

Carga de enfermedad atribuible a la contaminación extramural e intramural del aire en Bogotá

Alexandra Porras-Ramírez^{1,2}

Alejandro Rico-Mendoza^{1,2}

Armando Ardila¹

Juan Carlos Mendieta¹

Danna Ramírez¹

Elizabeth Coy-Jiménez³

Diane Moyano-Romero³

Jhon Jairo Abella-Flórez³

Ana Cecilia Gálvez-Lozada³

Elkin de Jesús Osorio-Saldarriaga³

Resumen

La contaminación del aire es en la actualidad uno de los problemas ambientales más importantes que afectan la salud pública de todas las regiones del mundo, y se expresa en múltiples efectos agudos y crónicos sobre la salud humana. El presente estudio estimó la carga de enfermedad atribuible a la contaminación del aire intramural y extramural en el Distrito Capital de Bogotá, para cuantificar las pérdidas de vida sana, ya sea por mortalidad prematura o por el tiempo vivido con discapacidad. **Métodos:** se realizó un estudio ecológico exploratorio dirigido a la medición de la carga de enfermedad por enfermedades asociadas a la contaminación del aire intramural y extramural en Bogotá

durante el periodo 2012-2016, siguiendo la metodología de Murray y López descrita en 1996. Inicialmente, se calculó la carga total de las enfermedades potencialmente relacionadas con la contaminación del aire, y posteriormente, usando los promedios de los contaminantes criterio y los RR obtenidos de la literatura, se calculó la proporción atribuible a este fenómeno. **Resultados:** se encontró que las enfermedades con mayor relación fueron: hipertensión arterial, con 11.362,5 años de años de vida saludables perdidos (AVISA) x 1.000 habitantes; enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC), con 3.164,4 AVISA x 1.000 habitantes y enfermedad isquémica del corazón, con 2.289,6 AVISA x 1.000 habitantes, atribuibles a la contaminación extramural del aire con PM_{10} y $PM_{2.5}$. Para la contaminación intramural con PM_{10} y $PM_{2.5}$, la principal carga atribuible fue por EPOC y enfermedad cerebrovascular (ECV), con 1.740,0 y 1.885,0 AVISA x 1.000 habitantes, respectivamente, seguidas por el cáncer de pulmón, con 265,2, y la dermatitis atópica, con 87,2 x 1.000 habitantes.

Palabras clave

Contaminación del aire, PM_{10} , $PM_{2.5}$, ozono

Summary

Air pollution is currently one of the most important environmental problems affecting public health in all regions of the world that is expressed in multiple acute and chronic effects on human health. The present study estimated the burden of disease attributable to intramural and extramural air pollution in the Capital District of Bogotá, in order to quantify the loss of healthy life, either by premature mortality or by time lived with a disability. Methods: an exploratory ecological study was carried out aimed at measuring the

¹ Consorcio Teknidata Ecosimple. Bogotá, Colombia.

² Grupo de Medicina Comunitaria y Salud colectiva, Universidad El Bosque. Bogotá, Colombia.

³ Subsecretaría de Salud Pública, Secretaría Distrital de Salud de Bogotá (SDS). Bogotá, Colombia.

burden of disease due to diseases associated with intramural and extramural air pollution in Bogotá from 2012 to 2016, in which the methodology of Murray and López described in 1994. Initially, the total burden of diseases potentially related to air pollution was calculated, and later, using the averages of the criterion contaminants and the RR obtained from the literature, the proportion attributable to this Phenomenon. Results: It was found that the diseases with greater relation were, hypertension with 11,362.5 DALYs per 1,000 inhabitants, COPD with 3,164.4 and ischemic heart disease with 2,289.6, attributable to the extramural contamination of the air with PM₁₀ and PM_{2.5}. For intramural contamination with PM₁₀ and PM_{2.5} The main attributable charge was for COPD and cerebrovascular disease with 1,740.0 and 1,885.0 DALYs x 1.000 inhabitants respectively, followed by lung cancer with 265.2 and atopic dermatitis with 87.2 x 1,000 inhabitants.

Keywords

Air pollution, PM₁₀, PM_{2.5}, Ozone

Introducción

En 2010, alrededor de 40 millones de personas murieron en todo el mundo por enfermedades no transmisibles (ENT) como diversos tipos de cáncer, diabetes, enfermedades cardiovascular, neurológica y pulmonar crónica (1). En 2015, la Organización Mundial de la Salud (OMS) clasificó las exposiciones ambientales entre los principales factores de riesgo para la mortalidad por enfermedades crónicas (2). Se estima que la contaminación del aire por sí sola causa 7 millones de muertes prematuras por año (hallazgo recientemente destacado en la Carga Global de la Enfermedad, proyecto GBD) (3).

Hay cada vez más evidencia de los vínculos entre la contaminación del aire y el riesgo de enfermar y morir. La OMS estima que la contaminación ambiental del aire en las ciudades y en las zonas rurales causó 4,2 millones de muertes prematuras en todo el mundo a lo largo de 2016, asociadas, principalmente, a la exposición a partículas pequeñas, de 2,5 micrones o menos de diámetro (PM_{2.5}), así: el 58% de las muertes prematuras fueron por cardiopatía isquémica y accidentes cerebrovasculares (ACV); el 18 %, por EPOC e infecciones respiratorias agudas, y el 6%, por cáncer de pulmón (3). Estas muertes superaron ampliamente a las asociadas a otras formas de contaminación ambiental (agua, suelo u ocupacional) (4).

