

Costo social de la contaminación del aire

Cristóbal de la Maza, Francisco Fernández, Nicolás Rojas y Matías Otth

Resumen

El objetivo de este estudio es estimar el costo social de la contaminación del aire a nivel comunal en Chile, a través de metodología de función de impacto y con como principal innovación la incorporación de información satelital se estima el impacto de la contaminación en la salud de las personas. El costo social de la contaminación equivale al costo económico que le asigna la sociedad a efectos negativos a la salud de población y ecosistemas, a partir de la exposición a una mala calidad del aire. Incluye gastos médicos, ausentismo laboral, productividad perdida, entre otros, valorizados en términos monetarios.

Principales resultados:

- **Se estima que al año en Chile se producen cerca de 4.800 casos de mortalidad prematura por enfermedades cardiopulmonares producto de la exposición de largo plazo a MP_{2,5}.**
- **El costo social de la contaminación del aire asciende a US\$ 5.000 millones al año, equivalente a un 1,6% del PIB nacional.**
- **En la zona sur del país, es decir, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, el costo equivale a un 4% del PIB de estas 3 regiones, siendo la zona más afectada en términos sociales.**
- **Las comunas con mayores costos por contaminación del aire son Puente Alto, Maipú y La Florida, acumulando sobre US\$ 100 millones por comuna.**

Introducción

La mala calidad del aire afecta severamente nuestra calidad de vida, aumentando el riesgo de sufrir enfermedades cardiorrespiratorias con los consecuentes impactos económicos negativos que esto provoca a nivel de los hogares y la economía nacional.

De acuerdo con el Quinto Reporte del Estado del Medio Ambiente (MMA, 2019), la contaminación a través del Material Particulado Fino (MP_{2,5}) incide en la muerte prematura de cerca de 3.600 personas en Chile. En este estudio mostramos que esta estimación está subestimada, porque utiliza únicamente la información disponible de este contaminante a través de estaciones de monitoreo. De la Maza et. al. (2023) muestra que al año 2022 solo 55 comunas (16% del total) cuenta con estaciones de monitoreo de MP_{2,5}. Al complementar esta información con datos satelitales de MP_{2,5} calibrados para todo el territorio nacional, calculamos que la mortalidad prematura producto de la exposición de largo plazo a este contaminante es cercana a 4.800 eventos anuales.

El Sexto Reporte del Estado del Medio Ambiente MMA 2021 muestra que a nivel nacional el 56% (28 de 50) de las estaciones de monitoreo con representatividad poblacional presentaron concentraciones superiores al valor máximo de 20 µg/m³ establecido en la norma primaria anual para material particulado fino. Al utilizar información de MP_{2,5} para todas las comunas del país, De la Maza et. al. (2023) encuentra que existen cerca de 1,9 millones de personas en Chile viviendo en

comunas con una concentración anual promedio superior al máximo permitido, que no cuentan con un plan de descontaminación ambiental (PDA).

Chile es un país con niveles críticos de contaminación. En base al marco metodológico expuesto en Rizzi et. al. (2017), **la incorporación de datos satelitales e información reciente de estudios epidemiológicos mostramos que al valorizar económicamente los perjuicios en la salud atribuibles al MP_{2,5}, se totaliza un costo aproximado de US\$ 5.000 MM de dólares por año, equivalente a 1,6% del PIB anual.** Otros estudios, con información incompleta de calidad del aire, han valorizado este impacto en montos aún mayores, utilizando parámetros transferidos de países desarrollados.

Resultados a nivel nacional y regional

A través de la valorización económica de los impactos por exposición de la población a una mala calidad del aire, se estima que los costos sociales de la contaminación en Chile son alrededor de US\$ 5.000 millones por año, equivalente a un 1,6% del PIB, producto principalmente de la mortalidad prematura de alrededor de 4.800 personas (Tabla 1). Si bien otros estudios han estimado un impacto aún mayor en base a referencias internacionales (OCDE, 2023), se utiliza un criterio conservador para la estimación del costo de la contaminación, en base a la mejor información local disponible.

