



Exposición a contaminantes provenientes de termoeléctricas a carbón y salud infantil: ¿Cuál es la evidencia internacional y nacional?

Exposure to contaminants from coal-fired thermoelectric plants and children's health: What is the international and national evidence?

Sandra Cortés A.^{a,b,c,f}, Karla Yohannessen V.^{a,c,d}, Lidya Tellerías C.^a, Ericka Ahumada P.^{a,b}

^aComité Salud Ambiental Infantil, Sociedad Chilena de Pediatría.

^bFacultad de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile.

^cPrograma de Salud Ambiental, Escuela de Salud Pública, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

^dDepartamento de Pediatría y Cirugía Infantil, Facultad de Medicina, Universidad de Chile

^eAdvanced Center for Chronic Diseases (ACCDIS).

^fCentro de Desarrollo Sostenible (CEDEUS).

Recibido: 23 de mayo de 2018; Aceptado: 19 de noviembre de 2018

Resumen

Las centrales termoeléctricas (CTE) a carbón representan un riesgo para la salud de las comunidades expuestas. Se realizó una revisión de la literatura científica nacional e internacional enfocada en los efectos en salud de niños y la exposición a emisiones al aire provenientes de CTE a carbón. Se incluyeron 21 artículos para su revisión en texto completo, donde se midieron efectos en salud infantil relacionados a presencia de biomarcadores de exposición y efecto, daños perinatales, neuroconductuales y respiratorios principalmente. La exposición a emisiones de CTE a carbón en el embarazo se asoció a niños con bajo peso y muy bajo peso al nacer, menor talla, menor diámetro de Circunferencia del Cráneo (CC) y prematuridad; el diámetro de CC aumentó en recién nacidos después del cierre de CTE. Se encontraron menor coeficiente de desarrollo (CD) y coeficiente intelectual (CI) en niños expuestos a emisiones de CTE a carbón comparados con no expuestos; CD aumentó cuando la central fue cerrada. Por otro lado, vivir en zonas con fuentes de emisión de mercurio (asociadas a CTE y plantas de cemento que funcionan con carbón) se asoció con mayor riesgo de autismo. En salud respiratoria, los artículos fueron consistentes en reportar menor función pulmonar en niños residentes en zonas expuestas a fuentes de combustión de carbón comparados con grupos de niños no expuestos. Es muy necesario abrir el debate en Chile sobre los riesgos controlables a los que se enfrenta la población infantil a consecuencia de plantas generadoras de energía instaladas en Chile.

Palabras clave:
Termoeléctricas;
Carbón;
Salud Infantil;
Exposición

Correspondencia:
Karla Yohannessen V.
karlayohannessen@med.uchile.cl

Como citar este artículo: Rev Chil Pediatr 2019;90(1):102-114. DOI: 10.32641/rchped.v90i1.748

Abstract

Coal-fired power plants (CFPP) represent a health risk to the exposed communities. A review of national and international scientific literature was made focused on the health effects on children and exposure to air emissions from CFPP. Twenty-one articles were included for full-text review, where effects on child health mainly related to the biomarkers presence of exposure and effect, perinatal, neurobehavioral and respiratory damages were measured. Exposure to CFPP emissions in pregnancy was associated with low birth weight and very low birth weight, shorter height, smaller head circumference (HC) diameter, and prematurity; the HC diameter increased in newborns after the CFPP closure. Lower coefficient of development (CD) and intelligence quotient (IQ) were found in children exposed to CFPP emissions compared with unexposed ones; CD increased when the plant was closed. On the other hand, living in areas with mercury emission sources (associated with CFPP and cement plants that work with coal) was associated with an increased risk of autism. In respiratory health, the articles were consistent with reporting lower pulmonary function in children living in areas exposed to coal combustion sources compared with groups of unexposed children. There is a great need to open the debate in Chile on the controllable risks faced by the child population as a result of power generation plants located in Chile.

Keywords:

Thermoelectric Power Plants;
Coal;
Child Health;
Exposure

Introducción

Una central termoeléctrica (CTE) es una instalación empleada en la generación de electricidad a partir de la energía liberada en forma de calor, mediante la combustión de combustibles fósiles como petróleo, gas natural o carbón. Las CTE, basadas en el uso de carbón representan un riesgo a la salud en comunidades expuestas; esos riesgos se incrementan si las tecnologías son deficientes en el control de emisiones y las poblaciones receptoras muestran condiciones de vulnerabilidad como pobreza, escaso acceso a salud y la presencia de grupos susceptibles como niños, embarazadas y adultos mayores.

Los principales contaminantes emitidos a partir de los procesos de una CTE son material particulado (MP), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de carbono (CO₂) y metales pesados como el mercurio (Hg); adicionalmente, las emisiones de NO₂ y SO₂ son precursores en la atmósfera de ácido nítrico y sulfúrico¹.

Los contaminantes del carbón afectan los principales órganos corporales y contribuyen en cuatro de las cinco principales causas de mortalidad en Estados Unidos: enfermedades cardíacas, cáncer, accidentes cerebro-vasculares y enfermedades crónicas respiratorias. En cada paso del ciclo de vida del carbón –extracción, transporte, lavado, combustión y desecho de residuos postcombustión– se producen emisiones que pueden influir en la salud de las personas. Se ha reportado que interfiere con el desarrollo pulmonar, incrementa el riesgo de infarto y afecta la capacidad intelectual, entre otros efectos².

En Chile existe poca evidencia de daños en salud poblacional a pesar de que aún existen muchas insta-

laciones de CTE a carbón. La evidencia internacional muestra que los riesgos asociados a este tipo de fuentes son altos y con impactos a lo largo de todo el ciclo vital especialmente en niños menores de 15 años y embarazadas.

El objetivo de este estudio fue realizar una revisión de la literatura científica nacional e internacional que reporte efectos en salud en población menor de 18 años, asociados a la exposición a emisiones provenientes de CTE a carbón.

Método

La búsqueda de publicaciones se realizó utilizando la base de datos bibliográficos electrónicos PubMed. Para la estrategia de búsqueda se consideró: exposición a contaminantes provenientes de CTE a carbón, efectos en salud de población general y menores de 18 años.

Criterios de inclusión y exclusión de los estudios

Se incluyeron todo tipo de estudios epidemiológicos que contemplaran la medición de exposición de contaminantes generados por CTE a carbón y efectos en salud en población general y en menores de 18 años de edad, sin límite de fecha de publicación y publicados en idioma inglés, español o portugués.

Fueron excluidos los estudios relacionados con exposiciones por combustión de carbón doméstica u otra fuente de emisión y publicaciones sin acceso a texto completo desde la Biblioteca UC (www.sibuc.cl).

Análisis crítico de los estudios

Los títulos identificados en la búsqueda fueron revisados de forma independiente por 2 de las autoras,

quienes seleccionaron citas relacionadas al objetivo de la revisión, descartando aquellas no asociadas al objetivo del estudio. Posteriormente, todas las autoras de forma independiente realizaron la revisión de los resúmenes para verificar su pertinencia con el objetivo y el cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión. Cada autora completó esta evaluación en una planilla *ad hoc* y luego éstas fueron comparadas de forma cruzada para determinar los resúmenes elegibles para la revisión; cualquier discrepancia se resolvió mediante consenso. Después de esta primera etapa de selección, se accedió al texto completo de todos los artículos seleccionados para confirmar su elegibilidad y extraer la información pertinente.

Se elaboró una segunda planilla para realizar la extracción y síntesis de los resultados que incluyó información sobre la identificación de la publicación, método, población estudiada, definición de exposición y desenlace, principales resultados y limitaciones del estudio.

