



INFORME PARA CHILE SUSTENTABLE

“Salud infantil y la exposición a contaminantes provenientes de termoeléctricas a carbón en Chile”.

Revisión de literatura internacional y nacional.

Lidya Tellerías. Sociedad Chilena de Pediatría.

Sandra Cortés A. Facultad de Medicina. Pontificia Universidad Católica de Chile. Advanced Center for Chronic Diseases (ACCDIS). Centro de Desarrollo Sostenible (CEDEUS).

Karla Yohannessen V. Programa de Salud Ambiental, Escuela de Salud Pública. Departamento de Pediatría y Cirugía Infantil, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

Ericka Ahumada. Facultad de Medicina. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Comité Salud Ambiental Infantil Sociedad Chilena de Pediatría.

Versión 2

Santiago, 2 de febrero de 2018

RESUMEN EJECUTIVO

Central termoeléctrica es una instalación empleada en la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor, normalmente mediante la combustión de combustibles fósiles como petróleo, gas natural o carbón. Estas instalaciones de sistemas productivos de energía, basadas en el uso de carbón, representan un riesgo cierto para la salud de las comunidades expuestas. Estos riesgos se incrementan en la medida que las fuentes emisoras cuenten con tecnologías deficientes en el control de emisiones y cuando las poblaciones receptoras muestran condiciones de vulnerabilidad adicional dadas por la pobreza, deficientes condiciones de acceso a la salud y condiciones propias de la edad que los tornan menos aptos para hacer frente a los contaminantes, como sucede con los niños. Los principales contaminantes emitidos en el proceso de combustión de las termoeléctricas corresponden a: material particulado (MP), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de carbono (CO₂) y metales pesados como el mercurio (Hg). Adicionalmente, emisiones de NO₂ y SO₂ son precursores en la atmósfera de ácidos nítrico y sulfúrico – ambos componentes de la lluvia ácida - y del material particulado fino (MP_{2.5}), principalmente en la forma de sulfatos y nitratos.

En Chile existe poca evidencia de los daños en salud poblacional, aun cuando se presentan termoeléctricas a carbón en varias ciudades del país. A la fecha, sólo se registra un estudio nacional que muestra aumentos entre 20% y 100% en mortalidad y morbilidad por varias causas, entre ellas, cardiovasculares, respiratorias, cáncer, asociados a comunas que poseen varias megafuentes emisoras, entre ellas, termoeléctricas a carbón. Sin embargo, evidencia internacional muestra altos riesgos asociados a este tipo de fuentes y con impactos a lo largo de todo el ciclo vital especialmente en niños menores de 18 años y en mujeres durante su embarazo.

Se realizó una revisión de la literatura científica nacional e internacional enfocada en los efectos en salud en población menor de 18 años y que estuvieran asociados a la exposición a emisiones de plantas generadoras de energía en base a carbón. Adicionalmente, se revisaron lineamientos o propuestas desde agencias internacionales para reducir efectos en salud infantil asociados a este tipo de fuentes emisoras. Desde la base de datos Pubmed, se incluyeron estudios epidemiológicos que analizaran el efecto en salud de la exposición de contaminantes provenientes de termoeléctricas a carbón; sin límite de fecha de publicación y publicados en idioma inglés, español o portugués. No se consideraron estudios relacionados a combustión doméstica del carbón u otra fuente de emisión, artículos científicos sin acceso a texto completo y estudios en otros idiomas.

Los resultados de esta revisión sistemática se presentan por tipo de daños (outcomes) en salud infantil, respecto a evidencias de biomarcadores de exposición o efectos, alteraciones perinatales, desenlaces en el desarrollo neurocognitivo, en salud respiratoria y en audición (1 estudio).

Respecto a la presencia de biomarcadores, los estudios analizados fueron consistentes en el hallazgo del aumento de biomarcadores de exposición interna (metales pesados y 1-hidroxipireno en orina) y biomarcadores de efectos en salud tempranos (8-OHdG, HNE-MA, 8-isoPGF₂α y 8-

NO₂GUA) en las zonas expuestas cercanas a instalaciones que funcionan con combustión a carbón en comparación con zonas no expuestas. Por otro lado, uno de los estudios evaluó ciertos biomarcadores después del cierre de una planta de energía a carbón y reportó una reducción del nivel de aductos del ADN, de los niveles de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en sangre y de un marcador de daño (aumento de la proteína BDNF madura), lo cual refuerza la consistencia de estos estudios.

En relación a las alteraciones perinatales, los estudios analizados reportaron que la exposición según distancia desde la residencia a las emisiones de centrales eléctricas a carbón en el embarazo se asoció al nacimiento de niños con bajo y muy bajo peso al nacer, menor longitud al nacer, gestación más corta y menor diámetro de cabeza. Además, el diámetro de circunferencia craneo aumentó en los niños nacidos después del cierre de la central eléctrica.

Los artículos revisados enfocados en resultados del desarrollo cognitivo apuntan a una disminución del cociente del desarrollo y cociente de inteligencia en los niños expuestos a emisiones de centrales eléctricas a carbón comparados con niños no expuestos, y además un aumento del cociente del desarrollo en una cohorte de niños que crecieron cuando la central se había cerrado. También, se relacionó en un estudio que el vivir en zonas con fuentes de emisión de mercurio (centrales eléctricas y plantas de cemento que funcionan con carbón) con un mayor riesgo de autismo.

Los artículos enfocados en salud respiratoria, fueron consistentes en reportar un menor desarrollo de la función pulmonar en los niños que vivían 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 neumonía, y más diagnósticos de asma en los niños que residen en las comunidades expuestas comparados con menor o sin exposición. Sólo en un estudio se reportan efectos deletéreos de las emisiones de una central eléctrica a carbón sobre la audición de los niños para sonidos de determinadas frecuencias. Similares hallazgos se evidencian en población mayor a 15 años.

En general, agencias internacionales vinculadas a la protección ambiental y a salud infantil declaran que la exposición a la emisión de contaminantes proveniente de la combustión del carbón es dañina para la salud, generando una fuerte preocupación especialmente la exposición y los daños en la salud infantil. Estas agencias hacen un llamado a que se cumplan los límites de emisión o márgenes de seguridad de la emisión de contaminantes en las centrales eléctricas a carbón o bien que sean convertidas a gas natural.

Los resultados de la revisión sistemática de la literatura indican que se deben extremar esfuerzos para reducir la exposición a todos los contaminantes generados por termoeléctricas a carbón en Chile, dada la contundente evidencia de daños en la población infantil y en adultos.

Contenido

RESUMEN EJECUTIVO.....	2
1 ANTECEDENTES	6
2 OBJETIVOS	7
2.1 General	7
2.2 Específicos	7
3 MÉTODO DE LA REVISIÓN	8
3.1 Criterios de inclusión y exclusión de los estudios	8
3.2 Análisis crítico de los estudios.....	8
4 RESULTADOS	9
4.1 Resultados de la búsqueda.....	9
4.2 Descripción de resultados	10
4.2.1 Biomarcadores.....	10
4.2.2 Alteraciones perinatales	11
4.2.3 Desenlace en el desarrollo neurocognitivo.....	11
4.2.4 Desenlaces en salud respiratoria.....	13
4.2.5 Otros desenlaces en salud.....	15
4.2.6 Impactos en salud establecidos en otros grupos de la población.....	15
5 DECLARACIONES DE AGENCIAS INTERNACIONALES RELACIONADAS CON EL USO DE CARBÓN COMO COMBUSTIBLE PARA LA GENERACION DE ELECTRICIDAD.....	17
6 CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	21
7 RECOMENDACIONES.....	22
8 REFERENCIAS.....	24
9 ANEXO.....	27
9.1 MÉTODO DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	27
9.1.1 Pregunta de estudio	27
9.1.2 Estrategia para el uso de descriptores	27
9.1.3 Búsqueda bibliográfica.....	28
9.1.4 Criterios de inclusión y exclusión de los estudios	28
9.1.5 Análisis crítico de los estudios.	29
9.1.6 Síntesis de resultados	29

