

## ¿Cuál es el efecto de estrategias regulatorias para la reducción de contaminantes en la salud de la población?

La contaminación del aire es un importante factor de riesgo y un crucial factor que contribuye a la carga de enfermedad a nivel global, además de tener una incidencia directa sobre la calidad de vida de la población. De esta forma, se desea conocer el efecto de estrategias regulatorias para la reducción de contaminantes del aire.

### Mensajes clave

- Las estrategias para regular la contaminación del aire podrían reducir las tasas de mortalidad en la población
- Es incierto si las políticas regulatorias mejoran el desarrollo neurológico de los niños, porque la certeza en la evidencia es muy baja.
- Dentro de las políticas para reducir la contaminación del aire, Chile cuenta con medidas que regulan las emisiones de gases. De esta forma, se podría explorar estrategias para mejorar el cumplimiento de este tipo de iniciativas, en caso que esto se considere como un elemento relevante para la política.

### ¿Qué es una síntesis rápida de evidencia?

Es una recopilación de la evidencia disponible para evaluar la pertinencia o efectos de una intervención, que se realiza en un plazo **no mayor a 20 días hábiles**



#### Este resumen incluye:

- **Introducción:** Contextualización del problema.
- **Principales hallazgos:** Evidencia que aporta argumentos para la toma de decisiones.
- **Consideraciones de Implementación:** Elementos a considerar para la formulación de la política pública.



#### No incluye:

- Recomendaciones explícitas para detallar el desarrollo de una política pública
- Datos de la realidad local de Chile en el tema abordado
- Lista de stakeholders involucrados en el tema en cuestión
- Análisis detallado sobre experiencias internacionales y legislación comparada.

### Se utilizan 4 Revisiones sistemáticas

### Tiempo utilizado para preparar esta síntesis:

20 días hábiles

### ¿Quién solicitó este resumen?

Esta síntesis fue solicitada por la **División de Planificación Sanitaria**, de la Subsecretaría de Salud Pública, del Ministerio de Salud.

# Introducción

La contaminación del aire ha sido reconocida como el mayor riesgo para la salud ambiental (1), que explicaría 4.2 millones de muertes anuales a nivel global (2), lo cual es ampliamente demostrado en estudios epidemiológicos (3). Por otro lado, la contaminación del aire, es la causa principal que contribuye a la carga de enfermedad a nivel global, y la principal causa prevenible de enfermedad, especialmente en países de bajos y medianos ingresos, siendo la principal causa de 103.000 años de vida sana perdidos en el 2015 (4).

Las fuentes de contaminación varían desde una pequeña unidad de cigarrillos, fuentes naturales como actividades volcánicas, hasta grandes volúmenes de emisiones generadas por motores de automóviles y actividades industriales.

En Chile, importantes ciudades se encuentran afectas a la contaminación del aire, ya sea por motivos industriales, parque automotriz, o el uso de leña (5). Sin embargo, durante el 2018 la zona Quintero-Puchuncaví ha visto diversos incidentes y emergencias asociadas a la presencia de contaminantes del aire que han generado alarma pública.

En vista de la crisis ambiental que se ha desencadenado en esta zona, el Ministerio de Salud está evaluando la implementación de distintas intervenciones para reducir el impacto que la contaminación del aire tendría sobre la población que habita en esta zona. Así, esta síntesis rápida intenta evaluar el impacto que tendría las estrategias regulatorias para reducir las emisiones.

## ¿Para quién es este resumen?

Personas tomando decisiones sobre la implementación de intervenciones para abordar la contaminación del aire, en especial en zonas con altas emisiones industriales.

## ¿Cómo fue preparado este resumen?

Utilizando palabras clave como “aire”, “contaminación”, “polución”, “estrategias” e “intervenciones”, se buscó en las bases de datos [HealthSystemsEvidence](#), [SocialSystemsEvidence](#), [Epistemonikos](#), [PubMed](#), [Campbell Collaboration](#) y la [Collaboration for Environmental Evidence](#) con el objetivo de identificar revisiones sistemáticas que abordaran la pregunta formulada. Luego, se estructuró la pregunta de acuerdo a las intervenciones encontradas para preparar un resumen de la evidencia disponible.