Resultados

La figura 1 muestra el flujo de las publicaciones en la búsqueda y selección de artículos que permitieron responder al objetivo de esta revisión. Se destaca el es-

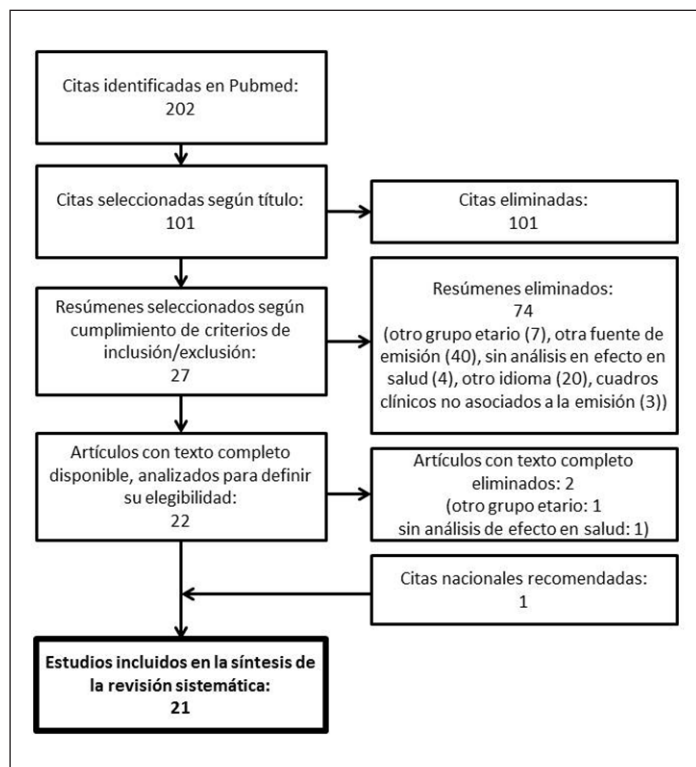


Figura 1. Flujo de la búsqueda y artículos incluidos en la revisión.

caso número de publicaciones científicas encontradas sobre esta temática. Por otro lado, una fracción importante de artículos fue excluido por no abordar el objetivo del estudio (101/202, 50%) o no cumplir los criterios de inclusión o exclusión (74/202, 36,6%).

La tabla 1 muestra los artículos incluidos en la revisión con sus principales características y resultados. Se identificaron 4 aspectos asociados al daño en salud infantil: biomarcadores de exposición o efecto, efectos perinatales, desarrollo neurocognitivo y salud respiratoria.

Se presentan a continuación los principales hallazgos de la literatura.

Biomarcadores

Los 5 estudios analizados fueron consistentes en el reporte de una mayor presencia de biomarcadores de exposición y de efecto temprano en las zonas expuestas cercanas a CTE con combustión a carbón, en comparación con zonas no expuestas.

Estudios de cohorte en los que se evaluaron mujeres no fumadoras con residencia dentro de 2,5 km de una CTE a carbón y sus recién nacidos, evaluados en el año 2002 y 2005, compararon biomarcadores moleculares de exposición y de efecto preclínico en sangre de cordón umbilical en relación a varios desenlaces del recién nacido (peso, talla, circunferencia craneana (CC), neurodesarrollo y Coeficiente Intelectual (CI)), antes y después del cierre de operaciones de una CTE. La cohorte de niños nacidos 2 años después del cierre de la planta mostró: aumento en la CC, reducción en el nivel de aductos de ADN y en los niveles sanguíneos y ambientales de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP), concentraciones más altas de proteína BDNF madura (mBDNF) y puntuaciones más altas del Coeficiente de Desarrollo (CD)³⁻⁷.

Estudios transversales evaluaron los niveles urinarios de metales pesados y 1-hidroxipireno (1-OHP) como biomarcadores de exposición, y 8-OHdG, HNE-MA, 8-isoPGF2 α y 8-NO2Gua como biomarcadores de efecto temprano en niños de 9 a 15 años residentes en la cercanía de refinerías de petróleo y CTE a carbón. Se reportó que aquellos con residencia más cercana, tuvieron concentraciones ambientales elevadas de vanadio e HAP, altos niveles urinarios de 1-OHP y metales pesados y concentraciones más altas de los biomarcadores de estrés oxidativo en orina, en comparación con los sujetos de baja exposición⁸.

Otro estudio realizado en China con niños entre 1 a 13 años, reportó que niños que viven en comunidades de alta exposición tuvieron concentraciones urinarias de 1-OHP más altas que aquellos de comunidades de baja exposición, resultados consistentes al ajustar por edad, sexo, humo de tabaco ambiental, dieta y exposición al tráfico⁹.

Tabla 1. Artículos incluidos en la revisión con sus principales características y resultados

Primer autor, año, país	Diseño; período	Objetivo estudio	Tamaño muestral	Exposición	Efecto principal	Resultados principales
Yang M., 2017, EEUU	Transversal; 1990-2006	Estimar impacto de exposición prenatal a emisiones de CTE sobre peso al nacer	252.719 registros de nacidos vivos entre 1990 y 2006	Concentraciones de SO ₂ y MP _{2.5} diarios según distancia con CTE (hasta 20 millas) y dirección del viento	Bajo peso al nacer-BPN (< 2500 g), muy bajo peso al nacer-MBPN (< 1.500 g)	Nacidos de madres que viven 20 a 30 millas a sotavento de la CTE tienen 6,50% y 17,12% más riesgo de BPN y MBPN (p < 0,01) Para BPN, exposición significativa en el último mes de embarazo, y para MBPN para el último y penúltimo mes de embarazo El ↑ de 1.000 toneladas de emisiones mensuales de SO ₂ (aprox 4% de la emisiones anual), en contra del viento, durante el final del embarazo ↑ el riesgo de BPN en 2,44%
Chen CH., 2017, Taiwan	Cohorte; 2009-2012	Identificar los cambios metabólicos que vinculan la exposición a tóxicos aéreos industriales con biomarcadores de estrés oxidativo	110 niños (9-15 años) residencia próxima a CTE. 2 grupos, según concentración de biomarcadores de exposición	Distancia desde hogares al principal punto de emisión de refineras de petróleo y CTE de carbón. Estimación de exposición externa a metales pesados y HAP	Niveles urinarios de metales pesados (V, Cr, Ni, Cu, As, Sr, Cd, Hg, Tl y Pb) y 1-OHP. Biomarcadores de estrés oxidativo en orina: 8-OHdG, HNE-MA, 8-isoPGF ₂ α y 8-NO ₂ Gua. Identificación de picos potenciales de metabolitos	Niños expuestos con concentraciones más altas de orina de 8-OHdG (3.1 ± 2.52 vs 2.59 ± 2.78 µg/g-creatinina), HNE-MA (2.16 ± 2.7 vs 1.4 ± 2.3 µg/g-creatinina), 8-isoPGF ₂ α (3.22 ± 3.4 vs 2.06 ± 2.14 µg/g-creatinina) y 8-NO ₂ Gua (6.88 ± 11.93 vs 2.43 ± 2.97 µg/g-creatinina) Perfil de biomarcadores intermedios putativos asociados a marcadores de estrés oxidativo: 10 para 8-OHdG, 23 para HNE-MA, 11 para 8-isoPGF ₂ α y 22 para 8-NO ₂ Gua
Tang D., 2014, China	Cohorte; 2002-2005	Examinar la relación entre exposición prenatal a HAP y crecimiento y desarrollo fetal e infantil de acuerdo al cierre de una CTE a carbón (2004)	308 madres no fumadoras (> 20 años) e hijos antes del parto con residencia hasta 2.5 km desde la TE. 2 grupos: a) cohorte I - nacidos en 2002 (110); b) cohorte II - nacidos 2005 (107)	Exposición ambiental: HAP, B[a]P para 2002 y 2005 Dosis biológica: niveles de aductos de HAP-ADN	Al nacer: peso, longitud, circunferencia craneana (cc). Después del parto: fecha de alta, edad gestacional, sexo, complicaciones de embarazo y parto. Tasa de crecimiento: peso, estatura, circunferencia de cintura. Neurodesarrollo: Escala de Desarrollo Gesell (GSD), Cociente de Desarrollo (CD) en áreas: motora, adaptativa, lenguaje y social	Mayor cc en cohorte II, consistente con niveles reducidos de aductos de HAP-ADN de sangre y de HAP ambientales Menor frecuencias de retraso en neurodesarrollo en todas las áreas, excepto en el lenguaje, en cohorte II En cohorte I, aductos de cordón se asociaron inversamente a CD motor (B ajustado: -16,01) y promedio (B ajustado: -14,58) En cohorte II, aductos de cordón no se asociaron con CD (B: -12,38; p = 0,15) El % de sujetos categorizado como retrasado para el área motora fue menor en 2005 (4,1%) que en 2002 (88%) (p < 0,001)
Tang D., 2014, China	Cohorte; 2002-2005	Comparar biomarcadores moleculares de exposición y efectos preclínicos en sangre de cordón umbilical y desarrollo neurológico	308 madres no fumadoras (> 20 años) e hijos. 2 grupos: a) cohorte 2002-antes del cierre (150); b) cohorte 2005- después del cierre (158)	Exposición ambiental: HAP de 72 h y B[a]P entre 2002 y 2003 y entre 2005 y 2006. Dosis biológica: Aductos de HAP-ADN y BDNF en sangre de cordón umbilical	Niveles de biomarcadores y puntuaciones de CD en 4 dominios (motor, adaptativo, lenguaje y social) y promedio	Menores niveles de aductos de HAP-ADN y mayores concentraciones de mBDNF y de CD en cohorte 2005 Cohortes combinadas: aductos de HAP-ADN se asociaron inversamente con BDNFm y con CD motor (B = -10,70; p = 0,05), adaptativo (B = -16,47; p = 0,02) y promedio (B = -12,11; p = 0,01) Niveles de BDNFm se asociaron con CD motor (B = 2,12; p = 0,02), social (B = 3,22; p = 0,001) y promedio (B = 2,50; p = 0,02).