Glosario

1-OHP	1-hidroxipireno
8-isoPGF2α	F2-isoprostano (biomarcador de peroxidación lipídica)
8-NO2GUA	8-nitroguanina (biomarcador de daño de ADN)
8-OhdG	8-hidroxi-2'-desoxiguanosina (biomarcador de estrés oxidativo)
ACP	American Academy of Pediatrics
ADN	Ácido desoxirribonucleico
B[a]P	Benzo [a] pireno
BPN	Bajo peso al nacer
CI	Cociente de inteligencia
CO2	Dióxido de carbono
CVF	Capacidad Vital Forzada
DQ	Cociente de desarrollo
EPA	Environmental Protection Agency-Agencia de Protección Ambiental
ESEs	Elementos Ambientalmente Sensibles
HAP	Hidrocarburos aromáticos policíclicos, formados durante la combustión incompleta de cualquier tipo de materia orgánica (como el carbón), sus compuestos han sido identificados como carcinógenos, mutágenos y teratógenos.
Hg	Mercurio
HNE-MA	Ácido 4-hidroxi-2-nonenal-mercaptúrico (biomarcador de peroxidación fosfolipídica)
Hz	Hertz
mBDNF	Factor Neurotrófico Derivado del Cerebro maduro
MP	Material Particulado, es una mezcla de partículas líquidas y sólidas, de sustancias orgánicas e inorgánicas, que se encuentran en suspensión en el aire
MP2.5	Material particulado fino de tamaño inferior a 2.5 micrómetros
MW	Megawatts
NO2	Dióxido de nitrógeno
Nox	Óxidos de nitrógeno
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPHA	Ontario Public Health Association
PEF	Flujo Espiratorio Máximo
SO2	Dióxido de azufre
V	Vanadio
VEF1	Volumen Espiratorio Forzado en el primer segundo
FVC	Capacidad vital forzada

1 ANTECEDENTES

Central termoeléctrica es una instalación empleada en la generación de energía eléctrica a partir de la energía liberada en forma de calor, normalmente mediante la combustión de combustibles fósiles como petróleo, gas natural o carbón. Estas instalaciones de sistemas productivos de energía, basadas en el uso de carbón, representa un riesgo cierto para la salud de las comunidades expuestas. Estos riesgos se incrementan en la medida que las fuentes emisoras cuenten con tecnologías deficientes en el control de emisiones y cuando las poblaciones receptoras muestran condiciones de vulnerabilidad adicional dadas por la pobreza, deficientes condiciones de acceso a la salud y condiciones propias de la edad que los tornan menos aptos para hacer frente a los contaminantes, como sucede con los niños.

Los principales contaminantes emitidos en el proceso de combustión de las termoeléctricas corresponden a: 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 ácidos nítrico y sulfúrico – ambos componentes de la lluvia ácida - y del material particulado fino (MP_{2.5}), principalmente en la forma de sulfatos y nitratos.

Es importante mencionar que un 19% de la capacidad instalada de matriz energética chilena, equivalente a 2.618 MW, se basa en centrales carboneras, ubicadas en 8 Comunas: Tocopilla (7), Mejillones (8), Huasco (5), Puchuncaví (4), Coronel (3), Iquique, Hualpén y Curicó. Siete de estas centrales superan los 40 años de producción y de ellas 5 cuentan con más de 50 años.

Los contaminantes del carbón afectan los principales sistemas de órganos del cuerpo y contribuyen en cuatro de las cinco principales causas de mortalidad en los Estados Unidos: enfermedades cardíacas, cáncer, accidentes cerebro-vasculares y enfermedades crónicas del aparato respiratorio. Cada paso del ciclo de vida del carbón – su extracción, transporte, lavado, combustión y desecho de residuos de postcombustión – tiene influencia sobre la salud humana, agravando los principales problemas de salud pública de nuestros tiempos; interfiere con el desarrollo pulmonar, incrementa el riesgo de infartos y compromete la capacidad intelectual.

En Chile existe poca evidencia de los daños en salud poblacional, aun cuando se presentan varios ejemplos ubicados de termoeléctricas a carbón, localizadas en varias ciudades del país, para las cuales se dispone de evidencia reciente de los daños que estas fuentes generan en la salud. A la fecha, sólo se registra un estudio que muestra aumentos entre 20% y 100% en mortalidad y morbilidad por varias causas, entre ellas, cardiovasculares, respiratorias, cáncer, asociados a megafuentes emisoras, entre ellas, termoeléctricas a carbón. Sin embargo, evidencia internacional muestra también 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 en mujeres durante su embarazo.

2 OBJETIVOS

2.1 General

Realizar una revisión de la literatura científica nacional e internacional que describa los efectos en salud en población menor de 18 años, asociados a la exposición a emisiones de plantas generadoras de energía en base a carbón. Adicionalmente, se revisarán lineamientos o propuestas desde agencias internacionales para reducir efectos en salud infantil asociados a este tipo de fuentes emisoras.

2.2 Específicos

- Revisar la literatura científica nacional e internacional sobre daños en salud, con énfasis en niños menores de 18 años, asociados a la exposición a emisiones de plantas generadoras de energía en base a carbón.
- Revisar declaraciones y recomendaciones internacionales orientados a reducir daños en salud asociados a plantas generadoras de energía en base a carbón.
- Proponer recomendaciones de control y prevención de daños en salud ambiental infantil asociados a plantas generadoras de energía en base a carbón aplicables a la realidad nacional.

3 MÉTODO DE LA REVISIÓN

Para la estrategia de búsqueda de evidencia se consideró: exposición a contaminantes provenientes de termoeléctricas de carbón, efectos en salud y población general y menores de 18 años de edad. Se utilizó la base de datos bibliográficos electrónicos Pubmed, considerándose artículos recomendados por expertos nacionales (Anexo 1).

3.1 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 plantas termoeléctricas a carbón y efecto 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 al efecto en salud por combustión doméstica de carbón u otra fuente de emisión, publicaciones sin acceso a texto completo y publicados en otros idiomas.

3.2 Análisis crítico de los estudios

Los títulos identificados en la búsqueda fueron revisados de forma independiente por 2 autoras quienes seleccionaron aquellas citas relacionadas al objetivo de la revisión, eliminando las claramente irrelevantes. Las citas elegidas fueron ingresadas a una planilla donde posteriormente, todas las autoras realizaron de forma independiente una revisión de los resúmenes para verificar el cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión. Ante la incertidumbre sobre la elegibilidad de los informes se accedió al texto completo y cuando fue necesario se buscaron datos adicionales de los autores para resolver dudas. Las planillas completadas por cada una de las autoras se compararon de forma cruzada para determinar los resúmenes elegibles para la revisión; cualquier discrepancia se resolvió mediante consenso. Posteriormente, las autoras accedieron al texto completo de los artículos potencialmente relevantes para confirmar su elegibilidad y para extraer los datos de los seleccionados. Se elaboró una segunda planilla para realizar una síntesis de los resultados; la planilla incluyó información sobre la identificación de la publicación, método empleado, caracterización de la muestra, definición de la exposición y el desenlace, resultados más relevantes y limitaciones del estudio, entre otros.

Utilizando la plataforma web Google se realizó una búsqueda de declaraciones y reportes que muestren evidencia de la preocupación de grupos, asociaciones o agencias en relación a

recomendaciones y acciones orientadas a la reducción de los daños en salud en general y en niños asociados a empresas generadoras de energía que utilizan carbón.

