

# Asociación entre la contaminación del aire y la morbilidad por enfermedad respiratoria aguda en menores de cinco años en tres localidades de Bogotá

Luis Jorge Hernández<sup>1</sup>

Gustavo Aristizábal<sup>1</sup>

Yenny Salgado<sup>1</sup>, Liseth Cantor<sup>1</sup>

Katalina Medina<sup>1</sup>, Jesús Reyes<sup>1</sup>

## Resumen

**Antecedentes.** La contaminación del aire por material en partículas (*Particulate Material*, PM<sub>10</sub>) se asocia con la enfermedad respiratoria. Los niños que viven en áreas contaminadas son más propensos a buscar atención médica por síntomas respiratorios y asma. La cercanía del jardín infantil a fuentes de emisión de PM<sub>10</sub> constituye un factor de riesgo, pues los menores de cinco años pasan la mayor parte del día en el jardín infantil.

**Objetivos.** Determinar la relación entre la contaminación del aire en exteriores e interiores por PM<sub>10</sub> y su asociación con síntomas respiratorios en niños menores de cinco años en tres localidades de Bogotá: Puente Aranda, Kennedy y Fontibón.

**Métodos.** Se llevó a cabo un estudio concurrente de cohorte en una muestra de conveniencia de nueve jardines infantiles públicos, cinco en zonas de mayor exposición y cuatro de menor exposición. Se midió la concentración de PM<sub>10</sub> dentro y fuera de dos jardines de la cohorte de mayor exposición y en uno de la de menor exposición. Luego de la caracterización

## Abstract

**Background:** Air pollution with particulate material (PM<sub>10</sub>) is associated with respiratory disease. Children living in polluted areas are more likely to seek medical attention for respiratory symptoms and asthma. The proximity of kindergartens to sources of PM<sub>10</sub> emission might be a risk factor for children aged less than 5 years who spend most of the day in playschools.

**Objectives:** To determine the levels of air pollution (PM<sub>10</sub>) in and outside playschools in three locations (Puente Aranda, Kennedy y Fontibón) in Bogotá, and its association with respiratory symptoms in children less than 5 years.

**Methods:** A concurrent cohort study in a convenience sample of nine public kindergartens (five in areas of high exposure and four of low exposure) was conducted. PM<sub>10</sub> concentrations in and outside playschools were measured in two and one kindergarten in high and low exposure zones, respectively. After the initial characterization, children were followed for 19 weeks by health workers who visited daily the kindergartens and used a diary of respiratory

1. Grupo de Aire y Salud, Secretaría de Salud de Bogotá, Bogotá, D.C., Colombia

inicial, el personal de salud hizo seguimiento a las cohortes durante 19 semanas, mediante visitas diarias y el uso del formato “Diario de síntomas respiratorios”. Se calcularon las tasas de incidencia y las razones de tasas de incidencia para los síntomas respiratorios observados durante el seguimiento.

**Resultados.** Se encontraron diferencias en el promedio de  $PM_{10}$  en el exterior de los jardines más y menos expuestos ( $91 \mu\text{g}/\text{m}^3$  Vs.  $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Se observó un aumento en la incidencia de síntomas como tos, expectoración, sibilancias, ojos rojos, fiebre, ahogo y ausentismo escolar por enfermedad respiratoria, en el grupo de niños más expuestos. Luego de ajustar por todas las variables independientes, incluidas la exposición a  $PM_{10}$ , se mantuvo su asociación independiente con la presencia de los síntomas respiratorios.

**Conclusiones.** Este estudio de cohorte demostró que los niños con mayor exposición a material en partículas en los jardines infantiles de dos zonas de Bogotá presentaban un mayor riesgo de morbilidad respiratoria.

**Palabras clave:** material en partículas ( $PM_{10}$ ), enfermedad respiratoria, asma, jardín infantil, incidencia.

symptoms. Incidence rates and incidence ratios for respiratory symptoms observed during the follow-up were calculated using multivariate methods.

**Results:** Mean outside levels of  $PM_{10}$  were different between more and less exposed kindergartens ( $91 \mu\text{g}/\text{m}^3$  vs  $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Increased incidences of symptoms (cough, expectoration, whistles, red-eye, fever, breathlessness and school absenteeism due to respiratory illness) were observed in exposed children. Exposure to  $PM_{10}$  maintained its association with respiratory symptoms after adjusting for other independent variables.

**Conclusions:** This cohort study showed that children with greater exposure to particulate matters in kindergartens of two areas of Bogotá are at increased risk of respiratory disease.

**Keywords:** particulate material ( $PM_{10}$ ), respiratory disease, asthma, kindergarten, incidence.

## Calidad del aire e IRA

### Introducción

La contaminación del aire en Bogotá se debe a diversos contaminantes, entre los cuales el más excedente –por encima de la norma de calidad de aire– es el material en partículas (*Particulate Matter*, PM). En las mediciones en espacios exteriores se han encontrado valores promedios diarios que exceden la norma de calidad de aire en el 70 % de los días del año. También, se ha evidenciado la presencia de PM en el espacio interior como extensión de la contaminación exterior o por la presencia de fuentes de emisión dentro de las viviendas o de los jardines infantiles<sup>1</sup>.

Existe evidencia de que la contaminación del aire por material en partículas está asociada con enfermedad respiratoria, en especial en los niños menores de cinco años<sup>2</sup>. Los niños que viven en áreas muy contaminadas son más propensos a buscar atención médica por síntomas respiratorios y crisis de asma<sup>3</sup>. La cercanía del jardín infantil a las fuentes de emisión de material en partículas, como chimeneas o vías de alto flujo vehicular, constituye un factor de riesgo si se tiene en cuenta que los niños menores de cinco años pasan la mayor parte del día en el jardín infantil.