El material particulado (MP) es un indicador indirecto para cuantificar la contaminación del aire. Los principales componentes del MP son sulfatos, nitratos, amoníaco, cloruro de sodio, carbón negro, polvo mineral y agua. Consiste en una mezcla compleja de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire. Mientras que las partículas con un diámetro de 10 µ o menos ($\leq$ PM₁₀) pueden penetrar los pulmones y alojarse en su interior, las partículas aún más dañinas para la salud son aquellas con un diámetro de 2,5 µ o menos ($\leq$ PM_{2.5}). Las PM_{2.5} pueden penetrar la barrera pulmonar e ingresar al sistema sanguíneo. La exposición crónica a partículas contribuye al riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias y cáncer de pulmón (4).

Hay una estrecha relación cuantitativa entre la exposición a altas concentraciones de pequeñas partículas (PM₁₀ y PM_{2.5}) y el aumento de la mortalidad o la morbilidad diarias y a lo largo del tiempo. Por el contrario, cuando se reducen las concentraciones de partículas pequeñas y finas, la mortali-

dad relacionada también disminuye, si bien cabe presumir que otros factores ambientales permanecen igual. Esto les permite a los legisladores proyectar las mejoras de salud de la población que podrían esperarse si se reduce la contaminación del aire en partículas. La contaminación por partículas pequeñas tiene impactos en la salud incluso a concentraciones muy bajas; de hecho, no se ha identificado ningún umbral debajo del que no se observe daño a la salud. Por lo tanto, los límites de la guía de la OMS apuntan a lograr las concentraciones más bajas posibles de MP (4).

En relación con la carga de enfermedad, La OMS la presenta como una herramienta para cuantificar las pérdidas en salud provocadas por enfermedades, lesiones y factores de riesgo, lo cual la hace útil para la toma de decisiones en los sistemas de salud. El Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) la reconoce como un proyecto científico que permite la cuantificación de esas pérdidas (5).

Las primeras evaluaciones integrales de la contaminación del aire ambiente y carga de la enfermedad fueron realizadas por la OMS y el Banco Mundial en 2000 (6). Posteriormente, en 2010, con la financiación de la Fundación Bill & Melinda Gates, se actualizó el estudio *Global Burden of Disease* (GBD) (7), que incorporó 291 enfermedades y lesiones y 67 factores de riesgo, incluida la contaminación del aire, en 21 regiones de todo el mundo.

Más recientemente, para 2013 y 2015, el IHME, de la Universidad de Washington, con el apoyo técnico de la OMS, ha generado un conjunto de estimaciones de GBD (5). En dichos informes se proporcionaron estimaciones de la carga atribuible a la contaminación ambiental para la mortalidad, los años

de vida potencialmente perdidos, los años vividos con discapacidad y los años de vida perdidos ajustados por discapacidad según el país, la edad y el sexo.

El presente estudio calculó la carga de enfermedad atribuible a la contaminación del aire intramural y extramural en el Distrito Capital de Bogotá, para cuantificar las pérdidas de vida sana, ya sea por mortalidad prematura o por el tiempo vivido con una salud menguada (discapacidad).

2. Métodos

2.1 Tipo de estudio

El presente es un estudio ecológico exploratorio dirigido a la medición de la carga de enfermedad por enfermedades asociadas a la contaminación del aire intramural y extramural en Bogotá durante el periodo 2012-2016, en el que se ha seguido la metodología de Murray y López descrita en 1996 (8).

2.2 Población de referencia

Bogotá, D. C., es la ciudad capital de la República de Colombia, centro geográfico, político, industrial y económico del país, ubicada en la Cordillera Oriental de Los Andes a 2640 m.s.n.m. Según las proyecciones disponibles del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), la ciudad tenía una población de 7.571.345 habitantes en 2012, y de 7.980.001 habitantes en 2016 (9).

2.3 Fuentes de información

- » Bases de datos de mortalidad generadas por el DANE, de 2012 a 2016, de las que se

seleccionaron las muertes por enfermedades potencialmente asociadas a la contaminación ambiental. Esta búsqueda se hizo en la causa básica, antecedente y directa de muerte, con el fin de recolectar todas las muertes.

- » Registros de estimaciones y proyecciones de población generadas por el DANE por grupos de edad y edades simples para el periodo 2012-2016.
- » Bases de datos del Sistema de Vigilancia Epidemiológica para bajo peso al nacer e infecciones respiratorias agudas (IRA), de la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá (SDS), para obtener el número de casos del periodo 2012-2016.
- » Base de datos de RIPS SISPRO, para obtener el número de casos de enfermedades crónicas y cáncer asociadas a la contaminación ambiental del periodo 2012-2016.
- » Bases de datos bibliográficas: en la revisión de literatura se consultaron las siguientes bases de datos:
 - Medline: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
 - Scientific Electronic Library online: <http://www.scielo.org/php/index.php>
 - Embase: <https://www.elsevier.com/solutions/embase-biomedical-research>

2.4 Eventos en salud

Los eventos incluidos fueron definidos con base en la evidencia disponible sobre su potencial relación con la contaminación del aire, por un equipo técnico multidisciplinario de profesionales de las áreas de la salud y ambiente, así: IRA; tumor maligno de tráquea, de bronquios y de pulmón; tumor

maligno de los órganos respiratorios e intra-torácicos, excepto la tráquea, los bronquios y los pulmones; enfermedades hipertensivas; enfermedades isquémicas del corazón; enfermedad cardiopulmonar, de la circulación pulmonar y otras formas de enfermedad del corazón; paro cardíaco; insuficiencia cardíaca; enfermedades cerebrovasculares (ECV); arterioesclerosis; bajo peso al nacer; asma; EPOC; demencia; enfermedad de Alzheimer; enfermedad de Parkinson; deterioro cognitivo; enfermedades neurodegenerativas; autismo; déficit de atención o trastorno de atención e hiperactividad; diabetes mellitus; dermatitis atópica; conjuntivitis; rinitis alérgica; cáncer de vejiga; cáncer de seno; cáncer de próstata; cáncer de cuello uterino; linfoma no Hodgkin; linfoma Hodgkin; mieloma múltiple, y leucemias agudas.