4 RESULTADOS

4.1 Resultados de la búsqueda

En el siguiente diagrama se resume el proceso de búsqueda y selección de publicaciones que permiten responder al objetivo de esta revisión de la literatura.

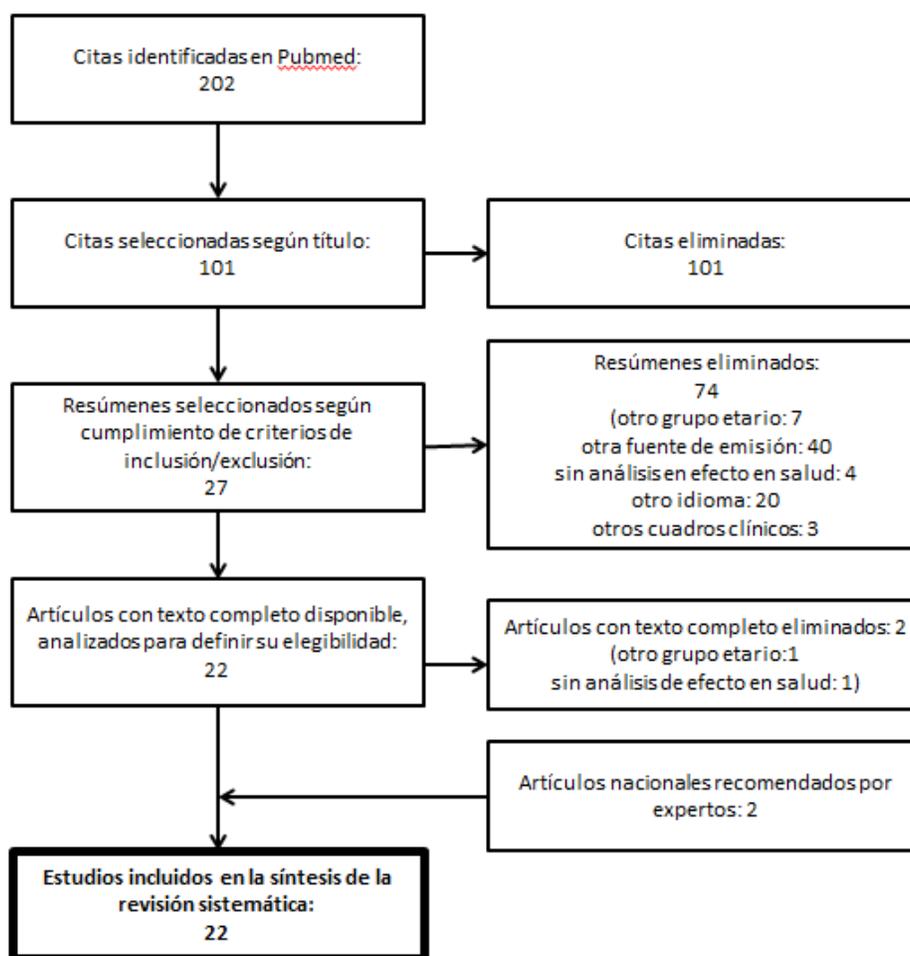


Diagrama de búsqueda y selección de publicaciones ¹.

¹ Por sugerencia de expertos nacionales consultados (2) se incluyeron 2 artículos realizados en Chile, uno que estudió niños residentes en el parque industrial de Puchuncaví (Sanchez et al, 1999) y otro que establece daños en poblaciones expuestas a megafuentes, entre ellas, termoeléctricas a carbón Ruiz-Rudolph et al, 2016).

Llama la atención el escaso número de publicaciones científicas realizadas en este tema, en particular se identifica que muchas de las publicaciones fueron excluidas por no abordar el objetivo del estudio (101/202, 50%), o bien por no cumplir los criterios de inclusión o exclusión en su contenido (75/202, 37.1%).

4.2 Descripción de resultados

Se muestran a continuación los resultados emanados de la selección de artículos que abordan la relación entre salud en población general y en niños y exposición a plantas generadoras de energía en base a carbón.

Se presentan resultados separados por tipo de daños (outcomes) en salud, en lo referido a identificación de biomarcadores de exposición o efectos, alteraciones perinatales, desenlaces en el desarrollo neurocognitivo, en salud respiratoria, en audición, en cáncer y en mortalidad.

4.2.1 Biomarcadores

Los principales efectos se identifican desde estudios de cohorte realizados en China, en los que se han evaluado mujeres no fumadoras mayores de 20 años, con residencia dentro de 2,5 km de una central eléctrica a carbón y sus recién nacidos inscritos, evaluados el año 2002 y 2005 (tamaño muestral de 308 mujeres y sus hijos). Se registran varias publicaciones del mismo grupo, en el que se comparan biomarcadores moleculares de exposición y efectos preclínicos en sangre de cordón umbilical en relación a varios outcomes, entre ellos, condiciones antropométricas al nacer (peso, longitud, diámetro de la cabeza), neurodesarrollo y coeficiente intelectual. Estos efectos fueron medidos durante la operación de la planta de energía de carbón altamente contaminante en China y luego de su paralización. En estos estudios, se evidenció que en la cohorte de niños que nació una vez que la planta ya no operaba, medidos a los dos años después de su cierre, la circunferencia de cabeza aumentó, se redujo el nivel de aductos del ADN y los niveles de HAP en la sangre y en el ambiente; a la vez se reportaron concentraciones más altas de la proteína BDNF madura (mBDNF) y puntuaciones más altas de DQ (cuociente de desarrollo).

En otros estudios basados en diseños de tipo transversal, realizado en China y Taiwan, se pudo establecer en niños de 9 a 15 años residentes en la cercanía de refinерías de petróleo y centrales eléctricas a carbón que los niveles urinarios de metales pesados y 1-hidroxipireno (1-OHP), usados como biomarcadores de exposición interna, y 8-OHdG, HNE-MA, 8-isoPGF2 α y 8-NO2Gua como biomarcadores de los efectos de salud tempranos. Se estableció que aquellos participantes con residencia más cercana mostraron concentraciones ambientales elevadas de vanadio y HAP, aumento de las concentraciones de 1-OHP, vanadio, níquel, cobre, arsénico, estroncio, cadmio, mercurio y talio, y concentraciones más altas de orina de los cuatro biomarcadores de estrés oxidativo en orina en comparación con sujetos de baja exposición. Similares hallazgos se obtuvieron en adultos mayores de 55 años (Cheng, 2017).

Por otra parte, en 369 niños de China, con edades entre 1 a 13 años, aquellos niños que viven en comunidades de alta exposición tuvieron concentraciones urinarias de 1-hidroxipireno más altas que aquellos en comunidades de baja exposición, aun cuando se ajustaron los resultados por edad, sexo, humo de tabaco ambiental, exposición a la dieta y tráfico (Hu, 2011).

4.2.2 Alteraciones perinatales

En relación a estos efectos, Yang (2017), al estudiar el impacto de la exposición prenatal a las emisiones de una central a carbón sobre el peso al nacer en Estados Unidos entre los nacidos vivos entre 1990 y 2006 (252.719 recién nacidos vivos), estableció que los nacidos de madres que viven a una distancia de 20 a 30 millas (aprox 5 km) a sotavento de la central eléctrica poseen mayor riesgo de tener bajo peso al nacer (<2500g) y muy bajo peso al nacer (<1500g) (6,5 y 17,1%, respectivamente).

Por otra parte, Mohorovic (2004), estudió en Croacia a 704 mujeres embarazadas con residencia entre 3,5 a 12 km de distancia desde una central eléctrica a carbón. Las embarazadas fueron analizadas según la localización de su residencia dentro de zonas definidas por círculos concéntricos alrededor de la central eléctrica. Bajo este diseño, se evidenció que una exposición mayor y más prolongada a las emisiones de SO₂ durante los dos primeros meses de embarazo resultó en una gestación significativamente más corta (final del primer mes: $r=0.0914$, $p=0.008$, final del segundo mes: $r=0.0806$, $p=0.016$) y en menor peso al nacer (final del primer mes: $r=0.0807$, $p=0.016$, final del segundo mes $r=0.0733$, $p=0.026$).