Tabla 1. Artículos incluidos en la revisión con sus principales características y resultados (Continuación)

Primer autor, año, país	Diseño; período	Objetivo estudio	Tamaño muestral	Exposición	Efecto principal	Resultados principales
Tang Q., 2013, China	Transversal; NI	Caracterizar la distribución y enriquecimiento de Elementos Ambientales Sensibles (ESES) y evaluar el riesgo de salud de niños expuestos a ESES	112 muestras de superficie de suelo	Concentraciones de ESES (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, V y Zn) en muestras de suelo cercanas a una CTE	Riesgo carcinogénico y no carcinogénico	Concentraciones medias de metales en suelos de sotavento de la CTE son relativamente más altas que en suelos en contra del viento. El cociente de riesgo (CR) de ESES en suelos de sotavento es de 1,5. As en suelos residenciales representó el 51% y 54% de los CR totales en suelos en contra y en dirección del viento respectivamente. Los valores de riesgo carcinogénico de ESES en suelos están dentro del rango aceptable no peligroso de 1E-06-1E-04. Ni aductos de ADN ni exposición a humo de tabaco ambiental tuvieron importantes efectos sobre CI (p>0,05). Interacciones significativas entre log de aductos y humo de tabaco ambiental en el área verbal (B= -10,35; p=0,03) y en escala completa (B= -10,10; p=0,03). La interacción en el CI de rendimiento no fue significativa (p=0,14). Para el grupo de exposición a tabaco de 1hr/día, Σ de 1 unidad (ln) de aducto de cordón correspondió a una Σ de 9,4 ptos de CI a escala completa y de 8,9 en verbal en comparación con una Σ de 4,3 y 3,7 ptos respectivamente, para el grupo de exposición de 0,5 hr/día.
Perera F., 2012, China	Cohorte; 2002-2007	Evaluar la relación entre dos exposiciones prenatales (HAP y humo de tabaco ambiental) y Cociente de Intelligencia (CI) infantil	100 madres no fumadoras (> 20 años) e hijos antes del parto, con residencia hasta 2,5 km desde la CTE 3 grupos exposición humo de tabaco: a) 0 hr/día; b) 0,5 hr/día; c) 1 hr/día	Exposición a HAP: aductos de ADN en glóbulos blancos de cordón umbilical. Exposición a humo de tabaco ambiental: entrevista personal	CI medido por Escala de Inteligencia Wechsler Preescolar y Primaria (verbal, de rendimiento y completa) a los 5 años de edad.	Concentraciones de Hg de localidades con CTE y plantas de cemento resultan 3 Desviaciones Estándar por sobre la media. RR de autismo es > en áreas geográficas de altos Hg ambiental. En Texas, el RR fluctúa entre 1,08 a 1,72 según la concentración de Hg; en California, el RR fluctúa entre 2,08 y 2,12. Altos niveles de Hg ambiental se asocian con la ubicación de fuentes puntuales de emisión de Hg (CTE de carbón y plantas de cemento con hornos de carbón). La correlación entre la tasa de autismo y el Hg ambiental para California fue de 0,38 (p=0,04). Para Texas, la correlación fue de 0,68 (p=0,01). Niveles de HAP en el aire ambiente fueron mayores en comunidades de alta exposición. Niños de comunidades de alta exposición tuvieron mayores concentraciones urinarias de 1-OHP (0,19 y 0,19 vs 0,11 y 0,12 $\mu\text{mol/mol-creatinina}$). La media de 1-OHP en la comunidad de alta exposición fue 1,85 veces (IC95%: 1,43-2,40) > a la de baja exposición. El modelo ajustado explica el 17,4% de variabilidad en los niveles urinarios de 1-OHP.
Blanchard KS., 2011, EEUU	Ecológico; 1996-2002	Asociar la distribución espacial de mercurio (Hg) con autismo en niños.	Datos agrupados de distritos escolares de Texas (con planta de cemento de horno de carbón y CTE a carbón) y California (con planta de cemento de horno de carbón)	Distribución espacial de Hg ambiental.	Autismo en el distrito escolar	Concentraciones de Hg de localidades con CTE y plantas de cemento resultan 3 Desviaciones Estándar por sobre la media. RR de autismo es > en áreas geográficas de altos Hg ambiental. En Texas, el RR fluctúa entre 1,08 a 1,72 según la concentración de Hg; en California, el RR fluctúa entre 2,08 y 2,12. Altos niveles de Hg ambiental se asocian con la ubicación de fuentes puntuales de emisión de Hg (CTE de carbón y plantas de cemento con hornos de carbón). La correlación entre la tasa de autismo y el Hg ambiental para California fue de 0,38 (p=0,04). Para Texas, la correlación fue de 0,68 (p=0,01). Niveles de HAP en el aire ambiente fueron mayores en comunidades de alta exposición. Niños de comunidades de alta exposición tuvieron mayores concentraciones urinarias de 1-OHP (0,19 y 0,19 vs 0,11 y 0,12 $\mu\text{mol/mol-creatinina}$). La media de 1-OHP en la comunidad de alta exposición fue 1,85 veces (IC95%: 1,43-2,40) > a la de baja exposición. El modelo ajustado explica el 17,4% de variabilidad en los niveles urinarios de 1-OHP.
Hu SW., 2011, China	Transversal; 2009	Evaluar las fuentes y los niveles urinarios de 1-OHP en niños que viven cerca de una CTE de carbón	369 niños (1 y 13 años). 2 de comunidades de alta exposición - < 5 km (234); 2 comunidades de baja exposición - > 5 km (135).	Análisis de HAPs de muestras de aire ambiental.	Concentración urinaria de 1-OHP.	Concentraciones medias de metales en suelos de sotavento de la CTE son relativamente más altas que en suelos en contra del viento. El cociente de riesgo (CR) de ESES en suelos de sotavento es de 1,5. As en suelos residenciales representó el 51% y 54% de los CR totales en suelos en contra y en dirección del viento respectivamente. Los valores de riesgo carcinogénico de ESES en suelos están dentro del rango aceptable no peligroso de 1E-06-1E-04. Ni aductos de ADN ni exposición a humo de tabaco ambiental tuvieron importantes efectos sobre CI (p>0,05). Interacciones significativas entre log de aductos y humo de tabaco ambiental en el área verbal (B= -10,35; p=0,03) y en escala completa (B= -10,10; p=0,03). La interacción en el CI de rendimiento no fue significativa (p=0,14). Para el grupo de exposición a tabaco de 1hr/día, Σ de 1 unidad (ln) de aducto de cordón correspondió a una Σ de 9,4 ptos de CI a escala completa y de 8,9 en verbal en comparación con una Σ de 4,3 y 3,7 ptos respectivamente, para el grupo de exposición de 0,5 hr/día. Concentraciones de Hg de localidades con CTE y plantas de cemento resultan 3 Desviaciones Estándar por sobre la media. RR de autismo es > en áreas geográficas de altos Hg ambiental. En Texas, el RR fluctúa entre 1,08 a 1,72 según la concentración de Hg; en California, el RR fluctúa entre 2,08 y 2,12. Altos niveles de Hg ambiental se asocian con la ubicación de fuentes puntuales de emisión de Hg (CTE de carbón y plantas de cemento con hornos de carbón). La correlación entre la tasa de autismo y el Hg ambiental para California fue de 0,38 (p=0,04). Para Texas, la correlación fue de 0,68 (p=0,01). Niveles de HAP en el aire ambiente fueron mayores en comunidades de alta exposición. Niños de comunidades de alta exposición tuvieron mayores concentraciones urinarias de 1-OHP (0,19 y 0,19 vs 0,11 y 0,12 $\mu\text{mol/mol-creatinina}$). La media de 1-OHP en la comunidad de alta exposición fue 1,85 veces (IC95%: 1,43-2,40) > a la de baja exposición. El modelo ajustado explica el 17,4% de variabilidad en los niveles urinarios de 1-OHP.