A nivel de macrozonas, la Tabla 1 muestra los altos niveles de contaminación a los que se expone la población de la zona sur, reflejados en la mayor tasa de mortalidad prematura asociada a la contaminación del aire (35,1 casos cada 100.000 habitantes). Esto a su vez, se traduce en que un habitante de la macrozona sur percibe una externalidad per cápita de US\$ 360 al año, la cual es un 40% superior al promedio nacional. La macrozona sur engloba a las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos, las cuales, dada sus condiciones meteorológicas, se caracterizan por estar expuestas a altos niveles de contaminación producto de la calefacción a leña en épocas invernales. Estos resultados se contrastan con lo que ocurre en la macrozona norte, donde la externalidad per cápita es de 90 US\$ al año, un 64% menos que el promedio nacional.

*Tabla 1: Costo social y mortalidad por exposición de largo plazo MP_{2,5}
(por macrozonas y nacional)*

Sector ¹	Costos totales US\$ MM	Costos totales (% PIB ²)	Externalidades per cápita (USD/Hab)	Mortalidad prematura MP _{2,5}	Tasas mortalidad prematura MP _{2,5} (c/100.000 Hab)	PIB US\$ MM	Población
Zona Norte	153	0,3%	90	147	8,7	54.284	1.682.060
Zona Centro	2.778	1,9%	250	2.680	24,0	145.521	11.165.291
Zona Centro Sur	1.144	2,6%	260	1.103	25,3	44.750	4.355.924
Zona Sur	849	4,0%	360	819	35,1	21.303	2.336.098
Zona Sur Austral	44	1,0%	150	43	14,8	4.647	289.190
Nacional	4.968	1,6%	250	4.792	24,2	301.448	19.828.563

Fuente: Elaboración propia en base a Rizzi et al (2017), SINCA MMA y Van Donkelaar (2021).

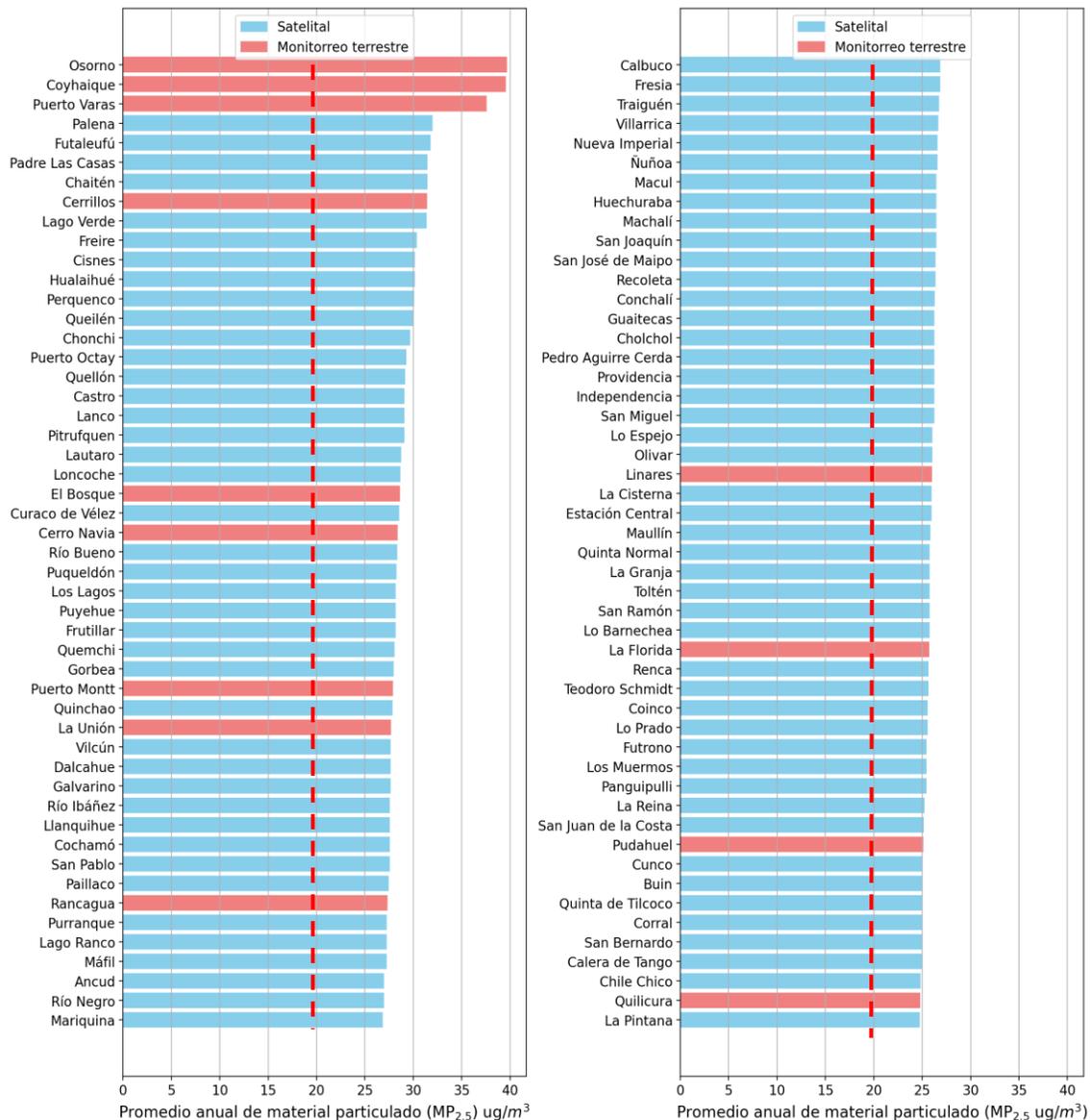
Nota 1: En el anexo N°1 se identifican las regiones que se incluyen en cada macrozona.