En China, fueron desarrollados dos estudios prospectivos que analizaron efectos perinatales de la exposición a la emisión de una central eléctrica ubicada a menos de 5km de distancia de la vivienda de sus madres durante el embarazo. En el primero de ellos (Tang et al. 2006) se encontró que los niños de madres que vivían cerca a la central se caracterizaban por un menor diámetro de circunferencia craneal y también por menor peso corporal en meses posteriores al nacimiento. Así mismo una exposición más prolongada durante el embarazo se asoció con una menor longitud de los niños al momento de nacer y también a los 18, 24 y 30 meses de nacido ($p<0.001$). Posteriormente, los mismos autores (Tang et al. 2014), 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 diámetro de circunferencia craneo para aquellos niños nacidos luego del cierre de la central eléctrica de carbón ($p<0.001$).

4.2.3 Desenlace en el desarrollo neurocognitivo

Del total de artículos seleccionados 6 estudios se refieren a los efectos de la exposición a contaminantes emitidos por centrales eléctricas a carbón sobre el desarrollo neurocognitivo de los

niños. Cinco de ellos se basan en registros de una cohorte de niños cuyas madres desde el inicio de su embarazo residían en las proximidades de una central eléctrica de Tongliang, China. Para cuatro de los estudios el seguimiento consideró el periodo entre el embarazo y los 2 años de edad y uno hasta los 5 años de edad de los niños.

Tras un seguimiento de dos años a los niños nacidos en el año 2002, y con la central en pleno funcionamiento, se utilizó el Programa de Desarrollo Gesell para determinar el Cociente de Desarrollo (QD) en 4 dominios (motor, adaptativo, de lenguaje y social). Se observó que la disminución en QD motor y en el promedio de todos los dominios se asoció a una mayor concentración de biomarcadores para Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) en sangre del cordón umbilical, mientras el QD para el dominio social se asoció negativamente con las concentraciones de plomo en la sangre del cordón umbilical, ambas sustancias detectadas en las emisiones de centrales termoeléctricas a carbón (Tang et al. 2008). Un estudio posterior comparó los resultados de QD de la misma cohorte con otros nacidos en el 2005, tras el cierre de la planta eléctrica. 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 QD en el dominio motor y en el promedio para la cohorte más vieja, relación que no se observó en la cohorte más nueva (Perera et al. 2008).

A los 5 años de edad de los niños participantes de la cohorte de China se evaluó el Cociente de Inteligencia (CI) mediante la Escala de Inteligencia Wechsler Preescolar y Primaria, en ella se consideran 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, se observaron interacciones significativas entre los aductos y el 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 ambiental (Perera 2012).

Se agregan los datos publicados con posterioridad donde se presenta que la cohorte sin la exposición a las emisiones de la central (nacidos el 2005) también registró concentraciones más altas de la proteína BDNF madura (mBDNF) y puntuaciones más altas de CD a los dos años de edad (Tang et al. 2014). Otro informe publicado el año 2014 destacó que las frecuencias de retraso en neurodesarrollo en todas las áreas, excepto en el lenguaje, se redujeron en la cohorte 2005 en comparación con la del año 2002 (Tang et al. 2014).

Entre los artículos seleccionados se encuentra un estudio ecológico realizado en Estados Unidos donde se analizó la distribución espacial de autismo en relación a la contaminación ambiental por mercurio. Los autores reportaron un mayor riesgo de autismo para zonas con fuentes de emisión de mercurio (centrales eléctricas de carbón y las plantas de cemento con hornos de carbón). La correlación de suma de rangos entre la tasa de autismo y el mercurio en el aire ambiente para California fue de 0,38 ($p = 0,04$), mientras que para Texas, fue de 0,68 ($p = 0,01$).

4.2.4 Desenlaces en salud respiratoria

Del total de estudios seleccionados, seis se enfocan a resultados en salud respiratoria infantil: 5 artículos contienen efectos en la función pulmonar, 3 artículos incluyen efectos en síntomas respiratorios y 2 en consultas ambulatorias por causas respiratorias. La mayoría de los estudios se llevó a cabo en Israel. Se incluyó un estudio realizado en Chile, que no apareció en la estrategia de búsqueda inicial.

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. y cols. (2007), enfocado en evaluar el efecto de la exposición a largo plazo a la contaminación proveniente de una central eléctrica a carbón sobre el desarrollo de la función pulmonar en una cohorte de escolares de 2°, 5° y 8° grado según lugar de residencia (utilizando las concentraciones de SO₂ y NO_x de 12 estaciones de monitoreo) seguidos entre 1996 y 1999, reportó que la concentración de NO_x tuvo un efecto negativo significativo tanto en Δ VEF1 (-119 p<0,001) y en Δ CVF (-121 p<0,001) (modelo ajustado y resultados consistentes utilizando 2 estrategias de análisis), lo que significa que a mayor exposición existe un menor crecimiento de la función pulmonar. Por otro lado, el efecto de la interacción NO_x-SO₂ en Δ VEF1 fue negativa y más fuerte que la variable NO_x por sí sola. Además, al excluir la variable contaminación se redujo el poder explicativo de los modelos en 6% a 10%, lo que confirma que la contaminación explica las variables de efecto estudiadas.

El estudio de Yogev-Baggio T. y cols. (2010), corresponde a la misma cohorte anteriormente descrita pero en éste 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). Además, 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 NO_x-SO₂ en Δ VEF1 fue negativa y muy significativo 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 pulmonar. La asociación fue más débil en asmáticos (resultados similares para Δ CVF).

El estudio de Bravin B. y cols (1994) que evaluó de manera transversal la función respiratoria en 3 grupos de escolares de Inglaterra (grupo expuesto conformado por 5 escuelas cercanas a instalaciones a carbón y 2 grupos control conformado por 5 escuelas cada uno, todas de nivel socioeconómico similar), no mostró diferencias significativas en las mediciones de PEF entre los grupos de estudio.

Otros dos estudios fueron los realizados por Goren A. y cols (1988 y 1991), quienes evaluaron la función pulmonar en escolares que viven cerca de una central eléctrica que funciona

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 más alto en la comunidad con alta contaminación. En la cohorte de 2° en 1983, hubo un aumento anual más bajo en CVF y VEF1 en comunidad con baja exposición, mientras que cohorte 5° en 1983 hubo un aumento anual más bajo 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.

El estudio realizado en la zona de Puchuncaví (parque industrial de la V Región, Chile) por Sanchez y cols. (1999), evaluó el efecto de la exposición de corto plazo a MP10 y SO₂ sobre la función pulmonar y síntomas respiratorios en una cohorte de niños de 6 a 12 años que residen cerca de una fundición y una refinería de cobre (el seguimiento se realizó durante 66 días e incluyó mediciones diarias de salud y monitoreo de MP10 y SO₂). Los niños fueron clasificados en 2 grupos según su condición inicial: sintomáticos respiratorios y asintomáticos. Los principales resultados de la función pulmonar en el grupo sintomático fueron que por aumentos de 50 µg/m³ de la media diaria de SO₂ y de 30 µg/m³ en la concentración acumulada de 3 días de MP10 se observaron caídas significativas en el FEM; en tanto, el grupo asintomático tuvo caídas del FEM significativas solo por exposición a MP10 (por ↑ de 30 µg/m³ en media diaria).