Tabla 1. Artículos incluidos en la revisión con sus principales características y resultados (Continuación)

Primer autor, año, país	Diseño; periodo	Objetivo estudio	Tamaño muestral	Exposición	Efecto principal	Resultados principales
Tang Q., 2013, China	Transversal; NI	Caracterizar la distribución y enriquecimiento de Elementos Ambientales Sensibles (ESES) y evaluar el riesgo de salud de niños expuestos a ESES	112 muestras de superficie de suelo	Concentraciones de ESES (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, V y Zn) en muestras de suelo cercanas a una CTE	Riesgo carcinogénico y no carcinogénico	Concentraciones medias de metales en suelos de sotavento de la CTE son relativamente más altas que en suelos en contra del viento. El cociente de riesgo (CR) de ESES en suelos de sotavento es de 1,5. As en suelos residenciales representó el 51% y 54% de los CR totales en suelos en contra y en dirección del viento respectivamente. Los valores de riesgo carcinogénico de ESES en suelos están dentro del rango aceptable no peligroso de 1E-06-1E-04. Ni aductos de ADN ni exposición a humo de tabaco ambiental tuvieron importantes efectos sobre CI ($p>0,05$). Interacciones significativas entre log de aductos y humo de tabaco ambiental en el área verbal ($B=-10,35$; $p=0,03$) y en escala completa ($B=-10,10$; $p=0,03$). La interacción en el CI de rendimiento no fue significativa ($p=0,14$). Para el grupo de exposición a tabaco de 1hr/día, \square de 1 unidad (Ln) de aducto de cordón correspondió a una \square de 9,4 ptos de CI a escala completa y de 8,9 en verbal en comparación con una \square de 4,3 y 3,7 ptos respectivamente, para el grupo de exposición de 0,5 hr/día.
Perera F., 2012, China	Cohorte; 2002-2007	Evaluar la relación entre dos exposiciones prenatales (HAP y humo de tabaco ambiental) y Cociente de Intelligencia (CI) infantil	100 madres no fumadoras (> 20 años) e hijos antes del parto, con residencia hasta 2,5 km desde la CTE 3 grupos exposición humo de tabaco: a) 0 hr/día; b) 0,5 hr/día; c) 1 hr/día	Exposición a HAP: aductos de ADN en glóbulos blancos de cordón umbilical. Exposición a humo de tabaco ambiental: entrevista personal	CI medido por Escala de Intelligencia Wechsler Preescolar y Primaria (verbal, de rendimiento y completa) a los 5 años de edad.	
Blanchard KS., 2011, EEUU	Ecológico; 1996-2002	Asociar la distribución espacial de mercurio (Hg) con autismo en niños.	Datos agrupados de distritos escolares de Texas (con planta de cemento de horno de carbón y CTE a carbón) y California (con planta de cemento de horno de carbón)	Distribución espacial de Hg ambiental.	Autismo en el distrito escolar	Concentraciones de Hg de localidades con CTE y plantas de cemento resultan 3 Desviaciones Estandar por sobre la media. RR de autismo es > en áreas geográficas de altos Hg ambiental. En Texas, el RR fluctúa entre 1,08 a 1,72 según la concentración de Hg; en California, el RR fluctúa entre 2,08 y 2,12. Altos niveles de Hg ambiental se asocian con la ubicación de fuentes puntuales de emisión de Hg (CTE de carbón y plantas de cemento con hornos de carbón). La correlación entre la tasa de autismo y el Hg ambiental para California fue de 0,38 ($p=0,04$). Para Texas, la correlación fue de 0,68 ($p=0,01$). Niveles de HAP en el aire ambiente fueron mayores en comunidades de alta exposición. Niños de comunidades de alta exposición tuvieron mayores concentraciones urinarias de 1-OHP (0,19 y 0,19 vs 0,11 y 0,12 $\mu\text{mol/mol-creatinina}$). La media de 1-OHP en la comunidad de alta exposición fue 1,85 veces (IC95%: 1,43-2,40) > a la de baja exposición. El modelo ajustado explica el 17,4% de variabilidad en los niveles urinarios de 1-OHP.
Hu SW., 2011, China	Transversal; 2009	Evaluar las fuentes y los niveles urinarios de 1-OHP en niños que viven cerca de una CTE de carbón	369 niños (1 y 13 años). 2 de comunidades de alta exposición - < 5 km (234); 2 comunidades de baja exposición - > 5 km (135).	Análisis de HAPs de muestras de aire ambiental.	Concentración urinaria de 1-OHP.	

