

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EFECTOS EN LA SALUD RESPIRATORIA EN EL NIÑO

OUTDOOR AIR POLLUTION RESPIRATORY HEALTH EFFECTS IN CHILDREN

DR. CARLOS UBILLA (1), DRA. KARLA YOHANNESSEN (2)

(1) Neumólogo Pediatra. Profesor Asociado Departamento de Pediatría y Cirugía Infantil Norte. Facultad de Medicina, Universidad de Chile. Santiago, Chile.

(2) Kinesióloga, Magister en Salud Pública. Profesor Asistente. Departamento de Pediatría y Cirugía Infantil Norte. Facultad de Medicina, Universidad de Chile. Programa de Salud Ambiental, Instituto de Salud Poblacional, Universidad de Chile. Santiago, Chile

Email: cubilla@med.uchile.cl, karlayohannessen@med.uchile.cl

RESUMEN

La exposición de la población a la contaminación del aire es ubicua e involuntaria y puede ocasionar desde efectos fisiológicos imperceptibles hasta enfermedades y muerte. Los niños son un grupo especialmente vulnerable por la inmadurez del sistema respiratorio e inmune y por las conductas propias de la edad. Los efectos respiratorios en los niños a corto plazo más reportados en la literatura son: aumento de síntomas y consultas de urgencia por causas respiratorias, aumento de exacerbaciones asmáticas y reducción en la función pulmonar. El efecto a largo plazo con evidencia más consistente es el déficit en el crecimiento de la función pulmonar en los niños más expuestos. El efecto de la contaminación en la incidencia de asma, es más controversial. Es esencial que los profesionales de la salud reconozcan los efectos causados por la contaminación e instruyan a los padres para reducir al mínimo la exposición a los contaminantes en los niños.

Palabras clave: Contaminación del aire, efectos respiratorios, asma, niños.

SUMMARY

Exposure to air pollution by the population is ubiquitous and involuntary, and may have outcomes that range from subtle physiological effects to disease and death. Children are a particularly vulnerable group because of the immaturity of their respiratory and immune system, and because of their characteristic behavior. The short-term respiratory effects in children most reported in literature include: increased symptoms and emergency visits for respiratory illness, increased asthma exacerbations, and reduced lung function. The long-term effect with the most robust evidence is impairment in lung function growth in the most exposed children. The effect of pollution on the incidence of asthma is more controversial. It is essential that health professionals recognize the effects caused by air pollution and instruct parents to minimize exposure to contaminants in children.

Key words: Air pollution, respiratory effects, asthma, children.

INTRODUCCIÓN

La exposición a la contaminación atmosférica está presente en todos los lugares, especialmente en los sitios urbanos, y puede afectar a toda la población a lo largo del ciclo vital (1). Múltiples estudios y revisiones sistemáticas han catalogado la contaminación atmosférica como una causa establecida de morbilidad y mortalidad, lo cual ha posibilitado el establecimiento de políticas de calidad del aire dentro de los países. No obstante, gran parte de la población mundial continúa viviendo en zonas con deficiente calidad del aire y debido a los cambios en las tecnologías de combustión, los combustibles y la producción industrial, posiblemente la toxicidad de la contaminación del aire se vea afectada así como la exposición de las personas.

El término “**contaminación atmosférica**” tiene diferentes definiciones, aunque todas referidas a la presencia de sustancias nocivas en la atmósfera en concentraciones que podrían llegar a provocar daño, ya sea a la salud de la población o a diferentes ecosistemas (2,3). Los distintos contaminantes atmosféricos se pueden clasificar en **contaminantes primarios**, que son aquellos emitidos directamente a la atmósfera, por ejemplo el monóxido de carbono (CO); o **contaminantes secundarios**, los cuales se forman en la atmósfera a partir de reacciones químicas de sus precursores, como por ejemplo el ozono (O₃), formado por reacciones de contaminantes primarios: compuestos orgánicos volátiles (COVs) y óxidos de nitrógeno (NOx) (4). Por otro lado, también se puede hacer una diferencia según la fuente de emisión de los contaminantes, ya sean biogénicos o de origen natural (ej: erupción volcánica); o antropogénicos, que corresponden a contaminantes producidos por la intervención humana.

