procedimiento para la administración de los cuestionarios a seguir en la campaña de campo. Paralelamente se llevaron a cabo mediciones de material particulado con equipos de muestra integrada, impactadores tipo Harvard y equipos de tiempo real, DustTrak.

Durante las pruebas piloto realizadas se desarrollaron pruebas de precisión entre equipos de tiempo real colocando los equipos en la misma posición midiendo el mismo contaminante durante el mismo periodo de tiempo. Así mismo se desarrollaron ensayos de precisión entre los equipos de tiempo real y de muestra integrada.

Adicional a la campaña piloto desarrollada en la IED, se programaron otros días de muestreo en diferentes ubicaciones sobre vías en Bogotá. Esto con el fin de afianzar la

operación de los equipos en tiempo real y de afrontar el manejo de la información obtenida.

2.6 Microambientes seleccionados en cada IED

Se seleccionaron cuatro microambientes en cada una de las IED con el objetivo de caracterizar lo más ampliamente posible los niveles de concentración de contaminantes a los que están expuestos los menores durante su jornada escolar.

Microambientes exteriores: Se seleccionaron tres microambientes exteriores, la calzada (M1), el punto más próximo a la vía de interés dentro de la institución (M2) y las canchas y sitios de recreo (M3).

Microambientes interiores: Se seleccionaron los salones de clase como microambientes interiores (M4). Para las instituciones que tenían auditorios o aulas múltiples, estos también se caracterizaron.

Cada uno de estos microambientes se seleccionó teniendo en cuenta que tan representativo es el tiempo que los niños(as) pasan en él durante su jornada escolar y la distancia a la vía de interés.

2.7 Métodos de muestreo de calidad del aire

Para la determinación de la concentración de los contaminantes atmosféricos a evaluados (material particulado y carbono elemental) se utilizaron equipos de medición en tiempo real y muestra integrada. Las dos campañas de muestreo se desarrollaron en dos semestres diferentes del año escolar. Durante agosto a noviembre de 2006 y de febrero a mayo de 2007. Las mediciones se realizaron en periodos de 4, 8 y 10 horas dependiendo del microambiente a evaluar, durante días hábiles en los que los niños asistían regularmente a las clases. La posición de cada equipo en los microambientes se presenta en la Gráfica 2.



Calzada



Punto más próximo a la vía dentro de la IED



Canchas deportivas y sitios de recreo



Salones de clases y auditorios

Gráfica 2. Posición de los equipos en cada microambiente en la IED.

Las concentraciones de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$ en tiempo real se obtuvieron con un fotómetro portátil marca *DustTrack* modelo 8520 (TSI Inc.). El equipo opera a un flujo de 1.7 l min^{-1} y tiene una resolución temporal ajustable hasta de 1 segundo y un límite de detección inferior a 2 ug m^{-3} . Operaciones de revisión de flujo y calibración del cero se realizaron todos los días de muestreo antes y después de finalizada la medición. Periódicamente se efectuaron las operaciones de mantenimiento especificadas en el manual del equipo.

Las concentraciones en tiempo real de carbono elemental (BC) se determinaron utilizando un transmisor óptico automático conocido por su nombre en inglés como *aethalometro* (Magee Scientific Co.). El equipo opera a un flujo modificable de 2 l min⁻¹ y tiene una resolución de hasta 1 minuto. Se realizó una revisión de flujo periódicamente utilizando un rotámetro debidamente calibrado.

Simultáneamente a las mediciones en tiempo real se llevaron a cabo mediciones integradas de material particulado respirable PM₁₀. Para esto se utilizó un equipo impactador tipo Harvard que operaba a un flujo de 10 l min⁻¹ y que siempre estuvo ubicado en el microambiente punto más próximo a la vía dentro de la institución. El flujo se midió con un rotámetro Matheson de alta precisión modelo FM-1050 antes y después de realizada la medición. La muestra fue recogida en un filtro de teflón de 37mm de diámetro y 2 micras de poro. La determinación gravimétrica de la concentración de PM₁₀ se hizo pesando los filtros antes y después de la medición en una balanza analítica Sartorius modelo M5P-000V001 de seis dígitos. Los filtros fueron acondicionados antes de ser pesados en un laboratorio a una temperatura de 23±1 °C y a una humedad relativa del 45%. El montaje y desmontaje de los filtros en los portafiltros fue realizado en el laboratorio con extremo cuidado para evitar daños en el filtro y pérdida y contaminación de la muestra. Se realizaron blancos de campo dos veces por semana en cada punto de muestreo y blancos de laboratorio cada semana.

2.8 Manejo de bases de datos y análisis estadístico

Todos los cuestionarios de características sociodemográficas y de salud fueron digitalizados utilizando un formato de captura desarrollado en Visual Basic y Microsoft Access. La información digitalizada se sometió a un proceso de verificación y a un riguroso proceso de validación. Se construyó una base de datos con la información de los cuestionarios, se crearon diccionarios de variables y se obtuvieron frecuencias de las mismas.

Para la información de concentraciones material particulado y carbono elemental en tiempo real se construyeron y concatenaron las bases de datos siguiendo un riguroso protocolo de validación de la información (ver numeral 2.9). En total se obtuvieron alrededor de 6'000,000 de registros que fueron resumidos por medianas minutales. Se elaboraron diccionarios de variables y se realizó un análisis descriptivo donde se evaluó la distribución y medidas de tendencia central y de dispersión. La variable concentración del contaminante fue transformada logarítmicamente, ya que la distribución no era normal. Con la variable transformada se corrieron pruebas estadísticas formales de comparación de medias (t-test) y medianas, teniendo como variable categórica la IED y estratificando por microambiente y por compuesto.

La información de concentraciones de material particulado obtenida a partir de las muestras integradas también fue sometida a un proceso de validación antes de la construcción de las bases de datos. Con estos datos se realizó el mismo análisis estadístico que con la información en tiempo real. Se elaboraron diccionarios de variables y se realizó un análisis descriptivo donde se evaluó la distribución de la variable y se obtuvieron las medidas de tendencia central y de dispersión. Se corrieron pruebas estadísticas formales de comparación de medias (t-test) teniendo como variable categórica la IED.

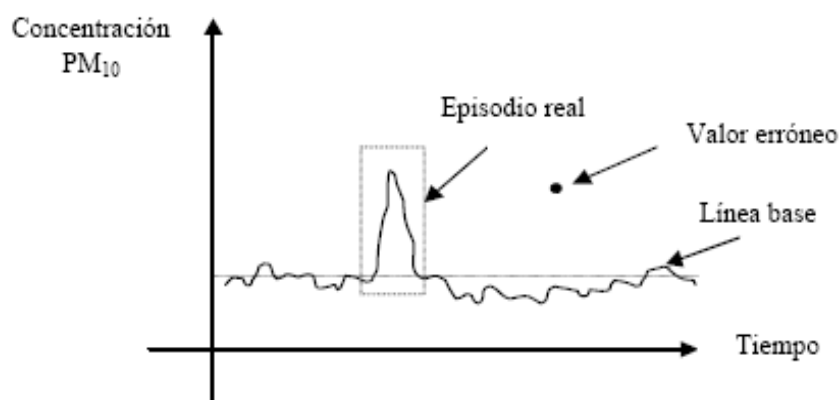
Todo el análisis tanto de los datos de calidad del aire como de la información sociodemográfica y de salud respiratoria se desarrolló utilizando el paquete estadístico SAS 9.1 y el software StatTransfer 8.0 para la conversión a de las bases de datos a diferentes formatos.

2.9 Validación de la información

Los equipos utilizados para las mediciones de material particulado y carbono elemental en tiempo real basan su funcionamiento en una técnica de análisis directo en el que la respuesta electrónica del equipo puede generar algunos valores que no corresponden a información real de concentraciones de PM_{10} . Este tipo de señales erróneas son típicas

y comunes a la mayoría de las técnicas analíticas que funcionan en tiempo real (Behrentz et al 2006).

Para la eliminación de los valores extremos no plausibles, ceros y negativos se desarrolló un protocolo de validación al que fue sometida cada base de datos inicial con la información total de cada medición. La Gráfica 3 esquematiza el procedimiento de identificación de un valor extremo positivo no plausible. Los valores ceros y negativos fueron eliminados a través de un código desarrollado en SAS 9.1 que se aplicó a cada base de datos antes de ser concatenada.



Gráfica 3. Esquema de identificación de un valor extremo no plausible comparándolo con una línea base y un evento real de alta concentración.
(Fuente de la imagen Behrentz et al 2006)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Características de la población a estudio

De un total de 1347 menores elegibles para participar en el estudio, 1302 respondieron positivamente al consentimiento informado enviado a sus padres o acudientes. A estos menores se les aplicó el cuestionario de características sociodemográficas y de salud respiratoria. Esto equivale a una tasa de respuesta del 97%, que no difiere apreciablemente para las cuatro instituciones. Este valor de respuesta es alto comparado con otros estudios internacionales (Peters et al 1999) realizados en diferentes escuelas o comunidades en donde la tasa de respuesta fue del 76%.

