

Informe
Proyecto
ARCLIM

Salud



ARCLIM
Atlas de Riesgo Climático
Chile



Equipo realizador:

Camila Cabrera

DICTUC / Greenlab

Jose Miguel Valdes

DICTUC / Greenlab

Daniela Quiroga

DICTUC / Greenlab

Luis Abdón Cifuentes

Escuela de Ingeniería / Centro de Cambio Global UC

Santiago, Chile - 2020



Este informe debe citarse de la siguiente manera:

Cifuentes, L.; Quiroga, D.; Valdes, J. & Cabrera, C., 2020. Informe Proyecto ARClím: 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). Santiago.

Preparado para:



ARClím es un proyecto del Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Chile, financiado por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania.

Coordinado por:



Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2
ANID/FONDAP/15110009



Centro Interdisciplinario de Cambio Global UC
de la Pontificia Universidad Católica de Chile

Desarrollado por:



Informe
Proyecto
ARCLIM

Salud



ARCLIM
Atlas de Riesgo Climático
Chile



ÍNDICE DE CONTENIDOS

Pág.

1 1. Resumen Ejecutivo

5 2. Introducción

**9 3. Análisis cualitativo del
impacto en la salud**

12 3.1 Variación en la morbilidad y mortalidad
por cambios en la temperatura.

13 3.2 Enfermedades transmitidas por vectores.

14 3.3 Enfermedades asociadas al consumo
de alimentos y de agua.

15 3.4 Enfermedades asociadas al
empeoramiento de la calidad del mar.

16 3.5 Enfermedades alérgicas.

17 3.6 Enfermedades asociadas a una
mayor Exposición a rayos UV.

18 3.7 Enfermedades derivadas de eventos
de alta contaminación atmosférica.

19 3.8 Lesiones y defunciones por eventos
climáticos extremos.

20 3.9 Efecto del cambio climático en la
salud mental.

**23 4. Análisis cuantitativo de
los efectos en la salud**

23 4.1 Alcance del análisis.

Pág.

25 4.2 Antecedentes.

31 4.3 Metodología.

31 4.3.1 Paso 1: Definición de comunas a
analizar para curvas dosis-respuesta.

33 4.3.2 Paso 2: Definición y cálculo de
curvas de Riesgo.

35 4.3.3 Paso 3: Definición de *clústers* y
meta-análisis.

36 4.3.4 Paso 4: Cuantificación de casos a
nivel comunal.

38 4.4 Resultados.

43 5. Conclusiones

45 6. Referencias

51 7. Anexos

51 6.1 Curvas de Riesgo para ciudades
seleccionadas, definición DMC.

52 6.2 Curvas de Riesgo para cada *clúster*,
definición DMC.



Atlas de Riesgo Climático
Chile

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.		Pág.	
5	Figura 1. Vías en que el cambio climático afecta a la salud humana.	36	Figura 16. Curva de Riesgo – <i>Clúster D5</i> . Sur.
6	Figura 2. Interrelación de factores relacionados al cambio climático y sus efectos en la salud humana.	36	Figura 17. Curva de Riesgo – <i>Clúster D6</i> . Austral.
10	Figura 3. Impactos a la salud y su asociación a fenómenos climáticos.	37	Figura 18. Ejemplo de asociación entre temperatura máxima y Riesgo relativo.
25	Figura 4. Curva Exposición-respuesta: temperatura y mortalidad por enfermedades cardiovasculares en México.	39	Figura 19. Variación en mortalidad neta por estación. HW: p90-3d. Media e intervalo de confianza al 90%.
29	Figura 5. Gráfico esquemático de la relación entre la mortalidad diaria y la temperatura máxima diaria en un año.	40	Figura 20. Variación en mortalidad neta por estación. HW: p98-3d. Media e intervalo de confianza al 90%.
31	Figura 6. Esquema metodología general.	51	Figura 21. Curvas de Riesgo – Zona Iquique.
34	Figura 7. Curvas de Riesgo – Zona Iquique.	51	Figura 22. Curvas de Riesgo – Zona Santiago.
34	Figura 8. Curvas de Riesgo – Zona Santiago.	52	Figura 23. Curvas de Riesgo – Zona Temuco.
34	Figura 9. Curvas de Riesgo – Zona Temuco - Padre de las Casas.	52	Figura 24. Curvas de Riesgo – Zona Punta Arenas.
34	Figura 10. Curvas de Riesgo – Zona Punta Arenas.	52	Figura 25. Curva de Riesgo – <i>Clúster D1</i> . Norte 50.
35	Figura 11. Resultados de <i>clúster</i> .	52	Figura 26. Curva de Riesgo – <i>Clúster D2</i> . Norte Cordillera (p90, 3+ días).
35	Figura 12. Curva de Riesgo – <i>Clúster D1</i> . Norte.	53	Figura 27. Curva de Riesgo – <i>Clúster D3</i> . Centro.
36	Figura 13. Curva de Riesgo – <i>Clúster D2</i> . Norte Cordillera (p98, 3+ días).	53	Figura 28. Curva de Riesgo – <i>Clúster D4</i> . Centro Sur (p90, 3+ días).
36	Figura 14. Curva de Riesgo – <i>Clúster D3</i> . Centro.	53	Figura 29. Curva de Riesgo – <i>Clúster D5</i> . Sur.
36	Figura 15. Curva de Riesgo – <i>Clúster D4</i> . Centro Sur (p98, 3+ días).	53	Figura 30. Curva de Riesgo – <i>Clúster D6</i> . Austral.