Debido a que la naturaleza de los contaminantes varía enormemente así como su presencia, variabilidad y efectos en la salud, la *Environmental Protection Agency* (EPA) consideró, con fines regulatorios, una división, clasificándolos entre **contaminantes criterio** y **contaminantes no criterio**. Los contaminantes criterio son aquellos que dada su naturaleza y fuentes están presentes en todos los lugares y que razonablemente se puede anticipar que son un peligro para la salud pública y el medio ambiente. Por esta razón se definen estándares de calidad del aire en los países con el objetivo de proteger la salud pública, incluyendo la protección contra efectos adversos a la salud con adecuado margen de seguridad (5,6). La Tabla 1 muestra los contaminantes criterio y sus principales fuentes de emisión.

Las fuentes de emisión de contaminantes, generalmente, se describen como móviles o estacionarias. La principal

fuerza móvil de contaminación del aire es el transporte por carretera, el cual se refiere a todas las emisiones de tráfico vehicular, independiente del tamaño o la finalidad del vehículo y cuyas emisiones se producen muy cerca de los lugares donde la gente vive, trabaja, pasea y viaja. Las fuentes estacionarias, en cambio, se refieren a instalaciones fijas (industrias) que en sus procesos de producción utilizan la quema de diferentes combustibles. También existen otras fuentes, menos frecuentes o intermitentes, como los incendios forestales y la quema de biomasa o basura, así como también fugas desde operaciones industriales. Finalmente, parte de la contaminación del aire también proviene de procesos naturales (ej: erupciones volcánicas, tormentas de polvo, entre otras) (5, 6).

La contaminación del aire está constituida por una mezcla compleja de contaminantes debido a las numerosas fuentes de emisión de éstos, lo cual hace difícil el estudio de sus efectos en salud. Por otro lado, una vez en la atmósfera, los contaminantes emitidos por las diferentes fuentes se transforman y son afectados por factores ambientales como la temperatura y la humedad. Estos procesos modifican la composición y por lo tanto, probablemente, la toxicidad o propiedades biológicas de la mezcla (1). Por ejemplo, al estudiar las consultas diarias de urgencia por enfermedades respiratorias, tanto el O₃ como el material particulado (MP) parecen afectar en mayor medida cuando ambos contaminantes están presentes.

Como la salud es el resultado de una amplia gama de factores exógenos y endógenos, que interactúan de manera compleja, el tipo y extensión del efecto en la salud relacionado con la contaminación del aire podrá depender de varios factores: características físicas y químicas de los contaminantes, estado anatómico o fisiológico de la persona, su patrón de respiración o nivel de actividad, entre otros. Además, los contaminantes pueden entrar al sistema respiratorio a diferentes niveles: las partículas gruesas afectan principalmente a las vías respiratorias superiores, mientras que las partículas finas pueden llegar a las vías respiratorias más pequeñas y alvéolos, aunque también se depositan en la nariz. La toxicidad de las partículas también dependerá de los diversos productos químicos adsorbidos en su superficie. Los gases solubles en agua, como el dióxido de azufre (SO₂), reaccionan con la capa mucosa de las vías aéreas superiores mientras que los gases menos solubles, como el dióxido de nitrógeno (NO₂), tienen más posibilidad de llegar a los alvéolos. No obstante, la mayor parte de los procesos por los cuales la mezcla de contaminantes afecta a la salud aún no se

