

“Nuevas consecuencias del cambio climático en salud. Tercera Etapa.”

Informe Final

20 Mayo de 2025

Preparado para:



por:



Con el apoyo de:



El presente informe se entrega en cumplimiento del contrato suscrito entre BUPA Chile, y el Centro de Cambio Global UC de la Pontificia Universidad Católica de Chile

Autores

Jefe de Proyecto	Luis Abdón Cifuentes (CCG-UC)
Coordinador Proyecto	Cristian Salas (CCG-UC)
Ingeniero de Proyecto	Alejandro Bañados (DICTUC-UC)
	Pablo Cea
	David Morales
	Javier Vargas

Índice

1	Introducción.	1
2	El impacto del calor en la salud	1
3	Método	2
3.1	Caracterización del estado de salud de la población.	3
3.2	Cálculo de la exposición a la temperatura diaria	3
3.3	Cálculo de la exposición a la contaminación	4
3.4	Relación temperatura-mortalidad	4
3.5	Relación contaminación-mortalidad	4
3.6	Cálculo de los casos en exceso y la fracción atribuible	5
4	Datos	6
4.1	Datos de Salud	6
4.2	Datos de Meteorología	6
4.3	Datos de Contaminación	6
5	Resultados	7
5.1	Estadísticas descriptivas	7
5.2	Exposición a temperatura	7
5.3	Exposición a material particulado	8
5.4	Curva temperatura-mortalidad	9
5.5	Fracción atribuible	9
5.6	Resultados por región	12
6	Conclusiones	14
7	Referencias	16
	Anexos	21
	Anexo I. Alcance geográfico	21
	Anexo II. Datos de temperatura	22
	Anexo III. Relación Temperatura-Respuesta	23
	Anexo IV. Resultados detallados	24
	IV.1 Comparación resultados por región	24
	IV.1.1 Según grupo de edad	24
	IV.1.2 Según periodo de tiempo	25
	IV.2 Resultados específicos para la provincia de Santiago	26
	IV.2.1 Según sexo	26
	IV.2.2 Por Agrupaciones de comunas oriente/poniente	26

1 Introducción.

Este informe presenta la estimación de la carga de la enfermedad asociada a la temperatura diaria y la contaminación atmosférica como factores de riesgo para la población de las regiones Metropolitana y de Valparaíso, para los años 1990 a 2019. Los resultados del estudio serán útiles para dimensionar el impacto de la contaminación atmosférica y del cambio climático en las décadas pasadas, proveyendo información para diseñar medidas de adaptación y de prevención frente a los efectos esperados del cambio climático y de la contaminación en la salud de la población

2 El impacto del calor en la salud

Muchos estudios en todo el mundo han encontrado una asociación significativa entre temperatura y mortalidad (Anderson & Bell, 2011; Guo et al., 2018), y en ciudades de Latinoamérica, así como con otros tipos de efectos a la salud como morbilidad, atenciones de urgencia, visitas médicas, mortalidad por suicidios y actos violentos (Basu et al., 2012; Kim et al., 2019; Liu et al., 2015; Urban et al., 2014). Se ha observado que la temperatura afecta especialmente las muertes por causas respiratorias y cardiovasculares (Burkart et al., 2021; Guo et al., 2018). Sin embargo, se han visto efectos de todo tipo, incluyendo lesión renal aguda, golpe de calor, problemas con embarazo, empeoramiento de los patrones de sueño, impactos en la salud mental, agravamiento de las enfermedades cardiovasculares y respiratorias subyacentes y aumentos en las muertes no accidentales y relacionadas con lesiones no intencionales (Romanello et al., 2022) como las intencionales (Kim et al., 2019).

Los individuos mayormente afectados son aquellos que, por diversas condiciones, están más desprotegidas, tales como los menores de edad, mujeres embarazadas, adultos mayores, personas pertenecientes a comunidades de bajos ingresos, grupos étnicos que pueden experimentar disparidades en salud, entre otros o personas indigentes (Chinthrajah et al., 2022; Ebi et al., 2021)

La capacidades social de los individuos puede reducir su vulnerabilidad a las temperaturas extremas, al tomar medidas de adaptación (Carleton et al., 2022). Algunos estudios muestran un descenso en la mortalidad atribuible al calor en el tiempo, siendo estos descensos mayormente explicados por una menor susceptibilidad a la temperatura

(Onozuka & Hagihara, 2015; Vicedo-Cabrera et al., 2018). Si bien hasta hace poco la mayor parte de la adaptación se ha concentrado en climatización de espacios interiores, nuevas estrategias han surgido incluyendo incrementar la cobertura vegetal para la sombra, superficies frías, puntos de hidratación, centros de enfriamiento, entre otros (Turner et al., 2022).

En Chile, al igual que en el resto del mundo, las muertes relacionadas a las temperaturas extremas han aumentado (Wu et al., 2022), al igual que las potenciales horas de trabajo perdidas (Hartinger et al., 2023). El Atlas de Riesgo Climático (ARClím) desarrollado por el Ministerio del Medio Ambiente¹, consolida en una plataforma muchos de los riesgos climáticos que afectarán crecientemente a la población. En particular, la componente “mortalidad prematura por calor”, en la sección Bienestar Humano, proyecta el riesgo para un escenario climático extremo en el año 2050 (Cifuentes et al., 2020). Un estudio anterior, proyectó un incremento en las muertes en exceso atribuibles al calor entre un 1,0 y 9,2% para el año 2099 (Gasparrini et al., 2017) si las emisiones de gases de efecto invernadero continúan sin medidas de mitigación, proyectando así un aumento en las temperaturas equivalentes a 4,8°C para el final de este siglo (AR6 Synthesis Report, 2023; Van Vuuren et al., 2011).

3 Método

El estudio aplica la metodología de la Carga de la Enfermedad (*Global Burden Of Disease*, IMHE, 2019), a las dos regiones de estudio para el periodo 1990 a 2019.

El método consta de las siguientes etapas:

- a. Caracterización del estado de salud de la población durante el periodo

¹ Disponible en <https://arclim.mma.gob.cl>

- b. Caracterización de la exposición de la población a la temperatura ambiental diaria y a la contaminación por material particulado
- c. Determinación de la curva exposición-respuesta temperatura-mortalidad prematura y contaminación-mortalidad prematura, en base a la información histórica.
- d. Cálculo de la fracción atribuible a la exposición a la temperatura diaria y contaminación para cada año del periodo de análisis en base a las curvas exposición-respuesta determinadas en el paso anterior
- e. Refinación del cálculo considerando los efectos diferenciales según grupos de edad y causas de defunción, de modo de identificar los grupos de la población más vulnerables a los factores ambientales.

Estos pasos se aplican de la misma manera a la contaminación atmosférica, con una única diferencia. La contaminación atmosférica tiene impacto debido a la exposición aguda (diaria) y también por la exposición de largo plazo. Esta última tiene un impacto mayor, por lo que la carga de la enfermedad calcula usando las dos métricas.

Una vez que se han calculado la carga de enfermedad de ambos factores, se realizan los dos últimos pasos

- f. Comparación de la carga de la enfermedad debida a la temperatura diaria y la contaminación atmosférica,
- g. En base a los resultados anteriores, se desarrollan indicadores complementarios que faciliten la interpretación de resultados, como la definición de olas de calor o umbrales de alertas sanitarias.

A continuación se describe la metodología para cada etapa.

3.1 Caracterización del estado de salud de la población.

El estado de salud de la población se caracterizó en función de su tasa de mortalidad, expresada como casos por 100.000 habitantes por año. La tasa se calcula para cada grupo de estudio, ya sea por grupo de edad o sexo, para cada comuna de estudio, ya que el nivel geográfico más detallado es la comuna de residencia de la persona fallecida.