2.5 Estimación de años de vida ajustados por discapacidad (AVISA)

Se utilizó la metodología descrita por Murray y López en el *Quantifying the burden of disease: The technical basis for disability-adjusted life years* (10) y siguiendo, al mismo tiempo, los requisitos mencionados por la OMS. También fueron revisados los estudios realizados en el país por Cendex (11), como base para el desarrollo del presente estudio, en el que se tomaron en cuenta los aspectos que se mencionan a continuación.

2.5.1 Expectativa de vida estándar

La carga de enfermedad es la brecha que hay entre las condiciones de salud existentes y una situación ideal de salud. Se considera que la expectativa de vida es calculada con base en la asunción de que alguien vive en la actualidad y va a ser expuesto en el futuro

a las tasas de mortalidad actuales para cada grupo de edad. En este caso se emplea la tabla de vida con mayor esperanza de vida al nacer en el mundo, que es la de Japón, con 80 años para los hombres y 82,5 años para las mujeres (10).

2.5.2 Tasa de descuento

Utilizada para medir, en valores presentes, el tiempo saludable que se perdería en el futuro como consecuencia de una enfermedad o una lesión, mediante la ecuación:

$$VF = VP * (1 - i)^n \quad VF = VP * (1 - i)^n \quad (1)$$

Donde: VF es valor futuro, VP es valor presente, i es la tasa de descuento y n es el número de periodos. En el caso de la salud, el descuento por la incertidumbre de los beneficios futuros recomendado por el World Bank Disease Control Priorities Study y por el Global Burden of Disease Project es del 3% anual (10). El descuento se hace siguiendo un modelo continuo de la forma:

$$e^{-rt} \quad (2)$$

Donde: e es el número de Euler; r es la tasa de descuento, que, en el caso de la toma de decisiones individual, coincide con el tipo de interés, y t es el número de periodos (años) transcurridos desde el momento presente hasta el momento en que se enfermó.

2.5.3 Pesos por edad

Corrección que ajusta el valor de manera diferente de un año de vida perdido o ganado durante la edad de adulto joven, de

uno perdido o ganado durante la primera infancia o la vejez. Este ajuste permite que el tiempo vivido a diferentes edades se valore usando una función exponencial, expresada como:

$$Cxe^{-\beta x} \quad (3)$$

Donde: β es una constante que permite tener un patrón respecto a los pesos por edad, que puede tomar valores de 0,03 a 0,05, y que en la metodología asumida por Murray y López toma un valor de 0,04 (8). La constante C es escogida de manera que la introducción de pesos desiguales por edad no cambie la estimación de la carga de enfermedad comparada con la carga que puede ser estimada si se tienen pesos por edad iguales; para mantener la comparabilidad, se usó la constante de 0,1658 propuesta por Murray (8).

2.5.4 Pesos de discapacidad

Se usa para incorporar la medición del tiempo vivido con discapacidad de los eventos no letales al indicador AVISA. Es un número en la escala del cero al uno que representa la severidad de la pérdida de salud asociada al estado. Un valor de cero implica que el estado de salud equivale a excelente salud, y un valor de uno implica que el estado de salud equivale a la muerte (10).

2.5.5 Años de vida perdidos por muerte prematura

Se estimaron a partir del número de muertes reportadas para cada grupo de edad, sexo y localidad, tomando en cuenta los aspectos ya mencionados; a saber: expectativa de

vida de acuerdo con la tabla de vida West 26; tasa de descuento de años por beneficios futuros, y la función de corrección de pesos por edad.

A continuación, se presenta la ecuación empleada:

$$YLL = \sum_{i=1}^I D_i x \left[C x \frac{e^{r m_i}}{(\beta + r)^2} \right] x \left\{ \left[e^{-(\beta+r)(L_i+m_i)x} - ((\beta+r)(L_i+m_i)) - 1 \right] - \left[e^{-(\beta+r)m_i x} - ((\beta+r)m_i) - 1 \right] \right\}$$

(4)

2.5.6 Años vividos con discapacidad

Se estimaron a partir de los casos reportados para cada grupo de edad, sexo y localidad, tomando en cuenta aspectos como: duración promedio de la enfermedad; pesos de discapacidad, tomados del estudio Murray y López, en función de corrección de pesos por edad, y la tasa de descuento de años por beneficios futuros. A continuación, se presenta la ecuación empleada:

$$YLD = \sum_{i=1}^I I_i x W x \left[C x \frac{e^{r a_i}}{(\beta + r)^2} \right] x \left\{ \left[e^{-(\beta+r)(d_i+a_i)x} - ((\beta+r)(d_i+a_i)) - 1 \right] - \left[e^{-(\beta+r)a_i x} - ((\beta+r)a_i) - 1 \right] \right\}$$

(5)

Finalmente, la obtención de los AVISA se da por la siguiente ecuación:

$$DALY = YLL + YLD \quad (6)$$

» YLL: años de vida perdidos por muerte prematura (APMP).

» YLD: años de vida perdidos por discapacidad (APD).

» AVISA: años de vida ajustados por discapacidad (AVISA).

» i : cada uno de los intervalos de edad para los cuales se calculan los AVISA.

» D_i : número de muertes en cada intervalo de edad.

» C : constante de ponderación por edades.

» e : constante matemática (número de Euler).

» r : tasa de descuento por riesgo de beneficios futuros.

» m_i : edad promedio de muerte para cada intervalo de edad.

» β : coeficiente de ponderación por edades.

» L_i : expectativa de vida promedio para cada intervalo de edad.

» I_i : número de casos incidentes de una enfermedad en cada intervalo de edad.

» W : peso de la discapacidad adjudicado a una enfermedad específica.

» a_i : edad promedio de inicio de la enfermedad para cada intervalo de edad.

» d_i : duración promedio de la enfermedad para cada intervalo de edad.