TABLA 1. PRINCIPALES FUENTES DE LOS CONTAMINANTES CRITERIO

CONTAMINANTE	FUENTE
Material Particulado (MP)	MP grueso (entre 2.5 y 10 micras): proviene de la suspensión o resuspensión de polvo, tierra, u otros materiales de la carretera, la agricultura, minería, tormentas de viento o volcanes (incluyen sales marinas, polen, moho, esporas y otros materiales biológicos). MP fino (< 2.5 micras): proviene de emisiones de procesos de combustión, tales como el uso de vehículos de gasolina y diesel, la combustión de combustibles para generación de energía y procesos industriales.
Ozono (O₃)	Aunque no es emitido directamente, el O ₃ se forma en la atmósfera por reacciones entre óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles (COVs) en presencia de calor y luz solar.
Dióxido de Nitrógeno (NO₂)	Se emite principalmente como resultado de la combustión de alta temperatura (ej.: empresas eléctricas, calderas industriales y vehículos). El tráfico vehicular es una fuente dominante de NO ₂ .
Plomo (Pb)	La principal fuente de emisión de plomo ha sido históricamente los vehículos de motor y las fuentes industriales. En países donde se prohíbe la gasolina con plomo, los mayores niveles de plomo en el aire provienen de fundiciones de plomo, incineradoras de residuos y fábricas de baterías de plomo-ácido.
Monóxido de Carbono (CO)	Producto de la combustión incompleta del gas natural, carbón o madera. El tráfico vehicular es una fuente importante de CO.
Dióxido de Azufre (SO₂)	Emitido por la quema de combustible (carbón con alto contenido de azufre y petróleo). Las empresas eléctricas, procesos industriales y la extracción de metales a partir de minerales son fuentes de SO ₂ .

conocen completamente, aunque varios contaminantes individuales se han estudiado ampliamente (1, 5).

SUSCEPTIBILIDAD EN LOS NIÑOS A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

El pulmón fetal en desarrollo, así como el pulmón infantil, es más susceptible a las lesiones pulmonares por los agentes tóxicos que incluyen los contaminantes del aire en una dosis inferior a la dosis sin efecto para los adultos. Esto ha llevado a la definición de puntos críticos durante el desarrollo pulmonar prenatal y posnatal, cuando esta susceptibilidad es más alta que en otras ocasiones. Por esta razón, la edad en el momento de la exposición a los contaminantes inhalados juega un papel importante en el patrón de lesión y reparación (7-10).

Los factores determinantes de la mayor susceptibilidad de los niños a la contaminación del aire comienzan con las exposiciones desde la concepción y se extienden a través

de los años hasta la adolescencia e incluyen: el proceso continuo de crecimiento y desarrollo del aparato respiratorio, el sistema inmune inmaduro, la mayor vulnerabilidad a los efectos del estrés oxidativo, las altas tasas de infección con patógenos respiratorios, y los patrones de actividad que aumentan la exposición a la contaminación del aire y, por lo tanto, la dosis del contaminante en el pulmón (5,7,11).

Se ha descrito que durante el proceso continuo de crecimiento y desarrollo del aparato respiratorio, existen períodos específicos durante los cuales las exposiciones tóxicas pueden interrumpir el normal desarrollo, lo que podría causar daños a largo plazo. El sistema inmune inmaduro implica un sistema de detoxificación menos desarrollado, que dificulta el metabolismo de los componentes peligrosos en menos peligrosos. Los patrones de exposición y de conducta son importantes en los niños debido a que ellos son más activos y realizan más actividades al aire libre. Además, como respiran más cerca del suelo, están más expuestos a los contaminantes que

tienden a caer al suelo (ej: O₃). Su respiración más rápida y mayor tasa metabólica que los adultos aumenta su dosis de exposición, lo cual se incrementa aún más si la respiración es bucal (ej: en el ejercicio).

Existen, además, subgrupos de niños con mayor susceptibilidad debido a la presencia de enfermedades crónicas, como el asma. También hay que considerar que existen factores genéticos involucrados que confieren una mayor susceptibilidad (10). Adicionalmente, el daño pulmonar durante la infancia tiene consecuencias a largo plazo, ya que puede reducir la capacidad funcional máxima alcanzada, reduciendo de esta forma la reserva funcional y aumentando la susceptibilidad en el adulto.