Tabla 1. Artículos incluidos en la revisión con sus principales características y resultados (Continuación)

Primer autor, año, país	Diseño; periodo	Objetivo estudio	Tamaño muestral	Exposición	Efecto principal	Resultados principales
Tang D., 2006, China	Cohorte; 2002-2005	Examinar la relación entre la exposición prenatal a HAP y el crecimiento y desarrollo fetal e infantil	150 mujeres no fumadoras (> 20 años) con residencia hasta 2,5 km de la CTE, y sus recién nacidos inscritos entre el 4 de marzo y el 19 de junio de 2002	Medición de aductos de ADN de B[a]P en sangre materna y cordón umbilical al momento del parto. Duración de la exposición intrauterina según n° de meses de embarazo superpuestos con el funcionamiento de la CTE (1 de diciembre de 2001 a 31 de mayo de 2002)	Peso, longitud y circunferencia craneana (cc) inmediatamente después del parto y cada 6 meses después de cumplir los 18 meses de nacido	Altos niveles aducto de HAP-DNA se asociaron con < cc al nacer y peso reducido a los 18-24-30 meses Aductos materno no se correlacionó con el nivel de aducto de sangre del cordón umbilical ni con crecimiento fetal e infantil En niñas, el nivel de aducto de sangre de cordón umbilical se asoció con < cc y < peso a los 18-24- 30 meses de edad y < longitud a los 18 meses. En niños, asociaciones inversas no significativas Mayor duración de la exposición prenatal se asoció con < longitud de nacimiento y < estatura de los niños a los 18- 24- 30 meses En ambos sexos, una mayor duración de la exposición se asoció con < longitud a los 18-24-30 ms. En modelo mixto hasta los 30 meses, el nivel de aducto se asoció con < peso ($p = 0,02$) y con < cc ($p = 0,07$) en la infancia
Mohorovic L., 2004, Croacia	Retrospectivo; 1987-1989	Definir período de gestación más crítico para efectos de tóxicos ambientales de parto prematuro (< 37 semanas) y bajo peso al nacer-BPN (< 2.500 g). Determinar correlación entre SO ₂ y metahemoglobina en embarazadas	704 mujeres embarazadas con residencia dentro de 3,5 a 12 km de distancia desde la CTE	Exposición individual al final del 1°, 2°, 3° y 6° mes y el valor promedio de todo el embarazo. Embarazadas divididas según residencia alrededor de la CTE	Tiempo de gestación y peso al nacer. Concentración de hemoglobina y metahemoglobina materna	Correlación (-) significativa entre la exposición al SO ₂ al final del 1° y 2° mes de embarazo y la duración de la gestación (final del primer mes: $r = -0,09$; $p = 0,01$, final del segundo mes: $r = -0,08$; $p = 0,02$) y BPN (final del primer mes: $r = -0,08$; $p = 0,02$, final del segundo mes $r = -0,07$; $p = 0,03$) Correlación (+) entre la concentración media de metahemoglobina materna y la concentración diaria de SO ₂ ($r = 0,72$; $p = 0,01$) En 1987 (4.772 h de funcionamiento de la CTE) hubo más nacimientos prematuros ($p = 0,03$) y mayor RR (1,76) en relación con 1988 y 1989 (2.754 y 579 h de funcionamiento de la central respectivamente).
Sanchez J., 1999, Chile	Cohorte	Evaluar el efecto de la exposición de corto plazo a MP10 y SO ₂ sobre la función pulmonar y síntomas respiratorios en niños que residen cerca de una fundición y refinería de cobre y una CTE	114 niños (6 a 12 años) 2 grupos: a) sintomáticos respiratorios crónicos (57); b) asintomáticos (57)	Medición diaria de MP10 y SO ₂ en el aire	Medición diaria de Flujo Espiratorio Máximo (FEM) e incidencia de síntomas respiratorios (tos, expectoración, disnea, sibilancias, uso de broncodilatador)	↑ de 50 µg/m ³ de la media diaria de SO ₂ produjo una ↓ del FEM 1,42 L/min (IC95%:-2,84 a -0,71) al día siguiente; y un ↑ de 30 µg/m ³ en la concentración acumulada de 3 días de MP10 produjo una ↓ de 2,84 L/min (IC95%: -4,26 a 0,00) ↑ de 30 µg/m ³ en la media semanal de MP10 se relacionó con ↑ de 26% (RP= 1,26; IC95%: 1,01 a 1,57) en incidencia de tos y de 23% (RP= 1,23; IC95%: 1,00 a 1,50) en incidencia de expectoración ↑ de 50 µg/m ³ en la media de 3 días de SO ₂ se asoció a un ↑ de 5% (RP = 1,05; IC95%: 1,00 a 1,10) en incidencia de expectoración ↑ de 30 µg/m ³ en el promedio diario de PM10, ↑ el uso de broncodilatadores dos días más tarde en 10% (RP = 1,10; IC95%: 1,03 a 1,18) En grupo de asintomáticos: ↑ de 30 µg/m ³ en media diaria produjo una ↓ de 1,34 L/min (IC95%: -2,68 a -0,67) en el FEM del día siguiente y un ↑ similar en la exposición acumulada de tres días se asoció a un ↑ de 9% en incidencia de sibilancias (RP = 1,09; IC95%: 1,01 a 1,31)

Tabla 1. Artículos incluidos en la revisión con sus principales características y resultados (Continuación)

Primer autor, año, país	Diseño; período	Objetivo estudio	Tamaño muestral)	Exposición	Efecto principal	Resultados principales
Goren A., 1995, Israel	Ecológico; 1982-1990	Evaluar el impacto en la salud de la población que vive cerca de una CTE de carbón	30.000 personas (adultos y niños) que viven hasta 19 km desde una CTE. 3 comunidades con exposición: alta, baja y media	Promedios diarios de SO ₂ , NO _x , O ₃ , CO, hidrocarburos totales y parámetros meteorológicos	Uso de servicios de salud en 8 clínicas. Registro semanal de visitas diarias por médico y consultas por enfermedades respiratorias. Vigilancia diaria de casos de gripe	Tendencia estacional de >uso de la clínica pediátrica ambulatoria durante el invierno debido a quejas del tracto respiratorio Tendencia de → moderada en el n° total de visitas, y en el n° de visitas por enfermedades respiratoria solo entre 1982 y 1984 ↑ en el n° total de episodios de alta contaminación (> n° episodios en comunidad de alta exposición vs ninguno en baja exposición)
Goren A., 1991, Israel	Cohorte; 1980-1986	Evaluar el efecto en la salud respiratoria de escolares que viven cerca de una CTE de carbón	3278 escolares de 2° (1.128) y 5° (1.157) grado en el año 1983	Escolares que viven en 3 comunidades con diferente nivel de exposición: alta, baja y media (< 19 km de distancia a la CTE)	Cambios en la función pulmonar: VEF1, CVF, PEF, síntomas y enfermedades respiratorias, desde 1983 a 1986	Cohorte de 2°, comunidad de baja exposición: la prevalencia de síntomas respiratorios ↓ en el tiempo; comunidad de exposición media: algunos síntomas fueron más frecuentes; comunidad con alta exposición: síntomas (tos con esputo) fueron más frecuentes (4,3% vs 13,8%). Enfermedades respiratorias ↓ en niños de baja y media exposición, en niños de alta exposición el asma fue más común (8,2% vs 16,2%) Cohorte de 5°, la mayoría de los síntomas respiratorios ↓ en la comunidad de baja exposición, en las otras comunidades la tendencia fue mixta. Las enfermedades respiratorias ↓ en la comunidad de baja exposición, en las otras el cambio en el tiempo fue mixto Para las dos cohortes, el ↑ anual en CVF y VEF1 fue mayor en la comunidad con alta contaminación (p < 0,01). En la cohorte de 2°, hubo un ↑ anual más bajo en CVF y VEF1 en comunidad con baja exposición, mientras que en la de 5° hubo un ↑ anual más bajo en la comunidad con exposición media ↑ anual de PEF en la cohorte de 2° no tuvo diferencias entre las tres comunidades. En la cohorte de 5° las diferencias fueron significativas solo entre los niños; el mayor incremento anual en PEF caracterizó a los niños con baja exposición
Goren A., 1988, Israel	Cohorte; 1980-1983	Evaluar el efecto en la salud respiratoria de escolares antes (1980) y después (1983) de la entrada en operación de una CTE de carbón	1990 escolares de 2° (991) y 5° grado (999) en el año 1980 y 1788 escolares de 5° (1090) y 8° grado (698) en el año 1983.	Escolares que viven en 3 comunidades con diferente nivel de exposición: alta, baja y media (< 19 km de distancia a la TE)	Función pulmonar: VEF1, CVF, PEF, síntomas y enfermedades respiratorias	En la cohorte de 2° (5° en 1983) hubo un ↑ de la prevalencia de tos sin resfío, esputo sin resfío y tos con esputo; también hubo un ↑ de la prevalencia de sarampión y neumonía En la cohorte de 5° (8° en 1983) la mayoría de los síntomas respiratorios fueron menos frecuentes en 1983, solo esputo sin resfío fue más prevalente; también hubo un ↑ de la prevalencia de sarampión y neumonía Comunidad con baja exposición: alta prevalencia de síntomas respiratorios en la cohorte de 2°, en ambas cohortes hubo mayor prevalencia de neumonía en 1983. Comunidad con exposición media: alta prevalencia de síntomas respiratorios en la cohorte de 2°, en ambas cohortes hubo mayor prevalencia de sarampión y neumonía en 1983. Comunidad con alta exposición: tendencia mixta en prevalencia de síntomas, en ambas cohortes hubo mayor prevalencia de sarampión y neumonía en 1983 El incremento de CVF y VEF1, fue menor en ambas cohortes de alta exposición (p < 0,001) El incremento de PEF fue menor en la comunidad de alta exposición solo en la cohorte de 5° grado de 1980 (p < 0,001)