El objetivo del presente estudio fue determinar la relación entre contaminación del aire en el espacio exterior e interior por material en partículas (PM<sub>10</sub>) y su asociación con síntomas respiratorios en niños menores de cinco años en tres localidades del Distrito Capital.

### Métodos

De julio a diciembre del 2007 se adelantó un estudio concurrente de cohorte en una muestra

de conveniencia de nueve jardines infantiles públicos de las localidades de Puente Aranda, Kennedy y Fontibón del Distrito Capital, cinco de los cuales (315 niños) correspondían a zonas de mayor exposición y cuatro (304 niños), a zonas de menor exposición. Los niños debían pasar la mayor parte de su tiempo (de 7 a.m. a 5 p.m.) en el jardín infantil y su vivienda estaba a menos de 1 km del jardín.

Se consideró como “jardín infantil ubicado en zona de mayor exposición”, al que estaba a menos de 100 m de fuentes fijas o móviles de mayor emisión de PM<sub>10</sub>, tales como vías en mal estado, vías de alto flujo vehicular o chimeneas. Estos jardines estaban ubicados en zonas clasificadas como industriales. Los jardines infantiles en las zona de menor exposición, estaban ubicados a más de 100 metros de las fuentes fijas o móviles de emisión de PM<sub>10</sub> y en zonas catalogadas como residenciales.

Se colocaron monitores de PM<sub>10</sub> dentro y fuera de tres jardines infantiles representativos, dos de la cohorte de mayor exposición y uno de la de menor exposición. Se siguieron las normas de estandarización en ubicación de equipos gravimétricos de tipo *Low-vol* (equipo de muestreo *Low-vol*, OMNI BGI®), el cual se ubicó en el patio cercano al cuarto de cocina y a uno de los salones donde los niños desarrollan diferentes actividades. Se compararon los excedentes y los promedios de PM<sub>10</sub> entre las mediciones en el interior y la red de monitorización de la calidad de aire en el exterior.

Se obtuvo el consentimiento informado de padres y maestros de los jardines infantiles seleccionados, previa reunión de sensibilización. Se llevó a cabo una encuesta inicial de caracterización de los niños, utilizando el instrumento

aplicado inicialmente en el estudio “*Asthma and persistent wheeze in the Harvard six cities*” (1990) con ajustes incorporados del *International Study on Asthma and Allergies in Childhood* (ISAAC) (1994) y modificaciones al medio colombiano por Solarte (1999). Esta encuesta tenía preguntas sobre prevalencia de sibilancias, tos, expectoración, antecedentes de enfermedades previas, bajo peso al nacer, exposición al humo de cigarrillo, nivel educativo de los padres, y características de la vivienda en cuanto a posibles fuentes interiores y exteriores de emisión de PM, lo cual se verificó mediante visita domiciliaria.

Luego de la caracterización inicial, se hizo el seguimiento de las cohortes durante 19 semanas utilizando el formato de diario de síntomas, instrumento ya validado por Solarte en Bogotá en el estudio “Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños en Bogotá” (1999). Se aplicó un formato instructivo de ayuda al entrevistador, en el que se estandarizaban los principales síntomas respiratorios para diligenciar el formato y para la entrevista con padres o cuidadores.

Los datos diurnos entre semana fueron tomados por el personal de salud que visitó día a día los jardines infantiles y se anotaron en el instrumento “Diario de síntomas respiratorios”. Los datos de la jornada nocturna y de los fines de semana se recolectaban tres días a la semana, por vía telefónica con los acudientes de los menores; inicialmente, se leían uno a uno los síntomas del formato y el padre de familia iba indicando cuáles había presentado el niño; igualmente, estos datos se anotaron en el formato. El encuestador y los padres sabían si el jardín estaba en una zona de mayor o menor exposición a PM<sub>10</sub>. Si un niño presentaba enfermedad respiratoria, se remitía al servicio de salud y a los hospitales del área de influencia.

El cálculo del tamaño de la muestra se hizo utilizando EPI 2000 a partir de los siguientes presupuestos: nivel de confianza de 95 %, potencia de 80 %, riesgo relativo (RR) estimado de 1,5 e incidencia esperada del 30 % de morbilidad respiratoria en la población expuesta. Al tener en cuenta un aumento del 20 % en el tamaño de la muestra por posibilidad de deserción de los participantes, el tamaño final de la muestra debía ser, al menos, de 300 individuos en la cohorte expuesta y 300 en la no expuesta.

Se calcularon las prevalencias para cada una de las variables seleccionadas en el cuestionario durante la evaluación inicial, con sus respectivos intervalos de confianza; para tal fin, se utilizó la corrección de varianzas por muestreos de conglomerados. Posteriormente, se evaluó la asociación de las variables de interés en función de la exposición mediante la implementación de pruebas de ji al cuadrado y se calcularon las razones de prevalencia y la razón de momios (OR) crudas y ajustadas mediante regresión logística con sus respectivos intervalos de confianza. Finalmente, se calcularon las tasas de incidencia y las razones de tasas de incidencia mediante Epi-data, y se construyeron modelos de regresión de Poisson para evaluar la asociación entre las variables analizadas y las tasas de los síntomas de interés mediante SPSS®.