Nota 2: Se contrastan los costos totales de las zonas con el PIB agregado de las regiones, el nacional corresponde a la cifra país. La suma de PIB regional no coincide con el nacional producto de PIB interregional.

Comunas con la peor calidad del aire

A través de la calibración de datos satelitales y la incorporación de estos a las mediciones disponibles a partir del monitoreo terrestre que realiza el Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA)¹, se evidencia que alrededor de 160 comunas poseen una concentración anual promedio por sobre la normativa. En la Figura 1 se observa que las comunas más contaminadas por material particulado fino (MP_{2,5}) corresponden a Osorno, Coyhaique y Puerto Varas. Estas tres comunas poseen una concentración promedio anual superior a 35 ug/m³ de material particulado fino, lo que excede significativamente la normativa nacional, y las directrices de OMS (OMS, 2021).

Figura 1: Concentración ambiental de MP_{2,5} (imputando datos satelitales -100 mayores comunas)



Fuente: Elaboración propia en base a SINCA MMA y Van Donkelaar (2021).

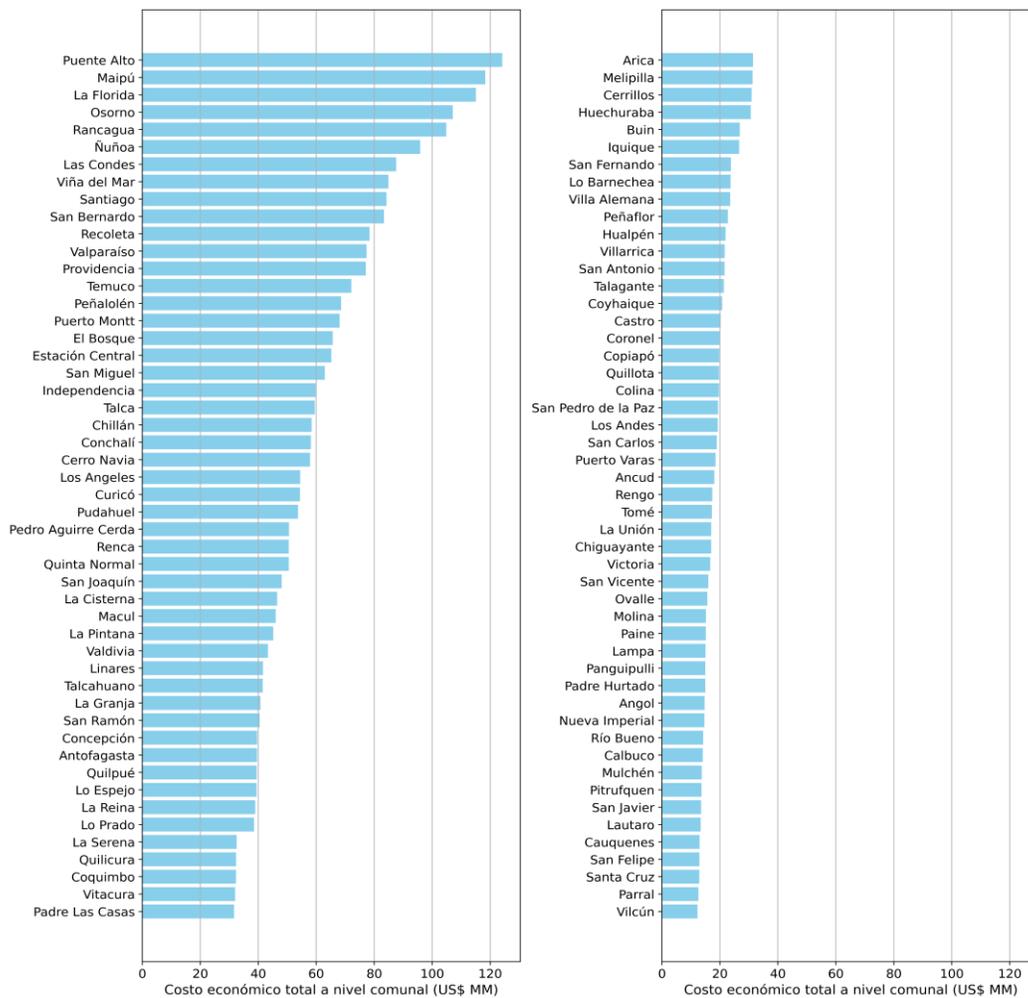
¹ Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA – MMA): <https://sinca.mma.gob.cl/>