Tabla 1. Artículos incluidos en la revisión con sus principales características y resultados (Continuación)

Primer autor, año, país	Diseño; período	Objetivo estudio	Tamaño muestral	Exposición	Efecto principal	Resultados principales
Bencko V., 1977, Checoslovaquia	Transversal; NI	Evaluar función auditiva de niños expuestos a una CTE a carbón	107 niños (9 a 11 años) que vivían cerca de una CTE a carbón rico en As 2 grupos: a) expuesto(56); b) control (51)	Residencia cercana a CTE (grupo de exposición)	Examen otorrinolaringológico audiométrico y clínico	En conducción de aire, se encontraron pérdidas auditivas importantes a 125, 250 y 8000 Hz, especialmente en el rango de frecuencia más bajo ($p < 0,05$) Grados significativos de pérdida auditiva en la conducción ósea especialmente para bajas frecuencias (125, 250, 500 Hz). Para altas frecuencias, solo 4000 Hz presentó una pérdida auditiva significativa ($p < 0,05$) Grupo expuesto, versus control, presentó > tasa de amígdalas "ampliadas" (21,4% vs 5,9%) y "grandes" (16,1% vs 5,9%) y adenoides "grandes" (21,4% vs 7,8%) y flujo concomitante de flema-pus en la nasofaringe posterior (23,2% vs 9,8%)
Bencko V., 1977, Checoslovaquia	Transversal; 1971	Rastrear la carga corporal de As en una población no expuesta ocupacionalmente	45 niños (9-11 años), que residían en una región contaminada por As. 2 grupos: a)expuestos (20); b) control (25)	Distancia entre la residencia y la CTE	Determinación de As en muestras de cabello, orina y sangre	Mayores concentraciones de As en pelo y orina en comunidades más próximas a la CTE. Comunidad a 1,5 km de la fuente presentó 3,19 ug/g de As en cabello vs la comunidad de 36 km que presentó 0,30 ug/g. Concentración en orina fue 0,019 y 0,008 mg/lt respectivamente Considerable variabilidad entre valores individuales de As en cabello hace que el examen en grupo sea una necesidad. Lo mismo se aplica al muestreo de orina y sangre, que se complica por dificultades técnicas
Bencko V., 1971, Checoslovaquia	Transversal; NI	Estudiar niveles observados de As en cabello con distancia de residencias a la fuente	186 niños (10 años) que viven a menos de 10 km de la CTE	Distancia entre la residencia y la CTE	Concentración de As en cabello	Mayor proporción de valores medios (>1,5 ppm) y altos (> 3,0 ppm) de las concentraciones individuales de As en cabello en los grupos expuestos vs control Gran variabilidad en los valores medios y desviaciones estándar de concentraciones de As en el cabello en relación a la distancia de vivienda a la fuente de emisión

Alteraciones perinatales

Los 4 estudios analizados reportaron que la exposición en el embarazo, evaluada a través de la distancia desde la residencia a las emisiones de CTE a carbón, se asoció a recién nacidos (RN) con bajo y muy bajo peso (BP y MBP, respectivamente), menor talla al nacimiento, gestación más corta y menor diámetro de CC. En el estudio realizado por Tangs y cols. se reporta que la CC aumentó en niños nacidos después del cierre de la CTE^{4,10-12}.

Yang (2017) estudió el impacto de la exposición prenatal a las emisiones de CTE a carbón sobre el peso al nacer en Estados Unidos entre 1990 y 2006 (252.719 RN), reportando que los nacidos de madres que viven a una distancia de 5 km aproximadamente de la CTE tienen un mayor riesgo de BP (6,5%) y MBP (17,1%)¹⁰.

Mohorovic (2004) estudió embarazadas categorizadas según la distancia de su residencia a una CTE a carbón en Croacia, definiendo zonas concéntricas alrededor de ésta (entre 3,5-12 km). Sus hallazgos evidenciaron que una exposición mayor y más prolongada a emisiones de SO₂ durante los 2 primeros meses de embarazo resultó en una gestación significativamente más corta y en menor peso al nacer¹¹.

En China, fueron desarrollados dos estudios prospectivos que analizaron efectos perinatales de la exposición a la emisión de una CTE ubicada a menos de 5 km de distancia de la vivienda de mujeres durante el embarazo. El primero de éstos reportó que los hijos de madres que vivían cerca de la CTE se caracterizaban por menor CC y menor peso en los meses posteriores al nacimiento. Una exposición más prolongada en el embarazo se asoció con menor talla al nacer y a los 18, 24 y 30 meses de edad ($p < 0,001$)¹². Posteriormente, los mismos autores, compararon resultados entre esta cohorte (nacidos durante el funcionamiento de la central) y una nueva (nacidos después del cierre de la central), entre los resultados se destacó un mayor CC para aquellos niños nacidos posterior al cierre de CTE de carbón ($p < 0,001$)⁴.

Desarrollo neurocognitivo

Los artículos incluidos en la revisión apuntan a una disminución del CD y CI en los niños expuestos a emisiones de CTE a carbón, comparados con niños no expuestos.

Seis estudios evaluaron los efectos de la exposición a contaminantes emitidos por CTE a carbón sobre el desarrollo neurocognitivo: 5 de ellos se basaron en registros de una cohorte de niños cuyas madres desde el inicio del embarazo residían cerca de CTE de Tongliang, China. En 4 de estos estudios el seguimiento consideró el periodo desde el embarazo hasta 2 años de edad, y solo un estudio hasta los 5 años^{3-4,6,7,13,14}.