## Objetivo de esta síntesis

Informar la toma de decisiones respecto de los efectos que tendría la implementación de distintas estrategias para abordar la contaminación del aire. Se presentan los principales hallazgos encontrados en la evidencia recopilada, además de algunas consideraciones sobre la implementación relacionadas a la intervención estudiada.

# Resumen de Hallazgos

Esta síntesis busca aportar evidencia sobre el efecto de políticas regulatorias de reducción de contaminantes ambientales en la salud de la población.

Se incluyeron todos los tipos de acciones, ya sean políticas, intervenciones y estrategias dirigidas al control, regulación o disminución de contaminantes ambientales. Se excluyeron intervenciones relacionadas a la dieta de las personas y acciones enfocadas en la contaminación intradomiciliaria.

Al realizar la búsqueda, los títulos y resúmenes fueron seleccionados por dos revisores independientes, discutiendo cada uno de los disensos encontrados. Se encontraron inicialmente 21 revisiones sistemáticas. De éstas, se excluyeron 3 por disenso o duplicados y 14 al evaluar su contenido. Los motivos de exclusión fueron principalmente por no ser revisiones sistemáticas, intervenciones dirigidas a contaminación intradomiciliaria, o por evaluar sistemas de monitoreo de contaminantes.

De esta forma, **se utilizaron finalmente 4 revisiones sistemáticas** publicadas entre 2012 y 2016 (3,6-8). Sobre estas revisiones, se excluyeron estudios primarios que evaluaran estrategias implementadas con una duración menor a 1 año (por ejemplo intervenciones realizadas durante un evento deportivo), que midieran resultados en salud inmediatos (como por ejemplo sintomatología respiratoria) y evaluaciones de situaciones circunstanciales de los procesos de globalización de los países (como por ejemplo reunificación alemana en 1989), de acuerdo con lo conversado con el Depto de Salud Ambiental del Ministerio de Salud. Con estos criterios, se consideraron finalmente 7 estudios primarios (9-15), uno de ellos con un diseño de series de tiempo interrumpida(13) y seis con diseño de estudio observacional antes-después (9-12,14,15), que representan principalmente de manera descriptiva (sin estadística inferencial) el efecto de las intervenciones. Las estrategias evaluadas fueron principalmente regulatorias, mientras que no se encontró evidencia de estudios que evaluaran políticas de transformación de energías renovables, dado que los encontrados no reportaban evidencia empírica.

Cada hallazgo contiene además una tabla resumen con los resultados, mostrando la certeza en la evidencia de cada uno de los desenlaces encontrados, de acuerdo a la metodología GRADE (ver recuadro). Como en este caso no se reportó información relevante para todos los resultados de interés, se presenta una tabla descriptiva con los principales resultados reportados por los estudios (tabla N°2).

## Hallazgo 1.

- **La restricción de venta de carbón podría reducir la mortalidad por casusas no traumáticas, cardiovasculares y respiratorias en la población. La certeza en la evidencia es baja.**
- **Es incierto si el cierre de plantas energéticas mejora el desarrollo neurológico, niveles de BDNF, y PAH-DNA en niños. La certeza en la evidencia es muy baja.**
- **Los estudios descriptivos muestran una mejora en los resultados de salud de la población, principalmente en la reducción de mortalidad y una disminución de las concentraciones de contaminantes en el aire.**

Los resultados contenidos en la tabla N°1 provienen de estudios realizados en Irlanda (13) China(10) y Hong Kong(15). En Irlanda la política implementada consistió en la restricción de venta de carbón en 1990 comparando los seis años antes y seis años después de la aplicación de la prohibición. En China se implementó el cierre de plantas de carbón a partir del año 2004, midiendo las variables de interés dos años antes y un año después de la aplicación del cierre. En Hong Kong se restringió, a partir de 1990, el uso de combustibles con un contenido superior a 0,5% de azufre de su peso. Alguno de los resultados que reporta el estudio fue la disminución de un 2,1% en la tasa de mortalidad por todas las causas, disminución de 2% por causa

### Sobre la certeza de la evidencia (GRADE)

⊕⊕⊕⊕

**Alta:** Esta investigación entrega una muy buena indicación del efecto probable. La probabilidad de que el efecto será sustancialmente diferente es baja

⊕⊕⊕○

**Moderada:** Esta investigación entrega una buena indicación del efecto probable. La probabilidad de que el efecto será sustancialmente diferente es moderada.