Nota 1: Las observaciones satelitales corresponden a la mediana geográfica de las estimaciones satelitales de Van Donkelaar et. al. (2021) para los polígonos de las divisiones administrativas de las comunas en Chile. Al comparar el valor satelital con el monitoreo terrestre en Chile, se observa que los datos satelitales explican el 77% de la variabilidad en los datos terrestres ($R^2=0.77$). Debido a esta alta relación, se calibran los datos satelitales utilizando la información de monitoreo terrestre para imputar observaciones de $MP_{2.5}$ en las comunas sin datos disponibles.

Nota 2: La línea roja corresponde a un promedio anual de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de material particulado fino norma de calidad.

Puente Alto corresponde a la comuna con el mayor impacto económico por contaminación del aire, seguido de Maipú, La Florida, Osorno y Rancagua (Figura 2). Las tres primeras, perciben un costo anual superior a los US\$ 100 millones. Cabe destacar que si bien Puente Alto y Maipú no están entre las 100 comunas con los valores más altos de contaminación (Figura 1), estas si poseen un nivel alto de población expuesta a niveles de contaminación por sobre los niveles considerados riesgosos². Esto se traduce en altos costos económicos observados en la (Figura 2).

Figura 2: Costo económico total por contaminación del aire (100 mayores comunas)



Fuente: Elaboración propia en base a: Rizzi et al (2017), SINCA MMA y Van Donkelaar (2021).