La valoración de la utilidad del tiempo vivido con discapacidad requiere la defini-

ción de un ponderador de la severidad de esta, el cual permite que los años de vida que se pierden como consecuencia del padecimiento de una enfermedad y sus secuelas sean comparables con los años de vida perdidos por muerte prematura. Corresponde al parámetro "W" de la fórmula general, ya mencionada.

2.6 Contaminantes extramurales

Con la base suministrada por la Secretaría Distrital de Ambiente, se calcularon las medianas para los contaminantes PM_{10} , $PM_{2.5}$ y ozono (O_3), por localidad, mes y año. Los datos de contaminación suministrados venían con las variables de localidad, fecha, hora y valor de la medición respectiva.

2.7 Contaminantes intramurales

Con la base de vigilancia de calidad del aire de la SDS, se calculó el número de personas expuestas por localidad al cigarrillo y a combustibles fósiles.

2.8 Ajuste de AVISA por contaminantes y localidad

Para calcular la concentración media por contaminante, se ponderó la concentración media de PM_{10} , $PM_{2.5}$ y O_3 por localidad (j), con la población de cada localidad (Pj):

$$PM_{10} = \frac{\sum(PM_{10} \times AVISA_j)}{\sum AVISA_j} \quad (7)$$

$$PM_{2.5} = \frac{\sum(PM_{2.5} \times AVISA_j)}{\sum AVISA_j} \quad (8)$$

$$O_3 = \frac{\sum(O_3 \times AVISA_j)}{\sum AVISA_j} \quad (9)$$

2.9 Cálculo de la fracción atribuible

Posteriormente, fue calculada la fracción atribuible para cada AVISA, la cual corresponde a la diferencia del riesgo relativo para cada AVISA menos 1, dividido entre el mismo riesgo relativo. Se usó la ecuación:

$$FA = \frac{RR-1}{RR} \quad (10)$$

Para atribuir a la contaminación por cada localidad, se calcularon los AVISA atribuibles a dicha contaminación usando la ecuación:

$$AVISA \text{ atribuible} = AVISA \times FA \text{ calculado por localidad} \quad (11)$$

2.10 Calidad de los datos usados

Los datos de mortalidad y morbilidad que nutren la construcción de las estimaciones fueron tratados con el método de Bennet-Horiuchi (12), para corregir el subregistro y obtener los niveles suficientes de cobertura y de calidad. La utilización de datos no nacionales, como la esperanza de vida de Japón, no fueron ajustados.

En el caso de la mortalidad, el proyecto de carga de enfermedad determinó una serie de códigos mal definidos (basura), los cuales son causas de muerte que no deberían identificarse como causas subyacentes de muerte en los certificados de defunción. El IHME sustituyó estos códigos por otras causas subyacentes basadas en fisiopatología; sin embargo, en el presente estudio no se hizo tal corrección; tampoco, la minimización del sesgo de clasificación mediante el uso de estos métodos.

3. Resultados

En el caso de contaminación extramural del aire con PM_{10} y $PM_{2.5}$, se encontró que las enfermedades con mayor relación fueron: hipertensión arterial, con $11.362,5 \text{ AVISAS} \times 1.000$ habitantes⁴ atribuibles a la contaminación, seguida por EPOC, con $3.164,4 \times 1.000$ habitantes, y enfermedad isquémica del corazón, con $2.289,6 \times 1.000$ habitantes. Para la contaminación intramural con PM_{10} y $PM_{2.5}$, la principal carga atribuible fue por EPOC y por ECV, con $1.740,0$ y $1.885,0 \text{ AVISA} \times 1.000$ habitantes, respectivamente, seguidas por cáncer de pulmón, con $265,2$ y dermatitis atópica, con $87,2 \times 1.000$ habitantes (tabla 1). Estos resultados fueron comparados con los calculados y reportados para México, Perú y Brasil (tabla 2).

4. Discusión

Los resultados del presente estudio concuerdan con los informes del grupo de estudio *Global Burden Diseases*, que muestran un fuerte vínculo entre la exposición a la contaminación del aire en interiores y exteriores con la ECV y el cáncer (13). Para el caso de Bogotá, se destaca la relación de la hipertensión arterial y el EPOC con la contaminación del aire en exteriores, y la de los trastornos cerebrovasculares y la EPOC en interiores. En la Unión Europea (UE), la contaminación del aire causa una reducción en el promedio de la esperanza de vida de más de un año (14).

Más de 30 posibles desenlaces potencialmente asociados a la exposición a la contaminación del aire fueron estudiados en el presente trabajo. El concepto de "exposición" como el total de todas las exposiciones

externas, junto con la susceptibilidad individual debido a vulnerabilidades genéticas, edad y otras, están ganando credibilidad entre los científicos y las comunidades clínicas (15,16). Los contaminantes, los aditivos alimentarios, los productos químicos hallados en productos cosméticos y terapéuticos y la exposición a terapias (quimioterapia/radioterapia) son ejemplos de tales exposiciones acumulativas. Ciertos plaguicidas, como los organofosforados, son ejemplos de sustancias químicas artificiales a las que la población se halla expuesta, y que contribuyen a la neurotoxicidad (17,18).

Los largos periodos de latencia, las exposiciones acumuladas combinadas y el curso crónico de las enfermedades a menudo hacen difícil identificar la exposición ambiental/ocupacional como la causa de las ENT (19,20). Una fuente de exposición puede causar varios resultados, así como diferentes tipos de exposición pueden afectar el mismo resultado de la enfermedad. Tal es el caso de la contaminación del aire, a la cual se ha relacionado con una serie de enfermedades, incluidas las cardiovasculares, las cerebrovasculares, las respiratorias, las del aparato reproductivo, las del neurodesarrollo y las neurodegenerativas (21-23). En el presente estudio se relacionó la prevalencia de la exposición a ciertos contaminantes criterio, obtenida de fuentes locales, con la incidencia de los desenlaces de interés, obtenida de los informes institucionales, y los riesgos relativos obtenidos de la literatura, mediante los conceptos de *riesgo atribuible en expuestos* (RAE) y *riesgo atribuible poblacional* (RAP), que representan la cantidad de incidencia que puede ser atribuida al factor de riesgo en la población expuesta y en general, respectivamente; en este caso, la contaminación del aire. Así mismo, exposiciones múltiples pueden tener un efecto acumulativo en el mismo órgano objetivo.