Todos los aspectos anteriormente descritos indican que la evidencia sobre los efectos de las exposiciones ambientales proveniente de estudios en adultos no debiera ser extrapolada hacia los niños, en especial en el contexto de regulaciones de calidad del aire cuyo objetivo es proteger la salud de la población, incluyendo la población susceptible (8).

MECANISMOS DE DAÑO EN EL APARATO RESPIRATORIO

Los contaminantes del aire pueden alterar los mecanismos de defensa propios del sistema respiratorio. La capa de mucus y células ciliadas son una importante primera línea de defensa contra los contaminantes que llegan a la vía aérea, sin embargo, éstos pueden afectar la composición o la producción de mucus y alterar la función del epitelio ciliar. Además, los contaminantes pueden afectar las células sensoriales que terminan en el epitelio a lo largo de las vías respiratorias, afectando el músculo liso, desencadenando hiperreactividad de la vía aérea y aumentando la producción de mucus que lleva a la aparición de tos o secreciones (8). En las vías respiratorias inferiores, los contaminantes del aire pueden afectar a la línea secundaria de defensa, que incluye los macrófagos alveolares y la capa celular responsable del intercambio de gases. Si la inflamación es crónica, puede resultar en el engrosamiento de la barrera alvéolo-capilar.

Los contaminantes presentes en el aire están influenciados por los compuestos adsorbidos en su superficie, muchos de éstos son fuertes oxidantes que pueden inducir el estrés oxidativo, especialmente en individuos más susceptibles debido a su edad o variaciones genéticas en las defensas antioxidantes. Los niños son más vulnerables a los efectos del estrés oxidativo porque sus sistemas de defensa antioxidante son inmaduros (8). Por ejemplo,

el O₃ es un oxidante que tiene un efecto bien definido en la causa de exacerbaciones de asma. La inhalación aguda daña el epitelio de la vía aérea proximal y distal, iniciando paulatinamente una cadena de respuestas inflamatorias y funcionales (7). También se ha estudiado el papel de los contaminantes del aire relacionados con el tráfico vehicular, específicamente las partículas de escape diesel (PEDs), en la exacerbación de la inflamación de las vías respiratorias induciendo la sensibilización alérgica. En un estudio experimental en seres humanos, donde se expuso de manera simultánea a PEDs con alérgenos en el tracto respiratorio superior, aumentaron notablemente los niveles de IgE específicos para el alérgeno. Además, se ha demostrado que PEDs también activan directamente a los mastocitos y basófilos a través de mediadores inflamatorios independientes de IgE (7).

Los contaminantes químicos del aire se encuentran a menudo en el mismo entorno que los agentes infecciosos o sus componentes, y por lo tanto es muy probable que se produzca cierta interacción. Por ejemplo, se ha demostrado que PEDs aumentan la actividad pro-inflamatoria de los componentes microbianos y es posible que esto tenga consecuencias si un niño entra en contacto con un agente infeccioso al mismo tiempo. Lo anterior, podría explicar en parte por qué los niños criados en ambientes urbanos, en general, tienen una mayor incidencia de infecciones respiratorias que los niños criados en el campo (7).

La interacción de los contaminantes del aire con el sistema respiratorio representa un buen ejemplo de la interacción entre los genes y el medio ambiente en un sistema complejo. La variación polimórfica en los genes de susceptibilidad implicados en la protección contra las lesiones, la generación de una respuesta frente a los contaminantes y la conducción y reparación de tejidos, explican parte de la variabilidad en la susceptibilidad individual frente a los efectos adversos en salud de la exposición a los contaminantes (7,8).

EFFECTOS EN SALUD DEL SISTEMA RESPIRATORIO DEL NIÑO

El potencial efecto en el aparato respiratorio va a depender de la concentración de los distintos contaminantes, de la duración de la exposición y de la susceptibilidad del individuo.