Tras el seguimiento de 2 años a los nacidos el año

2002, con la central en pleno funcionamiento, se evaluó la Pauta de Desarrollo Gesell para determinar el CD en 4 dominios (motor, adaptativo, lenguaje y social). Se observó una disminución en CD motor y en el promedio de todos los dominios asociados a una mayor concentración de biomarcadores para HAP en sangre del cordón umbilical, mientras, el CD social se asoció negativamente con las concentraciones de plomo en sangre del cordón umbilical, ambas sustancias detectadas en las emisiones de la CTE a carbón⁷. Un estudio posterior comparó los resultados de CD de la misma cohorte con otros nacidos en 2005, tras el cierre de CTE. En dicho estudio se encontró una reducción significativa de biomarcadores para HAP en sangre de cordón umbilical de niños de la cohorte de 2005, encontrándose una asociación inversa entre la concentración de biomarcadores y el CD en el dominio motor y en el promedio para la cohorte más vieja, relación no observada en la cohorte más nueva¹³.

A los 5 años de edad de los niños de la cohorte se evaluó el CI mediante la Escala de Inteligencia Wechsler preescolar y primaria, en ella se consideraron 3 escalas: verbal, de rendimiento y completa. Ni los aductos de ADN ni la exposición al humo de tabaco ambiental tuvieron importantes efectos principales sobre el CI. Sin embargo, hubo interacciones significativas entre aductos y humo de tabaco ambiental en la escala completa ($p = 0,025$) y en el área verbal ($p = 0,029$), lo que indica que los efectos adversos de la exposición prenatal a HAP aumentaron a medida que aumentaba la exposición al humo de tabaco ambiental⁶.

En la cohorte de niños no expuestos a las emisiones de la central (nacidos el 2005) se reportaron concentraciones más altas de la proteína mBDNF y mayores puntuaciones de CD a los 2 años de edad³. Otro estudio destacó que las frecuencias de retraso en el neurodesarrollo en casi todas las áreas (excepto lenguaje), se redujeron en la cohorte 2005 en comparación con la del 2002⁴.

Un estudio ecológico realizado en Estados Unidos, analizó la distribución espacial de autismo en relación a la contaminación ambiental por mercurio. Los autores reportaron mayor riesgo de autismo para zonas con fuentes de emisión de mercurio (CTE carbón y plantas de cemento con hornos de carbón). La correlación entre la tasa de autismo y los niveles de mercurio en el aire ambiente para California fue de 0,38 ($p = 0,04$), mientras que para Texas fue de 0,68 ($p = 0,01$). Debe considerarse este resultado con cautela, dado las limitaciones propias de los estudios ecológicos¹⁴.

Salud respiratoria

Del total de estudios incluidos, se reportan cambios en la función pulmonar, síntomas respiratorios y consultas ambulatorias por causas respiratorias.

Los estudios que evaluaron los efectos en la función pulmonar utilizaron principalmente el Volumen Espiratorio Forzado en el primer segundo (VEF1), la Capacidad Vital Forzada (CVF) y el Flujo Espiratorio Máximo (PEF), y se enfocaron en efectos de largo plazo. El estudio de Dubnov J. et al. (2007), enfocado en evaluar el efecto de la exposición a largo plazo de la contaminación proveniente de CTE a carbón sobre el desarrollo de la función pulmonar en una cohorte de escolares de 2°, 5° y 8° grado según su residencia seguidos entre 1996 y 1999, reportó que la concentración de NO₂ tuvo un efecto negativo significativo tanto en Δ VEF1 como en Δ CVF, lo que significa que a mayor exposición existe un menor crecimiento de la función pulmonar. Por otro lado, el efecto de la interacción NO₂-SO₂ en Δ VEF1 fue negativo y más fuerte que la variable NO₂ por sí sola. Además, al excluir la variable contaminación se redujo el poder explicativo de los modelos en 6% y 10%, lo que confirma que la contaminación explica las variables de efecto estudiadas¹⁵.

El estudio de Yogev-Baggio et al. (2010) corresponde a la misma cohorte anteriormente descrita, pero en este reporte se muestra un análisis según estado de salud de los escolares (sanos, sintomáticos respiratorios y asmáticos). En cuanto al estado de salud entre 1996 y 1999 se destaca que el porcentaje de niños sanos disminuyó y el de sintomáticos aumentó en todas las áreas de exposición estudiadas (siendo de mayor magnitud en la de alta exposición). Se observaron diferencias significativas en el Δ VEF1 de los 3 grupos según área de contaminación (aunque a mayor contaminación, mayor disminución Δ VEF1) y el efecto de la interacción NO₂-SO₂ en Δ VEF1 fue negativa y significativa para todos los niños, y grupo de sanos y sintomáticos ($p < 0,01$), esto implica que los niveles crecientes de contaminación tienen un efecto negativo significativo en el crecimiento de la función pulmonar¹⁶.

Goren et al. (1988 y 1991) evaluaron la función pulmonar en escolares que viven cerca de CTE a carbón donde las primeras mediciones se realizaron antes de que la central comenzara a funcionar (1980) y 3 y 6 años después (1983 y 1986). Los escolares se clasificaron en comunidades con alta, media y baja exposición. En el primer reporte se encontró que el incremento de CVF y VEF1 fue menor en ambas cohortes en la comunidad de alta exposición y que el incremento de PEF fue menor en la comunidad de alta exposición solo en la cohorte de 5° grado (8° en 1983). En el segundo reporte, se encontró un aumento anual en CVF y VEF1 mayor en la comunidad con alta contaminación. La cohorte de 2° en 1983, tuvo un aumento anual menor en CVF y VEF1 en la comunidad con baja exposición, mientras que la cohorte 5° en 1983 tuvo un aumento anual menor en la comunidad con exposición media,

por otro lado el aumento anual de PEF en la cohorte de 2° no tuvo diferencias entre las tres comunidades^{17,18}.

Al evaluar sólo síntomas, el primer reporte (1988) mostró que la cohorte de 2° (5° en 1983) tuvo un aumento significativo de la prevalencia de tos sin resfrío. En la cohorte de 5° (8° en 1983) la mayoría de los síntomas respiratorios fueron menos frecuentes en 1983. Con respecto a las comunidades según exposición, el grupo con baja exposición tuvo alta prevalencia de síntomas respiratorios en la cohorte más joven y en ambas cohortes hubo mayor prevalencia de neumonía en 1983, el grupo con exposición media tuvo alta prevalencia de síntomas respiratorios en la cohorte más joven y en ambas cohortes hubo mayor prevalencia de sarampión y neumonía en 1983, y el grupo con alta exposición tuvo tendencia mixta en la prevalencia. En el segundo reporte (1991), en el grupo de baja exposición la prevalencia de la mayoría de los síntomas respiratorios se redujo cuando los niños crecieron, en el grupo de exposición media algunos síntomas fueron más frecuentes, y en el grupo con alta exposición los síntomas fueron significativamente más frecuentes^{17,18}.

Un estudio ecológico realizado en Israel estableció aumentos en las consultas pediátricas respiratorias en la población expuesta a una CTE, asociados a aumentos de la contaminación del aire¹⁹.

Otros desenlaces en salud

En población infantil se han reportado otros daños, entre ellos, pérdidas auditivas en niños que vivían próximos a una CTE a carbón al compararlos con niños no expuestos; los mismos autores reportaron mayores niveles de arsénico en muestras biológicas en los niños expuestos; destacan la variabilidad de estos biomarcadores²⁰⁻²².

Conclusiones

La revisión de la literatura para dar respuesta al objetivo planteado, incluyó la revisión de 21 artículos de texto completo que fueron pertinentes al objetivo y cumplieron los criterios de inclusión y exclusión.

Los estudios incluidos que evaluaron biomarcadores fueron consistentes en el reporte de un aumento en el nivel de biomarcadores de exposición y de efecto en salud en zonas expuestas cercanas a instalaciones que funcionan con combustión a carbón en comparación con zonas no expuestas.