⁴ Que se interpreta como que por cada 1.000 habitantes se pierden 11.362,5 años de vida ajustados por discapacidad relacionados con hipertensión.

En el plano fisiopatológico, relacionado con la exposición, las ENT surgen como resultado de las interacciones entre diversos factores (genéticos, epigenéticos, hormonales, etc.) e influencias externas (ocupacionales/ambientales) (4).

Estudios que evalúan las concentraciones de partículas en interiores, en exteriores y del monitoreo personal han sido revisados por Morawska et al. (24). Para el caso de interiores, estos autores proponen clasificarlas en: partículas del aire libre, que se infiltran en el interior; partículas emitidas en el interior, y partículas formadas en el interior a través de reacciones de precursores en fase gaseosa emitidos tanto en interiores como en exteriores (24). Sin embargo, por falta de datos suficientes, para el presente estudio se utilizaron los datos de vigilancia de calidad del aire de la SDS, que estiman el número de personas expuestas por localidad al cigarrillo y a combustibles fósiles, como una variante de las realizadas por Aristizábal, et al. (25), quienes determinaron la relación entre la contaminación del aire en exteriores e interiores por PM_{10} y su asociación a síntomas respiratorios en niños menores de 5 años en tres localidades de Bogotá: Puente Aranda, Kennedy y Fontibón.

La concentración de partículas en ambientes interiores está influenciada por muchos factores, como las características

de infraestructura, de ubicación, de contaminación del aire, del tipo de interiores, del tipo de artefactos de cocina, de actividades humanas, de pasatiempos, de prácticas de limpieza y otras (velas encendidas, incienso, etc.), que varían de acuerdo con su uso. Diversas actividades interiores son fuentes conocidas de partículas finas, como fumar, cocinar (freír, asar, hornear, etc.), usar estufas de gas y eléctricas, tostadoras, secadoras de ropa a gas, chimeneas, quema de velas e incienso, cigarrillos electrónicos, chimeneas decorativas de etanol, uso de fotocopiadoras, lacas para el cabello, productos de limpieza que contienen terpenos y que, en presencia de ozono forman aerosoles secundarios (26-34).

Hay muchos estudios basados en mediciones de la concentración de masa de partículas, pero estudios que investigan los cambios dependientes del tiempo en la masa y el número de partículas son limitados. Los tiempos promedio en los estudios existentes varían en un alto grado, y comprenden: horas (8, 24 o 48 h), días, estaciones, años, fuentes activas, sin fuentes y, aunque rara vez, ocupación (ocupante presente en una residencia) o tiempo de no ocupación. El tiempo promedio utilizado con más frecuencia es el periodo total de monitoreo. Con la perspectiva de la exposición personal, la información sobre las concentraciones de las partículas cuando las personas se encuentran en microambientes resulta primordial; sin embargo, esos datos con frecuencia no están disponibles.

Tabla 1. AVISA x 1.000 habitantes atribuibles a la contaminación extramural e intramural en Bogotá, D. C., 2012-2016

Tipo de contaminación	Evento	AVISA promedios atribuibles a la contaminación
Contaminación extramural	IRA	8,8
	Cáncer de pulmón; cáncer de tráquea	218,4
	Tumor maligno de los órganos respiratorios e intratorácicos, excepto tráquea, bronquios y pulmón	19,8
	Hipertensión arterial	11.362,5
	Enfermedad isquémica del corazón	2.289,6
	Paro cardíaco	7,3
	ECV	1.812,5
	EPOC	3.164,4
	Asma	1.161,6
	Bajo peso al nacer	28,4
	Otras enfermedades cardiovasculares	152,6
	Insuficiencia cardíaca	96,9
	Ateroesclerosis	4,6
	Demencia	857,4
	Alzheimer	273,6
	Parkinson	217,7
	Deterioro cognitivo	513,7
	Enfermedad neurodegenerativa	67,1
	Autismo	21,4
	Déficit de atención o trastorno de atención e hiperactividad	101,7
	Diabetes mellitus	266,6
	Dermatitis atópica	76,7
	Conjuntivitis	17,7
	Rinitis alérgica	6,3
	Cáncer de vejiga	1,2
Contaminación intramural	Cáncer de seno	9,5
	Cáncer de próstata	14,5
	Cáncer de cuello uterino	1,9
	Linfoma no Hodgkin	6,4
	Linfoma Hodgkin	6,8
	Mieloma múltiple	2,2
	Leucemias agudas	5,5
	IRA	36,3
	Cáncer de pulmón; cáncer de tráquea	265,2
	EPOC	1.740,0
	Bajo peso al nacer	32,9
	ECV	1.885,0
	Paro cardíaco	7,3
	Dermatitis atópica	87,2

Fuente: elaboración propia (Consorcio Ecosimple-Teknidata).