3.2 Cálculo de la exposición a la temperatura diaria

La exposición a la temperatura se calculó con granularidad diaria para cada comuna a partir de los datos de temperatura grillada aplicados a cada comuna. Para las agrupaciones de comunas, se calculó la temperatura promedio ponderada por la

población en estudio, por lo que está temperatura puede ser diferente para la misma comuna según el grupo de población que en estudio

3.3 Cálculo de la exposición a la contaminación

La exposición a la contaminación se calculó a nivel de comuna para las comunas de la provincia de Santiago, en que se dispone de mayor cobertura geográfica.

3.4 Relación temperatura-mortalidad

La relación temperatura mortalidad se estima con un modelo de Poisson con rezagos distribuidos no lineales. Además de la temperatura considera controles temporales de periodo largo, y efectos de corto plazo como el día de la semana:

$$\ln(E(Y_t)) = \beta_0 + \beta_1 X_{1t} + \beta_2 X_{2t} + \dots + \beta_n X_{nt} + \epsilon_t$$

Siendo $E(Y_t)$ el número esperado de eventos en el tiempo "t", β_i ($i=0,1, 2, \dots n$) son los coeficientes para los predictores X_i ($i=1, 2, \dots n$), utilizados en el modelo y t el índice de la variable temporal, ya sea en días, semanas, meses o años.

3.5 Relación contaminación-mortalidad

El efecto de la exposición a material particulado fino, es decir, la contaminación atmosférica, la relación exposición-respuesta es más simple, y se caracteriza por el coeficiente de riesgo relativo. La contaminación atmosférica tiene dos efectos sobre la mortalidad prematura: un efecto agudo, que se manifiesta en un plazo de días después de la exposición diaria, y un efecto crónico, que se manifiesta en el largo plazo y depende de la exposición crónica de al menos 4 o 5 años.

Para este estudio se consideró el efecto de ambas exposiciones, aunque la apropiada para la comparación con el efecto de la temperatura es la exposición aguda.

El coeficiente de riesgo para exposición aguda se tomó de la recomendación del Ministerio del Medio Ambiente en la Guía Metodológica Para la Elaboración de un Análisis General

de Impacto Económico y Social (AGIES) para Instrumentos de Gestión de Calidad del Aire ², actualizada en 2021.

El coeficiente de riesgo para exposición crónica se obtuvo de un estudio reciente publicado por uno de los autores considerando 105 comunas distribuidas en todo Chile ³. El riesgo relativo asociado a un aumento de 10 ug/m³ de PM_{2.5} para la tasa de mortalidad ajustada por edad es de 1.06 (IC95% 1.00-1.13) para causas cardiopulmonares, y de 1.11 (IC95% 1.02-1.20) para causas pulmonares. Estos valores están dentro del rango de valores obtenidos en estudios de EE. UU., Europa y Asia.

3.6 Cálculo de los casos en exceso y la fracción atribuible

A partir de las curvas exposición respuesta y el registro de temperatura y contaminación se obtuvieron los casos en exceso y la fracción atribuible.

Para la temperatura, los casos en exceso se calculan usando la pendiente de la curva a partir de un umbral definido para el frío extremo como el percentil 10% del registro anual de temperaturas diarias, y como el percentil 90% para el calor extremo.

Para la contaminación atmosférica los casos en exceso se calcularon asumiendo un valor de referencia de 10 ug/m³ para el promedio anual. Este valor es el doble del valor guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2021), y la mitad de la actual Norma Primaria de Calidad Ambiental Chilena para MP_{2.5} (MMA, 2010), que actualmente se encuentra en proceso de revisión.

² (https://metadatos.mma.gob.cl/sinia/articles-54447_Guia_MetodologicaCalidadAire.pdf)

³ Busch, P., Cifuentes, L. A., & Cabrera, C. (2023). Chronic exposure to fine particles and mortality: Evidence from Chile. *Environmental Epidemiology*, 7(4), e253. <https://doi.org/10.1097/EE9.000000000000253>

La fracción atribuible se calcula como $FA = \frac{(RR-1)}{RR} * 100$. Este parámetro corresponde al porcentaje de defunciones atribuibles a cada factor ambiental, y es una cantidad más fácil de entender y con mejor.

4 Datos

4.1 Datos de Salud

El estado de salud de la población se caracteriza a partir de la información del Departamento de Estudios e Información de Salud (DEIS) del Ministerio de Salud de Chile, que mantiene una base de datos abierta. A partir de los datos del DEIS, se compilaron las defunciones por región, comuna, causa, grupo de edad y sexo.

4.2 Datos de Meteorología

Los datos de variables meteorológicas se obtuvieron de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), que mantiene estaciones de monitoreo horario de las variables. Los datos se agregaron por día.

4.3 Datos de Contaminación

Las concentraciones de material particulado se obtuvieron del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA)

5 Resultados

5.1 Estadísticas descriptivas

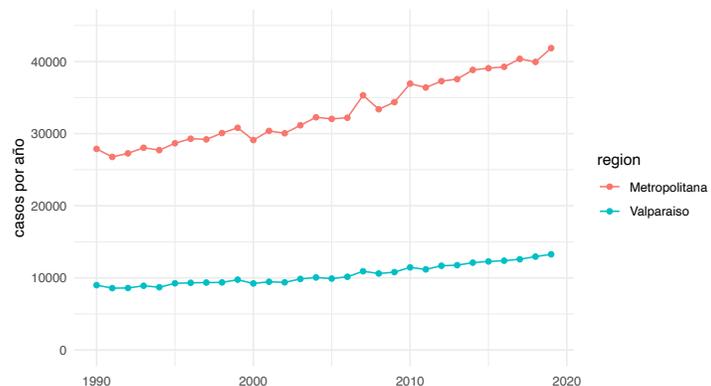


Figura 1 Número total de defunciones por todas las causas no accidentales para las Regiones Metropolitana y de Valparaíso

Fuente: Elaboración propia en base a datos de DEIS

5.2 Exposición a temperatura

La figura presenta el promedio de temperaturas máximas diarias por comuna, para el periodo de estudio 1990-2019

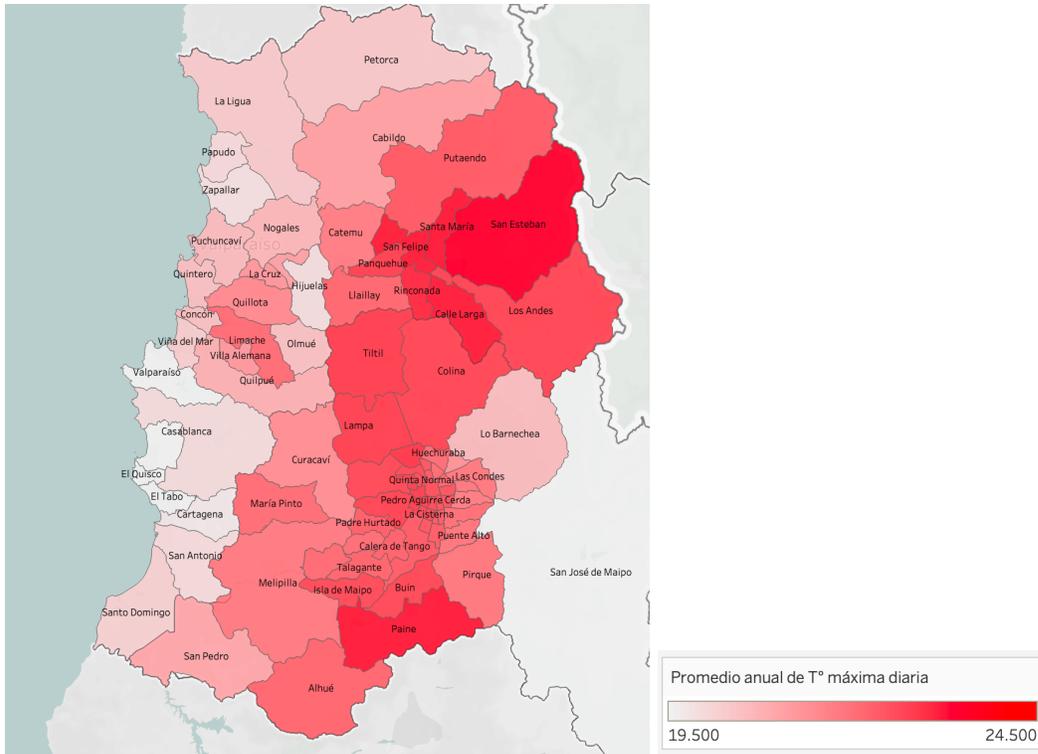


Figura 1 Promedio de temperaturas máximas diarias por comuna, para el periodo de estudio 1990-2019

5.3 Exposición a material particulado

La figura presenta la distribución geográfica de la concentración de material particulado en la zona de estudio, para un día en particular.