Tabla 1. Características socio-demográficas de la población a estudio

	<u>IED 1 (Torca)</u>	<u>IED 2 (Av. Boyacá)</u>	<u>IED 3 (CI26)</u>	<u>IED 4 (CII 80)</u>	<u>Total</u>
Menores elegibles	259	323	357	408	1347
Con consentimiento informado	247 (95.4%)	308 (95.4%)	350 (98.0%)	397 (97.3%)	1302 (96.7%)
Genero					
Femenino	110 (44.5%)	155 (50.3%)	176 (50.3%)	187 (47.1%)	628 (48.2%)
Edad (media años + DE*)	8.3 (1.7)	9.7 (1.1)	8.8 (2.0)	8.4 (1.7)	8.8 (1.8)
Características de la vivienda					
Tipo de vivienda					
Casa independiente	127 (51.4%)	143 (46.4%)	112 (32.0%)	185 (46.6%)	567 (43.6%)
Apartamento	106 (42.9%)	145 (47.1%)	198 (56.6%)	186 (46.9%)	635 (48.8%)
Cuarto	11 (4.5%)	18 (5.8%)	40 (11.4%)	24 (6.1%)	93 (7.1%)
Edificación no destinada a vivienda	1 (0.4%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	1 (0.25%)	2 (0.15%)
Otro	2 (0.8%)	2 (0.65%)	0 (0.0%)	1 (0.25%)	5 (0.38%)
Estrato socio-económico					
1 ó 2	56.70%	9.7%	34.6%	20.4%	28.6%
3	36.40%	89.0%	57.7%	78.6%	67.4%
>3	6.90%	1.3%	7.7%	1.0%	4.0%
Madre afiliada a seguridad social	233 (94.3%)	297 (96.4%)	321 (91.7%)	374 (94.2%)	1225 (94.1%)
Contacto con fumadores					
Niño fuma	2 (0.8%)	0 (0.0%)	2 (0.6%)	2 (0.5%)	6 (0.46%)
Vive con personas que fuman	68 (27.5%)	111 (36.0%)	106 (30.3%)	119 (30.0%)	404 (31.0%)
Madre fumó durante el embarazo del niño	1 (0.4%)	9 (2.9%)	16 (5.6%)	10 (2.5%)	36 (2.8%)

* Desviación estándar

La Tabla 1 Presenta la información sociodemográfica de la población a estudio discriminada por institución educativa. En todas las IED la población estuvo igualmente distribuida en cuanto al género se refiere. El estrato socioeconómico de la vivienda del

menor en la mayoría de los casos (67.4%) fue estrato tres. Siendo la IED 1 con un 56.7% de su población en estratos uno y dos la que presentó las mayores condiciones de pobreza. Los menores cuyos padres reportaron en los cuestionarios estratos de la vivienda mayores a tres, en su mayoría son hijos de personas que trabajan en haciendas ubicadas en zonas rurales cercanas a la IED 1. El tipo de vivienda donde habita el niño(a) no difiere significativamente entre IED, siendo casas independientes y apartamentos los tipos más predominantes. Un gran porcentaje de los menores (31%) vive con personas que fuman según lo reportado por sus padres. Se piensa por lo observado por el personal del proyecto que este porcentaje puede ser mayor y que los padres simplemente se negaron a reportarlo.

Se encontró que en muchos de los casos los menores deben asistir a una institución educativa sobre una vía de alto tráfico, por que es la que queda cerca de sus viviendas o por que simplemente es donde se les fue asignado el cupo por las entidades distritales. Esto quiere decir que en Bogotá los padres de estratos socioeconómicos bajos no tienen mucha opción de escoger una institución educativa para sus hijos que no esté ubicada sobre una vía de alto tráfico vehicular.

3.2 Antecedentes de salud respiratoria

La Tabla 2 presenta la prevalencia estimada de algunos de los indicadores de salud respiratoria evaluados en los cuestionarios discriminada por institución educativa. Con el análisis preliminar realizado no se pueden determinar diferencias significativas entre instituciones. Esto lo que sugiere es que se debe realizar un análisis más riguroso en donde se controle por algunos factores de riesgo (p.e. estrato socioeconómico, contacto con fumadores). Los valores totales de prevalencias de síntomas respiratorios encontrados en este estudio son un poco inferiores a los reportados para Bogotá. Para sibilancias alguna vez Bogotá tiene una prevalencia del 35% y sibilancias en el último año del 9% (Samiento 2005), así mismo la prevalencia de asma diagnosticada por el médico para Bogotá está en 8%. Los valores de prevalencias encontradas en este estudio están por debajo de valores reportados para otras ciudades de Latinoamérica

con características similares a las de Bogotá. Ciudad de México por ejemplo presenta una prevalencia para asma diagnosticada del 10% (Asher et al 2006; Menezes et al 2005).

Otro componente de salud que se está desarrollando actualmente en el estudio al que este proyecto pertenece incluye determinación de la función pulmonar de los niños(as) y diario de síntomas respiratorios a la totalidad de la población. Así mismo análisis para ajustar los resultados por variables de confusión se están desarrollando en este momento y no se presentan en este informe.

Tabla 2. Prevalencia de síntomas respiratorios

	IED 1 (Torca)	IED 2 (Av. Boyacá)	IED 3 (Cil26)	IED 4 (Cil 80)	Total
Sibilancia					
Alguna vez	24.3	22.4	22.6	24.9	23.6
En el último año	7.7	6.2	7.7	8.6	7.6
Tose con alguna frecuencia	13.4	14.6	8.9	14.9	12.9
Bronquitis					
Alguna vez	14.6	11.4	13.4	14.1	13.4
Confirmada por médico	14.2	10.7	13.1	14.1	13.1
Neumonía					
Alguna vez	8.9	7.5	11.4	10.6	9.7
Confirmada por médico	8.9	7.5	11.4	10.6	9.7
Asma					
Alguna vez	4.5	5.8	4.9	5.5	5.2
Confirmada por médico	3.6	5.8	4.3	5.3	4.8
Actualmente	2.8	2.6	2.3	3.0	2.7

3.3 Niveles de contaminación atmosférica

3.3.1 Comparación entre medidas integradas y en tiempo real de PM₁₀

El análisis descriptivo realizado a los datos de las mediciones de material particulado PM₁₀ que se llevaron a cabo simultáneamente con equipos de tiempo real y equipos de muestra integrada en las diferentes instituciones, se presenta en la Tabla 3. Medias minútales de concentraciones de PM₁₀ medias por el DustTrak fueron promediadas en un dato diario para compararlas con los datos de muestras integradas obtenidos del impactador tipo Harvard (HI). Se aprecia una diferencia notable entre los valores medios

obtenidos por el impactador y los reportados por el DustTrak, sin que se presente un patrón por institución a punto de muestreo.

La proporción obtenida de dividir el valor de la concentración media del DustTrak entre el valor medio de la muestra integrada varia entre 0.3 y 4.8. Quince de los experimentos realizados tiene un valor para la proporción cercano a la unidad (1 ± 0.2) y en 19 de los ensayos realizados la concentración obtenida con el HI fue mayor al valor medio reportada por el DT.

Tabla 3. Análisis descriptivo para los datos de PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos con DT y HI

Experimento	Fecha	Localización	DustTrak mínimo	DustTrak máximo	DustTrak mediana	DustTrak media	HI	P*
1	18/08/2006	Piloto*	36.0	83.0	53.0	57.0	67.8	0.8
2	19/08/2006	Piloto	3.0	37.0	14.0	15.0	14.2	1.1
3	23/08/2006	Piloto	15.0	127.0	41.0	47.0	63.7	0.7
4	30/08/2006	Piloto	12.0	63.0	27.0	29.0	73.1	0.4
5	05/09/2006	IED 2	11.0	436.0	56.5	66.6	90.2	0.7
6	07/09/2006	IED 2	12.0	436.0	67.5	77.8	87.1	0.9
7	12/09/2006	IED 2	16.0	322.0	63.5	76.9	78.3	1.0
8	03/10/2006	IED 4	142.0	291.0	171.0	181.66	111.2	1.6
9	04/10/2006	IED 4	11.0	583.0	62.0	68.8	126.5	0.5
10	09/10/2006	IED 4	11.0	746.5	61.2	71.1	146	0.5
11	10/10/2006	IED 4	13.0	263.0	40.0	45.2	140.4	0.3
12	12/10/2006	IED 4	14.5	192.0	60.2	63.7	163.9	0.4
13	18/10/2006	IED 3	12.0	374.0	57.0	96.7	79.7	1.2
14	19/10/2006	IED 3	25.6	271.0	80.9	90.4	82.8	1.1
15	20/10/2006	IED 3	38.8	287.8	95.0	115.8	93	1.2
16	25/10/2006	IED 3	8.6	177.5	36.7	50.1	61.4	0.8
17	27/10/2006	IED 3	7.0	479.0	36.5	45.7	53.7	0.9
18	27/02/2007	IED 3	20.3	197.3	40.4	43.9	63.1	0.7
19	05/03/2007	IED 3	15.7	237	40.7	52.4	28.8	1.8
20	09/03/2007	IED 3	20.4	216.2	47.8	54.0	55.8	1.0
21	12/03/2007	IED 1	28.0	100.0	42.0	50.0	78.5	0.6
22	13/03/2007	IED 1	32.0	100.0	77.0	75.4	79.0	1.0
23	15/03/2007	IED 1	38.0	93.0	72.0	72.0	82.6	0.9
24	20/03/2007	IED 1	17.0	96.0	44.5	45.9	9.5	4.8
25	23/03/2007	IED 1	10.0	99.0	45.0	50.2	72.1	0.7
26	26/03/2007	IED 1	18.0	100.0	60.0	59.1	49.8	1.2
27	29/03/2007	IED 5	68.8	147.0	103.9	104.2	109.4	1.0
28	30/03/2007	IED 5	71.6	186.4	102.6	107.9	119.5	0.9
29	10/04/2007	IED 4	7.4	188.9	44.1	64.4	157	0.4
30	12/04/2007	IED 4	29.0	198.0	68.0	72.9	99.3	0.7
31	13/04/2007	IED 4	17.9	119.3	57.7	56.3	95.9	0.6