Con respecto a los síntomas respiratorios, el estudio de Brabin B. y cols (1994) quienes estudiaron de forma transversal síntomas como tos, sibilancias y dificultad para respirar, reportaron una mayor prevalencia de la mayoría de estos síntomas respiratorios en el grupo expuesto (significativo para: todos los síntomas juntos y solo tos), así como una significativa menor prevalencia de ausencia de síntomas en el grupo expuesto. Además, los días perdidos debido a síntomas respiratorios fueron mayores en escuelas en el área expuesta.

En los estudios de Goren A. y cols, el primer reporte (1988) mostró que en la cohorte de 2° (5° en 1983) hubo un aumento de la prevalencia de tos sin resfrío (significativa), esputo sin resfrío (no significativa) y tos con esputo (no significativa) y en la cohorte de 5° (8° en 1983) la mayoría de los síntomas respiratorios fueron menos frecuentes en 1983, solo esputo sin resfrío fue el más prevalente; en ambas cohortes aumentó la prevalencia de sarampión (significativa) y neumonía (no significativa). 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 de síntomas y en ambas cohortes hubo mayor prevalencia de sarampión y neumonía en 1983. En el segundo reporte (1991), 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.

Finalmente, 2 estudios se enfocaron en las consultas ambulatorias, Brabin B. y cols (1994) encontró que en el grupo expuesto, hubo significativamente más diagnósticos de asma y fue menos probable que el asma tuviera buen control. Otro estudio realizado por Goren A. y cols (1995), en el cual se evaluó el impacto de una central eléctrica en la salud de la población que vive cerca de una central eléctrica de carbón mediante el registro semanal de las visitas diarias totales y por enfermedades respiratorias en 8 clínicas entre 1982-1990, encontró una tendencia de disminución moderada en el número total de visitas, y especialmente en el número de visitas por enfermedades respiratoria solo entre 1982 y 1984.

4.2.5 Otros desenlaces en salud

De los artículos arrojados en la búsqueda un artículo hace mención sobre los efectos que tendría la exposición a emisiones de centrales eléctricas en la audición de los niños. Dicho estudio fue realizado en Checoslovaquia, en niños de 10 años; en la publicación no se especifica la fecha de las evaluaciones, ni tampoco la distancia desde los hogares a la central. Los investigadores destacan que aquellos niños que vivían más próximos a una central eléctrica con alta emisión de arsénico presentaban importantes alteraciones en los umbrales en la conducción de aire a determinadas frecuencias (125, 250 y 8000Hz) al compararlos con los niños del grupo control ($p < 0,05$); para la conducción ósea las alteraciones se observaron para las frecuencias de 125, 250, 500 y 4000Hz ($p < 0,05$). Los niños expuestos presentaron también una mayor tasa de amígdalas y adenoides con tamaño aumentado, y de flujo concomitante de flema-pus en la nasofaringe posterior al comparar con los niños del grupo control. Los autores destacan posibles sesgos en su evaluación como el efecto de una epidemia de fiebre escarlatina y de pruebas clínicas que podían haber sido afectadas por las habilidades motrices de sus evaluados (Bencko et al. 1977b)

Un estudio transversal realizado en China analizó la asociación entre Elementos Ambientalmente Sensibles (ESEs) de suelo de zonas vecinas ubicadas a favor y en contra del viento de una central eléctrica con los riesgos carcinogénicos y no carcinogénicos en niños del sector. Entre los resultados se destaca que las concentraciones de ESEs fueron mayores en aquellas zonas ubicadas a favor del viento (sotavento), es decir, aquellas que recibían las emisiones de la central. Al asociar las concentraciones de ESEs con los riesgo en salud los autores encontraron que si bien el cociente de riesgo de cáncer en los niños es positivo este se encuentra dentro de un rango no peligroso (Tang et al. 2013)

4.2.6 Impactos en salud establecidos en otros grupos de la población

Se describen en esta sección tres publicaciones internacionales enfocadas en la descripción de daños en salud en población general residente en las cercanías de plantas de generación eléctrica basadas en carbón. En el estudio de Karavus et al (2002) se midieron efectos en salud respiratoria de tres comunidades ubicadas a 5 Km alrededor de una planta generadora en Turquía. Se compararon con dos comunidades control, de similares características, pero ubicadas a 30 km de la planta. En cada comunidad se evaluaron personas mayores de 15 años, aplicándose cuestionarios y practicando espirometría. Aquellos participantes residentes cerca de la planta mostraron 46,2% de opresión en el pecho y de 29,2% de ataques repetidos de tos en comparación con 28,0% y 20,4% respectivamente en el grupo de personas que vive en las comunidades control. Concordantemente, el FEV1 fue estadísticamente más bajo en el grupo cercano a la planta al comparar con los sujetos controles; el daño en salud aumentaba conforme aumentaba la edad de los residentes de la zona más cercana a la planta ([Karavus, Aker et al. 2002](#)). Similares hallazgos se determinaron en otro estudio realizado en Turquía el año 2012 el que se evaluó la salud y la función respiratoria de residentes alrededor de otra planta generadora de electricidad a carbón. También se usaron cuestionarios y se realizaron espirometrías en 2350 residentes y se compararon con un grupo control de 469 personas no residentes cerca de la planta; todos fueron mayores de 15 años. EL FEV1 y la FVC fueron significativamente menores en los expuestos al comparar con los controles ([Pala, Turkkkan et al. 2012](#)).

El año 2011, Gohlke et al evaluaron la relación entre el uso de electricidad, consumo de carbón y daños en salud, utilizando series de datos de 41 países con trayectorias variables de desarrollo entre el año 1965 y 2005. Se evaluó el cambio en la esperanza de vida (EV) y mortalidad infantil (MI) basado en el consumo de electricidad, el consumo de carbón y la EV del año anterior. Se estableció que el aumento del consumo de electricidad se asoció con reducción de la MI en aquellos países que comenzaron con MI relativamente alta (> 100 muertes cada 1,000 nacidos vivos) y bajo EV (<57 años) en 1965, mientras que la EV no se asoció significativamente con el consumo de electricidad, independientemente de MI y EV en 1965. Este trabajo muestra que el aumento del consumo de carbón tiene un impacto significativo en la salud ([Gohlke, Thomas et al. 2011](#)).

En el caso particular de Chile, sólo se dispone de un estudio a cargo de Ruiz-Rudolph et al (2016) cuyo objetivo fue determinar si la presencia de grandes instalaciones (del tipo centrales eléctricas a carbón y petróleo, fábricas de pastas de celulosa, mineras y fundiciones de cobre) afectan las tasas de mortalidad y morbilidad en Chile. Usando un tipo de estudio ecológico, se compararon aquellas comunas en cuyo territorio existen megafuentes emisoras de contaminantes en cuanto a la mortalidad y morbilidad por diversas causas. Se estableció un alto riesgo estadísticamente significativo de morir, con rango entre 20 a 100% en aquellas comunas que tenían estas megafuentes, para todas las causas, causas cardiovasculares, respiratorias, cáncer total y mortalidad por cáncer de pulmón. También se observaron mayores tasas de hospitalización por enfermedad cardiovascular, respiratoria, cáncer y neumonía; con mayores daños en hombres al comparar con mujeres. Estos resultados deben tomarse con precaución ya que al tratarse de un diseño ecológico se evidencian asociaciones, pero no permiten establecer causalidad; posibles

hipótesis pueden verificarse con diseños epidemiológicos de base individual (Ruiz-Rudolph et al, 2016).