⊕⊕○○

**Baja:** Esta investigación entrega una alguna indicación del efecto probable. Sin embargo, la probabilidad de que el efecto será sustancialmente diferente es alta.

⊕○○○

**Muy baja:** Esta investigación no entrega una indicación confiable del efecto probable. La probabilidad de que el efecto será sustancialmente diferente es muy alta.

cardiovascular y 3,94% por causa respiratoria. Estos resultados no se reportan en la tabla 1 por no aportar nueva evidencia a la ya descrita por el estudio realizado en Irlanda (13) y por tener certeza en la evidencia muy baja.

Los estudios considerados en la tabla N°2 fueron realizados en China(10,11) e Irlanda(12–14) y un estudio en varias ciudades europeas(9). Se evaluaron distintas políticas, todas ellas relacionadas a la regulación restrictiva (9–14). Las variables de interés de los estudios fueron medidas en los años previos, a través de revisión de registros, y posteriores a la implementación de la estrategia regulatoria.

Por otro lado, los estudios fueron realizados principalmente en países con importantes problemas de contaminación atmosférica principalmente por la industria. En Irlanda, particularmente, se evaluaron políticas implementadas enfocadas a la reducción de emisiones de carbón, luego de que después de 1980 se aumentó el uso de combustibles más baratos y contaminantes.

Tabla 1: Tabla Resumen de resultados sobre los efectos de estrategias regulatorias de emisiones para reducir la contaminación del aire.

Resultado	Efecto relativo (95% IC) N° de participantes (Estudios)	Efectos absolutos anticipados (95% IC)			Certeza en la evidencia (GRADE)	Qué pasa
		Sin regulación	Con regulación	Diferencia		
<b>Resultados en salud</b>						
Mortalidad por causa no traumática(13)	NA N° de participantes: registro censo y nacional.	9,4 por 1000 personas-año	8,65 por 1000 personas-año	5,7% menos <sup>1</sup> (-7,2 a -4,1)	⊕⊕○○ BAJA*	La restricción de venta de carbón podría reducir la mortalidad por causas no traumáticas, cardiovasculares y respiratorias en la población. La certeza en la evidencia es baja.
Mortalidad por causa cardiovascular(13)	Las variables se midieron 72 meses antes y después de la restricción.	4,4 por 1000 personas-año	3,8 por 1000 personas-año	10,3% menos <sup>1</sup> (-12,6 a -8)		
Mortalidad por causa respiratoria(13)	(1 estudio observacional (STI))	1,4 por 1000 personas-año	1,16 por 1000 personas-año	15,5% menos <sup>1</sup> (-19,1 a -11,6)		
Mortalidad por cáncer de pulmón(15)	NA N° de participantes: registro censo y departamento de estadística y base de datos (1 estudio observacional)	3,12 por 100 personas	1,83 por 100 personas	Cambio relativo 1,1% menos <sup>2</sup> (-2,9 a 0,8)	⊕○○○ MUY BAJA <sup>a</sup>	Es incierto si la restricción del contenido de azufre en los combustibles reduce la mortalidad por todas las causas, cardiovascular, respiratoria y por cáncer de pulmón en la población. La certeza en la evidencia es baja.
Desarrollo neurológico infantil (DQ <sup>3</sup> (Gesell Scores)) (10)	NA N° de participantes: 217 (1 estudio observacional)	Media de 99,4 puntos	Media de 100,3 puntos	MD 0,88 puntos más alto. (-135 a 137)	⊕○○○ MUY BAJA <sup>b,c</sup>	Es incierto si el cierre de plantas energéticas mejora el desarrollo neurológico de los niños. La certeza en la evidencia es muy baja.