*Estos experimentos fueron desarrollados durante el estudio piloto

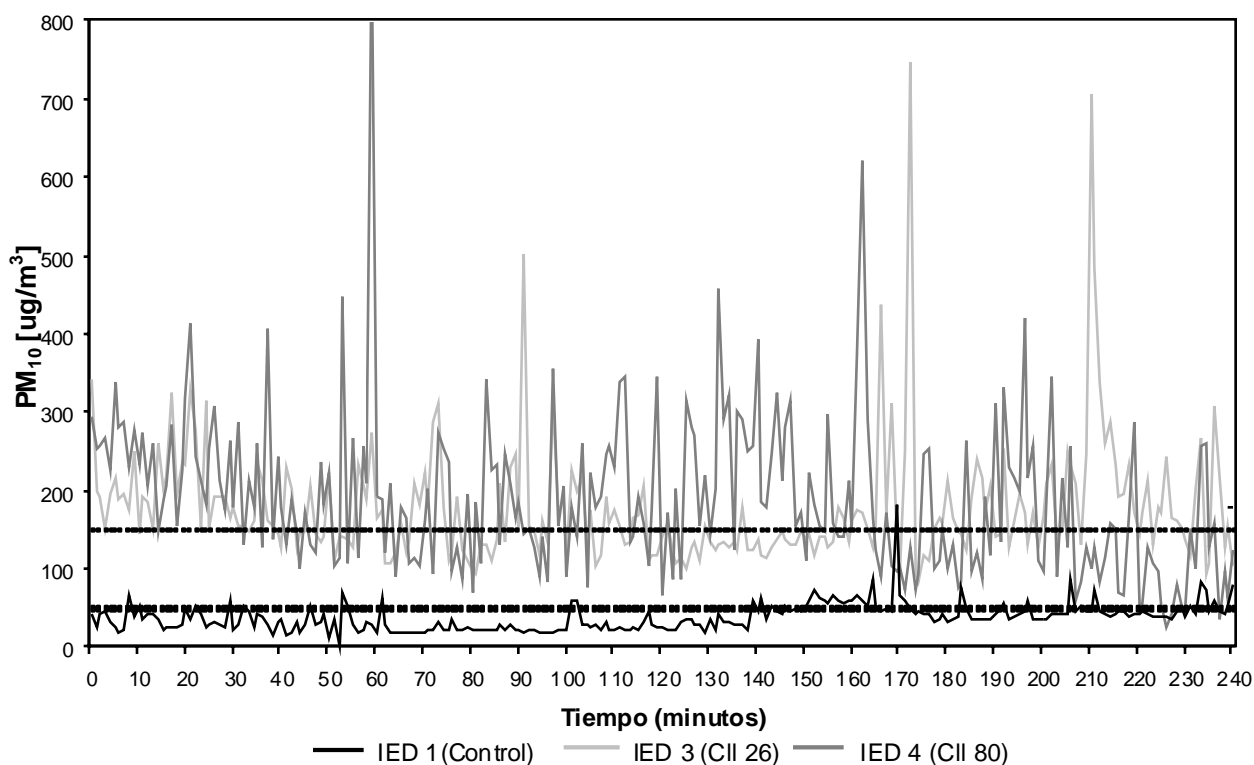
*Proporción=(Concentración media de PM₁₀ por DustTrak / Concentración de PM₁₀ por HI)

Teniendo en cuenta los resultados anteriores y reconociendo que el impactador tipo Harvard es el equipo aprobado internacionalmente como metodología estándar, se debe aclarar que en el momento de comparar valores absolutos se debe utilizar la información del HI. La información en tiempo real que proporciona el DT es de especial utilidad para representar tendencias y realizar análisis de información en series de tiempo. Por esta razón en este informe se presentarán ambos resultados siempre por separado. Sin embargo debido a la importancia que tuvieron los equipos de medición continua para este estudio, se le da especial atención a la información obtenida en tiempo real.

3.3.2 Análisis descriptivo de la información

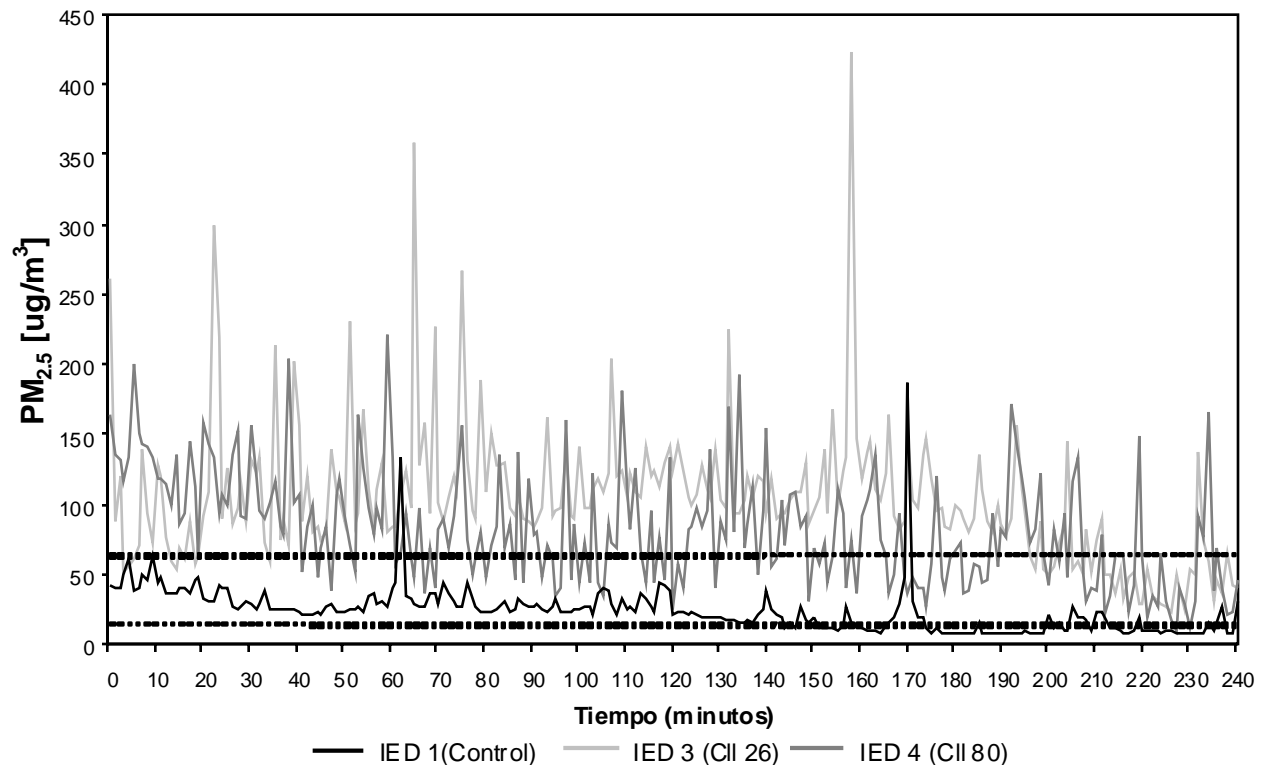
La Gráfica 4 presenta series de tiempo de concentraciones de material particulado respirable PM_{10} para tres de las cuatro IED estudiadas en mediciones realizadas en la calzada. El diagrama ejemplifica el tipo de información en tiempo real que se obtuvo en este estudio. Se puede apreciar como el comportamiento de la concentración de PM_{10} para las instituciones IED 3 y IED 4, ubicadas en corredores viales con alto tráfico vehicular, no sólo presenta un valor medio más alto sino que también es mucho más dinámico y con picos más pronunciados que para la IED 1, institución control. Este comportamiento es propio de una medición cercana a la fuente de emisión, en este caso al transporte público que circula por la vía sobre la que esta ubicada la institución educativa.

Al comparar las concentraciones de PM_{10} obtenidas en las mediciones en la calzada con los valores de referencia que internacionalmente se consideran nocivos para poblaciones sensibles como los niños ($50-150 \mu g m^{-3}$), representados en el diagrama por las líneas punteadas, se encuentra que durante un porcentaje significativo del tiempo de medición los menores están expuestos a concentraciones incluso mucho mayores.