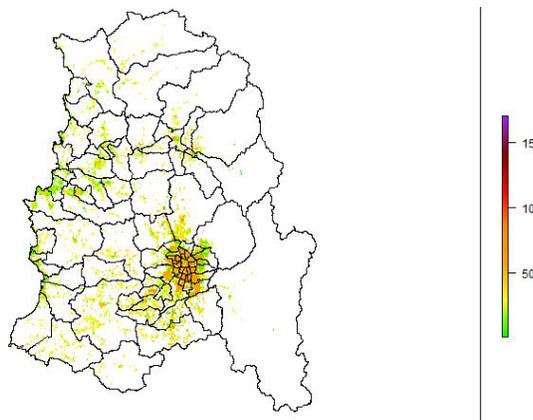


Figura 2 Resultados del modelamiento de la concentración de material particulado 2.5 para Región de Valparaíso y Metropolitana durante el día 2024-05-03 en formato ráster

5.4 Curva temperatura-mortalidad

La curva estimada se presenta en la Figura 2. Se puede ver que el efecto de las temperaturas bajas es aproximadamente lineal, mientras que para altas temperaturas el riesgo relativo aumenta aceleradamente para la temperatura máxima mayor a 30°C. Esto es coherente con lo encontrado con otros estudios y ciudades.

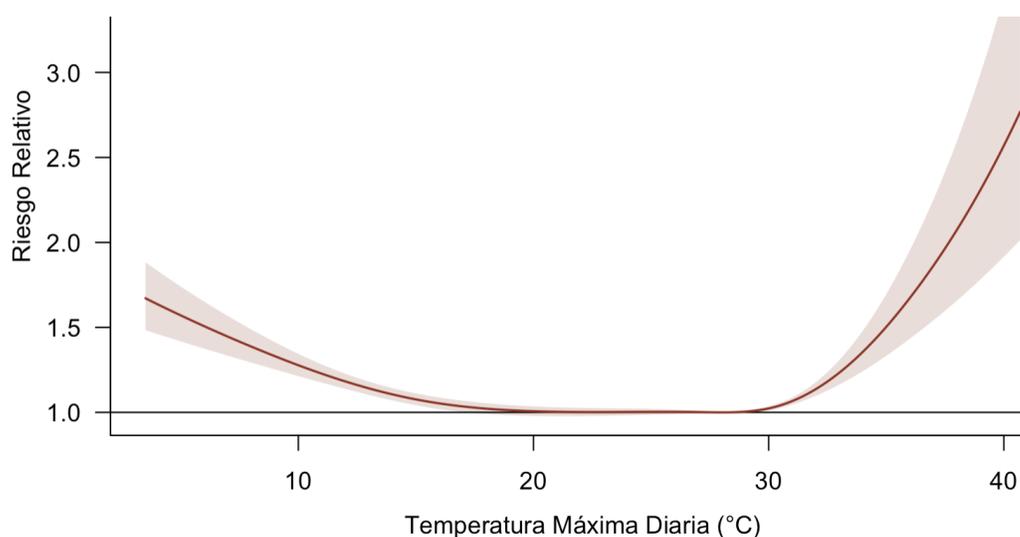


Figura 2 Relación temperatura máxima diaria – mortalidad por todas las causas, todas las edades para las Regiones Metropolitana y de Valparaíso

*Nota: 21 lags, curva centrada en 23oC. Datos para el periodo 1990-2019.
Fuente: Elaboración propia*

5.5 Fracción atribuible

El impacto de las temperaturas extremas se aprecia en la próxima figura, que muestra la fracción atribuible, es decir, la fracción de las defunciones registradas en cada año que pueden ser atribuidas a las temperaturas extremas. El gráfico muestra la fracción para las temperaturas extremas altas y bajas. Aunque el promedio de temperatura de cada año no

cambia significativamente, la fracción varía entre años debido a la distribución de los días con temperatura extrema y la distribución de las defunciones durante el año.

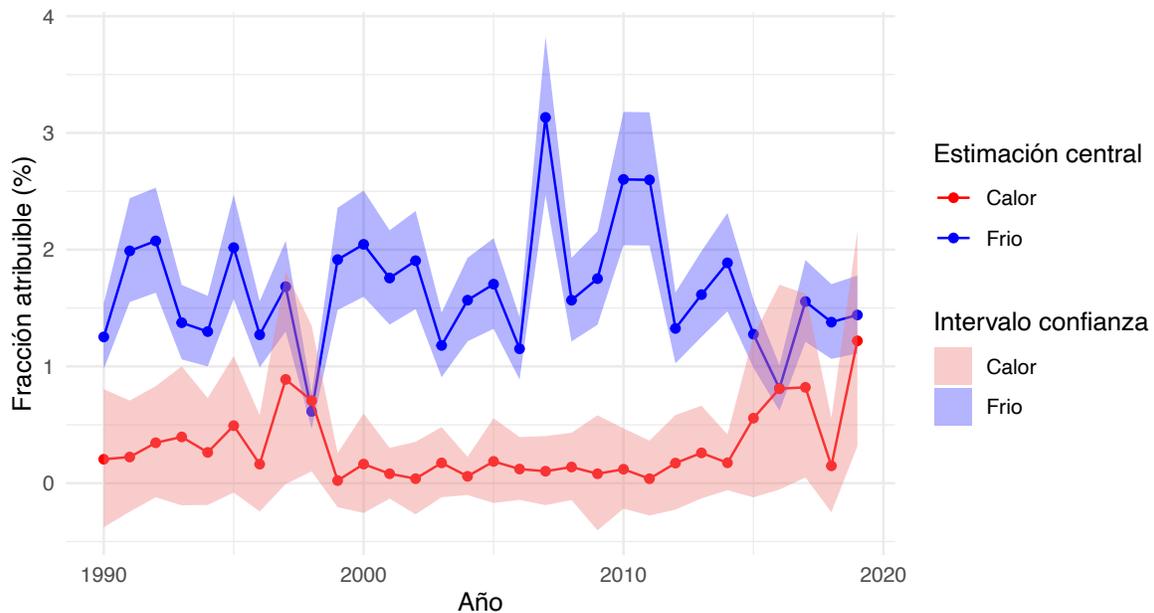


Figura 3 Fracción de las muertes por todas las causas, todas las edades, atribuible a calor y frío extremo en las Regiones Metropolitana y de Valparaíso combinadas, 1990-2019

Fuente: Elaboración propia

5.5.1 Fracción atribuible histórica

Un ejercicio interesante es extender el análisis hacia el pasado, aunque sea en forma aproximada. Usando el registro histórico desde 1950 hasta hoy de la estación DMC de Quinta Normal, se calculó la fracción atribuible para el periodo 1950-2024 en la provincia de Santiago, mostrado en la Figura 4. En este caso se ve claramente un aumento de la mortalidad atribuible al calor extremo, donde los tres años con mayor porcentaje

corresponden a 2019, 2017 y 2024.