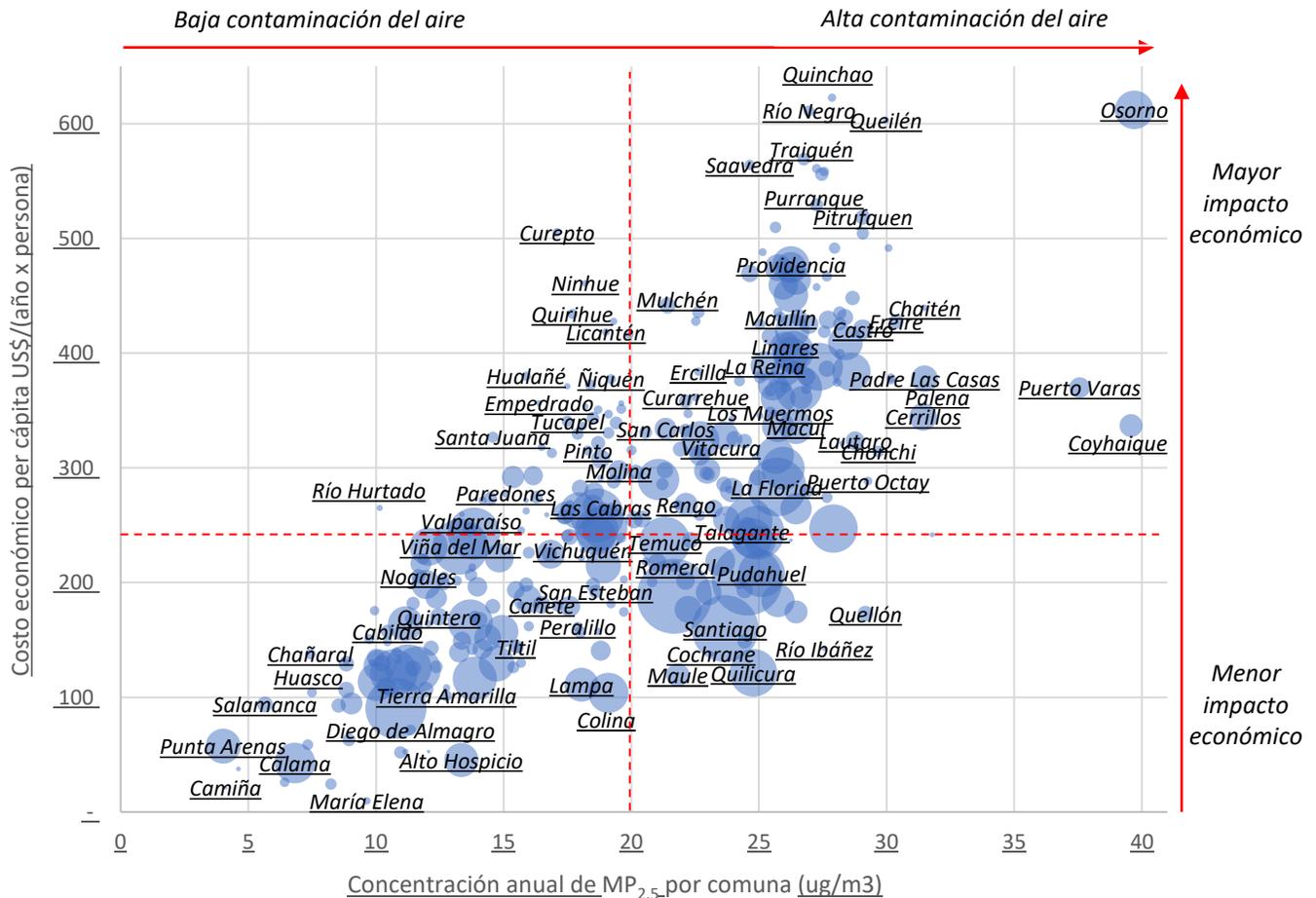
² Se estima a través de una concentración anual promedio para Puente Alto de $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Maipú $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, La Florida $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Osorno $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y Rancagua $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Relación entre la contaminación del aire, la población expuesta y los costos económicos

El impacto de la contaminación es heterogéneo a lo largo del país y, por ende, la valorización económica de estas externalidades exhibe resultados dispares a nivel de las comunas en Chile. Las comunas expuestas a mayores niveles de contaminación en su promedio anual están relacionadas con un mayor número de casos de mortalidad prematura por enfermedades cardiopulmonares producto de la exposición de largo plazo a $MP_{2,5}$.

En promedio, un habitante del país percibe costos por contaminación del aire de US\$ 250 anualmente (Tabla 1). Las comunas que presentan los mayores costos de la contaminación en términos per cápita son Curaco de Vélez, Cochamó y Lago Verde, con costos por encima de los US\$ 600 al año. Esto se explica por una población con altas tasas de mortalidad, de mayor edad y expuesta a aire altamente contaminado.

Figura 3: Concentración anual de material particulado $MP_{2,5}$ (ug/m^3) y costo económico de los efectos de la contaminación a la población en términos cápita por comuna (US\$/año x persona).



Fuente: Elaboración propia en base a Rizzi et al (2017), SINCA MMA y Van Donkelaar (2021).

Nota: A mayor tamaño de las esferas, mayor es la población en la comuna. Se excluyen tres comunas con costos per cápita muy altos para mejorar la visualización: Curaco de Vélez (US\$ 980 por año), Cochamó (US\$ 750 por año) y Lago Verde (US\$ 730 por año). Las líneas rojas corresponden al costo económico per cápita a nivel nacional de US\$ 250 anual por persona y a la máxima concentración promedio anual de $MP_{2,5}$ permitida por la normativa, equivalente a $20 ug/m^3$.