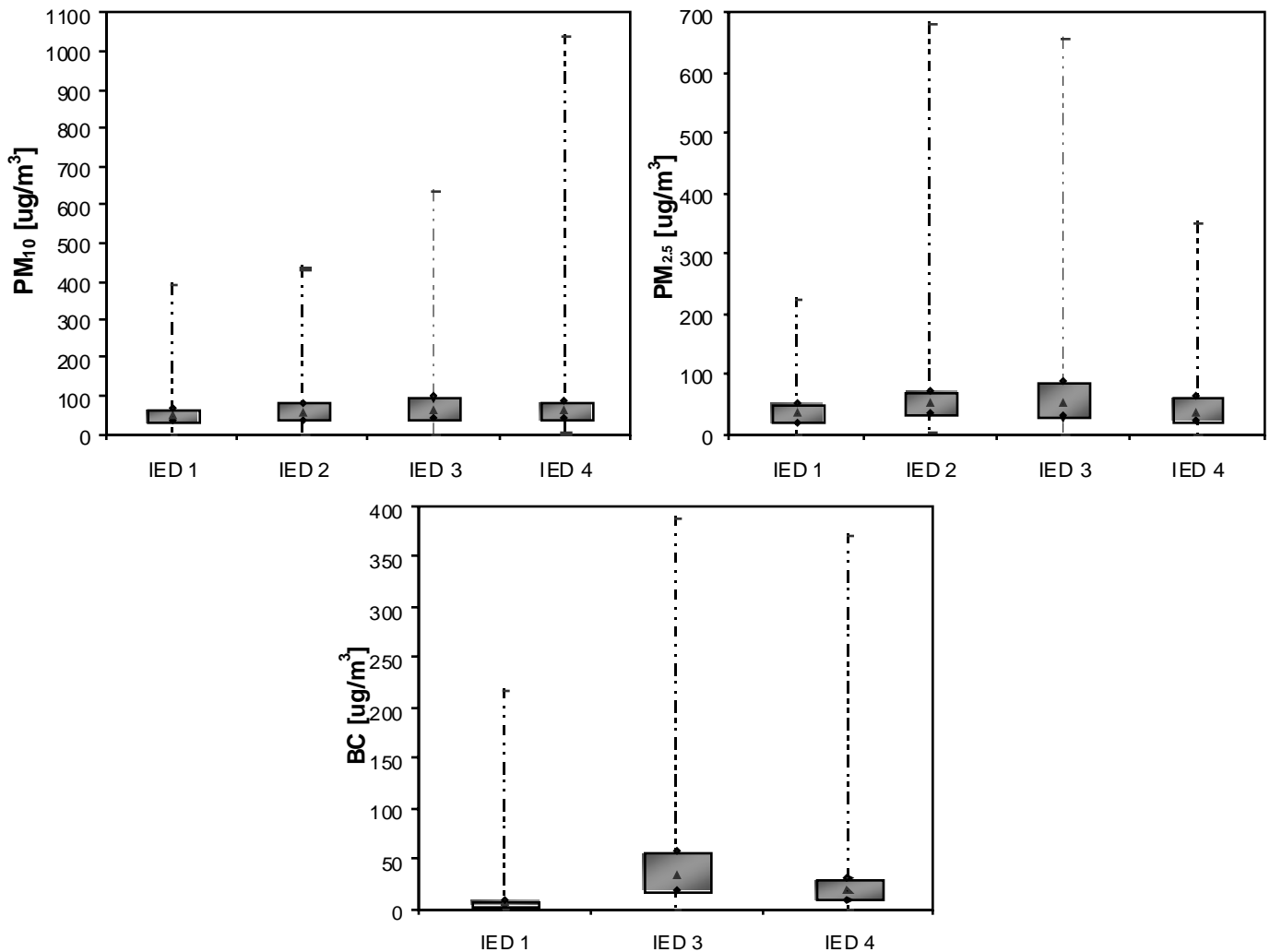
Gráfica 4. Series de tiempo de concentraciones de PM_{10} en $\mu g m^{-3}$ para tres de las IED estudiadas. Mediciones en la calzada.

La Gráfica 5 presenta series de tiempo de concentraciones de material particulado fino $PM_{2.5}$ para tres de las cuatro IED estudiadas en mediciones realizadas en la calzada. Así como el diagrama anterior, al comparar los valores de concentración de $PM_{2.5}$ obtenidos para las instituciones IED 3 y IED 4 con los valores obtenidos para la IED 1, estos presentan un valor medio significativamente mayor. Al igual que para PM_{10} el comportamiento de la variable concentración de $PM_{2.5}$ es mucho dinámico y presenta picos más pronunciados en las IED ubicadas sobre vías de alto tráfico vehicular. También es apreciable como durante gran parte del tiempo de medición las concentraciones están por encima de los valores considerados internacionalmente como nocivos para la salud de poblaciones sensibles ($15-65 \mu g m^{-3}$, referenciados en la gráfica con las líneas punteadas).



Gráfica 5. Series de tiempo de concentraciones de $PM_{2.5}$ en $\mu g m^{-3}$ para tres de las IED estudiadas. Mediciones en la calzada.

La Gráfica 6 resume la distribución de todas las mediciones que se hicieron para los contaminantes PM_{10} , $PM_{2.5}$ y carbono elemental (BC) en cada institución educativa. Se observa una gran variabilidad y dispersión en las concentraciones de los tres contaminantes, comportamiento propio de la información medida en tiempo real. Se aprecia como para la IED 1, institución control, la dispersión de los datos de concentraciones de los contaminantes es menor que para los datos obtenidos en las instituciones ubicadas sobre vías de alto tráfico vehicular (IED 2, 3 y 4). Así mismo los valores máximos alcanzados, son mucho mayores en estas IED.



Gráfica 6. Diagramas de caja de todas las concentraciones de PM₁₀, PM_{2.5} y carbono elemental (BC) para cada institución educativa. Instituciones educativas distritales (IED) 2 y 3 ubicadas en inmediaciones de vía con alto flujo de transporte público colectivo, IED 4 ubicada en inmediaciones de vía con alto flujo de transporte público mixto (colectivo y masivo), IED1 ubicada en una zona de bajo flujo vehicular. No se incluyen concentraciones de BC para IED 2 por que no se tienen registros para esta institución.

3.3.3 Caracterización de los microambientes en cada IED

La Gráfica 7 presenta la distribución de todas las concentraciones de PM₁₀, PM_{2.5} y BC para los diferentes microambientes caracterizados en cada institución. Se compara las concentraciones encontradas en las IED ubicadas sobre vías con alto tráfico vehicular

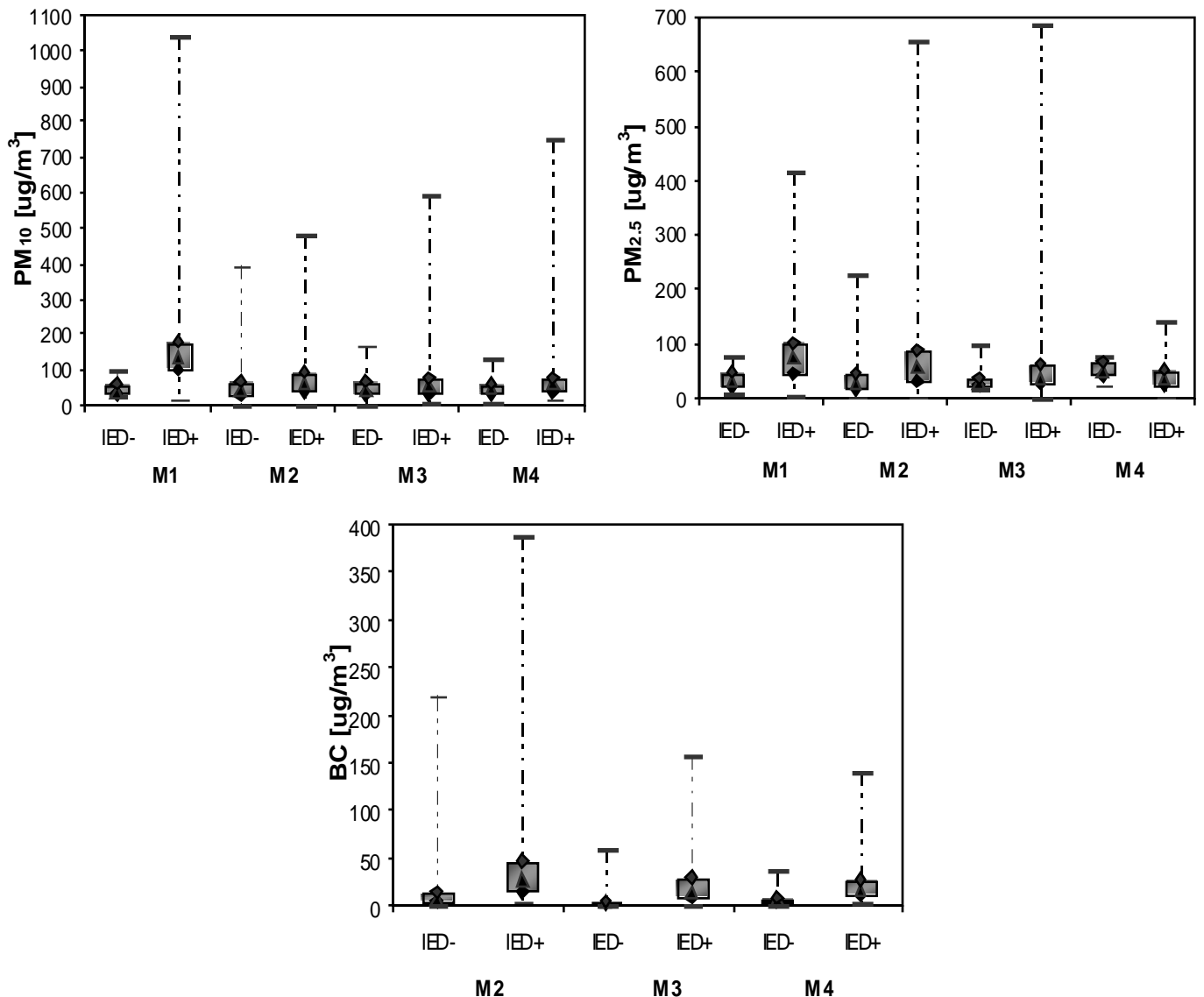
con las encontradas en la IED control para cada microambiente. Al igual de cómo se hizo referencia en la sección anterior, la distribución de los datos en las instituciones que están ubicadas sobre vías con alto tráfico vehicular (IED+) es significativamente más dispersa que para la institución ubicada en una zona de bajo flujo vehicular (IED-). Así mismo se alcanzan valores máximos mucho más pronunciados en estas IED, especialmente en los microambientes exteriores más cercanos a las fuentes de emisión (M1 y M2).