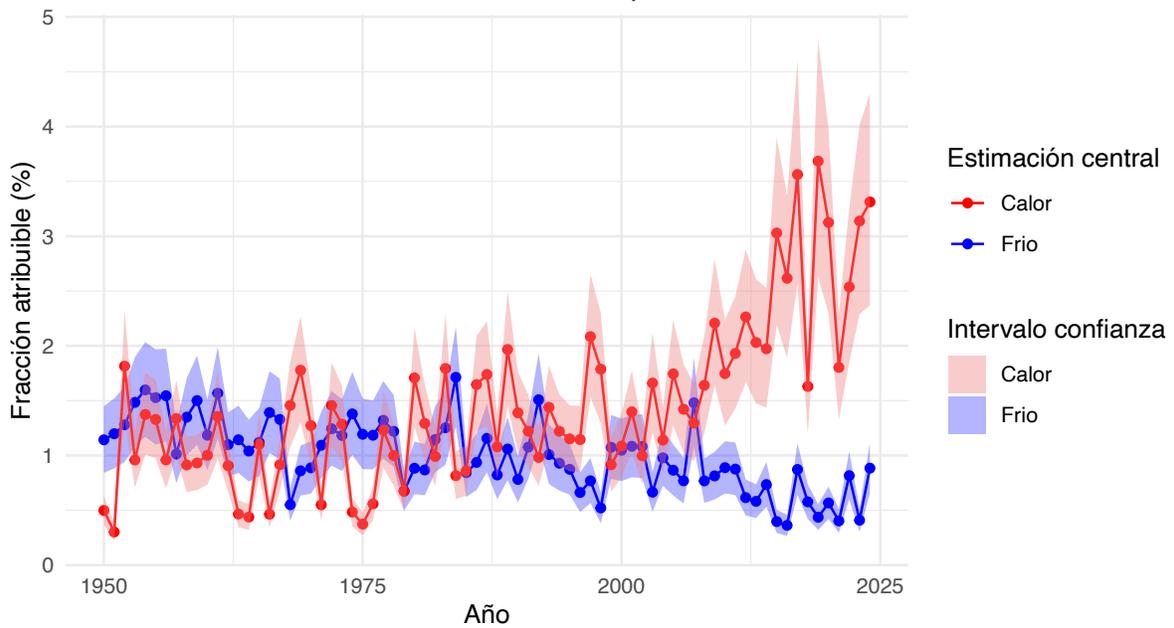


Figura 4 Fracción de las muertes por todas las causas, todas las edades, atribuible a calor y frío extremo en la Región Metropolitana 1950-2024

Fuente: Elaboración propia

La misma estadística agregada a nivel de década se muestra en la Figura 5. La fracción atribuible a calor subió de aproximadamente 1% en las décadas de 1950 a 1970 a un 2.8% para el periodo 2020-2024.

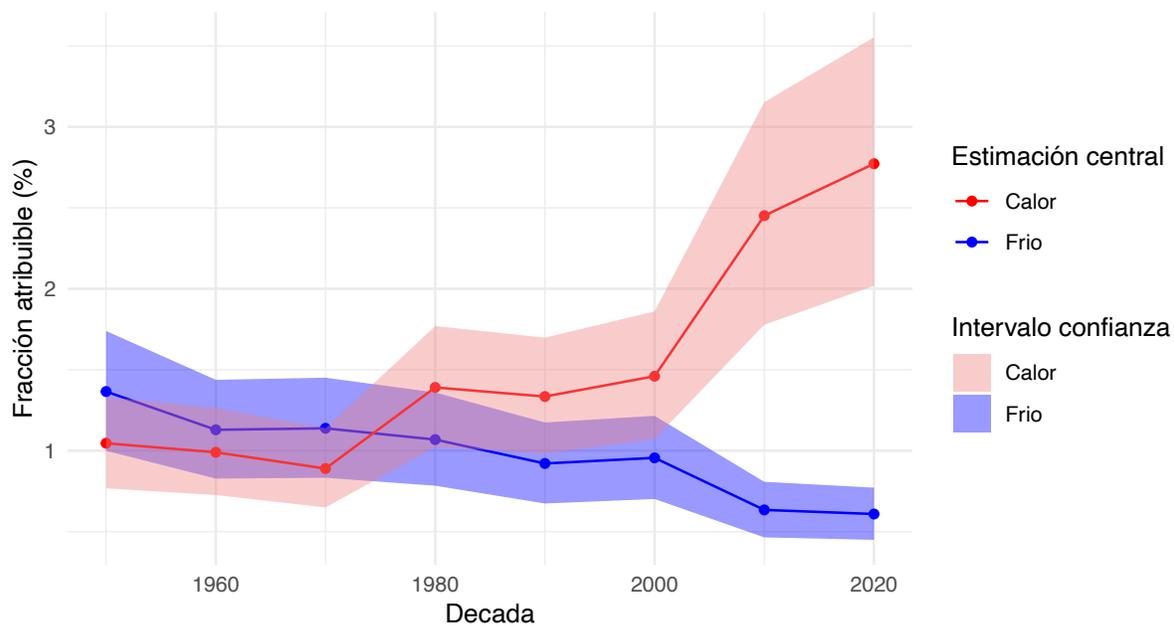


Figura 5 Fracción de las muertes por todas las causas, todas las edades, atribuible a calor y frío extremo en la Provincia de Santiago, décadas 1950 a 2020

*Nota: el valor para la década de 2020 incluye desde el año 2021 a noviembre de 2024 solamente.
Fuente: Elaboración propia*

5.6 Resultados por región

Los resultados anteriores corresponden a las dos regiones agrupada. Sin embargo ambas presentan condiciones muy diferentes de clima y de contaminación, por lo que es interesante comparar el efecto absoluto y relativo de los factores ambientales.

5.6.1 Curva mortalidad-temperatura

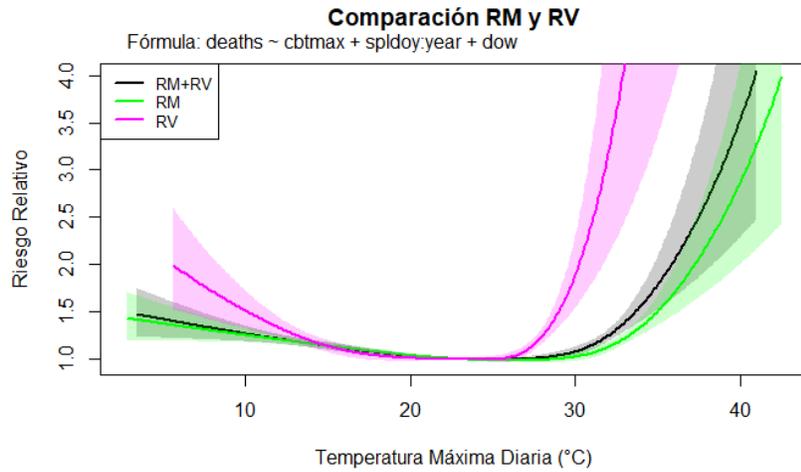


Figura 6 Curva de relación temperatura máxima diaria - mortalidad todas las causas para las Regiones Metropolitana y de Valparaíso