Tabla 2. Comparación de la carga de enfermedad por contaminación del aire de Bogotá con México, Perú y Brasil

Evento	AVISA × 1.000	AVISA atribuibles a contaminación extramural × 1.000 habitantes	Datos, Global Burden Diseases × 1.000 habitantes		Datos, Global Burden Diseases × 1.000 habitantes		Datos, Global Burden Diseases × 1.000 habitantes	
			Total México	Atribuibles a la contaminación, México	Total Brasil	Atribuibles a la contaminación, Brasil	Total Perú	Atribuibles a la contaminación, Perú
Paro cardíaco	11,1	7,3	35,0	23,0	37,7	24,8	27,9	18,3
Insuficiencia cardíaca	115,9	96,9	SD					
Enfermedad isquémica del corazón	299,4	2.289,6	1.298,9	9.932,7	1.765,1	13.497,8	796,3	6.089,3
Dermatitis atópica	3,0	76,7	115,5	2951,7	135,8	3472,0	264,3	6757,3
Cáncer de vejiga	1,2	1,2	15,6	15,6	39,1	39,1	16,7	16,7
Ateroesclerosis	4,3	1,6	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Conjuntivitis	18,8	17,7	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Linfoma Hodgkin	6,1	6,8	11,8	13,2	12,5	13,9	6,0	6,7
Cáncer de seno	10,5	9,5	141,9	128,3	228,6	206,8	16,3	14,8
Rinitis alérgica	0,0	6,3	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Enfermedad neurodegenerativa	26,7	67,1	67,4	169,7	55,2	139,0	35,5	89,4
EPOC	417,7	3.164,4	336,1	2.546,4	555,8	4.210,6	200,7	1.520,1
Enfermedad cardiopulmonar	202,0	SD	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Hipertensión arterial	1.368,6	11.362,5	1.023,7	8.499,0	1.204,5	10.000,0	452,2	3.754,3
Parkinson	36,5	217,7	24,8	148,0	40,1	238,7	28,2	168,3
Alzheimer	51,8	273,6	24,9	131,5	51,7	272,9	26,6	140,3
Bajo peso al nacer	26,3	28,4	SD	SD	SD	SD	SD	SD

Evento	AVISA × 1.000	AVISA atribuibles a contaminación extramural × 1.000 habitantes	Datos, Global Burden Diseases × 1.000 habitantes		Datos, Global Burden Diseases × 1.000 habitantes		Datos, Global Burden Diseases × 1.000 habitantes	
			Total México	Atribuibles a la contaminación, México	Total Brasil	Atribuibles a la contaminación, Brasil	Total Perú	Atribuibles a la contaminación, Perú
Autismo	11,7	21,4	72,3	132,9	70,1	128,7	69,0	126,7
Déficit de atención	12,8	101,7	7,1	56,6	10,2	81,6	12,9	103,0
Diabetes mellitus	206,9	266,6	184,4	237,6	824,3	1.062,1	504,2	649,7
Demencia	149,8	857,4	24,9	142,6	51,7	295,7	26,6	152,0
Leucemias agudas	5,1	5,5	16,0	17,2	13,6	14,6	15,9	17,1
Mieloma múltiple	2,6	2,2	2,3	2,0	3,3	2,8	2,4	2,0
Cáncer de próstata	13,9	14,5	6,7	7,0	14,2	14,8	9,6	10,0
Linfoma no Hodgkin	5,9	6,4	6,2	6,7	8,7	9,4	8,4	9,1
Cáncer de cuello uterino	3,6	1,9	9,6	5,0	12,7	6,6	13,7	7,2
Asma	14,4	1.161,6	15,0	1.214,2	18,2	1.473,2	26,3	2.128,9
IRAG 345	0,3	8,8	55,3	1.431,3	76,4	1.977,4	131,9	3.413,9
Cáncer de pulmón	1,2	218,4	9,3	1.721,3	31,4	5.811,7	15,2	2.813,3
ECV	299,4	1.812,5	136,0	823,5	534,7	3.236,8	168,7	1.021,2
Otros cánceres no pulmonares	1,2	19,8	SD	SD	SD	SD	SD	SD
IRAG 348	0,3	8,8	55,3	1.946,6	76,4	2.689,3	131,9	4.642,9
Deterioro cognitivo	12,8	513,7	SD	SD	SD	SD	SD	SD
Otras enfermedades cardiovasculares	291,4	152,6	SD	SD	SD	SD	SD	SD

Fuente: elaboración propia (Consorcio Ecosimple-Teknidata).

5. Limitaciones y sesgos

El crecimiento económico de Bogotá, las dinámicas de densificación poblacional y el ordenamiento de los usos urbanos del territorio son variables críticas que tienen que ver directamente con la generación de contaminación del aire urbano e intramural y con sus impactos negativos en el bienestar de los bogotanos. Es necesario reconocer las incertidumbres para identificar con exactitud la relación causal entre la contaminación del aire urbano e intramural y el estatus de salud de las personas.

La información que se utiliza para calcular los AVISA es, muchas veces, insuficiente y escasa. En los estudios de carga que se han realizado a lo largo y ancho del mundo se han utilizado estimativos y proyecciones para diferentes regiones, y se teme que estos agregados puedan suprimir variaciones en las regiones. Esto quiere decir que los AVISA, como una medida agregada del estado de salud, pueden omitir información sobre la heterogeneidad regional. Además, se critica el hecho de que la carga de enfermedad (CE), al hacer énfasis en la morbilidad, excluye otros factores socioeconómicos y medioambientales que pueden influenciar la carga actual experimentada por un individuo o por una comunidad. Tampoco se toman en cuenta las necesidades de salud insatisfechas, ni el nivel de desagregación de las enfermedades ni las dificultades que esto puede traer en futuras comparaciones (35).

Además de lo anterior, no se tenían reportes previos sobre la carga de enfermedad atribuible a la contaminación en la población bogotana; por tanto, se hizo necesario comparar con estudios internacionales, a fin de sentar un precedente del impacto de esta enfermedad en la población.

Sobre los supuestos usados en el estudio de carga de enfermedad, se debe tener en cuenta que el ajuste de los tiempos de vida mediante ponderadores de calidad o discapacidad requiere su actualización periódica, de manera de que realmente expresen el desarrollo alcanzado en salud al momento de la medición.