Es representativa la diferencia entre los valores de concentración encontrados según la ubicación de la IED, especialmente cuando se analiza más detalladamente el carbono elemental. Teniendo en cuenta que este contaminante es un indicador directo de las emisiones de fuentes móviles que usan combustibles diésel (Fruin 2004), es interesante apreciar como para las IED+ ubicadas sobre corredores viales por donde circula un alto número vehículos de transporte público las concentraciones de BC son significativamente más altas que para la IED-, por donde prácticamente no circula transporte público.

La Tabla 4 presenta la media y el intervalo de confianza del 95% para las concentraciones de PM_{10} , $PM_{2.5}$ y BC encontradas en microambientes interiores y exteriores en cada institución educativa. Se aprecia que es significativa la diferencia encontrada entre los valores medios de concentración de PM y BC para las IED ubicadas sobre vías con alto tráfico vehicular (IED 2, 3 y 4) con respecto a los encontrados en la IED control. Especialmente en ambientes exteriores en donde la cercanía a la fuente de emisión parece ser determinante para la magnitud de los niveles de concentración de contaminantes encontrados.

Son relevantes y de especial atención las altas concentraciones encontradas en salones de clase ($37-78 \mu g m^{-3}$ para PM_{10}) y canchas o sitios de recreo ($52 - 65 \mu g m^{-3}$ para PM_{10}). Esto considerando que son los microambientes en donde los niños(as) pasan la mayor parte de su día escolar. Incluso en la IED 1 (control) los valores medios de concentraciones de PM_{10} en los microambientes mencionados fueron altos ($47 \mu g$

m^{-3} y $51 \mu\text{g m}^{-3}$). En esta misma institución se presentó una dificultad con el comportamiento del equipo DustTrak que estaba determinando $\text{PM}_{2.5}$. Como consecuencia de esto fue complicado realizar más de dos mediciones en salones de clase y las concentraciones que se reportan en estos resultados presentan valores mayores a las medidas para PM_{10} con otro DustTrak.



Gráfica 7. Diagramas de caja de las concentraciones de PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ y carbono elemental (BC) para los microambiente en institución IED- y IED+. IED- representa a la institución educativa distrital ubicada en zona de bajo tráfico vehicular (IED 1). IED+ representa instituciones educativas ubicadas en inmediaciones de vías con alto tráfico vehicular (IED 2, IED 3 y IED 4). M1 representa microambiente calzada, M2 microambiente punto más próximo a la vía dentro de la IED, M3 canchas deportivas y sitios de recreo dentro de la IED y M4 salones de clase. No se incluyen concentraciones de BC para M1 por que por motivos de seguridad no fue posible ubicar el equipo.

Tabla 4. Media e intervalo de confianza del 95% de las concentraciones de contaminantes por microambientes ($\mu\text{g m}^{-3}$)*

IED		Microambientes Exteriores						Microambientes interiores			
		Calzada		Punto más próximo a la vía dentro de IED		Canchas deportivas		Salones de clase		Auditorios	
		media	IC	media	IC	media	IC	media	IC	media	IC
IED 1	PM10	50	(48-52)	52	(51-53)	51	(49-52)	47	(44-49)	n/a	n/a
	PM2,5	39	(36-41)	34	(33-35)	34	(33-35)	54 [£]	(53-55)	n/a	n/a
	BC	n/d	n/d	14	(13-15)	6	(5-7)	7	(6-8)	n/a	n/a
IED 2**	PM10	--	--	77	(72-82)	65	(63-68)	37	(32-39)	n/a	n/a
	PM2,5	--	--	54	(50-58)	49	(44-52)	--	--	n/a	n/a
IED 3	PM10	142	(134-147)	75	(73-76)	62	(60-64)	64	(62-65)	61	(59-63)
	PM2,5	78	(74-83)	71	(69-72)	39	(38-41)	47	(45-49)	8	(7-9)
	BC	n/d	n/d	47	(45-49)	33	(30-36)	32	(30-35)	n/d	n/d
IED 4	PM10	155	(149-162)	66	(64-67)	58	(57-59)	78	(78-82)	80	(77-83)
	PM2,5	79	(74-84)	56	(55-58)	41	(40-42)	37	(35-38)	35	(34-36)
	BC	n/d	n/d	27	(26-28)	19	(18-21)	20	(19-21)	n/d	n/d

*Todos los datos obtenidos por los equipos en tiempo real (DustTrak y Aethalometer).

**No se presenta información de PM para algunos microambientes de esta IED debido a que la institución fue demolida en el tiempo en el que se estaba desarrollando este estudio. Por la misma razón no se incluyen datos de carbón elemental.

^{n/a}No se presenta información por que estas instituciones no tiene auditorio.

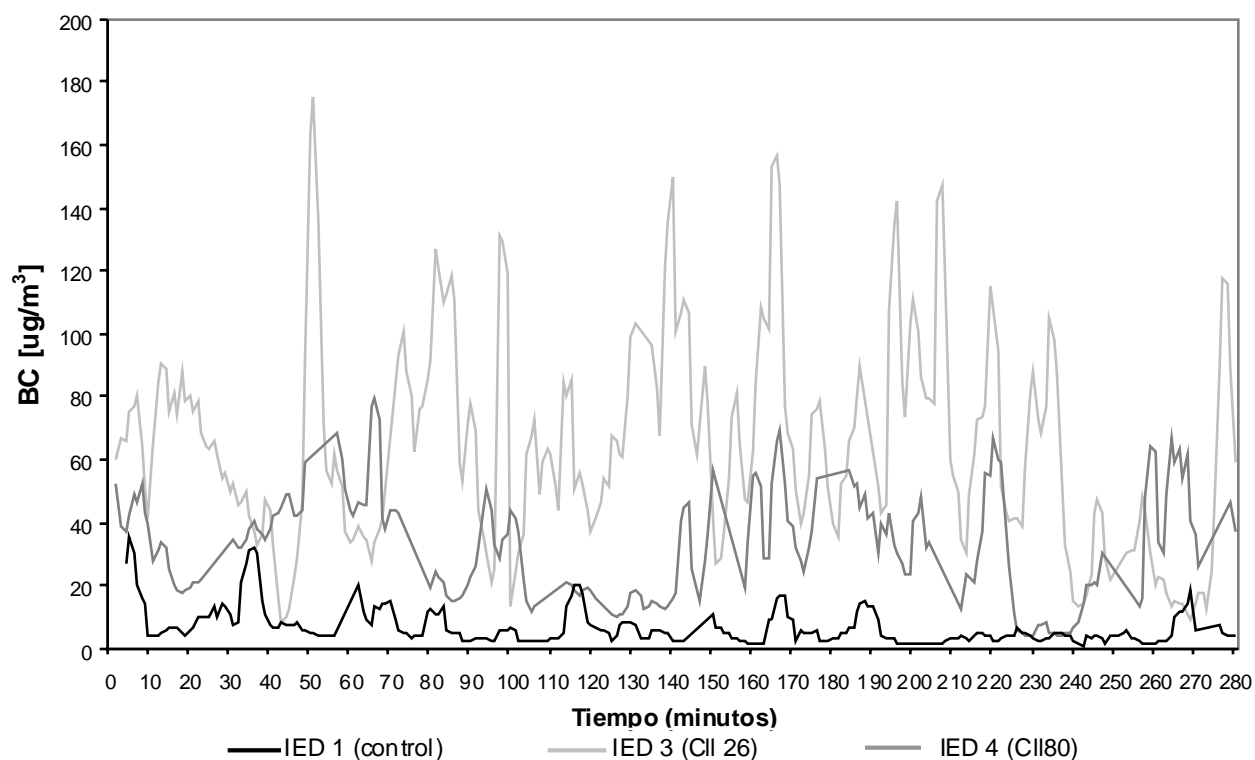
^{n/d}No se presenta información por dificultad para ubicación del equipo debido principalmente a razones de seguridad

[£] Este valor equivale sólo a dos periodos de medición y corresponde al caso donde la media de PM_{2.5} fue mayor que la media PM₁₀.

Los valores medios de concentración encontrados a partir de las mediciones realizadas con equipos en tiempo real no presentaron diferencias significativas para material particulado PM₁₀ en las IED sobre vías con alto tráfico pero diferente sistema de transporte público (colectivo convencional y mixto: masivo + colectivo). Esto podría atribuirse principalmente a la característica de contaminante de fondo que tiene el PM₁₀, al que se le atribuyen múltiples fuentes de emisión. Sin embargo al analizar las concentraciones de PM_{2.5} y BC se encuentra que si hay una diferencia estadística significativa y físicamente representativa entre las IED ubicadas en vías de alto tráfico vehicular y diferente sistema de transporte público (IED 3 y IED 4). Específicamente en el microambiente punto más próximo a la vía dentro de la IED. Lo que se considera como un indicador directo de las emisiones provenientes de las fuentes móviles que circulan por la vía sobre la que esta localizada la IED.