5 DECLARACIONES DE AGENCIAS INTERNACIONALES RELACIONADAS CON EL USO DE CARBÓN COMO COMBUSTIBLE PARA LA GENERACION DE ELECTRICIDAD

Las declaraciones señaladas a continuación establecen recomendaciones en las siguientes dimensiones:

- ✓ Rol de las termoeléctricas a carbón como fuentes importantes de contaminantes del aire.
- ✓ Fomento del fortalecimiento de todos los esfuerzos liderados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para integrar sus recomendaciones en las las políticas nacionales, regionales y locales vinculadas a contaminación del aire;
- ✓ Acciones para fomentar la protección de la salud mediante una rápida transición desde la fase del carbón hacia energías limpias y renovables.
- ✓ Otras estrategias se enfocan en el fortalecimiento de los equipos de salud, promoción del uso de combustibles menos contaminantes que el carbón, desarrollo de otras medidas de control (regulación, planificación territorial).

Se presenta un resumen a continuación:

- a) *ONTARIO PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (OPHA, 1999). Emite su Resolución titulada "Impactos en salud de las estaciones generadoras de energía por quema de carbón" en el 1999 Annual General Meeting.*

En esta resolución se hace un llamado a los Ministros de Ambiente, Energía y Ciencia y Tecnología a asegurar que los límites de las emisiones al aire para SO₂ y NO_x se aplique a todas las compañías que proporcionan electricidad a la ciudad de Ontario y que estos límites cumplan las recomendaciones de la Alianza de Aire Limpio para Ontario. Estas recomendaciones se basaron en la evidencia, hasta entonces recolectada, que mostraba que:

- la mala calidad del aire en Ontario era el principal problema de salud pública, con evidencia de muertes prematuras y de ingresos hospitalarios por causas cardíacas y respiratorias;
- las plantas generadoras de energía en base a carbón eran las mayores fuentes de contaminantes peligrosos al aire;

- existe un peligro ya que, en ausencia de estándares regulatorios exigentes, los niveles de contaminantes en el aire podrían aumentar como resultado de la desregulación del mercado de la electricidad en Ontario;
- la evidencia ha demostrado que el nivel de contaminantes del aire proveniente de la generación eléctrica podrían reducirse significativamente a muy bajo costo, si las plantas generadoras de energía por quema de carbón fueran convertidas a gas natural.

b) *AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRICS (ACP, 2004). El Comité de Salud Ambiental emite su Policy Statment Organizational Principles to guide and define the child health care system and/or improve the health of all children, titulado “Contaminación Ambiental del Aire: Peligros para la salud de los niños”.*

En esta declaración se establece que las plantas generadoras de electricidad en base a carbón son una de las principales fuentes de partículas, NOx y SO2, pero también emiten otros contaminantes que persisten, tal como el mercurio, que aun cuando no alcancen niveles considerados dañinos es conocido por su carácter neurotóxico. A la vez, hace un llamado a proteger a las personas con medidas de control efectivas.

A fin de proteger la salud de los niños, las recomendaciones consideran que:

- Para las regulaciones necesarias para proteger a los niños, es necesario que éstas incluyan amplios márgenes de seguridad que tomen en cuenta los efectos sobre el feto, bebés y niños. Estas regulaciones deben ser regularmente revisadas y ajustadas para proteger la salud infantil;
- Para proteger la salud de los niños es recomendado que se revisen los niveles de otros contaminantes, tal como los HAP y el mercurio;
- Deben promoverse aquellos combustibles alternativos bajos en azufre;
- Se incluyen otras recomendaciones vinculadas a la planificación territorial, fomento a caminar y uso de bicicletas, entre otros.

c) *HEALTH CARE WITHOUT HARM & HEALTHY ENERGY INITIATIVE (2015) publicaron “Los impactos en salud de las elecciones de energía: a documento informativo para la salud comunitaria” el año 2016.*

En este reporte se indican acciones mediante colaboración global para hacer abogacías que permitan mover más allá de los sistemas de generación de energía basada en combustibles fósiles, especialmente carbón, hacia opciones de energía mediante sistemas limpios, renovables para proteger la salud pública. En relación a las plantas basadas en la quema de carbón y daños en salud infantil se señala que el carbón es uno de los más dañinos y fuente importante de mercurio; este mercurio daña de manera importante a los fetos y niños en desarrollo.

Entre sus recomendaciones, se destacan que:

- Entre las acciones para proteger la salud pública es necesario abogar por una óptima evaluación de los impactos en salud para la evaluación de nuevos proyectos de generación de energía, basado en investigaciones de calidad realizadas por profesionales de salud cualificados e independientes;
- Es necesaria la participación de los varios esfuerzos liderados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) para integrar las preocupaciones de las políticas nacionales, regionales y locales vinculadas a contaminación del aire;
- Para la protección de la salud planetaria es perentorio abogar para una rápida transición desde la fase del carbón hacia energías limpias y renovables.

d) *US EPA presenta antecedentes de la American Academy of Pediatrics, American Lung Association, American Nurses Association, American Public Health Association, Chesapeake Bay Foundation, Clean Air Task Force, Council for Citizens for Pennsylvania's future, Conservation Law Foundation, Environment America, Environmental Defense Fund, Natural Resources Council of Maine, Natural Resources Defense Council, Physicians for Social Responsibility, Sierra Club and The Ohio Environmental Council (2016) presentaron un documento titulado "Comentarios de Grupos de Salud Pública y Ambiente respecto a aspectos necesarios de regular por parte de la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (US EPA) sobre contaminantes peligrosos provenientes de sistemas generados de energía desde carbón y aceites.*

En este documento se señala, en relación a las plantas generadoras en base a carbón, que éstas son las fuentes más importantes que emiten ácido hidróclórico, mercurio, HAP y arsénico al aire. Se reiteran los daños en salud de estos contaminantes y en particular el daño respiratorio y cognitivo asociado a mercurio en niños.

e) *HEALTH AND ENVIRONMENT ALLIANCE generó un reporte titulado "Global Health Professionals Call for Transition away from coal" (2017), declaración de 82 organizaciones provenientes de 30 países y que representan más de 300000 médicos, enfermeras y profesionales de salud pública.*

En este documento se señala que las plantas generadoras en base a carbón son importantes fuentes de contaminación del aire, con emisiones ya descritas e incrementos de los riesgos poblacionales de enfermedades cardiovasculares y respiratorias. Son también fuente de mercurio, el que se acumula en la cadena alimentaria acuática y altera el sistema nervioso central, especialmente en niños expuestos en su vida prenatal. También describe experiencias que han desarrollado y cambiado su matriz energética hacia alternativas renovables.

Se destaca el aporte de las plantas a carbón como importante contribuyente al cambio climático, el que, según la Organización Mundial de la Salud considera el problema global de salud más importante.

Dentro de sus recomendaciones, se destaca que:

- Los profesionales de la salud deben ser entrenados para responder a tiempo para actuar rápidamente en orden de proteger la salud de las personas y salvar vidas alrededor del mundo;
- Tomar un rol activo en la transición global hacia combustibles para la generación de energía, más saludables y más allá del carbón.

6 CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN DE LA LITERATURA

Los estudios incluidos en la revisión sistemática fueron clasificados de acuerdo al tipo de efecto en salud en 5 categorías, cuyas conclusiones se presentan a continuación.

Con respecto a la presencia de biomarcadores, los estudios analizados fueron consistentes en el hallazgo del aumento de biomarcadores de exposición interna (metales pesados y 1-hidroxipireno en orina) y biomarcadores de efectos en salud tempranos (8-OHdG, HNE-MA, 8-isoPGF2 α y 8-NO2GUA) en las zonas expuestas cercanas a instalaciones que funcionan con combustión a carbón en comparación con zonas no expuestas. Por otro lado, uno de los estudios evaluó ciertos biomarcadores después del cierre de una planta de energía a carbón y reportó una reducción del nivel de aductos del ADN, de los niveles de HAP en sangre y un aumento de la proteína BDNF madura, lo cual refuerza la consistencia de estos estudios.