En relación a las alteraciones perinatales, los estudios reportaron que la exposición a emisiones de CTE a carbón en el embarazo se asoció a niños con BP y MBP al nacer, menor talla, menor diámetro de CC y prematuridad. Por otro lado, el diámetro de CC aumentó en los niños nacidos después del cierre de CTE.

Con respecto al desarrollo cognitivo se encontró tanto un CD y CI inferior en los niños expuestos a emisiones de CTE a carbón comparados con no expuestos, y un aumento del CD en una cohorte de niños que creció cuando la central se había cerrado. Por otro lado, vivir en zonas con fuentes de emisión de mercurio (CTE y plantas de cemento que funcionan con carbón) se asoció con un mayor riesgo de autismo.

En salud respiratoria, los artículos fueron consistentes en reportar un menor desarrollo de la función pulmonar a largo plazo en niños residentes en zonas expuestas a fuentes de combustión de carbón comparados con grupos de niños no expuestos. Otros estudios reportaron una mayor frecuencia de síntomas respiratorios (tos, sibilancias y dificultad para respirar), mayor prevalencia de sarampión y neumonía, y más diagnósticos de asma en los niños que viven en las comunidades expuestas comparados con menor o sin exposición.

Existe una fuerte preocupación de la comunidad científica con respecto a la exposición a CTE a carbón y efectos en la salud infantil. Esta revisión encontró diversos efectos en la salud infantil relacionados con la presencia de biomarcadores de exposición y efecto, efectos perinatales, neuroconductuales y respiratorios principalmente. Es de suma urgencia el desarrollo de

estudios enfocados en este tema de alta sensibilidad y de alto impacto en salud pública, destacándose que hasta ahora sólo existe limitada evidencia generada por Ruiz-Rudolph et al. (2016) quienes demostraron que la presencia de grandes instalaciones (entre ellas CTE a carbón y petróleo, fábricas de pastas de celulosa, mineras y fundiciones de cobre) aumentaban las tasas de mortalidad y morbilidad, en un rango de 20 a 100% en aquellas comunas que tenían megafuentes con respecto a las comunas sin este tipo de exposición²³.

Es perentorio abrir en Chile el debate sobre los riesgos controlables a los que se enfrenta la población infantil a consecuencia de plantas generadoras de energía instaladas en Chile.

Agradecimientos

Las autoras expresan su agradecimiento a la Sociedad Chilena de Pediatría y a Chile Sustentable por facilitar las condiciones necesarias para realizar esta investigación y por proveer información ambiental de interés.

Conflicto de interés

Las autoras declaran no tener conflicto de interés.

Referencias

- Health and Environment Alliance (HEAL). Boosting health by improving air quality in the Balkans. Published Diciembre 2017 [revisado el 19 de enero de 2018]. Disponible en https://www.env-health.org/IMG/pdf/13.12.2017_-_boosting_health_by_improving_air_quality_in_the_balkans_ied_briefing.pdf.
- Gohlke, J. M., et al. Estimating the global public health implications of electricity and coal consumption. *Environ Health Perspect.* 2011;119(6):821-6.
- Tang D, Lee J, Muirhead L, et al. Molecular and neurodevelopmental benefits to children of closure of a coal burning power plant in China. *PLoS ONE.* 2014;9(3):e91966.
- Tang D, Li TY, Chow JC, et al. Air pollution effects on fetal and child development: a cohort comparison in China. *Environ Pollut.* 2014;185:90-6.
- Tang Q, Liu G, Zhou C, Zhang H, Sun R. Distribution of environmentally sensitive elements in residential soils near a coal-fired power plant: potential risks to ecology and children's health. *Chemosphere.* 2013;93(10):2473-9.
- Perera F, Li TY, Lin C, Tang D. Effects of prenatal polycyclic aromatic hydrocarbon exposure and environmental tobacco smoke on child IQ in a Chinese cohort. *Environ Res.* 2012;114:40-6.
- Tang D, Li T, Liu JJ, et al. Effects of prenatal exposure to coal-burning pollutants on children's development in China. *Environ Health Perspect.* 2008;116(5):674-9.
- Chen C-HS, Yuan T-H, Shie R-H, Wu K-Y, Chan C-C. Linking sources to early effects by profiling urine metabolome of residents living near oil refineries and coal-fired power plants. *Environ Int.* 2017;102:87-96.
- Hu S-W, Chan Y-J, Hsu H-T, et al. Urinary levels of 1-hydroxypyrene in children residing near a coal-fired power plant. *Environ Res.* 2011;111(8):1185-91.
- Yang M, Bhatta RA, Chou S-Y, Hsieh C-I. The Impact of Prenatal Exposure to Power Plant Emissions on Birth Weight: Evidence from a Pennsylvania Power Plant Located Upwind of New Jersey. *J Policy Anal Manage.* 2017;36(3):557-83.
- Mohorovic L. First two months of pregnancy-critical time for preterm delivery and low birthweight caused by adverse effects of coal combustion toxics. *Early Hum Dev.* 2004;80(2):115-23.
- Tang D, Li T, Liu JJ, Chen Y, Qu L, Perera F. PAH-DNA adducts in cord blood and fetal and child development in a Chinese cohort. *Environ Health Perspect.* 2006;114(8):1297-300.
- Perera F, Li T, Zhou Z, et al. Benefits of reducing prenatal exposure to coal-burning pollutants to children's neurodevelopment in China. *Environ Health Perspect.* 2008;116(10):1396-400.
- Blanchard KS, Palmer RF, Stein Z. The value of ecologic studies: mercury concentration in ambient air and the risk of autism. *Rev Environ Health.* 2011;26(2):111-8.
- Dubnov J, Barchana M, Rishpon S, et al. Estimating the effect of air pollution from a coal-fired power station on the development of children's pulmonary function. *Environ Res.* 2007;103(1):87-98.
- Yogev-Baggio T, Bibi H, Dubnov J, Or-Hen K, Carel R, Portnov BA. Who is affected more by air pollution-sick or healthy? Some evidence from a health survey of schoolchildren living in the vicinity of a coal-fired power plant in Northern Israel. *Health Place.* 2010;16(2):399-408.
- Goren AI, Helman S, Goldsmith JR. Longitudinal study of respiratory conditions among schoolchildren in Israel: interim report of an epidemiological monitoring program

- in the vicinity of a new coal-fired power plant. *Arch Environ Health*. 1988;43(2):190-4.
18. Goren AI, Goldsmith JR, Hellmann S, Brenner S. Follow-up of schoolchildren in the vicinity of a coal-fired power plant in Israel. *Environ Health Perspect*. 1991;94:101-5.
 19. Goren AI, Hellmann S, Glaser ED. Use of outpatient clinics as a health indicator for communities around a coal-fired power plant. *Environ Health Perspect*. 1995;103(12):1110-5.
 20. Bencko V, Dobišová A, Máčaj M. Arsenic in the hair of a non-occupationally exposed population. *Atmospheric Environment*. 1971;5(4):275-9.
 21. Bencko V, Symon K, Chládek V, Pihrt J. Health aspects of burning coal with a high arsenic content: II. Hearing changes in exposed children. *Environmental Research*. 1977;13(3):386-95.
 22. Bencko V, Symon K. Health aspects of burning coal with a high arsenic content: I. Arsenic in hair, urine, and blood in children residing in a polluted area. *Environmental Research*. 1977;13(3):378-85.
 23. Ruiz-Rudolph P, Arias N, Pardo S, et al. Impact of large industrial emission sources on mortality and morbidity in Chile: A small-areas study. *Environ Int*. 2016;92-93:130-8.