Resultado	Efecto relativo (95% IC) N° de participantes (Estudios)	Efectos absolutos anticipados (95% IC)			Certeza en la evidencia (GRADE)	Qué pasa
		Sin regulación	Con regulación	Diferencia		
Factor de crecimiento nervioso (BDNF <sup>4</sup> )(10)	NA N° de participantes: 215 (1 estudio observacional)	Media de <b>753</b> g/dL	Media de <b>1.267</b> g/dL	MD <b>514 más alto.</b> (367 a 660)	⊕○○○ MUY BAJA <sup>b</sup>	Es incierto si el cierre de plantas energéticas aumenta los niveles de BDNF. La certeza en la evidencia es muy baja.
PAH-DNA Aductos <sup>5</sup> (adducts/10 <sup>8</sup> nucleotidos)(10)	NA N° de participantes: 217 (1 estudio observacional)	Media de <b>0,32</b> aductos/10 <sup>8</sup> nucleótidos	Media de <b>0,20</b> aductos/10 <sup>8</sup> nucleótidos	MD <b>0,12 menor</b> (-0,15 a -0,09)	⊕○○○ MUY BAJA <sup>b</sup>	Es incierto si el cierre de plantas energéticas reduce los niveles de PAH-DNA aductos. La certeza en la evidencia es muy baja.
<b>Niveles de contaminantes</b>						
Concentración BS <sup>6</sup> ( g/m3) (13)	NA N° de participantes: 1 ciudad (Dublín) (1 estudio observacional (STI))	Media de <b>50,2</b> g/m3	Media de <b>14,6</b> g/m3	MD <b>35,6 menor</b> P valor: <0,0001	⊕⊕○○ BAJA*	La restricción de venta de carbón podría reducir las concentraciones de contaminantes. La certeza en la evidencia es baja.
Dióxido de azufre ( g/m3) (13)		Media de <b>33,4</b> g/m3	Media de <b>22,1</b> g/m3	MD <b>11,3 menor</b> P valor: <0,0001		

**El riesgo en el grupo de intervención** (y su intervalo de confianza del 95%) se basa en el riesgo asumido en el grupo de comparación y en el **efecto relativo** de la intervención (y su intervalo de confianza del 95%).

<sup>1</sup>Ajustado por temperatura, humedad relativa, día de la semana y epidemias respiratorias.

<sup>2</sup>Ajustado por estacionalidad, temperatura, humedad relativa.

<sup>3</sup>DQ: coeficiente de desarrollo, refleja el desarrollo neurológico general de un niño considerando su contexto. Mide 4 áreas (motor, adaptación, lenguaje y social), valores más altos indican mejor coeficiente.

<sup>4</sup>BDNF proteína: factor neurotrófico derivado del cerebro, está asociado al crecimiento nervioso

<sup>5</sup>PAH-DNA adducts: biomarcador de exposición a PAH, exposición a largo plazo está asociado con desarrollo de cáncer(16)

<sup>6</sup>BS: Black smoke

\*El diseño del estudio corresponde a uno observacional de tipo STI sin riesgos de sesgos sustanciales, ni otros factores como para bajar la certeza en la evidencia.

**NA:** no aplica; **IC:** Intervalo de confianza; **STI:** Serie de Tiempo Interrumpida; **MD:** Diferencia de Medias

a. Se disminuye en un nivel la certeza en la evidencia por análisis incompleto de los resultados, no ajustan por factores de confusión

b. Se disminuye en un nivel la certeza en la evidencia por sesgo de selección de los participantes en las cohortes de 2002 y 2005, no informan las pérdidas de seguimiento (no coinciden sujetos incluidos con los realmente medidos), ni describen las características de las pérdidas.

c. Se disminuye en dos niveles la certeza en la evidencia ya que el intervalo de confianza incluye la posibilidad de un beneficio importante y la posibilidad de un riesgo, a la vez.