A pesar de que, para algunos, las valoraciones sociales utilizadas en el cálculo de los AVISA tienen ventajas, hay quienes consideran que estos juicios de valor sociales y económicos no son adecuados. La cuantificación del estado de salud no puede evitar la inclusión de juicios sociales. Los autores del estudio de carga de enfermedad afirman que mientras dichos valores sean explícitos, se puede decidir si es pertinente o no usar los resultados del estudio en la práctica.

Algunos autores afirman que los pesos utilizados parecen reflejar la idea de que la maximización de la salud es una inversión económica. Por ejemplo, los pesos por edad valoran la edad de una persona en términos de cuanto ha sido invertido en ella hasta el momento, en relación con el futuro retorno que esta persona podría generar a la sociedad; es decir, el tiempo vivido a diferentes edades se valora de manera diferente, pues tiene más peso un año de vida vivido en los jóvenes en relación con los adultos y los niños.

En el proceso de estimación de los AVISA, también existen aspectos controversiales respecto a la selección de la tabla de vida, la diferencia entre las esperanzas de vida de los hombres y las de las mujeres y la cercanía temporal a la medición. Si se seleccionan tablas con alta esperanza de vida en relación con el país donde se aplique, se genera un sesgo de ponderación de años por muerte prematura en individuos que mueren de acuerdo con otra realidad. Dado que las

esperanzas de vida por sexo son mayores en las mujeres, las muertes a igual edad por sexo contribuyen con diferentes YLL. En cuanto a la temporalidad, las pérdidas de salud son más importantes cuanto más cercanas están al momento presente. Así, los YLL y YLD más cercanos al momento presente tendrán mayor valor; sin embargo, estos valores decrecen en función de una tasa de descuento. Para el presente estudio se estableció en el 3%.

6. Recomendaciones de política pública

La evaluación de carga de enfermedad en temas específicos como la salud ambiental, además de estimar indicadores de desempeño para el apoyo de políticas, permite identificar a grupos y a colectivos en riesgo. También pueden ser utilizados para predecir ganancias en salud de intervenciones y orientar regulaciones para proteger a la población.

No obstante lo anterior, su mayor utilidad desde el punto de vista epidemiológico podría estar relacionada con el apoyo a la argumentación que desde la salud pública se debe generar para responder a este fenómeno. Con la información actualizada proporcionada en el presente estudio, se podría, a futuro, adelantar ejercicios de análisis de costo-eficiencia, de costo-efectividad, de costo-utilidad y de evaluación de impacto de estrategias, planes, programas y proyectos liderados por instituciones académicas, públicas o privadas.

Un plan de respuesta sectorial que acompañe y se integre a las acciones de prevención y control de la contaminación del aire en el Distrito Capital encuentra argumentos cuantitativos de la problemática en este informe.

7. Aspectos éticos

Según la Resolución 8430 de 1993, se considera esta investigación “sin riesgo”, dado que se consultaron fuentes de información secundarias de medidas agregadas, sin vulnerar la individualidad ni la confidencialidad de personas o la de individuos.

8. Referencias

1. Organización Mundial de la Salud. Informe sobre la situación mundial de las enfermedades no transmisibles 2010. Resumen de Orientación. Ginebra: OMS; 2011.
2. World Health Organization. World Health Organization: 7 million premature deaths annually linked to. Geneva: WHO; 2015.
3. World Health Organization. who.org. [internet]. 2014 [citado 2019 abr. 20. Disponible en: <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2014/air-pollution/en/>]
4. Brauer M, Amann M, Burnett R, Cohen A, Dentener F, Ezzati M, et al. Exposure assessment for estimation of global burden of disease attributable to outdoor air pollution. Environm Sci Technol. 2012;46(2):652-60.
5. Institute for Health Metrics and Evaluation. Seattle, WA; 2017.
6. Colin D, Mathers CS, Doris MF, Chalapati R, Mie Inoue NT, Christina B, et al. Global burden of disease 2000: Version 2 methods and results Paper No 50: WHO Programme on Evidence for Health Policy Discussion; 2002.
7. Murray CJL, Lozano R, Vos T, Naghavi M, Flaxman AD, Michaud C. Disability-adjusted life years (DALYs) for 291 diseases and injuries in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. The Lancet; 2012.
8. Murray C, López A. The Global Burden of Disease. Cambridge; 1996.