Para entender los efectos de la contaminación atmosférica es necesario identificar aquellos que son considerados "adversos" y diferenciarlos de los "no adversos". Considerando esto, en el año 1985 la *American Thoracic*

Society (ATS) definió efecto adverso en salud respiratoria como "...cambios médicos significativos, fisiológicos o patológicos generalmente evidenciados por uno o más de los siguientes aspectos:

- (i) Interferencia con la actividad normal del afectado
- (ii) Enfermedades respiratorias episódicas
- (iii) Enfermedad discapacitante
- (iv) Daño permanente respiratorio
- (v) Disfunción respiratoria progresiva

A esta definición, en el año 1999 se agregaron nuevos aspectos que incluyen la presencia de biomarcadores, disminución de la calidad de vida, impacto fisiológico, aparición de síntomas relacionados a la exposición, y los cambios en la distribución del factor de riesgo (11).

Además, la ATS caracteriza el espectro de respuestas a la contaminación del aire como una pirámide, donde la base representa una mayor cantidad de población expuesta (personas sanas o menos sensibles) y que presenta las consecuencias más comunes, tales como efectos subclínicos y pequeños cambios en funciones fisiológicas (ej, presencia de algunos marcadores en sangre). Luego, a medida que se sube en la pirámide, comienzan a aparecer efectos más severos tales como síntomas, uso de medicamentos, hospitalizaciones y finalmente la muerte, aunque el número de personas afectadas por los efectos más extremos es mucho más pequeño que los afectados por resultados menos graves. Es decir, la frecuencia de aparición del efecto en salud está inversamente relacionado con la severidad (7, 11).

En los niños existe un amplio rango de problemas respiratorios originados por la contaminación atmosférica. Los estudios los dividen en efectos agudos o de corto plazo y efectos crónicos o de largo plazo. Ha sido difícil aislar la magnitud del efecto de cada componente, pues éstos interactúan entre sí y algunos pueden actuar de manera sinérgica potenciando o debilitando los efectos observados. Los efectos de corto plazo están mejor establecidos que los de largo plazo.

Dentro de los efectos agudos, se ha demostrado inflamación de la vía aérea (12), hiperreactividad bronquial, síntomas respiratorios como irritación de nariz y garganta, consultas a urgencia, hospitalizaciones y alteraciones transitorias de la función pulmonar. Los niños en edad escolar o preescolar que están expuestos a contaminación, tienen más tos y más episodios de bronquitis aguda que los no expuestos. Un gran estudio llevado a cabo en Estados Unidos que investigó la relación entre la mortalidad infantil por causa específica y la exposición a MP y

gases contaminantes que incluyó 3.5 millones de nacimientos, encontró que la exposición a MP es un factor de riesgo para mortalidad postneonatal por causa respiratoria y sugirió que el O₃ está asociado con síndrome de muerte súbita (13). Los hallazgos de este estudio son recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para estimación de impactos en salud de la contaminación atmosférica (14).

Asma y contaminación atmosférica: La relación entre asma y contaminación del aire ha sido muy estudiada. En niños con diagnóstico previo de asma hay bastante acuerdo que la contaminación atmosférica, especialmente la relacionada con el tráfico vehicular, puede desencadenar o exacerbar los síntomas de asma (7,15). También hay suficiente evidencia para inferir causalidad entre aumento de hospitalizaciones o visitas a urgencia por asma y los cambios diarios de la contaminación (16).