En relación a las alteraciones perinatales, los estudios analizados reportaron que la exposición según distancia desde la residencia a las emisiones de centrales eléctricas a carbón en el embarazo se asoció al nacimiento de niños con bajo y muy bajo peso al nacer, menor longitud al nacer, gestación más corta y menor diámetro de circunferencia cráneo. Además, este diámetro de circunferencia cráneo aumentó en los niños nacidos después del cierre de la central eléctrica.

Los artículos revisados del desarrollo cognitivo apuntan a una disminución del cociente del desarrollo y cociente de inteligencia en los niños expuestos a emisiones de centrales eléctricas a carbón comparados con niños no expuestos, y además un aumento del cociente del desarrollo en una cohorte de niños que crecieron cuando la central se había cerrado. También, se relacionó el vivir en zonas con fuentes de emisión de mercurio (centrales eléctricas y plantas de cemento que funcionan con carbón) con un mayor riesgo de autismo.

Los artículos enfocados en salud respiratoria, fueron consistentes en reportar un menor desarrollo de la función pulmonar a largo plazo en los niños que vivían 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 residen en las comunidades expuestas comparados con menor o sin exposición. El estudio realizado en Chile, enfocado hacia efectos de corto plazo en la salud respiratoria infantil, reportó tanto caídas en la función pulmonar como aumento de síntomas respiratorios en niños sintomáticos y asintomáticos respiratorios que viven en una zona expuesta.

Por otro lado, un artículo presentó los efectos deletéreos de las emisiones de una central eléctrica a carbón sobre la audición de los niños para sonidos de determinadas frecuencias. Otro estudio encontró un leve aumento en el riesgo carcinogénico, riesgo que los autores señalan se encuentra dentro de un rango aceptable, no peligroso.

La evidencia de daño en salud en población general mayor de 15 años muestra claramente daños en la función respiratoria; evidencia nacional muestra aumentos del riesgo a morir o a enfermar por causas respiratorias, cardiovasculares, cáncer en total, cáncer pulmonar, en aquellas personas que viven en comunas con al menos una megafuente, entre las que se incluyeron fundiciones de cobre, plantas de celulosa o termoeléctricas en base a carbón.

En general, las agencias internacionales declaran que la exposición a la emisión de contaminantes proveniente de la combustión del carbón es dañina para la salud, generando una fuerte preocupación especialmente la exposición y los daños en la salud infantil. Estas agencias hacen un llamado a que se cumplan los límites de emisión o márgenes de seguridad de la emisión de contaminantes en las centrales eléctricas a carbón o bien que sean convertidas a gas natural.

7 RECOMENDACIONES

Como Comité de Salud Ambiental Infantil de la Sociedad Chilena de Pediatría recomendamos:

- Realizar todos los esfuerzos para que la generación actual de niños que viven en aquellas comunas donde se conoce la existencia de una termoelectrica a carbón reduzcan la exposición a contaminantes comprobadamente relacionados con enfermedades respiratorias, alteraciones perinatales y daño cognitivo.
- Proponemos se dé carácter de urgencia al desarrollo de estudios epidemiológicos de calidad científica, que sean realizados por instituciones académicas que garanticen objetividad de manera de cuantificar la magnitud real del daño en la salud de los niños de todas aquellas comunas que tienen termoelectricas a carbón. Prioridad debe darse a medir impacto en aquellas comunas que albergan a las termoeléctricas más antiguas o que se ubican en comunas que ya disponen de un instrumento de gestion para la calidad del aire (tal como planes de prevención y descontaminación).
- Una vez cuantificada la magintud del daño en salud infantil, proponemos se desarrollen programas de capacitación y fortalecimiento de los equipos de salud e infraestructura adecuada, especialmente en el nivel de la atención primaria en salud, a fin de proveer atención de salud de calidad a los niños actualmente expuestos a contaminantes provenientes de termoelectricas a carbón. Estos programas deben consolidarse de manera gradual pero con urgencia, a lo menos en las 5 comunas más afectadas por la exposición a las termoelectricas más antiguas presentes en Chile.
- Proponemos se revisen las autorizaciones sanitarias y ambientales para todas aquellas termoeléctricas que tengan más de 50 años de operación, de manera de redefinir los niveles aceptables para la emisión de contaminantes asociados a las plantas de generación a carbón.
- Especial atención debe darse a desarrollar y establecer sistemas de vigilancia sanitario-ambientales que incluyan la recolección y análisis sistemático de indicadores de salud, calidad del aire en poblaciones infantiles expuestas a termoeléctricas a carbón, de manera de generar evidencia de calidad que permita asegurar que las acciones de control ambiental y de prevención y control de las enfermedades de los niños en estas comunas de alto riesgo son efectivas.

8 REFERENCIAS

- 1) Bencko V, Dobišová A, Máčaj M. Arsenic in the hair of a non-occupationally exposed population. *Atmospheric Environment* (1967). 1 de abril de 1971;5(4):275–9.
- 2) 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*. 1 de junio de 1977;13(3):386–95.
- 3) 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*. 1 de junio de 1977;13(3):378–85.
- 4) 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.
- 5) Canada E and CC, Canada E and CC. Canada and the UK launch a global alliance to phase out coal electricity [Internet]. *gcnws*. 2017 [citado 19 de enero de 2018]. Disponible en: https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/news/2017/11/canada_calls_foraglobalalliancetophaseoutcoalelectricity.html
- 6) Canada E and CC, Canada E and CC. Taking action to phase out coal power [Internet]. *gcnws*. 2017 [citado 19 de enero de 2018]. Disponible en: https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/news/2017/11/taking_action_tophase-outcoalpower.html
- 7) 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*. mayo de 2017;102:87–96.
- 8) Dubnov J, Barchana M, Rishpon S, Leventhal A, Segal I, Carel R, et al. Estimating the effect of air pollution from a coal-fired power station on the development of children's pulmonary function. *Environ Res*. enero de 2007;103(1):87–98.
- 9) 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*. agosto de 1991;94:101–5.
- 10) 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*. diciembre de 1995;103(12):1110–5.
- 11) 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*. abril de 1988;43(2):190–4.

- 12) Gohlke, J. M., et al. (2011). "Estimating the global public health implications of electricity and coal consumption." *Environ Health Perspect* **119**(6): 821-826.
- 13) Health and Environment Alliance [Internet]. Reducing air pollution from coal power plants in the Western Balkans would save thousands of lives annually - [citado 19 de enero de 2018]. Disponible en: <http://www.env-health.org/resources/press-releases/article/reducing-air-pollution-from-coal>
- 14) Health and Environment Alliance (HEAL). Boosting health by improving air quality in the Balkans. *Publised* Diciembre 2017 [citado 19 de enero de 2018]. Disponible en http://env-health.org/IMG/pdf/13.12.2017_-_boosting_health_by_improving_air_quality_in_the_balkans_ied_briefing.pdf
- 15) Health and Environment Alliance (HEAL). Health impacts of lignite-fired power plants. The German-Polish region Lusatia. Background Paper Octubre 2012 [citado 19 de enero de 2018]. Disponible en: http://www.env-health.org/IMG/pdf/heal_background_paper_lignite_health_brandenburg_english.pdf
- 16) Hu S-W, Chan Y-J, Hsu H-T, Wu K-Y, ChangChien G-P, Shie R-H, et al. Urinary levels of 1-hydroxypyrene in children residing near a coal-fired power plant. *Environ Res.* noviembre de 2011;111(8):1185–91.
- 17) Karavus, M., et al. (2002). "Respiratory complaints and spirometric parameters of the villagers living around the Seyitomer coal-fired thermal power plant in Kutahya, Turkey." *Ecotoxicol Environ Saf* **52**(3): 214-220.
- 18) 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.* noviembre de 2004;80(2):115–23.
- 19) Pala, K., et al. (2012). "Evaluation of respiratory functions of residents around the Orhaneli thermal power plant in Turkey." *Asia Pac J Public Health* **24**(1): 48-57.
- 20) 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.* abril de 2012;114:40–6.
- 21) Perera F, Li T, Zhou Z, Yuan T, Chen Y, Qu L, et al. Benefits of reducing prenatal exposure to coal-burning pollutants to children's neurodevelopment in China. *Environ Health Perspect.* octubre de 2008;116(10):1396–400.
- 22) Ruiz-Rudolph P, Arias N, Pardo S, Meyer M, Mesías S, Galleguillos C, Schiattino I, Gutiérrez L. Impact of large industrial emission sources on mortality and morbidity in Chile: A small-areas study. *Environ Int.* 2016 Jul-Aug;92-93:130-8. doi: 10.1016/j.envint.2016.03.036. Epub 2016 Apr 19.