Tabla 2: Detalle de los estudios descriptivos identificados

Referencia	País	Período de estudio	Descripción de la intervención	Contaminantes regulados	Resultado
European Environment 2010 Agency (9)	Conjunto de países europeos	1990 a 2005.	Conjunto de políticas europeas sobre emisiones atmosféricas, enfocadas a reducir las concentraciones de contaminantes como materiales particulados, precursores de ozono, y contaminantes acidificantes, a través de mecanismos regulatorios al transporte vial (introducción del Euro standard en el transporte), y combustión industrial.	CO, PM2,5, NOX, O3, SO2	Años de Vida Perdidos por reducción de emisiones asociadas a: <ul style="list-style-type: none"> <li>- PM2.5 sector transporte e industrial: disminución de 13% y 60%, respectivamente.</li> <li>- O3 sector transporte e industrial: disminución de 17% en ambos sectores.</li> <li>- CO: disminución de 80%</li> <li>- NMVOC: disminución de 68%</li> <li>- Óxidos de nitrógeno: disminución de 40%</li> </ul>
Goodman 2009 (14)	11 ciudades de Irlanda	1985 a 2005 según la ciudad	El gobierno Irlandés prohíbe la publicidad, venta y distribución del carbón en 1990. El estudio mide los efectos en varias ciudades de Irlanda.	BS (black smoke), So2	- Concentraciones de BS (black smoke): disminución entre 45-70%
Rich 2009 (12)	Irlanda	1981 a 2004	El gobierno Irlandés prohíbe la publicidad, venta y distribución del carbón en 1990. El estudio mide la misma política en la ciudad de Cork.	BS, SO2	- Tasa mortalidad: todas las causas: disminución de un 7% Respiratoria: disminución de un 8% Cardiovascular: disminución de un 13% - Concentraciones de BS: disminución de un 49% - Concentraciones de SO2: aumenta en un 24%
Tanaka 2015(11)	China	1991 a 2000	Zona de control en zonas industrializadas que contribuían a más del 90% de la contaminación local y excedían los límites permitidos de SO2, la política fue implementada en enero de 1998	TSP, SO2	- Tasa mortalidad infantil → disminución de un 20% - Tasa mortalidad neonatal → disminución de un 63%

**CO:** monóxido de carbono, **PM2,5:** partículas en suspensión de menos de 2,5 micras, **NOX:** grupo de gases que incluye a óxido nítrico y dióxido de nitrógeno, **O3:** ozono, **SO2:** dióxido de azufre, **PM10:** partículas en suspensión de menos de 10 micras, **So4:** sulfato, **BS:** black smoke, **TSP:** materia particulada total suspendida, **NMVOC:** compuestos orgánicos volátiles distintos del metano, **PAH:** hidrocarburos aromáticos policíclicos.

# Consideraciones de Implementación

A continuación, se presentan algunas consideraciones para interpretar la evidencia mostrada en esta síntesis.

## Consideraciones de Aplicabilidad

Las políticas implementadas en las ciudades y países de estudio son principalmente regulatorias de emisiones de contaminantes por la industria y medios de transporte, según los niveles que han establecido cada uno de ellos. Chile tiene un marco regulatorio que establece los niveles de contaminantes máximo aceptados. En la Región Metropolitana de Chile, a pesar de presentar una reducción de las emisiones desde 1997, se han superado los valores de gases normados al año 2015 en  $O_3$ ,  $MP_{10}$  (diario y anual) y  $MP_{2,5}$  (diario y anual) (17), por lo que es necesario cumplir e incorporar nuevas medidas de control de emisiones para material particulado y gases. De esta forma, considerando que nuestro país cuenta con intervenciones similares a las evaluadas en esta síntesis de evidencia, sería necesario evaluar el cumplimiento de la normativa y estrategias para mejorar su fiscalización.

La evidencia presentada proviene de países y ciudades altamente contaminadas, por lo que una intervención enfocada a reducir los contaminantes podría tener una diferencia mayor en los resultados de interés, que si se aplica en países con niveles de contaminación más bajos.

## Consideraciones Económicas

Se encontraron dos estudios que midieron el beneficio económico de este tipo de medidas, que se tradujo en 191,6 millones de euros (estimado por VOLY: value of a life year, relacionado con el valor de prevenir muertes prematuras en un año)(18), y USD 1.563 millones (19). No se encontró evidencia de evaluaciones de costo efectividad de intervenciones similares.

Los costos económicos de las restricciones de emisiones de contaminantes son principalmente para la industria al tener que invertir en mejores tecnologías y control interno.

## Consideraciones de Equidad

Las regulaciones aquí expuestas corresponden a ciudades específicas dentro de los países que tienen antecedentes de altos niveles de contaminación. Los estudios no contemplaron diferencias que se podrían presentar en los diferentes barrios de las ciudades, que podrían tener características poblacionales diferentes entre ellas y estrategias más locales que mitiguen los efectos de los contaminantes, y su distribución según nivel socioeconómico.

Además, sería importante considerar las diferencias de exposición a tipos y concentraciones de contaminantes a lo largo del país y entre las diferentes comunidades.