Lo que está en discusión o hay evidencia sugestiva, es una asociación entre incidencia de asma y contaminación atmosférica (17-19). El aumento sostenido de la prevalencia del asma en las últimas décadas ha llevado a plantear como causa a factores ambientales, ya que no es plausible una explicación debida a cambios genéticos en tan corto plazo. Dentro de los factores ambientales estudiados están la dieta, el tabaco, la exposición alérgica y la contaminación ambiental. La relación entre contaminación atmosférica y mayor incidencia de asma es biológicamente plausible (10). Se han propuesto una serie de mecanismos para explicar cómo la contaminación del aire puede contribuir a casos nuevos de asma. Algunos de los mecanismos propuestos son: daño por estrés oxidativo, remodelación de la pared de la vía aérea, inflamación, y aumento de la sensibilización a aéroalérgenos. Este último aspecto se explicaría por qué las partículas pueden actuar como transportadores de alérgenos a zonas de la vía aérea donde habitualmente no llegan, el aire contaminado puede aumentar la permeabilidad del epitelio con una mayor exposición de las células involucradas en la respuesta inmunológica a alérgenos, y también las partículas pueden actuar como adyuvantes (10). Hay que dejar en claro que si bien existe una plausibilidad biológica, demostrar esta asociación en estudios epidemiológicos es difícil. Algunos estudios muestran una asociación positiva débil entre contaminación relacionada con el tráfico y aumento de la incidencia de asma infantil. En un revisión sistemática se investigó específicamente la aparición de asma en niños y factores ambientales (17), encontrándose una asociación positiva con MP2.5 y débil con NO₂. La asociación con ozono ha sido contradictoria.

FUNCIÓN PULMONAR Y CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Otro aspecto bastante estudiado es el efecto de los contaminantes del aire sobre la función pulmonar de los niños. Vivir en áreas con alta contaminación atmosférica se asocia tanto con caídas de la función pulmonar como con un menor crecimiento de ésta. Los niños como se ha mencionado, son especialmente susceptibles y se ha demostrado que los niños que pasan largo tiempo al aire libre son los que presentan mayores efectos tanto a corto como largo plazo.

Los efectos de corto plazo de la exposición a la contaminación atmosférica sobre la función pulmonar, principalmente se han estudiado a través de estudios de panel. Una revisión sistemática encontró que la mayoría de estos estudios sugirieron efectos adversos de la exposición a la contaminación atmosférica del mismo día y de hasta dos días de rezago sobre la función pulmonar de los niños: el MP y el NO₂ mostraron resultados significativos, mientras que los efectos de SO₂ no fueron consistentes. Algunos estudios indicaron que el O₃ interactuó con la temperatura, y a veces parecía ser un factor protector para la función pulmonar. Las asociaciones negativas entre los contaminantes del aire y la función pulmonar fueron mayores en los niños asmáticos que en los sujetos sanos (20). La mayor parte de los estudios que han evaluado efectos agudos en función respiratoria se han centrado en el MP y generalmente la composición de las partículas se describe según el lugar donde se han realizado los estudios, principalmente MP proveniente del tráfico vehicular. En Chile, un estudio de panel realizado en la ciudad de Chañaral, con MP proveniente principalmente de polvo de relaves mineros encontró una asociación negativa entre la variación temporal de MP2.5 y cambios en la función pulmonar, específicamente en capacidad vital forzada (CVF) (21).

Los efectos de largo plazo de la exposición a la contaminación del aire sobre la función pulmonar, se estudian a través de estudios de cohortes. Un estudio que investigó la asociación entre estimaciones individuales de la exposición residencial de largo plazo a NO₂ y MP2.5 y la función pulmonar en cinco cohortes europeas, encontró que la exposición de largo plazo puede resultar en un déficit de la función pulmonar en los niños en edad escolar, especialmente asociado a un menor volumen espiratorio forzado en el primer segundo (VEF1) (22). A pesar de que los cambios estimados en los parámetros de función pulmonar fueron relativamente pequeños, los resultados sugieren la posibilidad de que la exposición puede aumentar la prevalencia de la población con disminución clínicamente relevante de la función pulmonar.

Otro importante estudio, en el que se siguió durante algunos años a varias cohortes con un total de 212 niños de cinco comunidades en California, observó que la mejora de la calidad del aire a través del tiempo, producto de medidas regulatorias aplicadas, se asoció con un mayor crecimiento de la función pulmonar tanto en niños asmáticos como no asmáticos. Esto fue especialmente significativo con los cambios en las concentraciones de NO₂, MP2.5 y MP10 (23). Un tercer estudio de cohorte destacado, realizado en México, evaluó la asociación entre la exposición de largo plazo a la contaminación del aire y el crecimiento de la función pulmonar en escolares, encontrando que la exposición a largo plazo a O₃, MP10 y NO₂ se asoció con un déficit en el crecimiento de la CVF y VEF1 en los escolares estudiados (24).