## Resultados

### Valoración de la concentración interior y exterior de PM<sub>10</sub> en los jardines infantiles.

En la tabla 1 se presentan las concentraciones de PM<sub>10</sub> durante 144 días de monitorización. Se evidencia que hay diferencia en el promedio de PM<sub>10</sub> en el exterior, entre los jardines más expuestos y los menos expuestos, en el caso de la localidad de Puente Aranda: 91 µg/m<sup>3</sup>

## Calidad del aire e IRA

Vs. 62  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En el jardín infantil menos expuesto de esta misma localidad, se presentó un mayor promedio de  $\text{PM}_{10}$  en el interior que en el exterior: 62  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Vs. 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

En los valores reportados por la autoridad ambiental, se observó que no se había diferencia estadísticamente significativa en los promedios de  $\text{PM}_{10}$  entre la zona de mayor exposición, donde el promedio en el exterior es de 91  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , y el de la autoridad ambiental de 95  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . En el jardín de menor exposición sí se evidenció una mayor concentración promedio de  $\text{PM}_{10}$  por parte de la autoridad ambiental (95  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Vs. 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En lo que se refiere a la localidad de Fontibón, el promedio de  $\text{PM}_{10}$  es también más alto en la medición de la autoridad ambiental.

### Población estudiada.

Se evaluaron 619 niños menores de cinco años. El sexo masculino representó el 54,9 % (340) y el femenino el 45,0 % (279). En cuanto a exposición a material en partículas  $\text{PM}_{10}$ , 315 niños eran de jardines infantiles con mayor exposición y 304 de los de menor exposición. No se evidenció diferencia por edad y sexo entre el grupo de más exposición (promedio de edad de 30,6 meses, rango 6 a 58 meses) y el de menor exposición (promedio de edad de 31,5 meses, rango 6 a 59 meses) (tabla 2).

### Prevalencia de síntomas respiratorios al inicio del estudio.

La prevalencia de sibilancias en el último año fue de 74,3 % en el total de niños, y fue más

**Tabla 1**

Concentración de  $\text{PM}_{10}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en jardines infantiles según exposición, 2007

Tipo de estimador	Puente Aranda				Fontibón		
	Jardín más expuesto (No. 1)		Jardín menos expuesto (No. 2)		Red monitorización autoridad ambiental	Jardín más expuesto (No. 3)	Red monitorización autoridad ambiental
	Interior	Exterior	Interior	Exterior	--	Exterior	--
Promedio	86	91	62	50	95	69	104
IC95%	77,3 - 93,9	77,4-104,6	55,7-67,9	44,9-55,4	88,7-101,5	56,6-72,6	98,9-109,0
Mediana	80	77	57	49	92	69	98
Mínimo	12	16	6	8	47	35	52
Máximo	268	377	136	121	179	125	167
p25	61	51	41	29	69	55	86
p50	80	77	57	49	92	69	98
p75	108	109	80	70	113	81	113

p25: percentil 25; p50: percentil 50; p75: percentil 75  
Fuente: Hospital del Sur y Fontibón. Año 2007.

alta en los que vivían en la zona de mayor exposición a material en partículas (tabla 3). La prevalencia de sibilancias con los resfriados y el número de ataques de sibilancias, también fueron mayores en este mismo grupo de niños; a mayor exposición se incrementaba la frecuencia

de los ataques de “silbidos”. La prevalencia de tos fue de 33,3 % y, de tos al levantarse temprano, de 54,4 %. En la tabla 3 también se observa una mayor exposición pasiva al humo del tabaco en los niños que viven en la zona de mayor exposición a material en partículas.

**Tabla 2**

Distribución por edad de los niños del estudio

Edad (meses)	n	%
0 a 12	41	6,6
13 a 24	150	24,2
25 a <60	428	69,1
<b>Total</b>	<b>619</b>	<b>100,0</b>

**Tabla 3**

Prevalencia de síntomas respiratorios (sibilancias, ataques de sibilancias y tos) y de exposición al humo de tabaco en la población del estudio según la exposición a PM<sub>10</sub> detectada en los jardines

Condición	Total N (%; IC95%)	Mayor exposición N (%; IC95%)	Menor exposición N (%; IC95%)	RP (IC95%)
Sibilancias en el último año	313 (74,3; 70,1-78,6)	168 (79,6; 74,1-85,0)	145 (69,0; 62,7-75,3)	1,2* (1,0-1,3)
Sibilancias con los resfriados	356 (57,5; 53,6-61,4)	196 (62,2; 56,8-67,5)	160 (52,6; 47,0-58,2)	1,2* (1,0-1,4)
Número de ataques de sibilancias en el último año				
1 a 3	226 (72,2; 67,2-77,1)	110 (65,5; 58,2-72,7)	116 (80,0; 73,4-86,5)	0,8* (0,7-0,9)
4 a 12	61 (19,5; 15,0-23,9)	42 (25,0; 18,4-31,5)	19 (13,1; 7,5-18,6)	1,9* (1,2-3,1)
Más de 12	19 (6,1; 3,4-8,7)	15 (8,9; 4,5-13,2)	4 (2,8; 0,0-5,4)	3,2* (1,1-9,6)
Tos con frecuencia	206 (33,3; 29,5-37,0)	92 (29,2; 24,1-4,2)	114 (37,5; 32,0-42,9)	0,8 (0,6-1,0)
Tos al levantarse o temprano en la mañana	112 (54,4; 47,5-61,2)	53 (57,6; 47,4-67,7)	59 (51,8; 42,5-61,0)	1,1 (0,9-1,4)
Las personas que viven con el niño fuman.	254 (41,0; 37,1-44,8)	151 (47,9; 42,3-53,4)	103 (33,9; 28,5-39,2)	--*
El niño estuvo en contacto regularmente con personas que fuman.	247 (39,9; 36,1-43,8)	147 (46,7; 41,1-52,2)	100 (32,9; 27,6-38,3)	--*

\* p&lt;0,05

Fuente: Hospital del Sur y Fontibón.