- 23) Sánchez J, Romieu I, Ruiz S, Pino P, Gutiérrez M. [Acute effects of the breathing of industrial waste and of sulfur dioxide on the respiratory health of children living in the industrial area of Puchuncaví, Chile]. *Rev Panam Salud Publica*. 1999 Dec;6(6):384-91.
- 24) Tang D, Lee J, Muirhead L, Li TY, Qu L, Yu J, et al. Molecular and neurodevelopmental benefits to children of closure of a coal burning power plant in China. *PLoS ONE*. 2014;9(3):e91966.
- 25) Tang D, Li TY, Chow JC, Kulkarni SU, Watson JG, Ho SSH, et al. Air pollution effects on fetal and child development: a cohort comparison in China. *Environ Pollut*. febrero de 2014;185:90–6.
- 26) 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*. agosto de 2006;114(8):1297–300.
- 27) Tang D, Li T, Liu JJ, Zhou Z, Yuan T, Chen Y, et al. Effects of prenatal exposure to coal-burning pollutants on children's development in China. *Environ Health Perspect*. mayo de 2008;116(5):674–9.
- 28) 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*. noviembre de 2013;93(10):2473–9.
- 29) 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.
- 30) 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*. marzo de 2010;16(2):399–408.

9 ANEXO

9.1 MÉTODO DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

9.1.1 Pregunta de estudio

¿Cuáles son los efectos asociados a la exposición de emisiones de centrales termoeléctricas en base a carbón en la salud de menores de 18 años de edad?

9.1.2 Estrategia para el uso de descriptores

La estrategia de búsqueda consideró tres elementos: exposición a contaminantes provenientes de termoeléctricas de carbón, efectos en salud y población menor de 18 años de edad.

En tabla 1 se muestran términos MESH (Medical Subject Headings, in inglés) utilizados en la búsqueda de literatura científica.

Criterios		
Exposición	#1	Coal power plants [tiab]
	#2	Coal [Mesh]
	#3	Coal ash [Mesh]
	#4	Coal industry[Mesh]
	#5	Coal fired [Other Term]

	#6	#1 OR #2 OR #3 OR #4 OR #5
Desenlace	#7	Health [Mesh]
	#8	Health Impact Assessment [Mesh]
	#9	Radiologic health [Mesh]
	#10	Health Status Indicators [Mesh]
	#11	Health Status [Mesh]
	#12	Environment and Public Health [Mesh]
	#13	#7 OR #8 OR #9 OR #10 OR #11 OR #12
Población	#14	Child [Mesh]
	#15	Minors [Mesh]
	#16	Adolescent [Mesh]
	#17	Students [Mesh]
	#18	Infant [Mesh]
	#19	#14 OR #15 OR #16 OR #17 OR #18
	#20	#6 AND #13
	#21	#6 AND #13 AND #19

Tabla 1: Términos MESH (Medical Subject Headings) utilizados en la búsqueda de la literatura científica (elaboración propia).

9.1.3 Búsqueda bibliográfica

Se realizó una búsqueda de evidencia científica publicada en la base de datos bibliográficos electrónicos Pubmed.

9.1.4 Criterios de inclusión y exclusión de los estudios

Se incluyeron estudios epidemiológicos retrospectivos, transversales y prospectivos que analizaran el efecto en salud de la exposición de contaminantes provenientes de termoeléctricas a carbón.

Se incluyeron todos aquellos estudios que consideraran la medición de al menos 1 aspecto asociado a la exposición de contaminantes de plantas termoeléctricas a carbón y al menos 1 aspecto asociado al efecto en salud en población menor de 18 años de edad, sin límite de fecha de publicación y publicados en idioma inglés, español o portugués.

No se consideraron estudios relacionados al efecto en salud por la combustión doméstica del carbón u otra fuente de emisión, ni estudios donde no existiera un análisis separado para el grupo etario de interés para las autoras.

Se excluyeron los artículos científicos a los que no fue posible acceder al texto científico completo y estudios publicados en otros idiomas (chinos, croatas, alemán).

9.1.5 Análisis crítico de los estudios.

En primer lugar, los títulos identificados en la búsqueda fueron revisados de forma independiente por 2 de las autoras quienes seleccionaron aquellas citas relacionadas al objetivo de la revisión, eliminando aquellas claramente irrelevantes. Las citas elegidas fueron ingresadas a una planilla Excel “Selección de resúmenes” donde posteriormente, todas las autoras realizaron de forma independiente una revisión de los respectivos resúmenes para verificar el cumplimiento de los criterios de inclusión y exclusión. Ante la incertidumbre sobre la elegibilidad de los informes se accedió al texto completo de cada estudio y cuando fue necesario se buscaron datos adicionales de los autores para resolver las dudas. Las planillas completadas por cada una de las autoras fueron comparadas de forma cruzada para determinar los resúmenes elegibles para la revisión; cualquier discrepancia se resolvió mediante consenso.

Las autoras accedieron al texto completo de los artículos potencialmente relevantes para confirmar su elegibilidad y para luego extraer los datos de los estudios seleccionados. Se accedió al texto completo de los artículos seleccionados desde las bibliotecas de la Escuela de Salud Pública de la Universidad de Chile y desde la Biblioteca Biomédica de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Se elaboró una segunda planilla Excel “Extracción de datos” para realizar una síntesis de los artículos seleccionados para el análisis de la revisión sistemática.

9.1.6 Síntesis de resultados

Una vez establecido el listado final de publicaciones que conforman los resultados de esta revisión, se organizó y resumió el contenido de cada artículo en una planilla Excel (Anexo 1).

La información extraída consideró las siguientes dimensiones:

Fuente:

Identificación del estudio (identificador, ID)

Título

Primer autor

Año de publicación

Método:

Diseño del estudio

País y fecha del estudio

Objetivo

Participantes:

Número total

Edad

Sexo

Exposición:

Definición exposición

Número de grupos de comparación

Número de participantes por grupo
Desenlace:
Definición del desenlace
Criterio diagnóstico o forma de diagnóstico
Tiempo al desenlace
Resultados:
Principales resultados
Otros:
Limitaciones
Fuente de financiamiento
Elegibilidad:
Confirmación de la elegibilidad para la revisión del artículo
Motivo de exclusión del artículo

Utilizando la plataforma web Google se realizó una búsqueda de declaraciones y reportes que muestren evidencia de la preocupación de grupos, asociaciones o agencias en relación a recomendaciones y acciones orientadas a la reducción de los daños en salud en general y en niños asociados a empresas generadoras de energía que utilizan carbón.

Se utilizaron palabras claves en inglés, tales como:

- european physicians AND coal-fired power plants
- medical associations AND coal-fired power plants
- pediatricians AND coal-fired power plants
-

No se establecieron periodos delimitados para la búsqueda, ya que la cantidad de declaraciones o reportes referidos a este tema no son abundantes pero varios de ellos resumen la postura de varias asociaciones o grupos de expertos clínicos o en salud pública.