Por otro lado, también se ha encontrado que la exposición materna a la contaminación se ha asociado de manera consistente con déficits en la función pulmonar en la infancia (8,25).

INFECCIONES RESPIRATORIAS Y CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Se ha visto en forma experimental que la exposición a contaminantes como MP y NO₂ alteran distintas funciones de la inmunidad innata (26).

En un estudio europeo (ESCAPE Project) cuyo objetivo es investigar el efecto a largo plazo de la contaminación atmosférica, uno de los aspectos a evaluar fue el efecto de la contaminación sobre las infecciones. El estudio incluyó 10 cohortes desde el nacimiento en Europa, encontrando evidencia consistente junto con una asociación positiva fuerte entre MP10 y neumonía en niños y alguna evidencia de asociación con otitis media (27). Otro estudio de esta misma iniciativa investigó la asociación entre la exposición a la contaminación del aire y la sensibilización alérgica a alérgenos comunes en un seguimiento prospectivo de niños durante los primeros 10 años de vida. No obstante, no se encontró una asociación clara entre la exposición a la contaminación del aire y el desarrollo de la sensibilización alérgica en niños de hasta 10 años de edad (28).

CONCLUSIÓN

Los efectos en la salud respiratoria, agudos y crónicos relacionados con la contaminación del aire, son cada vez más demostrados por la evidencia científica. Estos efectos son relevantes en los niños, quienes están proporcionalmente más expuestos que los adultos y tienen condiciones biológicas que los hacen más susceptibles. Es fundamental una

adecuada cuantificación de las exposiciones ambientales junto con el establecimiento de normativas de calidad del aire basadas en la evidencia científica actualizada. El equipo

de salud debe estar capacitado para reconocer los problemas de salud asociados a la contaminación del aire y aconsejar a las familias a reducir las exposiciones a los contaminantes.