Fuente: Elaboración propia

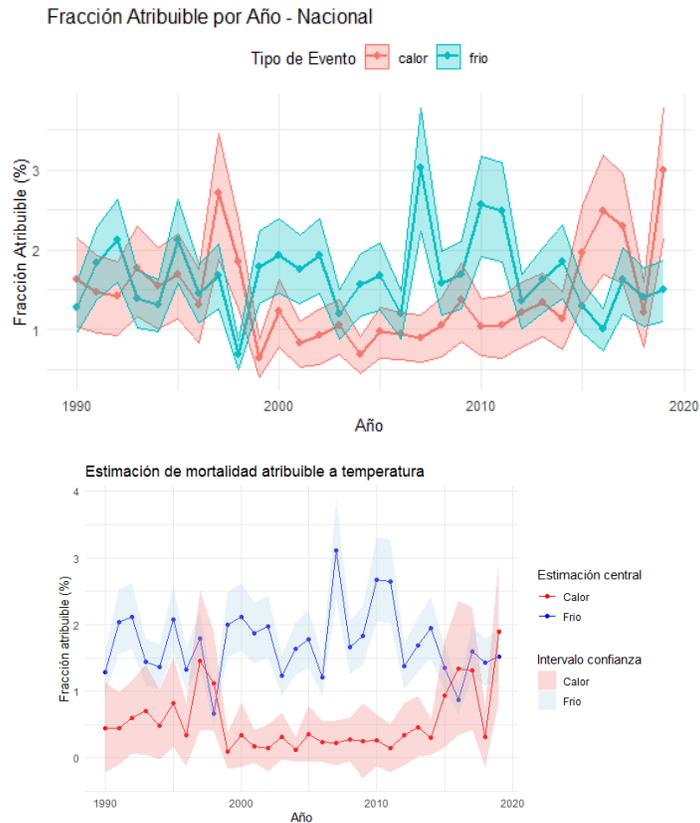


Figura 7 Fracción atribuible a calor y frío extremo de las muertes todas las causas en las Regiones Metropolitana (panel superior) y de Valparaíso (panel inferior)

Fuente: Elaboración propia

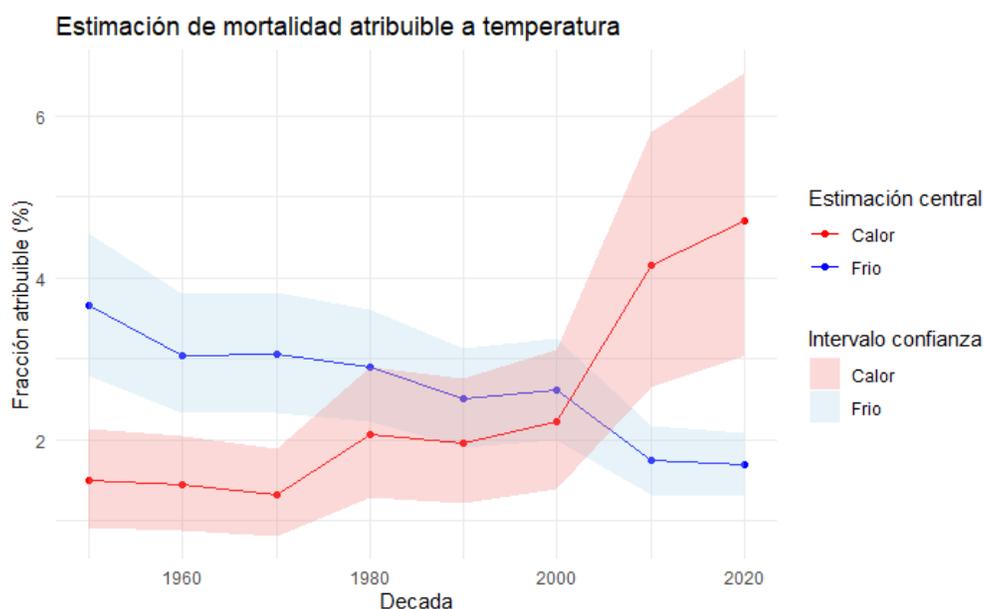


Figura 8 Fracción atribuible a calor y frío extremo de las muertes todas las causas por década en Santiago

Fuente: Elaboración propia

6 Conclusiones

El calor extremo tiene un impacto significativo en la salud, como lo evidencian estudios que vinculan las altas temperaturas con un aumento en la mortalidad. Los resultados de este estudio muestran un aumento alarmante en la mortalidad atribuible al calor extremo en las últimas décadas, y especialmente en los últimos años, con una fracción atribuible al calor extremo que se ha triplicado respecto de décadas anteriores. Esto resulta especialmente preocupante frente a las proyecciones climáticas que anticipan un incremento continuo de la temperatura en las próximas décadas, incluso bajo escenarios optimistas de mitigación de gases de efecto invernadero. Sin embargo, el aumento de temperatura tiene el efecto de reducir las muertes debido al frío extremo, efecto que se nota con claridad en las dos últimas décadas. El aumento de temperatura mínima (que aunque no

se muestra, sigue la misma tendencia de la temperatura máxima) reduce el riesgo de muerte por frío. Sin embargo, el real efecto de este aumento puede ser menor si se considera que las condiciones de vida han mejorado mucho en las últimas décadas, por lo que se puede suponer que la población vulnerable a los efectos del frío ha disminuido.

Estos hallazgos subrayan la urgencia de fortalecer las capacidades de adaptación de la población desde muchos enfoques, comenzando por aumentar el conocimiento sobre estos riesgos en la población general y en los trabajadores de la salud. Es también crucial avanzar en infraestructura y medidas adaptativas, como ampliar la cobertura vegetal, implementar superficies frías, establecer puntos de hidratación y de enfriamiento, fomentar sistemas de climatización accesibles e implementar sistemas efectivos de monitoreo, predicción y respuesta ante estas nuevas amenazas.

7 Referencias

Anderson, G. B., & Bell, M. L. (2011). Heat Waves in the United States: Mortality Risk during Heat Waves and Effect Modification by Heat Wave Characteristics in 43 U.S. Communities. *Environmental Health Perspectives*, 119(2), 210-218. <https://doi.org/10.1289/ehp.1002313>

AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023 — IPCC. (2023). <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>

Auger, N., Naimi, A. I., Smargiassi, A., Lo, E., & Kosatsky, T. (2014). Extreme heat and risk of early delivery among preterm and term pregnancies. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 25(3), 344-350. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000074>

Basu, R., Malig, B., & Ostro, B. (2010). High ambient temperature and the risk of preterm delivery. *American Journal of Epidemiology*, 172(10), 1108-1117. <https://doi.org/10.1093/aje/kwq170>

Basu, R., Pearson, D., Malig, B., Broadwin, R., & Green, R. (2012). The Effect of High Ambient Temperature on Emergency Room Visits. *Epidemiology*, 23(6), 813-820.

Brown, H., & Spickett, J. (2014). Health Consequence Scales for Use in Health Impact Assessments of Climate Change. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/ijerph110909607>

Burkart, K. G., Brauer, M., Aravkin, A. Y., Godwin, W. W., Hay, S. I., He, J., Iannucci, V. C., Larson, S. L., Lim, S. S., Liu, J., Murray, C. J. L., Zheng, P., Zhou, M., & Stanaway, J. D. (2021). Estimating the cause-specific relative risks of non-optimal temperature on daily mortality: A two-part modelling approach applied to the Global Burden of Disease Study. *The Lancet*, 398(10301), 685-697. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01700-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01700-1)

Carleton, T., Jina, A., Delgado, M., Greenstone, M., Houser, T., Hsiang, S., Hultgren, A., Kopp, R. E., McCusker, K. E., Nath, I., Rising, J., Rode, A., Seo, H. K., Viaene, A., Yuan, J., & Zhang, A. T. (2022). Valuing the Global Mortality Consequences of Climate Change Accounting for Adaptation Costs and Benefits*. *The Quarterly Journal of Economics*, 137(4), 2037-2105. <https://doi.org/10.1093/aje/qjac020>

Cheng, J., Xu, Z., Bambrick, H., Prescott, V., Wang, N., Zhang, Y., Su, H., Tong, S., & Hu, W. (2019). Cardiorespiratory effects of heatwaves: A systematic review and meta-analysis of global epidemiological evidence. *Environmental Research*, 177, 108610. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108610>