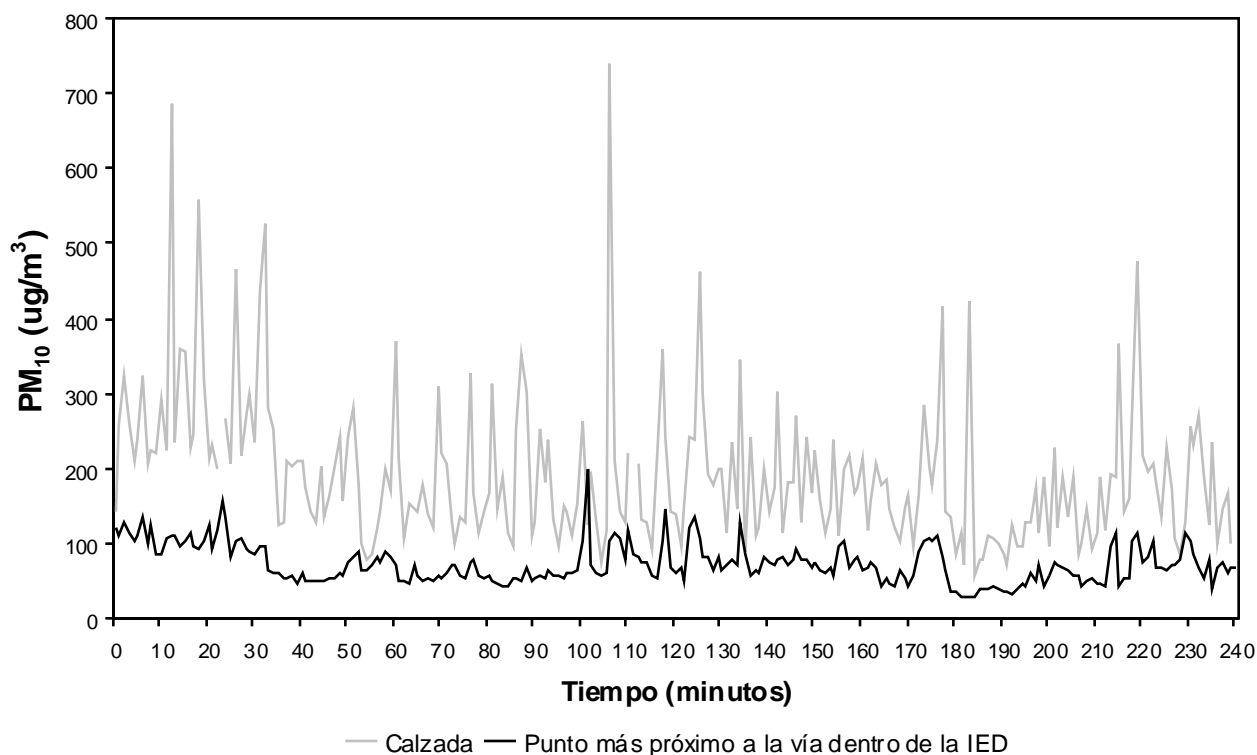
Un ejemplo de lo discutido en el párrafo anterior se presenta claramente en la Gráfica 8 donde se muestran series de tiempo de concentraciones de carbono elemental

obtenidas en el punto más próximo a la vía dentro de la IED. Se puede observar como los valores de concentración para la institución IED 3 (vía con transporte público colectivo: buses, busetas) son mayores durante la mayoría de un periodo de medición, que los observados para la IED 4 (vía con transporte público mixto: masivo + colectivo). Este comportamiento se espera pueda ser explicado cuantitativamente una vez se tengan los aforos vehiculares para las vías estudiadas. Sin embargo una hipótesis previa de lo obtenido en este estudio permitiría afirmar que esa diferencia se deba al tipo de transporte que pasa por la vía. Reconociendo que el BC es un indicador directo de las emisiones de la combustión de diésel (Fruin 2004), se plantea que las concentraciones altas encontradas en la IED 3 son consecuencia directa del tipo de transporte que circula por la vía sobre la que esta ubicada. En este caso de buses, busetas y colectivos que en gran número y de manera desorganizada (no hay paraderos fijos) circulan frente a la institución emitiendo niveles elevados de concentraciones de carbono elemental.



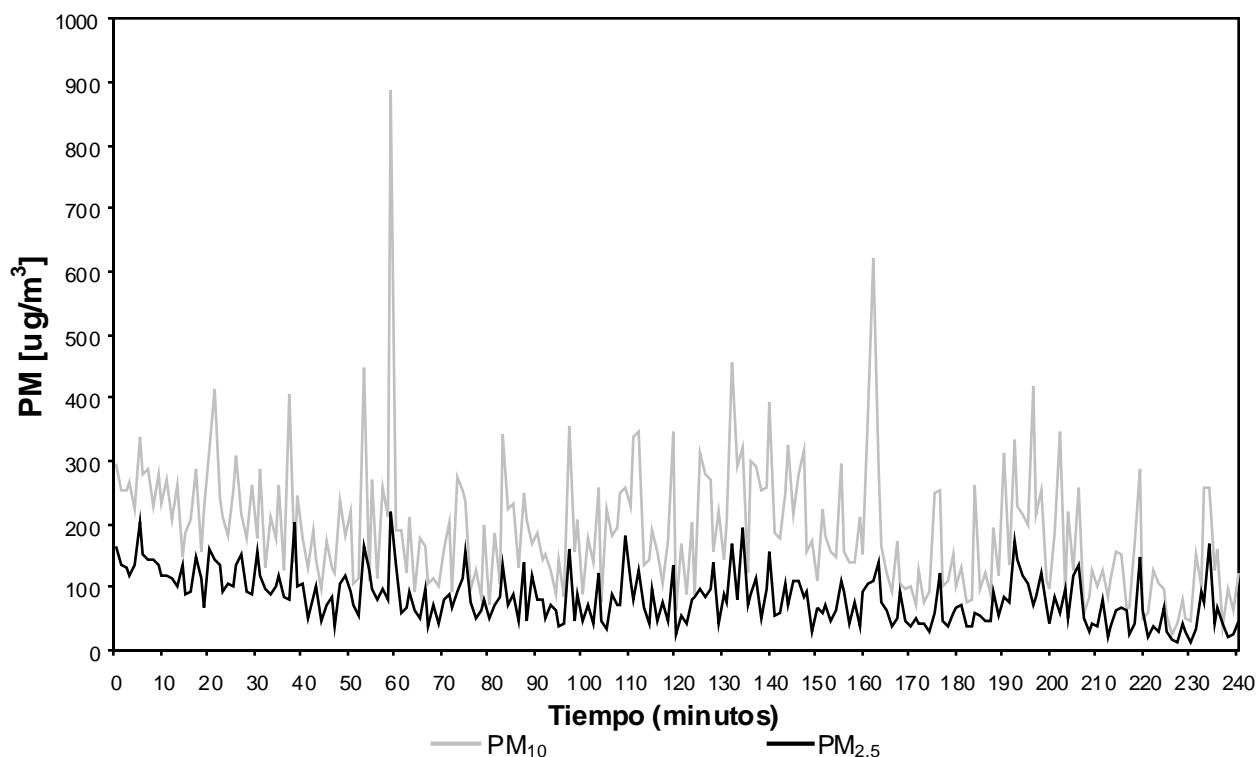
Gráfica 8. Series de tiempo de concentraciones de carbono elemental en $\mu\text{g m}^{-3}$ en el punto más próximo a la vía dentro de cada IED. No se presenta serie de tiempo para IED por que no se tiene información disponible debido a que la institución fue demolida.

Otro aspecto que es importante analizar es la diferencia que hay entre los valores medios de concentración de material particulado encontrados en la calzada y dentro de la IED en el punto más próximo a la vía. Específicamente para la IED 4 donde los valores medios de PM_{10} y $PM_{2.5}$ medidos en la calzada (166 y $79 \mu\text{g m}^{-3}$) son superiores a los valores medios encontrados dentro de la IED (66 y $56 \mu\text{g m}^{-3}$). A pesar de que la distancia entre ambos microambientes es de tan solo unos cuatro metros, la reducción en la concentración entre un punto de medición y el otro llega casi a la tercera parte para PM_{10} . Se atribuye esta disminución a una barrera física que para el caso de la IED 4 es un muro que limita a la institución y la separa de la calle. La Gráfica 9 presenta dos mediciones de PM_{10} realizadas simultáneamente en ambos microambientes. Se aprecia como los valores obtenidos en la calzada no sólo presentan un valor medio mucho mayor sino también como los picos son más pronunciados que para los valores de concentración obtenidos en el interior de la IED.



Gráfica 9. Series de tiempo de concentraciones de PM_{10} . Mediciones simultáneas para dos microambientes en la IED 4.

Las mediciones realizadas en los diferentes microambientes en cada IED incluyeron ensayos simultáneos de determinación de la concentración de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$. La Gráfica 10 presenta series de tiempo de las concentraciones de PM encontradas en la calzada de la institución educativa IED 4. Se aprecia como para la totalidad del periodo de medición los valores de concentración de $PM_{2.5}$ equivalen a una fracción del valor de la concentración para PM_{10} . Aunque es una condición que físicamente siempre se debe cumplir, un problema que se tuvo con ciertos datos de algunas mediciones fue que la concentración media de $PM_{2.5}$ reportada por el DustTrak fue mayor que la media de PM_{10} . No es clara la razón por la que se presente esta situación, sin embargo ésta ha sido reportada en otros estudios internacionales.