## Consideraciones de Monitoreo y Evaluación

Chile tiene un marco regulatorio que establece los niveles aceptados por cada uno de los contaminantes, es necesario regular y cumplir con este marco para garantizar el derecho a vivir en un ambiente libre de contaminación. Las estrategias evaluadas son principalmente regulatorias, sin embargo, es necesario monitorear la publicación de estudios que evalúen estrategias o políticas que fomenten el control y cumplimiento de la normativa de una manera innovadora y que involucre a los diferentes sectores involucrados.

Si bien este resumen incluye estudios primarios que abordan este tema, al ser ésta una revisión rápida, existe una posibilidad de que se estén excluyendo estudios importantes que serían relevantes para la pregunta de interés.

Por último, la evidencia presentada en esta síntesis proviene de diseños pertinentes para el tipo de intervención estudiada (en particular se destaca la presencia de una serie de tiempo interrumpida). De esta forma, a pesar de que la certeza en la evidencia es baja o muy baja, ésta no mejorará con la publicación de nueva evidencia, dada la naturaleza de la intervención.

Un número importante de estudios reportó estrategias realizadas en Beijing y Atlanta para reducir la contaminación del aire durante los Juegos Olímpicos del año 2008 y 1996 (20–27). Si bien estos no fueron incorporados en esta síntesis, se podría considerar que existieron una serie de medidas, principalmente de reducción de tráfico vehicular en los centros de las ciudades, que fueron efectivas para reducir rápidamente durante 1 mes los niveles de contaminantes.



# Información Adicional

## Citación sugerida

P García, P. Cerda. C Mansilla. ¿Cuál es el efecto de estrategias regulatorias para la reducción de contaminantes en la salud de la población? Diciembre 2018. Unidad de Políticas de Salud Informadas por Evidencia; Departamento ETESA/SBE; Ministerio de Salud, Gobierno de Chile.

## Palabras Clave

Air Pollution; Air Quality; Urban Pollution; Rapid Evidence Synthesis.

## Revisión por pares

Esta síntesis fue comentada por Felipe Vera, profesional de la Unidad de Evaluaciones Económicas del Departamento ETESA/SBE del Ministerio de Salud.

## Agradecimientos

Agradecemos a Walter Folch, del Departamento de Salud Ambiental del Ministerio de Salud, por orientar y apoyar, además de entregar lineamientos de cómo enfocar la intervención.

## Referencias

1. World Health Organization. Burden of disease from the joint effects of Household and Ambient Air Pollution for 2012 [Internet]. 2014 [cited 2018 Dec 10]. Available from: [https://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair/databases/AP\\_jointeffect\\_BoD\\_results\\_March2014.pdf](https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/AP_jointeffect_BoD_results_March2014.pdf)
2. World Health Organization. Air Pollution [Internet]. 2018 [cited 2018 Dec 3]. Available from: <https://www.who.int/airpollution/en/>
3. Henschel S, Atkinson R, Zeka A, Le Tertre A, Analitis A, Katsouyanni K, et al. Air pollution interventions and their impact on public health. *Int J Public Health*. 2012 Oct;57(5):757–68.
4. Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, Anderson HR, Frostad J, Estep K, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *Lancet*. 2017 May 13;389(10082):1907–18.
5. OYARZÚN G M. Contaminación aérea y sus efectos en la salud. *Rev Chil enfermedades Respir*. 2010 Mar;26(1).
6. Benmarhnia T, Rey L, Cartier Y, Clary CM, Deguen S, Brousselle A. Addressing equity in interventions to reduce air pollution in urban areas: a systematic review. *Int J Public Health*. 2014 Dec 26;59(6):933–44.
7. Wang L, Zhong B, Vardoulakis S, Zhang F, Pilot E, Li Y, et al. Air Quality Strategies on Public Health and Health Equity in Europe—A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2016;13(12).
8. Li S, Williams G, Guo Y. Health benefits from improved outdoor air quality and intervention in China. *Environ Pollut*. 2016 Jul;214:17–25.
9. Agency EE. Impact of selected policy measures on Europe’s air quality — . 2010.
10. 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. Allodi S, editor. *PLoS One*. 2014 Mar 19;9(3):e91966.
11. Tanaka S. Environmental regulations on air pollution in China and their impact on infant mortality. *J Health Econ*. 2015 Jul 1;42:90–103.
12. Rich D, George P, Goodman P, Ohman-Strickland P, Clancy L, Kotlov T, et al. Effect of Air Pollution Control on Mortality in County Cork, Ireland. *Epidemiology*. 2009 Nov;20:S69.
13. Clancy L, Goodman P, Sinclair H, Dockery DW. Effect of air-pollution control on death rates in Dublin, Ireland: an intervention study. *Lancet*. 2002 Oct 19;360(9341):1210–4.
14. Goodman PG, Rich DQ, Zeka A, Clancy L, Dockery DW. Effect of air pollution controls on black smoke and sulfur dioxide concentrations across Ireland. *J Air Waste Manag Assoc*. 2009;59(2):207–13.
15. Hedley AJ, Wong C-M, Thach TQ, Ma S, Lam T-H, Anderson HR. Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hong Kong: an intervention study. *Lancet (London, England)*. 2002 Nov 23;360(9346):1646–52.
16. Pratt MM, John K, MacLean AB, Afework S, Phillips DH, Poirier MC. Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) exposure and DNA adduct semi-quantitation in archived human tissues. *Int J Environ Res Public Health*. 2011;8(7):2675–91.
17. Ministerio del Medio Ambiente. I SECCIÓN LEYES, REGLAMENTOS, DECRETOS Y RESOLUCIONES DE ORDEN GENERAL Normas Generales CVE 1297693. ESTABLECE PLAN DE PREVENCIÓN Y DESCONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PARA LA REGIÓN METROPOLITANA DE SANTIAGO.
18. Chanel O, Henschel S, Goodman PG, Analitis A, Atkinson RW, Le Tertre A, et al. Economic valuation of the mortality benefits of a regulation on SO<sub>2</sub> in 20 European cities. *Eur J Public Health*. 2014 Aug 1;24(4):631–7.