Chinthrajah, S., Garcia, E., Hasan, Z., Hy, A., & Wong, L. (2022). Climate Change Health Effects and What You Can Do. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 205(1), P1-P2. <https://doi.org/10.1164/rccm.2051P1>

Cifuentes, L., Quiroga, D., Valdes, J. M., & Cabrera, C. (2020). Informe Proyecto ARClim: Salud. Centro de Cambio Global UC y DICTUC/ Greenlab coordinado por Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia y Centro de Cambio Global UC para el Ministerio del Medio Ambiente a través de La Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). https://arclim.mma.gob.cl/media/informes_consolidados/12_SALUD_B.pdf

- Dominici, F., Sheppard, L., & Clyde, M. (2007). Health Effects of Air Pollution: A Statistical Review. *International Statistical Review*, 71(2), 243-276. <https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2003.tb00195.x>
- Ebi, K. L., Capon, A., Berry, P., Broderick, C., de Dear, R., Havenith, G., Honda, Y., Kovats, R. S., Ma, W., Malik, A., Morris, N. B., Nybo, L., Seneviratne, S. I., Vanos, J., & Jay, O. (2021). Hot weather and heat extremes: Health risks. *The Lancet*, 398(10301), 698-708. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)01208-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01208-3)
- Gasparri, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., Tobias, A., Tong, S., Rocklöv, J., Forsberg, B., Leone, M., De Sario, M., Bell, M. L., Guo, Y.-L. L., Wu, C., Kan, H., Yi, S.-M., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Saldiva, P. H. N., ... Armstrong, B. (2015). Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: A multicountry observational study. *The Lancet*, 386(9991), 369-375. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0)
- Gasparri, A., Guo, Y., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A. M., Huber, V., Tong, S., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Nascimento Saldiva, P. H., Lavigne, E., Matus Correa, P., Valdes Ortega, N., Kan, H., Osorio, S., Kyselý, J., Urban, A., Jaakkola, J. J. K., Rytí, N. R. I., Pascal, M., Goodman, P. G., ... Armstrong, B. (2017). Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. *The Lancet Planetary Health*, 1(9), e360-e367. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(17\)30156-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(17)30156-0)
- Guo, Y., Gasparri, A., Li, S., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A. M., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Saldiva, P. H. N., Lavigne, E., Tawatsupa, B., Punnasiri, K., Overcenco, A., Correa, P. M., Ortega, N. V., Kan, H., Osorio, S., Jaakkola, J. J. K., Rytí, N. R. I., Goodman, P. G., Zeka, A., ... Tong, S. (2018). Quantifying excess deaths related to heatwaves under climate change scenarios: A multicountry time series modelling study. *PLOS Medicine*, 15(7), e1002629. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002629>
- Hartinger, S. M., Yglesias-González, M., Blanco-Villafuerte, L., Palmeiro-Silva, Y. K., Lescano, A. G., Stewart-Ibarra, A., Rojas-Rueda, D., Melo, O., Takahashi, B., Buss, D., Callaghan, M., Chesini, F., Flores, E. C., Gil Posse, C., Gouveia, N., Jankin, S., Miranda-Chacon, Z., Mohajeri, N., Helo, J., ... Romanello, M. (2023). The 2022 South America report of The Lancet Countdown on health and climate change: Trust the science. Now that we know, we must act. *Lancet Regional Health. Americas*, 20, 100470. <https://doi.org/10.1016/j.lana.2023.100470>
- Hess, J. J., Errett, N. A., McGregor, G., Busch Isaksen, T., Wettstein, Z. S., Wheat, S. K., & Ebi, K. L. (2023). Public Health Preparedness for Extreme Heat Events. *Annual Review of Public Health*, 44, 301-321. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-071421-025508>
- Keatinge, W. R., & Donaldson, G. C. (2001). Mortality Related to Cold and Air Pollution in London After Allowance for Effects of Associated Weather Patterns. *Environmental Research*, 86(3), 209-216. <https://doi.org/10.1006/enrs.2001.4255>
- Kent, S. T., McClure, L. A., Zaitchik, B. F., Smith, T. T., & Gohlke, J. M. (2014). Heat Waves and Health Outcomes in Alabama (USA): The Importance of Heat Wave Definition. *Environmental Health Perspectives*, 122(2), 151-158. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307262>

Kim, Y., Kim, H., Gasparrini, A., Armstrong, B., Honda, Y., Chung, Y., Ng, C. F. S., Tobias, A., Íñiguez, C., Lavigne, E., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A. M., Ragettli, M. S., Scovronick, N., Acquaforte, F., Chen, B.-Y., Guo, Y.-L. L., Seposo, X., Dang, T. N., ... Hashizume, M. (2019). Suicide and Ambient Temperature: A Multi-Country Multi-City Study. *Environmental Health Perspectives*, 127(11), 117007. <https://doi.org/10.1289/EHP4898>

Knowlton, K., Rotkin, -Ellman Miriam, King, G., Margolis, H. G., Smith, D., Solomon, G., Trent, R., & English, P. (2009). The 2006 California Heat Wave: Impacts on Hospitalizations and Emergency Department Visits. *Environmental Health Perspectives*, 117(1), 61-67. <https://doi.org/10.1289/ehp.11594>

Leonardi, G., Hajat, S., Kovats, R., Smith, G., Cooper, D., & Gerard, E. (2006). Syndromic surveillance use to detect the early effects of heat-waves: An analysis of NHS Direct data in England. *Sozial- Und Präventivmedizin*, 51(4), 194-201. <https://doi.org/10.1007/s00038-006-5039-0>

Li, M., Gu, S., Bi, P., Yang, J., & Liu, Q. (2015). Heat Waves and Morbidity: Current Knowledge and Further Direction-A Comprehensive Literature Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/ijerph120505256>

Li, S., Wang, J., Xu, Z., Wang, X., Xu, G., Zhang, J., Shen, X., & Tong, S. (2018). Exploring associations of maternal exposure to ambient temperature with duration of gestation and birth weight: A prospective study. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 18(1), 513. <https://doi.org/10.1186/s12884-018-2100-y>

Liu, Y., Guo, Y., Wang, C., Li, W., Lu, J., Shen, S., Xia, H., He, J., & Qiu, X. (2015). Association between Temperature Change and Outpatient Visits for Respiratory Tract Infections among Children in Guangzhou, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(1), 439-454. <https://doi.org/10.3390/ijerph120100439>

Martínez-Solanas, È., López-Ruiz, M., Wellenius, G. A., Gasparrini, A., Sunyer, J., Benavides, F. G., & Basagaña, X. (2018). Evaluation of the Impact of Ambient Temperatures on Occupational Injuries in Spain. *Environmental Health Perspectives*, 126(6), 067002. <https://doi.org/10.1289/EHP2590>

Mullins-Jaime, C. (2023). Trending Occupational Fatalities and Injuries: An Assessment of Projected Climate Change Related Impacts in the United States since 1992. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(13), 6258. <https://doi.org/10.3390/ijerph20136258>

O'Lenick, C. R., Baniassadi, A., Michael, R., Monaghan, A., Boehnert, J., Yu, X., Hayden, M. H., Wiedinmyer, C., Zhang, K., Crank, P. J., Heusinger, J., Hoel, P., Sailor, D. J., & Wilhelmi, O. V. (s. f.). A Case-Crossover Analysis of Indoor Heat Exposure on Mortality and Hospitalizations among the Elderly in Houston, Texas. *Environmental Health Perspectives*, 128(12), 127007. <https://doi.org/10.1289/EHP6340>

Onozuka, D., & Hagihara, A. (2015). Variation in vulnerability to extreme-temperature-related mortality in Japan: A 40-year time-series analysis. *Environmental Research*, 140, 177-184. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.03.031>