En la Figura 3 se aprecia que existe una relación positiva entre la contaminación del aire, y el costo per cápita asociados a ésta, que se condice con los niveles de exposición a riesgo de muerte. Se destaca que prácticamente 7 millones de habitantes del Chile (alrededor de un 35% de la población), se encuentra en el cuadrante de alta contaminación del aire y alto impacto económico per cápita.

Resultados e implicancia de Política Pública

La contaminación del aire en Chile tiene un impacto significativo tanto en la salud de la población como en la economía del país. Se estima que cada año se producen alrededor de 4.800 casos de mortalidad prematura debido a enfermedades cardiopulmonares causadas por la exposición a largo plazo a MP_{2,5}. El costo social de la contaminación del aire asciende a cerca de US\$ 5.000 millones anuales, equivalentes a un 1,6% del PIB nacional.

El alto impacto de la contaminación justifica que el Estado utilice con mayor sentido de urgencia herramientas de la Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente como Planes de Prevención y/o Descontaminación Atmosférica (PPDA), instrumentos de gestión ambiental que se activan cuando determinadas localidades exhiben concentraciones de contaminantes altas. Estos planes activan medidas y acciones que buscan disminuir los niveles de contaminación a los cuales se expone la población y así resguardar la salud de las personas. Es necesario, fortalecer estos planes para proteger la salud de la población y reducir los costos económicos asociados a la contaminación del aire en el país. Actualmente existen 16 PPDA activos, que se centran en la zona centro-sur del país.

A su vez, la Ley 21.562 que modifica la Ley 19.300, aporta con nuevas reglas para activa medidas provisionales en zonas declaradas latentes y saturadas, mientras se tramita el Plan de Prevención y/o Descontaminación Atmosférica correspondiente. De activarse monitoreo ambiental en zonas donde ya se tiene evidencia de altos niveles de descontaminación, podrían adelantarse acciones para los reducir riesgo a su salud a la población descritos en el presente estudio.

La normativa actual, determina como zona saturada aquellas con una concentración anual promedio de 20 µg/m³ de MP_{2,5} y/o que supere el límite de concentración diaria. Sin embargo, este estudio muestra que incluso con esta normativa vigente, un gran porcentaje de comunas se encuentran por sobre el límite establecido en la ley (sobre el 45%), implicando grandes costos sociales y significativos impactos a la salud.

La normativa de calidad ambiental para material particulado fino se encuentra en revisión. Se busca aumentar la exigencia ambiental, estableciendo como máximo una concentración en promedio anual de 15 µg/m³ de MP_{2,5}. Se considera pertinente imponer mayores exigencias ambientales para proteger la salud de la población. No obstante, se requiere acelerar la respuesta del Estado ante los altos niveles de contaminación. Independientemente de la normativa, si no se activan medidas para reducir emisiones contaminantes, no será posible alcanzar la calidad ambiental deseada. Los altos costos sociales asociados a la contaminación del aire justifican regulaciones de amplio alcance, para garantizar el cumplimiento de estándares ambientales más estrictos.

Metodología y fuentes de información

Para estimar los costos de la contaminación a través del Material Particulado Fino (MP_{2,5}) se utiliza el método de la **función de daño** propuesto por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 1991). Para la evaluación de impactos ambientales, esta agencia recomienda encadenar una serie de modelos incluyendo la modelación de emisiones y de dispersión de contaminantes, modelos epidemiológicos que determinan reducciones en riesgos a la salud, y modelos que valorizan económicamente el impacto en calidad de vida de la población expuesta.

Lo anterior se puede expresar en la siguiente ecuación:

$$\text{Costo Económico}(\Delta C_{k,MP_{2,5}}) = \sum_j \sum_k \sum_m \Delta C_{k,MP_{2,5}} \times \beta_{j,m,MP_{2,5}} \times TI_{m,k,j} \times P_{k,m} \times VU_{j,m}$$

ΔC corresponde a la disminución en los niveles de contaminación, β corresponde al coeficiente de riesgo respuesta entre un efecto a la salud y el MP_{2,5}, TI es la tasa de incidencia de los efectos en la población, P es el número de personas expuestas a la contaminación y VU corresponde a la valorización económica de un efecto a la salud.