## Calidad del aire e IRA

**Tabla 4**

Síntomas respiratorios y días-niño exposición

Síntoma	Total episodios	Total episodios mayor exposición	Total episodios menor exposición	Días-niño mayor exposición	Días-niño menor exposición	Total días-niño mayor y menor exposición	Tasa de incidencia * 1.000
Tos	1.261	609	652	53.886	63.812	117.698	10,7
Expectoración	584	325	259	65.242	67.974	133.216	4,4
Sibilancias	352	203	149	67.394	69.244	136.638	2,6
Ahogo	175	75	100	68.378	69.618	137.996	1,3
Nariz tapada	523	258	265	67.846	67.585	135.431	3,9
Mocos	2.490	1346	1144	47.843	50.401	98.244	25,3
Ojos rojos	106	54	52	69.392	69.764	139.156	0,7
Fiebre	119	71	48	69.326	74.311	143.637	0,8
Dolor de cabeza	31	12	19	68.665	74.734	143.399	0,2
Faltó al colegio	229	143	86	33.859	34.627	68.486	3,3
Consulta por ERA	91	36	55	68.595	69.976	138.571	0,7
Falto algún familiar al trabajo por cuidar el menor por ERA	62	21	41	68.723	70.108	138.831	0,4
Tos y expectoración	1.107	587	520	32.484	32.826	65.310	16,9
Expectoración y sibilancias	610	371	239	36.298	36.910	73.208	8,3
Tos y ahogo	1.056	536	520	33.128	32.826	65.954	16,0
Ojos rojos, nariz tapada, rino-rrhea, fiebre y dolor de cabeza	1.585	779	806	22.531	22.544	45.075	35,2

ERA: enfermedad respiratoria aguda

Fuente: Hospital del Sur y Fontibón.

**Estudio de cohorte.**

El tiempo de observación osciló entre 7 y 119 días, con una media de 102 días. Del total de niños estudiados, en 33 hubo seguimiento menor de 30 días, mientras que en 47,3 % (293) se cumplió un seguimiento de, al menos, 119 días. En la tabla 4 se muestra la presentación de síntomas respiratorios en todos los niños, así como en las cohortes de mayor y menor exposición. La columna del total incluye todos los casos del respectivo síntoma. En la tabla 5 se presenta el resultado del cálculo de las razones de tasas de incidencia (RR), según mayor y menor exposición a la contaminación del aire en exteriores e interiores a PM<sub>10</sub>, para los síntomas aislados, así como para los síntomas agrupados como “tos y flemas” y “expectoración y silbidos”. Se observó un aumento en la incidencia de síntomas en el

grupo de niños más expuestos en el caso de tos, expectoración, sibilancias, ojos rojos, fiebre, ahogo y ausentismo escolar por enfermedad respiratoria.

**Análisis multivariado.**

La regresión multivariada (Poisson) identificó los factores asociados a los síntomas respiratorios en forma individual y agrupada. Luego de ajustar por todas las variables independientes, incluidas la exposición a PM<sub>10</sub>, se mantuvo como un factor de riesgo independiente para la presencia de los síntomas respiratorios (tabla 6). También, se evidenciaron otros factores ambientales (como la cercanía a fuentes de emisión dadas por el tipo de tráfico, la presencia de edificaciones o vías en construcción a menos de 100 m de la vivienda), las fuentes de emisión

**Tabla 5**

Razones de incidencias (RR) para los síntomas respiratorios

Síntoma	Razón de incidencia	IC95%
Expectoración o flemas de uno o más días de evolución	1,3	1,1-1,5
Tos de tres o más días de evolución	1,1	1,0-1,2
“Silbadera o hervidera de pecho” de uno o más días de evolución	1,4	1,1-1,7
Expectoración y sibilancias	1,6	1,3-1,9
Fiebre de tres o más días de evolución	1,6	1,1-2,3
Mocos por la nariz de tres o más días de evolución	1,2	1,1-1,3
Faltó al colegio por enfermedad respiratoria uno o más días	1,7	1,3-2,2
Ahogo o dificultad para respirar de uno o más días de evolución	0,8	0,6-1,0
Tos y ahogo	1,0	0,9-1,1
Nariz tapada de tres o más días de evolución	1,0	0,8-1,1
Ojos rojos o con rasquiña de tres o más días de evolución	1,2	0,8-1,8
Ojos rojos, nariz tapada, rinorrea, fiebre y dolor de cabeza	1,0	0,9-1,0
Dolor de cabeza de tres o más días de evolución	0,7	0,3-1,4
Consulta médica por enfermedad respiratoria una o más días uno o más días	0,7	0,4-1,0

Fuente: Hospital del Sur y Fontibón, 2007.

## Calidad del aire e IRA

dentro del hogar (como el tabaquismo pasivo y la existencia de fábrica o negocio dentro de la vivienda) y los factores personales (antecedentes

de bajo peso al nacer y sibilancias en el último año). El “colecho” es un factor familiar que actúa como factor de riesgo. Se resalta,

**Tabla 6**

Análisis multivariado para la asociación entre factores de riesgo y síntomas respiratorios individuales y agrupados