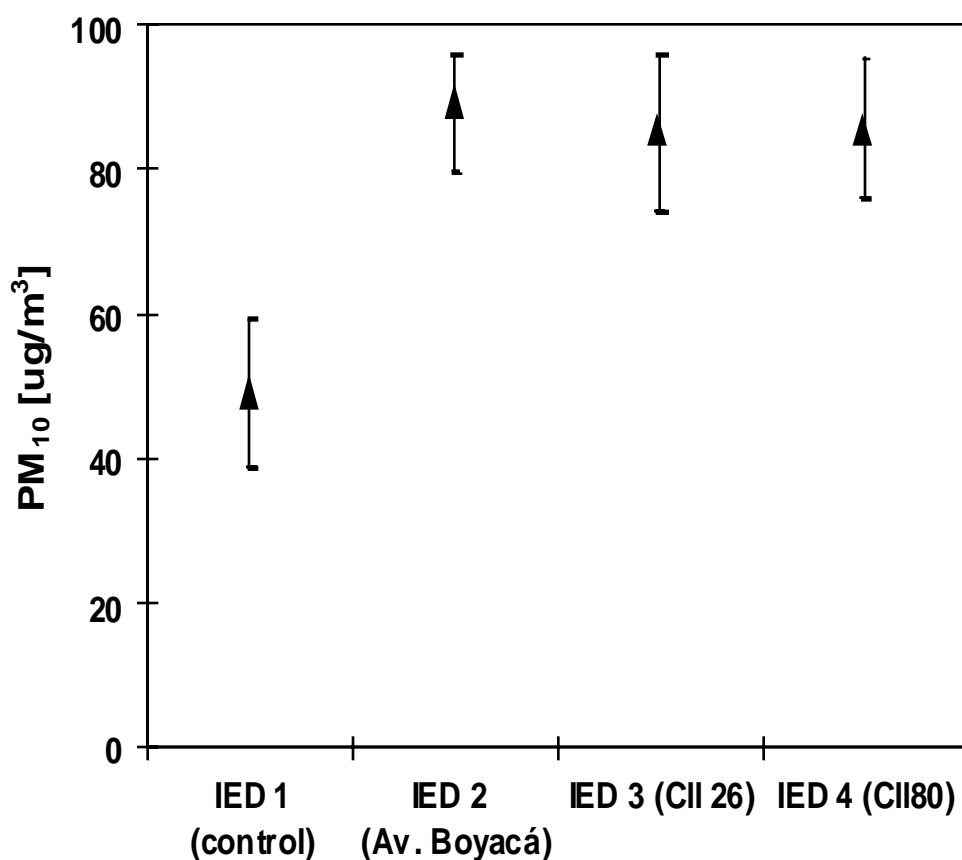


Gráfica 10. Series de tiempo de concentraciones de material particulado. Mediciones simultáneas de PM_{10} y $PM_{2.5}$ realizadas en la calzada IED 4 (CII 80).

La Gráfica 11 presenta la media y el intervalo de confianza del 95% de las concentraciones de material particulado PM_{10} obtenidas a partir de las mediciones con los impactadores tipo Harvard. Todas estas mediciones se realizaron en el

microambiente punto más cercano a la vía dentro de la institución y en su mayoría fueron realizadas simultáneamente en las cuatro IED durante las dos campañas de medición. Al igual que para los datos obtenidos con los DustTrak no se aprecian diferencias significativas en las concentraciones medias encontradas en las IED que están ubicadas sobre vías con alto tráfico vehicular pero con diferente sistema de transporte público.

Como se hizo referencia en la metodología, esta técnica integrada es la aprobada internacionalmente como estándar para la determinación del PM_{10} . Por lo tanto los datos obtenidos por este método serán los que se utilicen en análisis futuros de este estudio para correlacionar con la salud respiratoria de los menores de las IED.



Gráfica 11. Media e intervalo de confianza del 95% de las concentraciones de PM_{10} determinadas gravimétricamente. Todas las mediciones se desarrollaron en el punto más próximo a la vía dentro de la IED.

3.4. Otros estudios

El número de estudios epidemiológicos y de exposición relacionados con la contaminación debida al tráfico vehicular es cada vez mayor. Investigaciones especialmente provenientes de países desarrollados han sido reportadas recientemente en la literatura indexada. Sin embargo son pocos los estudios de este tipo desarrollados en países latinoamericanos. México (Gómez-Perales et al 2007), Brasil (Goncalves et al 2004) y Chile hacen parte de los que de alguna manera se encuentran documentados (Bell et al 2005). Para Bogotá el trabajo desarrollado por la Secretaría Distrital de Salud ha sido importante (SDSB 2005) aunque se ha limitado a las localidades más problemáticas desde el punto de vista de contaminación atmosférica en la ciudad. En 1999 un estudio desarrollado por la Universidad Javeriana (Solarte 1999) determinó la relación entre las concentraciones fluctuantes de PM_{10} , medida en dos localidades con diferentes niveles de contaminación y la presencia de síntomas y enfermedades respiratorias en un grupo de escolares en Bogotá, durante un período de tres meses. El estudio mostró que un incremento de $10 \mu g m^{-3}$ en PM_{10} estaba asociado con un incremento del 8% en las visitas hospitalarias debido a enfermedad respiratoria aguda (ERA).

A pesar del gran número de estudios publicados internacionalmente, aún son relativamente pocas las investigaciones en material particulado y carbono elemental, que incluyen mediciones en espacios interiores de interés para poblaciones sensibles como salones de clases o medios de transporte. Los más significativos de ellos han sido desarrollados en países como Holanda, Estados Unidos, Alemania y China. Los niveles reportados para los salones de clases en estos estudios van desde los $51 \mu g m^{-3}$ hasta los $166 \mu g m^{-3}$ para PM_{10} (Roorda-knape et al 1998, Jassen et al 2001) y valores medios de $PM_{2.5}$ de $23 \mu g m^{-3}$. El rango de valores para PM_{10} difiere, sobretodo en el valor máximo encontrado, con el rango de valores hallado para nuestro estudio $37 - 78 \mu g m^{-3}$. Para $PM_{2.5}$ el valor medio reportado está por debajo del rango determinado por este estudio $37-54 \mu g m^{-3}$.

Es necesario aclarar que en varios de estas investigaciones las condiciones de temperatura, humedad y viento son diferentes a las que se presentan en Bogotá, en especial por la situación de las estaciones climáticas. Así mismo a diferencia de otros estudios (Fromme et al 2006, Lee et al 2002) en donde los salones de clase presentaban posibles fuentes internas de emisión como alfombras o aires acondicionados, para nuestro caso todos los salones de clase evaluados tenían el mismo tipo de piso (superficie dura de cemento o baldosa) y no cuentan con sistemas de ventilación. Por lo que se considera que la fuente principal de material particulado en estos recintos sigue siendo el tráfico vehicular. Sin embargo se reconoce también que la actividad propia de los niños dentro del salón de clase puede ser una causa de los altos niveles de concentración encontrados (Fromme et al 2006, Barniz et al 2005).

Recientemente en Bogotá viene siendo de especial atención las concentraciones altas encontradas en las calzadas de vías con alto tráfico vehicular ya que se considera que este el principal problema de exposición en la ciudad. Un estudio llevado a cabo por el Centro de Investigaciones en Ingeniería Ambiental de la Universidad de Los Andes (Behrentz et al 2006) reporto valores medios de concentración de PM_{10} medidos en la calzada de una importante y congestionada vía de la ciudad que van desde los $25 \mu g m^{-3}$ hasta los $210 \mu g m^{-3}$. Rango entre los que se encuentran los valores medios obtenidos en la calzada de diferentes vías medidas en este estudio ($50-150 \mu g m^{-3}$).

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados de salud respiratoria presentados en este documento sólo constituyen información de caracterización de la población. El análisis preliminar realizado no permitió identificar diferencias significativas en la prevalencia de síntomas respiratorios entre los niños(as) de las diferentes IED. Esto no significa necesariamente que no existan estas diferencias sino que es necesario controlar por factores de riesgo que permitan ajustar los resultados. Así mismo otros indicadores más precisos de la salud respiratoria de los menores como pruebas de función pulmonar, deben ser llevados a cabo.

En cuanto al análisis de la calidad del aire, los resultados encontrados claramente muestran que los niveles de concentración de material particulado a los que están expuestos los menores en las instituciones educativas son altos si se comparan con los valores que han sido considerados como nocivos para la salud de poblaciones sensibles. Siendo especialmente preocupantes las concentraciones altas medidas en salones de clase y canchas o espacios de actividad física, ya que se estima que en estos microambientes los niños pasan la mayoría del tiempo de su jornada escolar.

No se hallaron diferencias significativas en los niveles de concentración de material PM_{10} particulado medidos en las IED ubicadas sobre vías con alto tráfico vehicular, a pesar de que las características del transporte público que circula por la vía son diferentes. Sin embargo un indicador más preciso de las emisiones por el uso de combustibles diésel como lo es el carbono elemental, sí presentó niveles de concentración diferentes en las inmediaciones de estas IED. Esto le da relevancia al tipo de transporte público que circula por la vía de interés.

Parece ser significativo el efecto que barreras como los muros que separan las instituciones de las vías, tienen sobre los niveles de concentración de PM a los que están expuestos los menores dentro de la IED. Sin embargo es necesario realizar otros estudios que permitan cuantificar el impacto de este tipo de barreras y de otras medidas

de reducción de la exposición donde se identifiquen variables que estén afectando la dinámica de la concentración de los contaminantes.

Los resultados de este estudio constituyen la línea base de una investigación diseñada longitudinalmente que aún esta en desarrollo y que será la primera evidencia para Bogotá de si hay o no una asociación positiva entre el tipo de transporte público que circula por la vía y la calidad del aire percibida en la institución educativa, así como la salud respiratoria, función pulmonar y calidad de vida de los menores.

El que se realicen esfuerzos conjuntos para darle continuidad a proyectos encaminadas a entender el problema de la contaminación atmosférica y su relación con la salud y condiciones de vida de los niños(as) de la ciudad, puede verse reflejado en beneficios importantes y de directo impacto en políticas de salud pública para Bogotá.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alessandrini, F; Schulz, H; Takenaka, S; Lentner, B; Karg, E; Behrendt, H and Jakob, T., 2006. *Effects of ultrafine carbon particle inhalation on allergic inflammation of the lung*. Journal of Allergy and Clinical Immunology. Available online.