19. Aunan K, Pátzay G, Asbjørn Aaheim H, Martin Seip H. Health and environmental benefits from air pollution reductions in Hungary. *Sci Total Environ*. 1998 Apr 8;212(2-3):245-68.
20. Su C, Hampel R, Franck U, Wiedensohler A, Cyrus J, Pan X, et al. Assessing responses of cardiovascular mortality to particulate matter air pollution for pre-, during- and post-2008 Olympics periods. *Environ Res*. 2015 Oct;142:112-22.
21. Li Y, Wang W, Wang J, Zhang X, Lin W, Yang Y. Impact of air pollution control measures and weather conditions on asthma during the 2008 Summer Olympic Games in Beijing. *Int J Biometeorol*. 2011 Jul 16;55(4):547-54.
22. Lin W, Huang W, Zhu T, Hu M, Brunekreef B, Zhang Y, et al. Acute Respiratory Inflammation in Children and Black Carbon in Ambient Air before and during the 2008 Beijing Olympics. *Environ Health Perspect*. 2011 Oct;119(10):1507-12.
23. Wu S, Deng F, Niu J, Huang Q, Liu Y, Guo X. Exposures to PM2.5 components and heart rate variability in taxi drivers around the Beijing 2008 Olympic Games. *Sci Total Environ*. 2011 Jun;409(13):2478-85.
24. Friedman MS, Powell KE, Hutwagner L, Graham LM TW. Impact of changes in transportation and commuting behaviors during the 1996 Summer Olympic Games in Atlanta on air quality and childhood asthma. *JAMA*. 2001;
25. Mu L, Deng F, Tian L, Li Y, Swanson M, Ying J, et al. Peak expiratory flow, breath rate and blood pressure in adults with changes in particulate matter air pollution during the Beijing Olympics: A panel study. *Environ Res*. 2014 Aug;133:4-11.
26. Rich DQ, Kipen HM, Huang W, Wang G, Wang Y, Zhu P, et al. Association Between Changes in Air Pollution Levels During the Beijing Olympics and Biomarkers of Inflammation and Thrombosis in Healthy Young Adults. *JAMA*. 2012 May 16;307(19).
27. Rich DQ, Liu K, Zhang J, Thurston SW, Stevens TP, Pan Y, et al. Differences in Birth Weight Associated with the 2008 Beijing Olympics Air Pollution Reduction: Results from a Natural Experiment. *Environ Health Perspect*. 2015 Sep;123(9):880-7.