<b>Factor</b>	<b>Evento</b>	<b>RR</b>	<b>IC95%</b>	<b>p</b>
Exposición a PM <sub>10</sub>	Tos con expectoración	1,2	1,0-1,4	0,031
	Rinorrea	1,1	1,0- 1,2	0,045
	Ausentismo escolar	1,7	1,3-2,3	0,000
	Sibilancias	1,3	1,0-1,6	0,041
	Total de síntomas	1,1	1,0-1,2	0,001
Peso al nacer menor de 2.500 g	Tos con expectoración	1,3	1,1-1,6	0,003
	Ahogo	1,7	1,1-2,6	0,009
	Sibilancias	1,8	1,4-2,5	0,000
	Nariz tapada	1,6	1,2-2,0	0,000
	Total de síntomas	1,2	1,1-1,4	0,000
Sibilancias en el último año	Rinorrea	1,0	1,0-1,2	0,029
	Ahogo	1,9	1,2-3,2	0,010
	Fiebre	2,0	1,0-3,9	0,042
	Sibilancias	1,7	1,4-2,2	0,000
	Total de síntomas	1,1	1,1-1,2	0,000
Las personas que viven con el niño fuman.	Rinorrea	1,1	1,0-1,2	0,026
	Fiebre	1,5	1,1-2,2	0,023
Edificaciones o vías en construcción a menos de 100 m de la vivienda	Rinorrea	1,1	1,0-1,2	0,045
Tráfico mediano	Ojos, nariz, garganta	1,9	1,1-3,1	0,020
Fábrica o negocio dentro de la vivienda	Fiebre	1,7	1,1-2,6	0,018
Tráfico suave	Total de síntomas	0,9	0,9-1,0	0,029
Colecho	Tos	1,9	1,5-2,5	0,000
	Expectoración	1,9	1,3-2,9	0,002
	Tos con expectoración	1,6	1,1-2,2	0,009
	Nariz tapada	1,4	1,1-1,7	0,004

Fuente: Hospital del Sur y Fontibón.

también, la asociación entre la exposición a  $PM_{10}$  y el ausentismo escolar por enfermedad respiratoria aguda.

## Discusión

La medición de los efectos en la salud por la contaminación debida a material en partículas es un tema que cada vez cobra más vigencia. Diversos estudios informan una creciente evidencia de los efectos en morbilidad atendida y mortalidad por material en partículas finas<sup>4</sup>. Los estudios usualmente determinan como indicador de exposición el promedio diario de material respirable en partículas que, según la OMS, constituye la guía a corto plazo y las medias anuales que son las guías a largo plazo.

El lineamiento de la OMS establece las siguientes guías de calidad de aire para  $PM_{10}$ : 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  como media anual, y 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  como media de 24 horas<sup>5</sup>. Estas guías de calidad de aire se fundamentan en los hallazgos de estudios epidemiológicos que muestran que, a partir de estos valores, aumentan significativamente los efectos sobre la salud; en otras palabras, no es que aparezcan efectos en la salud a partir de estas concentraciones, sino que, a partir de ellas, se atribuye un aumento de los eventos de morbilidad o mortalidad. De hecho, para el material respirable en partículas no se ha encontrado un umbral de concentración bajo el cual no ocurra ningún efecto en la salud<sup>6</sup>.

La exposición diaria de una persona a la contaminación del aire es la suma de sus exposiciones a varios ambientes a lo largo del tiempo. Estos espacios particulares de exposición se conocen como microambientes y pueden variar a lo largo del día. La exposición en cada microambiente es el producto de la concentración del

contaminante en particular por el tiempo que la persona permanece en cada uno de estos espacios (vivienda, jardín infantil). La exposición no se debe confundir con la dosis, que es la cantidad de contaminante absorbido. Mientras más microambientes se estudien, se obtiene una mejor valoración de la exposición diaria. El promedio diario de una concentración ambiental (en el exterior) de contaminantes es una aproximación a la exposición real de la persona<sup>7</sup>.

La exposición al material en partículas puede producir efectos a corto y a largo plazo. Se entiende por efectos a corto plazo aquellos casos de morbilidad o mortalidad que pueden ocurrir en un periodo menor a una semana después de la exposición<sup>7</sup>. Esto implica mediciones de exposición con intervalo inferior a una semana, es decir, promedios diarios. Los efectos a largo plazo implican mediciones de exposición a largo plazo, como las medias anuales.

Un factor que favorece la aparición de sibilancias en los niños es la contaminación del aire en espacios interiores. Algunos investigadores consideran que en los países de ingresos medios y bajos las personas dependen de los combustibles sólidos, por ejemplo, madera o residuos de cosecha, o de estufas que se encienden en el interior de las viviendas. Otra fuente de contaminación en interiores en estos países es el humo de cigarrillo. Se ha considerado que la contaminación del aire en interiores puede ser cinco veces más alta en un país en vías desarrollado que en uno desarrollado<sup>8</sup>.

En el presente estudio la principal fuente de contaminación en interiores fueron las fuentes de emisión en el espacio exterior, a menos de 100 m del jardín infantil, pudiéndose presentar problemas de ventilación en los jardines por ser

## Calidad del aire e IRA

ambientes cerrados que impiden la dispersión de material en partículas.

En una revisión de la Organización Panamericana de la Salud (OPS) del 2005, se estableció que en Latinoamérica se han realizado varios tipos de diseños epidemiológicos para determinar la relación entre la contaminación del aire y la salud<sup>9</sup>. La mayoría de estos estudios ha sido de tipo ecológico y de series de tiempo, y en menor proporción, estudios transversales y de cohorte. En su mayoría, los estudios han buscado relacionar la contaminación del aire de exteriores con la mortalidad por causas respiratorias. Los estudios sobre morbilidad se han centrado básicamente en la llamada morbilidad atendida, es decir, consultas diarias a la sala de emergencia o de hospitalizaciones. Hay consenso en que los estudios de morbilidad son más sensibles que los de mortalidad para establecer relaciones entre la calidad de aire por contaminantes, como material en partículas y los efectos en la salud<sup>9</sup>.