Asher, M.; Montefort, S.; Björkstén, B.; Lai, C.; Strachan, D.; Weiland, S.; Williams, H. and the ISAAC Phase Three Study Group, 2006. *Worldwide time trends in the prevalence of symptoms of asthma, allergic rhinoconjunctivitis, and eczema in childhood: ISAAC Phases One and Three repeat multicountry cross-sectional surveys*. The Lancet 368, 733-743.

Baldassarri, L; Battistelli, L; Conti, L; Crebelli, R; De Berardis, B; Iamiceli, A.; Gambino, M ; Iannaccone, S., 2006. *Evaluation of emission toxicity of urban bus engines: Compressed natural gas and comparison with liquid fuels*. Science of the Total Environment 355, 64–77.

Bell, M; Davis, D.; Gouveiac, N.; Borja-Aburtod, V.; Cifuentes, L., 2006. *The avoidable health effects of air pollution in three Latin American cities: Santiago, Sao Paulo, and Mexico City*. Environmental Research 100, 431–440.

Behrentz, E.; Sabin, L.; Winer, A.; Fitz, R.; Pankratz, D.; Colome, S.; Fruin, S., 2005. *Relative importance of school bus-related microenvironments to children's pollutant exposure*. J Air Waste Manag Assoc 55 (10), 1418-1430.

Behrentz, E.; Rojas, N.; Osorio, D.; Uscategui, N., 2006. *Concentraciones de material particulado respirable suspendido en el aire en inmediaciones de una vía de transporte público colectivo*. Informe preparado para la Cámara de Comercio de Bogotá.

Branis, M.; Rezacova, P.; Domasová, M., 2005. *The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM10, PM2.5, and PM1 in a classroom*. Environmental Research 99, 143–149.

Calderon, L.; Mora, A.; Fordham, L.; Valencia, G.; Chung, C.; Rodriguez, A.; Paredes, R.; Variakojis, D.; Villarreal, A.; Flores, L.; Antunez, A.; Henriquez, C.; Hazucha, M., 2003. *Respiratory damage in children exposed to urban pollution*. Pediatr. Pulmonol 36 (2), 148-161.

Clancy, L.; Goodman, P.; Sinclair, H.; Dockery, D., 2002. *Effect of air-pollution control on death rates in Dublin, Ireland: an intervention study*. The Lancet 360, 1210–14.

Fromme, H.; Twardella, D.; Dietrich, S.; Heitmann, D.; Schierl, R.; Liebl, B.; Ruden, H., 2006. *Particulate matter in the indoor air of classrooms—exploratory results from Munich and surrounding area*. Atmospheric Environment 41, 854–866

Fruin, S.; Winer, A.; Rodes, C., 2004. *Black carbon concentrations in California vehicles and estimation of in-vehicle diesel exhaust particulate matter exposures*. Atmospheric Environment 38, 4123–4133.

García, H. y Pachón, J., 2004. *PAH speciation in atmospheric particulate matter in Bogotá*. Material particulado atmosférico y salud. Primera Edición. Ediciones Uniandes, Bogotá.

Gaudeman W.; Vora, H.; McConnell, R.; Berhane, K.; Gilliland, F.; Thomas, D.; Lumann, F.; Avol, E.; Kunzli, N.; Jerrett, M.; Peters, J., 2007. *Effect of exposure to traffic on lung development from 10 to 18 years of age: a cohort study*. Lancet 369 (9561), 571-577.

Gómez-Perales, J.; Colvilea, R.; Fernández, A.; Gutiérrez, V.; Páramo, A.; Blanco, A.; Bueno, E.; Bernabé, B.; Mandujano, F.; Hidalgo, M.; Nieuwenhuijsen, M., 2007. *Bus, minibús, metro inter-comparison of commuters' exposure to air pollution in Mexico City*. Atmospheric Environment 41, 890–901.

Goncalves, F.; Carvalho, L.; Conde, B.; Latorre, M.; Saldivac, P.; Braga, A., 2005. *The effects of air pollution and meteorological parameters on respiratory morbidity during the summer in Sao Paulo City*. Environment International 31, 343– 349.

Han, X.; Naeher, L., 2007. *A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world*. Environ Int 32 (1), 106-120.

Holguin, F.; Flores, S.; Ross, Z.; Cortez, M.; Molina, M.; Molina, L.; Rincon, C.; Jerret, M.; Berhane, K.; Romieu, I., 2007. *Traffic-Related Exposures, Airway Function, Inflammation and Respiratory Symptoms in Children*. Am.J.Respir.Crit Care Med.

Janssen, N.; Van Vliet, P.; Aarts, F.; Harssema, H.; Brunekreef, B., 2001. *Assessment of exposure to traffic related air pollution of children attending schools near motorways*. Atmospheric Environment 35, 3875–3884.

Kim, J., 2004. *Ambient air pollution: health hazards to children*. Pediatrics 114 (6), 1699-1707.

Kim, J.; Smorodinsky, S.; Lipsett, M.; Singer, B.; Hodgson, A.; Ostro, B., 2004. *Traffic-related air pollution near busy roads: the East Bay Children's Respiratory Health Study*. Am J Respir. Crit Care Med. 170 (5), 520-526.

Kuehni, C.E.; Strippoli, M.P.; Zwahlen, M.; Silverman, M., 2006. *Association between reported exposure to road traffic and respiratory symptoms in children: evidence of bias*. Int.J.Epidemiol. 35, 779-786.

Lee, S.; Guo, H.; Li, W.; Chan, L., 2002. *Inter-comparison of air pollutant concentrations in different indoor environments in Hong Kong*. Atmospheric Environment 36, 1929–1940.

Mallol, J.; Sole, D.; Asher, I.; Clayton, T.; Stein, R.; Soto-Quiroz, M., 2000. *Prevalence of asthma symptoms in Latin America: the International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC)*. *Pediatr. Pulmonol* 30 (6), 439-444.

Menezes, A.; Perez-Padilla, R.; Jardim, J.; Muiño, A.; Lopez, M.; Valdivia, G.; Montes de Oca, M.; Talamo, C.; Hallal, P.; Victora, C., 2005. *Chronic obstructive pulmonary disease in five Latin American cities (the PLATINO study): a prevalence study*. *The Lancet* 366, 1875-1881.

Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MMAVDT), 2006. *Resolución 601: reducción de los niveles máximos permisibles de contaminantes atmosféricos*.

Neas, L., 2000. *Fine particulate matter and cardiovascular diseases*. *Fuel Processing Technology* 65 (66), 55–67

Nicolai, T., 2002. *Pollution, environmental factors and childhood respiratory allergic disease*. *Toxicology* 181, 317–321.

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*.

Peters, J.; Avol, E.; Navidi, W.; London, S.; Gaudeman, W.; Lurmann, F.; Linn, W.; Margolis, H.; Rappaport, E.; Gong, H.; Thomas, D., 1999. *A study of twelve Southern California communities with differing levels and types of air pollution. I. Prevalence of respiratory morbidity*. *Am J Respir. Crit. Care. Med.* 159 (3), 760-767.

Rabinovitch, N.; Zhang, L.; Murphy, J.; Vedal, S.; Dutton, S. and Gelfand, E., 2004. *Effects of wintertime ambient air pollutants on asthma exacerbations in urban minority children with moderate to severe disease*. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*.

Rojas, N., 2005. Generalidades sobre Material Particulado y su caracterización. In *Material particulado atmosférico y salud*, 1 ed.; Ediciones Uniandes: Bogotá, 1-39.

Rooda-Knape, M.; Janssen, N.; De Hartog, J.; Van Vliet, P.; Harssema, H.; Brunekreef, B., 1998. *Air pollution from traffic in city districts near major motorways*. *Atmospheric Environment* 32, 1921-1930.

Sabin, L.; Kozawa, K.; Behrentz, E.; Winer, A.; Fitz, D.; Pankratz, D.; Colome, S.; Fruin, S., 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.

Sarmiento, O., 2005. Prevalence of and factors associated with current asthma symptoms in school children aged 6-7 and 13-14 years old in Bogotá, Colombia.

Schwartz,J., 2004. *Air pollution and children's health*. Pediatrics 113, 1037-1043

Secretaría Distrital de Salud de Bogotá (SDSB), 2005. *Boletín Epidemiológico*.

Solarte, I., 1999. *Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Santa Fe de Bogotá*. Universidad Javeriana.

United States Environmental Protection Agency (EPA), 2003. *Air Quality and A Guide to Your Health*. Disponible en: www.epa.gov/iaq

Van Roosbroeck, S.; Wichmann, J.; Janssen, N.; Hoek, G.; Van Wijnen, J.; Lebret, E.; Brunekreef,B., 2006. *Long-term personal exposure to traffic-related air pollution among school children, a validation study*. Sci.Total Environ. 368, 565-573.

Van Roosbroeck, S.; Jacobs, J.; Janssen, N.; Oldenwening, M.; Hoeka, G.; Brunekreef, B., 2007. *Long-term personal exposure to PM_{2.5}, soot and NO_x in children attending schools located near busy roads, a validation study*. Atmospheric Environment 41, 3381–3394.

World Health Organization (WHO), 2000. Regional Office for Europe, Copenhagen. *Air quality guidelines*.

World Health Organization (WHO), 2003. Regional Office for Europe, Copenhagen. *Children at risk: Main health effects of exposure to environmental risk factors*.