Petitti, D. B., Hondula, D. M., Yang, S., Harlan, S. L., & Chowell, G. (2016). Multiple Trigger Points for Quantifying Heat-Health Impacts: New Evidence from a Hot Climate. *Environmental Health Perspectives*, 124(2), 176-183. <https://doi.org/10.1289/ehp.1409119>

Romanello, M., Di Napoli, C., Drummond, P., Green, C., Kennard, H., Lampard, P., Scamman, D., Arnell, N., Ayeb-Karlsson, S., Ford, L. B., Belesova, K., Bowen, K., Cai, W., Callaghan, M., Campbell-Lendrum, D., Chambers, J., Van Daalen, K. R., Dalin, C., Dasandi, N., ... Costello, A. (2022). The 2022 report of the Lancet Countdown on health and climate change: Health at the mercy of fossil fuels. *The Lancet*, 400(10363), 1619-1654. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)01540-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)01540-9)

Sera, F., Armstrong, B., Tobias, A., Vicedo-Cabrera, A. M., Åström, C., Bell, M. L., Chen, B.-Y., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Matus Correa, P., Cruz, J. C., Dang, T. N., Hurtado-Diaz, M., Do Van, D., Forsberg, B., Guo, Y. L., Guo, Y., Hashizume, M., Honda, Y., Iñiguez, C., ... Gasparrini, A. (2019). How urban characteristics affect vulnerability to heat and cold: A multi-country analysis. *International Journal of Epidemiology*, 48(4), 1101-1112. <https://doi.org/10.1093/ije/dyz008>

Tobías, A., Hashizume, M., Honda, Y., Sera, F., Ng, C. F. S., Kim, Y., Roye, D., Chung, Y., Dang, T. N., Kim, H., Lee, W., Iñiguez, C., Vicedo-Cabrera, A., Abrutzky, R., Guo, Y., Tong, S., Coelho, M. de S. Z. S., Saldiva, P. H. N., Lavigne, E., ... Gasparrini, A. (2021). Geographical Variations of the Minimum Mortality Temperature at a Global Scale: A Multicountry Study. *Environmental Epidemiology*, 5(5), e169. <https://doi.org/10.1097/EE9.0000000000000169>

Turner, V. K., French, E. M., Dialesandro, J., Middel, A., Hondula, D. M., Weiss, G. B., & Abdellati, H. (2022). How are cities planning for heat? Analysis of United States municipal plans. *Environmental Research Letters*, 17(6), 064054. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac73a9>

Urban, A., Davidkovová, H., & Kyselý, J. (2014). Heat- and cold-stress effects on cardiovascular mortality and morbidity among urban and rural populations in the Czech Republic. *International Journal of Biometeorology*, 58(6), 1057-1068. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0693-4>

Van Vuuren, D. P., Edmonds, J. A., Kainuma, M., Riahi, K., & Weyant, J. (2011). A special issue on the RCPs. *Climatic Change*, 109(1-2), 1-4. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0157-y>

Vicedo-Cabrera, A. M., Sera, F., Guo, Y., Chung, Y., Arbuthnott, K., Tong, S., Tobias, A., Lavigne, E., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., Hilario Nascimento Saldiva, P., Goodman, P. G., Zeka, A., Hashizume, M., Honda, Y., Kim, H., Ragettli, M. S., Röösli, M., Zanobetti, A., Schwartz, J., ... Gasparrini, A. (2018). A multi-country analysis on potential adaptive mechanisms to cold and heat in a changing climate. *Environment International*, 111, 239-246. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.11.006>

Wells, J. C. K. (2002). Thermal environment and human birth weight. *Journal of Theoretical Biology*, 214(3), 413-425. <https://doi.org/10.1006/jtbi.2001.2465>

White, F. (2004). Every Breathe You Take... Provincial Health Officer's Annual Report 2003. Air Quality in British Columbia, a Public Health Perspective.

Wu, Y., Li, S., Zhao, Q., Wen, B., Gasparri, A., Tong, S., Overcenco, A., Urban, A., Schneider, A., Entezari, A., Vicedo-Cabrera, A. M., Zanobetti, A., Analitis, A., Zeka, A., Tobias, A., Nunes, B., Alahmad, B., Armstrong, B., Forsberg, B., ... Guo, Y. (2022). Global, regional, and national burden of mortality associated with short-term temperature variability from 2000-19: A three-stage modelling study. *The Lancet. Planetary Health*, 6(5), e410-e421. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00073-0](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00073-0)

Xu, Z., Sheffield, P. E., Su, H., Wang, X., Bi, Y., & Tong, S. (2014). The impact of heat waves on children's health: A systematic review. *International Journal of Biometeorology*, 58(2), 239-247. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0655-x>

Yu, J., Yang, D., Kim, Y., Hashizume, M., Gasparri, A., Armstrong, B., Honda, Y., Tobias, A., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A. M., Kim, H., Íñiguez, C., Lavigne, E., Ragetti, M. S., Scovronick, N., Acquaotta, F., Chen, B., Guo, Y. L., de Sousa Zanotti Stagliori Coelho, M., ... Chung, Y. (2020). Seasonality of suicide: A multi-country multi-community observational study. *Epidemiology and Psychiatric Sciences*, 29, e163. <https://doi.org/10.1017/S2045796020000748>

Anexos

Anexo I. Alcance geográfico

A continuación, se muestran las comunas pertenecientes a la región Metropolitana y de Valparaíso (sin incluir Juan Fernández e Isla de Pascua).



Figura 7-1 Mapa de las comunas de las Regiones de Valparaíso y Metropolitana
Fuente: Shapes de comunas INE

Anexo II. Datos de temperatura

Los datos de temperatura diaria fueron obtenidos del archivo NetCDF provenientes del explorador climático “CR2 met” para el periodo 1990 hasta el 2019. La resolución d CR2met se verificó y se ajustó para garantizar una resolución uniforme con la capa de máscara, usando el método de Zhao et al. Se utilizó la capa de cobertura de Zhao et al para definir las zonas altamente pobladas (niveles 100, 200 y 800) y asignar pixeles nulos a las demás zonas.

Esta máscara se aplicó a la capa de temperatura, excluyendo las zonas montañosas y garantizando una serie de tiempo grillada para las áreas de interés. La manipulación de datos se llevó a cabo utilizando *raster_bricks* para una gestión eficiente, todo esto en lenguaje Python.

El resultado final es una serie de tiempo grillada para la temperatura, se almacenó en formato NetCDF4 para su fácil accesibilidad y posterior análisis.

Anexo III. Relación Temperatura-Respuesta

La relación temperatura mortalidad se estima con un modelo de Poisson con rezagos distribuidos no lineales. Además de la temperatura considera controles temporales de periodo largo, y efectos de corto plazo como el día de la semana:

$$\ln(E(Y_t)) = \beta_0 + \beta_1 X_{1t} + \beta_2 X_{2t} + \dots + \beta_n X_{nt} + \epsilon_t$$

Siendo $E(Y_t)$ el número esperado de eventos en el tiempo "t", β_i ($i=0,1, 2, \dots n$) son los coeficientes para los predictores X_i ($i=1, 2, \dots n$), utilizados en el modelo y t el índice de la variable temporal, ya sea en días, semanas, meses o años.