En la misma revisión de la OPS sólo se reseñan dos estudios de cohorte en Chile (1994) y en La Habana (1996)<sup>9</sup>. En el primer estudio se hizo seguimiento a 96 niños menores de dos años de edad, diferenciados por residir en áreas de mayor y menor exposición a  $PM_{10}$  durante 26 semanas, evidenciándose mayor número de casos de consultas por enfermedad respiratoria en los niños menos expuestos. En el segundo estudio, la cohorte fue de 1.030 escolares, evidenciándose un riesgo relativo mayor de 1 en el asma bronquial y en la obstrucción nasal en los niños residentes en las zonas de mayor exposición en relación con las de menor exposición. No se han publicado en la literatura científica indexada latinoamericana estudios que incluyan como evento la morbilidad sentida, tal como los diarios de síntomas respiratorios.

En el caso de Bogotá, en el estudio no publicado realizado por Solarte en 1999, se siguió una cohorte de 545 niños en edad escolar entre los 5 y 15 años durante 12 semanas, dividiendo los niños, según la residencia, en mayor y menor exposición. En el estudio se encontró una prevalencia elevada de síntomas respiratorios en los niños de la cohorte con un incremento de síntomas a medida que aumentaba el contaminante de  $PM_{10}$ , en especial, para los síntomas de tos y flemas, sibilancias, fiebre y dolor de cabeza. En este estudio no se determinaron las razones de tasas. Se estableció que un aumento de  $10 \mu g/m^3$  en la concentración de  $PM_{10}$  producía un aumento de, al menos, 8 % en el número de consultas por enfermedad respiratoria<sup>10</sup>.

En otro estudio no publicado, llevado a cabo por Aristizábal en 1997, se hizo seguimiento durante seis meses a una cohorte dinámica de 126 niños menores de cinco años<sup>11</sup>. Las variables dependientes fueron los episodios de infección respiratoria aguda alta, definidos como secreción nasal y tos; en dichos episodios se incluyeron ruidos bronquiales o sibilancias. En dicho estudio se encontró una incidencia de sibilancias de 8,0 por 1.000 días-niño, frente a lo evidenciado en el presente estudio que fue de 2,6 por 1.000 días-niño. Para el síntoma de tos, la incidencia del estudio referenciado fue de 21,0 por 1.000 días-niño, frente a una incidencia de 10,7 por 1.000 días-niño exposición en el presente estudio.

En el caso de ausentismo escolar, en el estudio de Aristizábal se encontró una incidencia de 5,0 por 1000 días-niño frente a una incidencia de 3,3 por 1.000 días-niño del presente estudio. Estas diferencias pueden deberse a dos razones. La primera es la definición de caso de los síntomas respiratorios; en el presente estudio se

consideró como nuevo caso de síntoma respiratorio (reincidencia) si habían transcurrido, al menos, siete días sin el respectivo síntoma, mientras que en el estudio de Aristizábal este tiempo fue de dos días, lo cual puede llevar a sobrestimar la incidencia.

Para los síntomas respiratorios altos y bajos estudiados, los periodos de inducción y latencia son muy cortos, de horas y días, por lo cual se considera que los efectos frente a la contaminación del aire son de corto plazo. Sin embargo, los estudios de México han señalado periodos de latencia hasta de cinco a siete días, es decir, una vez se da la exposición los efectos en salud pueden aparecer hasta este tiempo después. Este periodo es el de inducción y latencia necesaria para la aparición de un nuevo síntoma respiratorio. Por esta razón, en la presente investigación se tuvo en cuenta un periodo sin síntomas de siete días<sup>12</sup>.

La segunda razón es que el periodo de estudio de Aristizábal fue el primer semestre del año, el cual se caracteriza por una alta incidencia de enfermedad respiratoria estacional.

En el presente estudio, la prevalencia del síntoma respiratorio "silbidos en el pecho alguna vez" en niños menores de cinco años, fue de 68,0 %, cifra superior a la reportada en el estudio realizado también en preescolares entre los 2 y 60 meses residentes en Puente Aranda, en el cual se obtuvo una prevalencia de 21,4 %, y en niños de mayor edad (entre los 5 y 14 años) residentes en las localidades de Puente Aranda, Tunjuelito y Engativá, en donde la prevalencia de sibilancias en el pecho fue de 38,0 %<sup>11,12</sup>.

En un estudio de Perú, se encontró una prevalencia de sibilancias en los últimos 12 meses

entre 4,1 % y 32,1 % en escolares entre los 6 y 7 años. Al comparar los niños que vivían y estudiaban cerca a vías de alto flujo vehicular frente a los que vivían más lejos, se observó en el grupo de niños entre los 6 y 7 años mayor riesgo de diagnóstico de asma (OR=1,9; IC95% 1,4-2,6). También, se reportó asociación entre la exposición y haber tenido siempre sibilancias (OR=1,4; IC95% 1,1-1,7), asma persistente (OR=1,4; IC95% 1,1-1,7) o ataques de asma (OR=1,5; IC95% 1,2-1,9)<sup>13</sup>.

Por medio de metaanálisis se ha establecido que el hábito de fumar de familiares o convivientes del niño puede causar enfermedad respiratoria aguda y producir sibilancias. También, hay evidencia de que la contaminación del aire, especialmente por material en partículas, disminuye la función pulmonar, produce exacerbaciones de los ataques de asma y aumenta las tasas de hospitalización por esta causa<sup>14</sup>.