Los autores declaran no tener conflictos de interés, en relación a este artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. European Respiratory Society. *Air quality and health*. 2010.
2. U.S. Environmental Protection Agency. *Terms of Environment: Glossary, Abbreviations and Acronyms 2007* [Available from: <https://www.epa.gov/nscep>].
3. World Health Organization. *Air Quality Guidelines, Global Update 2005*. 2005.
4. U.S. Environmental Protection Agency. *Integrated Science Assessment for Ozone and Related Photochemical Oxidants*. 2013.
5. Frumkin H. *Environmental Health, From Global to Local*. 2^o ed: Jossey-Bass; 2010.
6. Holgate S, Samet J, Koren H, Maynard R. *Air Pollution and Health: Academic Press*; 1999.
7. World Health Organization. *Effects of air pollution on children's health and development*. 2005.
8. Goldizen FC, Sly PD, Knibbs LD. *Respiratory effects of air pollution on children*. *Pediatr Pulmonol*. 2016;51(1):94-108.
9. Liu S, Krewski D, Shi Y, Chen Y, Burnett RT. *Association between maternal exposure to ambient air pollutants during pregnancy and fetal growth restriction*. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2007;17(5):426-32.
10. Gowers AM, Cullinan P, Ayres JG, Anderson HR, Strachan DP, Holgate ST, et al. *Does outdoor air pollution induce new cases of asthma? Biological plausibility and evidence; a review*. *Respirology*. 2012;17(6):887-98.
11. American Thoracic Society. *What constitutes an adverse health effect of air pollution? Official statement of the American Thoracic Society*. *Am J Respir Crit Care Med*. 2000;161(2 Pt 1):665-73.
12. Chen BY, Chan CC, Lee CT, Cheng TJ, Huang WC, Zhou JC, et al. *The association of ambient air pollution with airway inflammation in schoolchildren*. *Am J Epidemiol*. 2012;175(8):764-74.
13. Woodruff TJ, Darrow LA, Parker JD. *Air pollution and postneonatal infant mortality in the United States, 1999-2002*. *Environ Health Perspect*. 2008;116(1):110-5.
14. World Health Organization. *Health risks of air pollution in Europe-HRAPIE project. Recommendations for concentration-response functions for cost-benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide*. 2013.
15. Tzivian L. *Outdoor air pollution and asthma in children*. *J Asthma*. 2011;48(5):470-81.
16. D'Amato G, Holgate ST, Pawankar R, Ledford DK, Cecchi L, Al-Ahmad M, et al. *Meteorological conditions, climate change, new emerging factors, and asthma and related allergic disorders. A statement of the World Allergy Organization*. *World Allergy Organ J*. 2015;8(1):25.
17. Dick S, Friend A, Dynes K, AlKandari F, Doust E, Cowie H, et al. *A systematic review of associations between environmental exposures and development of asthma in children aged up to 9 years*. *BMJ Open*. 2014;4(11):e006554.
18. Selgrade MK, Lemanske RF, Gilmour MI, Neas LM, Ward MD, Henneberger PK, et al. *Induction of asthma and the environment: what we know and need to know*. *Environ Health Perspect*. 2006;114(4):615-9.
19. Gilmour MI, Jaakkola MS, London SJ, Nel AE, Rogers CA. *How exposure to environmental tobacco smoke, outdoor air pollutants, and increased pollen burdens influences the incidence of asthma*. *Environ Health Perspect*. 2006;114(4):627-33.
20. Li S, Williams G, Jalaludin B, Peter B. *Panel Studies of Air Pollution on Children's Lung Function and Respiratory Symptoms: A Literature Review*. *Journal of Asthma*. 2012;49(9):895-910.
21. Yohannessen V. K, Alvarado O. S, Mesías M. S, Klarián V. J, Silva Z. C, Vidal M. D, et al. *Exposure to Fine Particles by Mine Tailing and Lung Function Effects in a Panel of Schoolchildren, Chañaral, Chile*. *Journal of Environmental Protection*. 2015;6(2):118-28.
22. Gehring U, Gruzieva O, Agius RM, Beelen R, Custovic A, Cyrys J, et al. *Air pollution exposure and lung function in children: the ESCAPE project*. *Environ Health Perspect*. 2013;121(11-12):1357-64.
23. Gauderman WJ, Urman R, Avol E, Berhane K, McConnell R, Rappaport E, et al. *Association of improved air quality with lung development in children*. *N Engl J Med*. 2015;372(10):905-13.
24. Rojas-Martinez R, Perez-Padilla R, Olaiz-Fernandez G, Mendoza-Alvarado L, Moreno-Macias H, Fortoul T, et al. *Lung function growth in children with long-term exposure to air pollutants in Mexico City*. *Am J Respir Crit Care Med*.

2007;176(4):377-84.

25. Morales E, Garcia-Esteban R, de la Cruz OA, Basterrechea M, Lertxundi A, de Dicastillo MD, et al. Intrauterine and early postnatal exposure to outdoor air pollution and lung function at preschool age. *Thorax*. 2015;70(1):64-73.
26. Chauhan AJ, Johnston SL. Air pollution and infection in respiratory illness. *Br Med Bull*. 2003;68:95-112.
27. MacIntyre EA, Gehring U, Mölter A, Fuertes E, Klümper C, Krämer U, et al. Air pollution and respiratory infections during early childhood: an analysis of 10 European birth cohorts within the ESCAPE Project. *Environ Health Perspect*. 2014;122(1):107-13.
28. Gruzieva O, Gehring U, Aalberse R, Agius R, Beelen R, Behrendt H, et al. Meta-analysis of air pollution exposure association with allergic sensitization in European birth cohorts. *J Allergy Clin Immunol*. 2014;133(3):767-76.e7.