Categorías para calculo

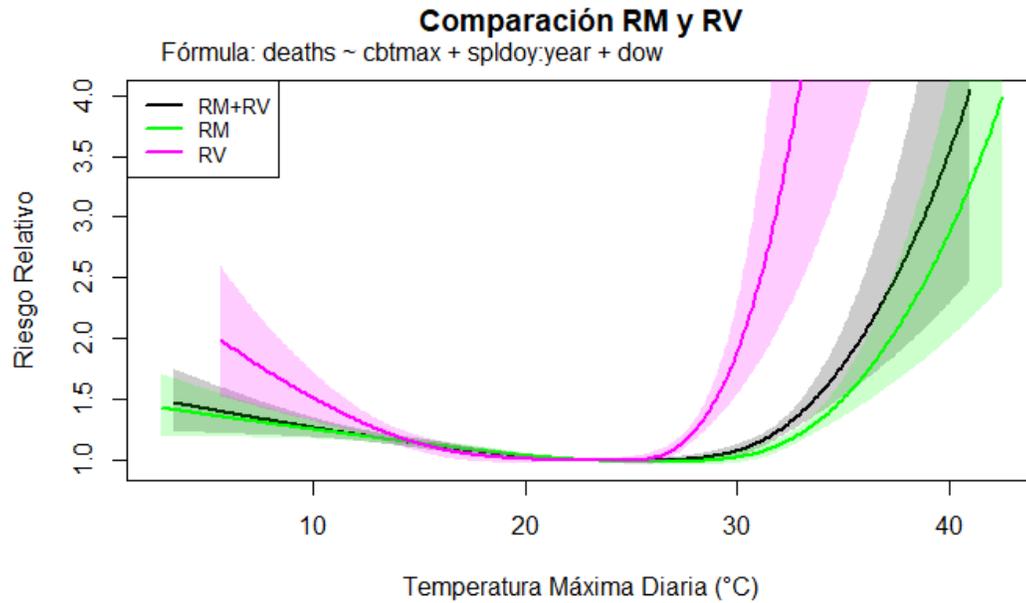
Las categorías para los modelos generales utilizados se dividieron por región, es decir:

- Región Metropolitana
- Región de Valparaíso

Para un análisis más exhaustivo se dividieron en más subcategorías.

Anexo IV. Resultados detallados

IV.1 Comparación resultados por región

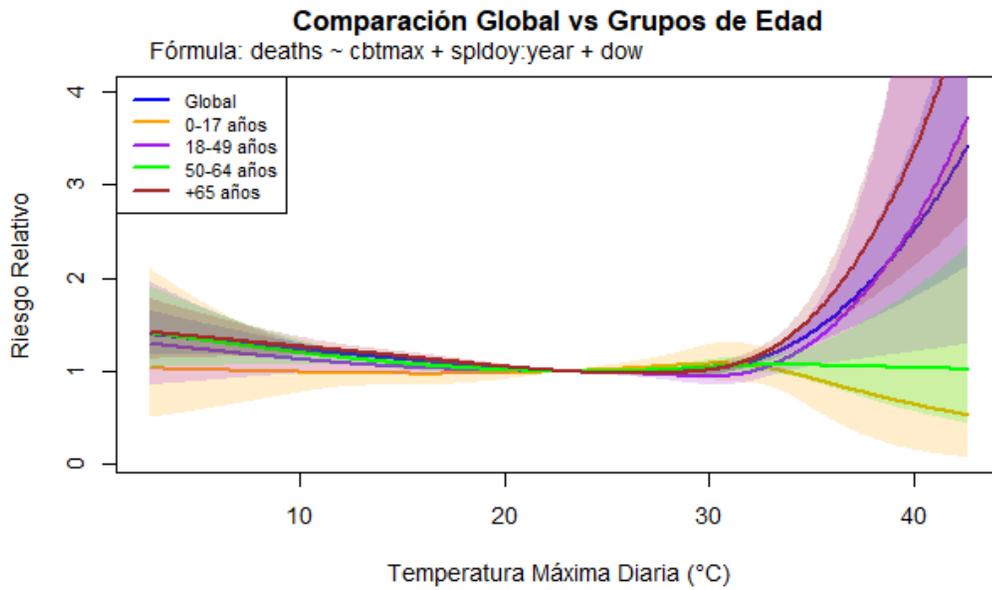


IV.1.1 Según grupo de edad

Por grupo de edad se consideraron las cuatro categorías de edad:

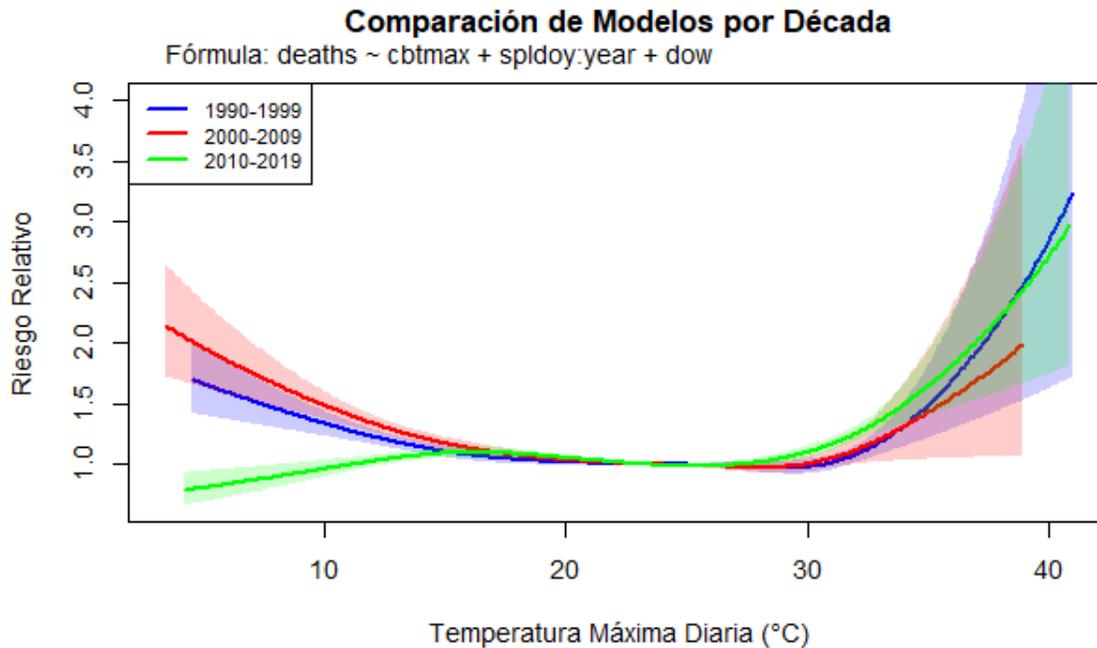
- 1) Joven: Entre 0 y 17 años
- 2) Adulto 1: Entre 18 y 49 años
- 3) Adulto 2: Entre 50 y 64 años
- 4) Adulto 3: Mayor de 65 años

Se realiza una comparación entre el modelo considerando todos los grupos de edad



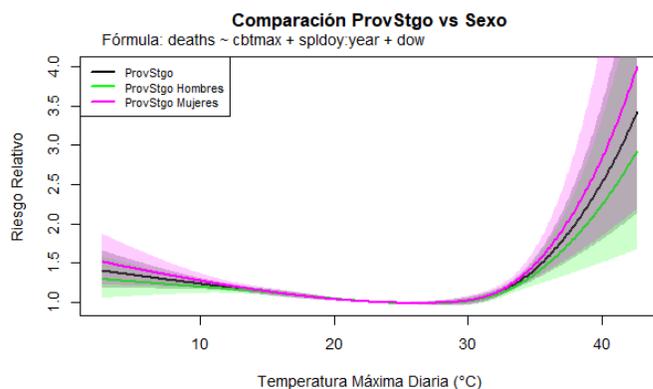
IV.1.2 Según periodo de tiempo

Se separó por las tres décadas que consideró el estudio.



IV.2 Resultados específicos para la provincia de Santiago

IV.2.1 Según sexo



IV.2.2 Por Agrupaciones de comunas oriente/poniente

Las comunas fueron agrupadas para el modelo general e interactivo los modelos de cada región por separada. Sin embargo, se realizaron análisis de modelos separados por provincia y específicamente la provincia de Santiago se dividió en oriente y poniente y por quintil de ingreso autónomo. Cabe considerar que la población de la provincia es de 5.250.565 de habitantes.