En el presente estudio la contaminación del aire en interiores y exteriores estuvo asociada a los síntomas respiratorios bajos de sibilancias, tos y ahogo y al síntoma respiratorio alto de rinorrea. Asimismo, el ausentismo escolar se asoció a la contaminación del aire en interiores y exteriores. Estos hallazgos corresponden con lo que se sabe sobre los efectos de la contaminación por PM<sub>10</sub> y síntomas respiratorios. Meredith, *et al.*, hicieron un estudio de cohorte durante seis meses de 150 niños asmáticos entre los 2 y los 6 años, en el que se encontró que los niños viven, aproximadamente, el 80 % de su tiempo dentro de instituciones educativas, como los jardines infantiles, y que evidenció asociación entre el incremento de los niveles de material en partículas en interiores y la seriedad de los síntomas indicativos de asma en estos niños. Por cada 10 µg/m<sup>3</sup> que aumenta el PM<sub>10</sub> en

## Calidad del aire e IRA

interiores, se incrementan en 8 % los días de tos, sibilancias y sensación de opresión en el pecho (sibilancias). También, se evidenció mayor contaminación en interiores que en exteriores, lo cual se relacionó con la cercanía a las fuentes de emisión de material en partículas, como vías de alto flujo vehicular, hallazgos similares a los del presente estudio<sup>15</sup>.

Usualmente, en los estudios se ha resaltado más la contaminación en los exteriores que en los interiores. Sin embargo, hay evidencia de que la contaminación en interiores puede ser incluso mayor que la exterior<sup>16</sup>. Si bien el alcance del presente estudio no fue determinar las causas de la contaminación en interiores, la literatura científica ha señalado el tabaquismo y la cercanía a fuentes de emisiones fijas y móviles que hacen que el PM<sub>10</sub> penetre al jardín y no se disperse fácilmente. No se mencionan, por ejemplo, los posibles problemas de ventilación dentro de los jardines infantiles. Los antecedentes de estudios en ambientes interiores en nuestro medio son pocos.

Se sabe que las personas que residen en áreas urbanas que están expuestas a corto tiempo a contaminación del aire producido por el combustible diesel producido por los vehículos, pueden experimentar aumento en la resistencia de las vías aéreas y cambios inflamatorios bronquiales. Los efectos fueron mayores en personas con asma moderada que en personas con asma leve<sup>17</sup>.

En el presente estudio se evidenció una asociación entre la contaminación del aire por PM<sub>10</sub> y el ausentismo por enfermedad respiratoria en los niños preescolares que asisten a los jardines infantiles estudiados (RR=1,70; IC95% 1,3-2,9). En otros diseños de cohorte, se ha establecido asociación con exposiciones de corto

tiempo con ozono (O<sub>3</sub>). El ausentismo de escolares por ozono fue más evidente en sitios con bajos niveles promedio de PM<sub>10</sub> a largo plazo. Lo contrario también se ha demostrado, es decir, en los periodos de alta exposición a PM<sub>10</sub> se atenúa el efecto del O<sub>3</sub>. Esto se explica por el efecto de la estación climática predominante en el momento<sup>17</sup>. En la presente investigación no se disponía de datos sobre el ozono, ya que no se midió este contaminante.

En el estudio ISAAC se preguntó sobre síntomas indicativos de asma, tales como sibilancias o “hervidera de pecho”, en el último año. En el primer estudio en Cartagena en 1992, se estimó una prevalencia de estos síntomas de 8,8 % (12,3 % para el grupo entre 5 y 9 años y 8,3 % para los niños entre los 10 y 14 años). En el segundo estudio de 2004, la prevalencia fue de 10,4 % (11,6 % para el grupo entre 5 y 11 años y 10,3 % para los niños entre 12 y 18 años). Para Bogotá, la prevalencia fue de 9,4 %. En el ISAAC del 2002, realizado en Bogotá y publicado en el 2008, la prevalencia de síntomas indicativos de asma fue de 10,4 % para el grupo de 6 a 7 años y de 8,6 % para el grupo entre 13 y 14 años<sup>18</sup>.

En muchos países de América Latina se han llevado a cabo estudios de prevalencia del asma con metodologías y cuestionarios del ISAAC. La prevalencia de sibilancias en niños reportada en la región es elevada. En niños en edad escolar (seis años) varió entre 21,1 y 49,6 %. Se resalta que en el presente estudio se estudiaron niños preescolares, en los cuales usualmente es más alta la prevalencia de sibilancias: 68,0 % con sibilancia alguna vez y 74,3 % en el último año. La prevalencia de síntomas indicativos de asma en niños y adultos jóvenes en el periodo de 1965 a 2005, puede variar entre 5 % en

Hong Kong y 40 % en el Reino Unido para el 2005. En Escocia, la proporción de niños con síntomas indicativos de asma aumentó de 68 % en 1964 a 64 % en 1990, lo cual puede deberse también a cambios en el criterio diagnóstico de esta enfermedad.

#### **Limitaciones del estudio.**

En este estudio se pudieron presentar varios sesgos, que se buscó prevenir mediante varias intervenciones. El sesgo en la identificación de la exposición puede llevar a mala clasificación. Se pudo presentar una mala clasificación de la exposición, debido a que la cohorte expuesta se conformó según una mayor exposición tanto en interiores como en exteriores, las cuales pueden presentar variaciones diarias en la concentración de  $PM_{10}$ . Un menor de cinco años pudo haber vivido en varios microambientes y, si alguno de ellos presenta mayor contaminación, se asimila a una mayor exposición. Sin embargo, esta medición se considera indirecta y aproximada a la verdadera exposición personal. Esto se solucionaría en la medida que se dispusiera de medidores personales de contaminación de aire, lo cual no ocurrió.

Otra posibilidad de sesgo estuvo en la selección de los jardines infantiles, que en estas localidades usualmente están conformados por niños de bajo nivel socioeconómico, tanto en los de mayor como en los de menor exposición. Asimismo, es posible que los cuidadores tiendan a seguir más a los niños con enfermedad respiratoria. Lo anterior se trató de corregir haciendo que la selección de los jardines y de los niños fuera lo más aleatoria posible.