9. Departamento Nacional de Planeación de Colombia. Proyección Poblacional por Municipios 2005-2020. [internet]. 2019. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/.poblacion/.20/ProyeccionMunicipios2005_2020.xl
10. Murray CJ. Quantifying the burden of disease; the technical basis for disability-adjusted life years. *Bulletin of the World Health Organization*. 1994;72(3):429-45.
11. Rodríguez-García J, Peñaliza-Quintero RE, Amaya-Lara J. Estimación de la carga global de enfermedad en Colombia 2012: nuevos aspectos metodológicos. *Revista de Salud Pública*; 2017.
12. Pujol M. Nuevas metodologías para evaluar y ajustar datos demográficos. CEPAL; 1985.
13. Pope DP. Risk of low birth weight and still-birth associated with indoor air pollution from solid fuel use in developing countries. *Epidemiol Rev*. 2010;32:70-81.
14. Fuks K, Eeinmayr G, Basagaña X, Gruziova O, Hampel R, Oftedal B. Long-term exposure to ambient air pollution and traffic noise and incident hypertension in seven cohorts of the European Study of cohorts for air pollution effects (ESCAPE). *European Heart Journal*. 2016;413.
15. Rappaport S, Smith M. Epidemiology. Environment and disease risks. *Science*. 2010; 330:460-1.
16. Rappaport S. Implications of the exposome for exposure science. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2011;21:5-9.
17. Manthripragada A, Costello S, Cockburn M, Bronstein J, Ritz B. Paraoxonase 1, agricultural organophosphate exposure, and Parkinson disease. *Epidemiology*. 2010;21:87-94.
18. Ritz B, Manthripragada A, Costello S, Lincoln S, Farrer M, Cockburn M, et al. Dopamine transporter genetic variants and pesticides in Parkinson's disease. *Environmental Health Perspectives*. 2009;117:964-9.
19. Weisel C. Assessing exposure to air toxics relative to asthma. *Environm Health Perspectives*. 2002;110(Suppl 4):527-37.
20. Abrahamsen R, Fell A, Svendsen M, Anderson E, Toren K, Henneberger P, et al. Association of respiratory symptoms and asthma with occupational exposures: findings from a population-based cross-sectional survey in Telemark, Norway. *BMJ Open*. 2017;7:e014018.
21. Turner MC, Krewski D, Diver WR, Pope III CA, Burnett RT, Jerrett M, et al. Ambient air pollution and cancer mortality in the cancer prevention study II. *Environm Health Perspectives*. 2017;25(8).
22. Siza C, Morrison M, Hatch T, Tyler M. Assessment of community awareness and practices concerning indoor air pollutants. *Morbidity and Mortality Weekly Report*. 2018;447-50.
23. Hill LD. Health assessment of future PM2.5 exposures from indoor, outdoor, and second-hand tobacco smoke concentrations under alternative policy pathways in Ulaanbaatar, Mongolia. *PLoS One*. 2017;12(10):e0186834.
24. Morawska L, He CR, Hitchins J, Mengersen K, Gilbert D. Characteristics of particle number and mass concentrations in residential houses in Brisbane, Australia. *Atmos. Environ*. 2013;37:4195e4203.
25. Aristizábal G, et al. Asociación entre la contaminación del aire y la morbilidad por enfermedad respiratoria aguda en menores de 5 años en tres localidades de Bogotá. Bogotá; 2009.
26. Schripp T, Salthammer T, Wientzek S, Wensing M. Chamber studies on nonvented decorative fireplaces using liquid or gelled ethanol fuel. *Environ. Sci. Technol*. 2014; 48(6):3583e3590.
27. Abt E, Suh HH, Allen G, Koutrakis P. Characterization of indoor particle sources: a study conducted in the metropolitan Boston area. *Environ. Health Perspect*. 2000;108:35e44.
28. Dennekamp M, Howarth S, Dick CAJ, Cherie JW, Donaldson K, Seaton A. Ultrafine

particles and nitrogen oxides generated by gas and electric cooking. *Occup. Environ. Med.* 2001;58:511e516.

29. He CR, Morawska LD, Hitchins J, Gilbert D. Contribution from indoor sources to particle number and mass concentrations in residential houses. *Atmos. Environ.* 2004;38:3405e3415.
30. Hussein T, Glytsos T, Ondracek J, Dohanyosova P, Zdimal V, Hameri K, et al. Particle size characterization and emission rates during indoor activities in a house. *Atmos. Environ.* 2006;40:4285-307.
31. Lee CW, Hsu DJ. Measurements of fine and ultrafine particles formation in formation in photocopy centers in Taiwan. *Atmos. Environ.* 2007;41:6598e6609.
32. Ogulei D, Hopke PK, Wallace LA. Analysis of indoor particle size distributions in an occupied townhouse using positive matrix factorization. *Indoor Air.* 2006;16:204e215.
33. Wainman T, Zhang JF, Weschler CJ, Lioy PJ. Ozone and limonene in indoor air: a source of submicron particle exposure. *Environ. Health Perspect.* 2000;108:1139e1145.
34. Wallace L. Indoor sources of ultrafine and accumulation mode particles: size distributions, size-resolved concentrations, and source strengths. *Aerosol Sci. Technol.* 2006;40:348e360.
35. Paalman M, Bekedam H, Hawken L, Nyheim D. A critical review of priority setting in the health sector: The methodology of the 1993 world development report. *Health Policy and Planning.* 1998;13-31.

Alerta por contaminación del aire en Bogotá y enfermedad respiratoria

Samuel David Osorio García⁵

Aumentan los ingresos a las salas de enfermedad respiratoria aguda.

El aumento de las concentraciones de MP fino en el aire de la ciudad se ha acompañado de un mayor número de ingresos de niños menores de 5 años a las salas de enfermedad respiratoria aguda (ERA) de la ciudad, lo cual se ha observado el mismo día o un día después de los incrementos en los niveles de contaminación del aire.

De acuerdo con la Secretaría Distrital de Ambiente⁶, en Bogotá se elevaron las concentraciones de MP de menos de 2,5 μ , entre el 6 y el 17 de marzo de 2019, con predominio en el suroccidente de la ciudad. Estas concentraciones se han mantenido elevadas hasta 10 días después, debido a un aporte de las fuentes y a condiciones meteorológicas extraordinarias: vientos provenientes del nororiente, que arrastran contaminantes al centro del país, y baja velocidad de los vientos en el entorno urbano influyen en la poca dispersión de los contaminantes. Por tal motivo, se expidió la Resolución 00383 de la Alcaldía Mayor de Bogotá, “por la cual se declara alerta amarilla en la ciudad de Bogotá D. C. y alerta naranja en el suroccidente de la ciudad por contaminación atmosférica”; específicamente, para las localidades de Kennedy, Bosa, Tunjuelito, Puente Aranda y Ciudad Bolívar.

⁵ Médico, MsC Salud Pública-Salud Ambiental. Secretaría Distrital de Salud (SDS), Vigilancia Epidemiológica en Salud Ambiental, Bogotá, Colombia.

⁶ Resolución 00383 de 2019, por la cual se declara la Alerta Amarilla por contaminación atmosférica en la ciudad de Bogotá, D. C., y la Alerta Naranja, en el suroccidente de la ciudad, y se toman otras determinaciones.