VARIABLES Y FUENTES DE INFORMACIÓN

- $TI_{m,k,j}$: tasa de incidencia asociada al efecto a la salud j y a la población en la comuna k , perteneciente al grupo de edad m (Cada 100.000 habitantes).³
- $\beta_{j,m,MP_{2,5}}$: coeficiente de riesgo de efectos a la salud j para la población del grupo de edad m , por unidad de concentración de MP_{2,5}.⁴
- $C_{k,MP_{2,5}}$: concentración ambiental de MP_{2,5} en la comuna k .⁵
- $P_{k,m}$: población de la comuna k , perteneciente al grupo de edad m . (INE)
- $VU_{j,m}$: Valorización económica del efecto en la salud j para el grupo de edad m .⁶

Anexo 1: Clasificadores de zonas

Regiones	Zona	Regiones	Zona
Antofagasta	Norte	Maule	Centro Sur
Tarapacá	Norte	Biobío	Centro Sur
Atacama	Norte	O'Higgins	Centro Sur
Arica y Parinacota	Norte	La Araucanía	Sur
Metropolitana	Centro	Los Lagos	Sur
Coquimbo	Centro	Los Ríos	Sur
Valparaíso	Centro Sur	Aysén	Sur Austral
Ñuble	Centro Sur	Magallanes	Sur Austral

³ A partir de lo desarrollado por DICTUC (2022). A modo conservador se consideran las cifras de mortalidad prematura (cardiopulmonar) para el año 2018, dado que años posteriores están incididos por el COVID-19.

⁴ A partir de Rizzi et al (2017) y Busch, Cifuentes & Cabrera (2023).

⁵ Se complementan datos obtenidos a través de las estaciones de monitoreo por comuna (SINCA) con información satelital (Van Donkelaar, 2021). Esta última se calibra con la información oficial a través un modelo univariada por mínimos cuadrados ordinarios.

⁶ Se realiza una simulación de Monte Carlo, con una distribución triangular del valor estadístico de la vida entre los valores reportados por Rizzi et al (2017) y el valor reportado por el MDSyF (2017): T [262.629; 440.000; 2.424.677] (USD2022/caso).



Referencias

Busch, P., Cifuentes, L. A., & Cabrera, C. (2023). Chronic exposure to fine particles (PM2.5) and mortality: Evidence from Chile. *Environmental Epidemiology*, 7(4). <https://doi.org/10.1097/EE9.0000000000000253>

De la Maza, C., Rojas, N. y Otth, M. (2023). Diagnóstico sobre la información de calidad del aire disponible en Chile. Centro de Políticas Públicas USS. Disponible en: <https://politicaspUBLICAS.uss.cl/wp-content/uploads/2023/09/Diagnostico-sobre-la-informacion-de-calidad-del-aire-disponible-en-Chile.pdf>

EPA, 1991. Guidelines for Performing Regulatory Impact Analysis. Office of Policy, Planning, and Evaluation, U.S. Environmental protection agency, Washington, DC. December 1991, Publication Number EPA-230-84- 003. 1983 Guidelines reprinted with Appendices in March 1991

MMA (2019) “Five report on the State of the Environment”. Report prepared by Ministry for the Environment, Santiago, Division of Environmental Economics, and Information. <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/06/REMA2019.pdf>

MMA (2021) “Sixth report on the State of the Environment”. Report prepared by Ministry for the Environment, Santiago, Division of Environmental Economics, and Information. <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2022/06/REMA2021.pdf>

OECD (2023), Environment at a Glance in Latin America and the Caribbean: Spotlight on Climate Change, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/2431bd6c-en>.

[OMS \(2021\) “Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire: partículas en suspensión \(PM2.5 y PM10\), ozono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre y monóxido de carbono”. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2021. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.](#)

MDSyF (2021), “Estimación del Valor de la Vida Estadística en Chile a través del Enfoque de Disposición a Pagar”, Ministerio de Desarrollo Social, División de Evaluación Social de Inversiones.

Rizzi L., De La Maza C. “The external costs of private versus public road transport in the Metropolitan Area of Santiago, Chile”. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, (98), (2017), 123-140, 0965-8564.

Van Donkelaar, A., Hammer, M. S., Bindle, L., Brauer, M., Brook, J. R., Garay, M. J., Hsu, N. C., Kalashnikova, O. V., Kahn, R. A., Lee, C., Levy, R. C., Lyapustin, A., Sayer, A. M., & Martin, R. V. (2021). Monthly Global Estimates of Fine Particulate Matter and Their Uncertainty. *Environmental Science & Technology*, 55(22), 15287-15300. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c05309>.