El sesgo del entrevistador al tratar de inducir respuestas se corrigió mediante un instructivo de preguntas estandarizadas, capacitación y

estandarización de los encuestadores, y control de calidad en el 20 % al repetir las encuestas. El sesgo de la identificación del desenlace, consistente en que los entrevistadores podían consignar en las encuestas y diarios de síntomas desenlaces diferentes para un mismo evento, se corrigió también con la estandarización de definiciones, por ejemplo, de tos, ahogo y sibilancias.

El “sesgo del que responde” pudo haberse presentado en la medida que, por ejemplo, los niños con antecedentes de enfermedad respiratoria tienden a tener por parte del cuidador un mejor seguimiento y, por el contrario, los niños con cuidadores sin mayor seguimiento tienden a omitir respuestas. Este factor se corrigió mediante la valoración de los niños en la jornada diurna (diarios de síntomas en el día) por parte de un cuidador capacitado de la salud.

El sesgo de “pérdida diferencial de seguimiento” puede presentarse cuando se pierde participantes durante el seguimiento. La pérdida de niños en el diario de síntomas fue inferior al 5 %.

En conclusión, en este estudio de cohorte se demostró que los niños con mayor exposición a material en partículas en los jardines infantiles de dos zonas de Bogotá presentan un mayor riesgo de morbilidad respiratoria, en la forma de tos con expectoración, rinorrea y sibilancias, así como de ausentismo escolar. Esta asociación se mantiene cuando en los modelos de regresión múltiple se controla por otros factores de riesgo que se asocian con enfermedad respiratoria, como el bajo peso al nacer, la presencia de sibilancias previas, la exposición a humo de tabaco en el hogar, la presencia de construcciones o de avenidas de tráfico pesado cerca a la vivienda, o el compartir el lecho con otras personas.

## Calidad del aire e IRA

### Referencias

1. Hernández LJ, Arciniegas A, Aristizábal G. Asociación entre la contaminación y la morbilidad por enfermedad respiratoria en tres localidades de Bogotá. Informe final. Secretaría de Salud de Bogotá y Hospitales del Sur y Fontibón. Bogotá: Secretaría de Salud de Bogotá; 2009.
2. Gauderman WJ. Air pollution and children –An unhealthy mix. *N Engl J Med.* 2006;355:78-9.
3. Kim Il. Ambient air pollution: Health hazards to children. *Pediatrics.* 2004;114:1699-707.
4. Miller KA, Siscovick DS, Sheppard L, Shepherd K, Sullivan JH, Anderson GL, et al. Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women. *N Engl J Med.* 2007;356:447-58.
5. 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. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2005.
6. Moschandreas D, Sumeet S. Modeling exposure to particulate matter. *Chemosphere.* 2002;49:1137-50.
7. Ballester F, Saez M, Daponte A, Ordóñez JM, Taracido M, Cambra K, et al. El proyecto EMECAS: protocolo del estudio multicéntrico en España de los efectos a corto plazo de la contaminación atmosférica sobre la salud. *Rev Esp Sal Púb.* 2005;79:229-42.
8. Mantzouranis EC. Taking your child's breath away –The extension of asthma's global reach. *N Engl J Med.* 2008;358:1211-3.
9. Organización Panamericana de la Salud. Evaluación de los efectos de la contaminación del aire en la Salud de América Latina y el Caribe. Washington: Organización Panamericana de la Salud; 2005.
10. Solarte I, Caicedo A. Contaminación atmosférica y enfermedad respiratoria en niños menores de 14 años en Bogotá. Bogotá: Informe Universidad Javeriana; 1999.
11. Aristizábal G. Contaminación del aire y enfermedad respiratoria en la población infantil de Puente Aranda. Santa Fe de Bogotá, 1997.
12. Lacasaña-Navarro M, Aguilar-Garduño C, Romieu I. Evolución de la contaminación del aire e impacto de los programas de control en tres megaciudades de América Latina. *Salud Publica Mex.* 1999;41:203-15.
13. Carbajal-Arroyo L, Barraza-Villarreal A, Durand-Pardo R, Moreno-Macias H, Espinoza-Lain R, Chiarella-Ortigosa P, et al. Impact of traffic flow on the asthma prevalence among school children in Lima, Perú. *J Asthma.* 2007;44:197-202.
14. Eder W, Ege MJ, von Mutius E. The asthma epidemic. *N Engl J Med.* 2006;355:2226-35.
15. McCormack MC, Breyse PN, Matsui EC, Hansel NN, Williams D, Curtin-Brosnan J, et al. In-home particle concentrations and childhood asthma morbidity. *Environ Health Perspect.* 2009;117:294-8.
16. McCreanor J, Cullinan P, Nieuwenhuijsen MJ, Stewart-Evans J, Malliarou E, Jarup L, et al. Respiratory effects of exposure to diesel traffic in persons with asthma. *N Engl J Med.* 2007;357:2348-58.
17. Gilliland FD, Berhane K, Rappaport EB, Thomas DC, Avol E, Gauderman WJ, et al. The effects of ambient air pollution on school absenteeism, due to respiratory illnesses. *Epidemiology.* 2001;12:43-53.
18. García E, Aristizábal G, Vásquez C, Rodríguez-Martínez CE, Sarmiento OL, Satizabal CL, et al. Prevalence of and factors associated with current asthma symptoms in school children aged 6-7 and 13-14 yr old in Bogotá, Colombia. *Pediatr Allergy Immunol.* 2008;19:307-14.