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

- 2** **Tabla 1.** Clasificación impactos esperados en la salud en Chile.
- 11** **Tabla 2.** Factores y sus consecuencia sobre el riesgo del cambio climático en la salud.
- 24** **Tabla 3.** Brechas detectadas para la proyección del Riesgo en salud a nivel país.
- 27** **Tabla 4.** Estudios selectos que estiman curvas de Exposición-respuesta.
- 28** **Tabla 5.** Estudios selectos que estiman curvas de Exposición-respuesta, aislando el efecto de olas de calor.
- 30** **Tabla 6.** Metodologías para incorporar la adaptación a cambios de temperatura.
- 32** **Tabla 7.** Descripción zonas para curvas temperatura-Riesgo.
- 33** **Tabla 8.** Definiciones de ola de calor.
- 38** **Tabla 9.** Variación en el número de muertes [casos por año] por cambio climático.
- 41** **Tabla 10.** Variación de aumento de mortalidad por olas de calor y aumento de temperaturas según efecto.





1010

684



595



1

RESUMEN EJECUTIVO

El cambio climático y la salud humana están interconectados de forma compleja, a través de diversas vías de Exposición y mediados por varias condiciones del sistema socio-ambiental. Los impactos en la salud de la población dependen de una serie de relaciones, entre los que influyen, son los factores climáticos, ambientales, económicos y sociales, que hacen más vulnerables a las personas.

En Chile, los efectos del cambio climático se han hecho evidentes en los últimos años, con un aumento de los episodios de marea roja, mega sequía, grandes incendios —como aquellos ocurridos el año 2017— y el incremento de la temperatura, en distintas zonas del territorio. Todos estos sucesos han traído consecuencias en la salud de la

población del país y, por lo tanto, es importante mantener el monitoreo de las distintas condiciones climáticas, del estado de salud de los habitantes y de la capacidad de respuesta del sistema de salud, que permita enfrentar los efectos esperados en el futuro. Asimismo, se hace necesario proyectar los niveles de Riesgo a los que las personas se verán expuestas, para generar acciones preventivas.

Los impactos del cambio climático en la salud de la población se han caracterizado para cuatro zonas del territorio nacional. Los efectos esperados se muestran en la **Tabla 1.**

Impacto	Efecto climático	Zona	Principales efectos esperados
Variación en la morbilidad y mortalidad por cambios en la temperatura	Aumento de temperatura	Todo el territorio nacional	Complicación de patologías existentes (en particular, enfermedades respiratorias y cardiovasculares), síncope por calor, golpes de calor, calambres, trastornos hidroelectrolíticos, agotamiento y enfermedades al riñón, mortalidad prematura.
Enfermedades transmitidas por vectores	Aumento de temperatura, humedad o sequía	Zona norte	Enfermedades transmitidas por mosquitos (Dengue, Malaria, Fiebre amarilla, Zika, Chikungunya), triatominos (enfermedad de Chagas), garrapatas y roedores (Leptospirosis, Tularemia y Virosis hemorrágica, Lyme, Encefalitis y hantavirus)
Enfermedades asociadas al consumo de alimentos y de agua	Sequía Aumento de precipitaciones Evento hidrometeorológico extremo	Zona norte y centro Zona sur y austral Todo el territorio nacional	Enfermedades diarreicas (Cólera, Criptosporidiosis, Infecciones por E. Coli, Giardiasis, Shigelosis y Fiebre tifoidea) e infecciosas (hantaviriosis, hepatitis A y C, SRAS, etc.), fallecimientos, malnutrición, meningitis meningocócica, entre otros.
Enfermedades asociadas al empeoramiento de la calidad del agua marina	Aumento de temperatura*	Todo el territorio nacional	Muerte por paro respiratorio, problemas gastrointestinales como diarrea, náuseas, vómitos y dolores abdominales, problemas neurológicos como desorientación, vértigo, confusión y pérdida temporal de la memoria.
Enfermedades alérgicas	Aumento de temperatura	Zona centro	Complicación de enfermedades respiratorias, asma, rinitis alérgica (fiebre del heno), conjuntivitis y dermatitis.
Enfermedades asociadas a una mayor exposición a rayos UV	Aumento de temperatura	Zona sur y austral	Cataratas corticales, melanoma maligno cutáneo, quemaduras de sol y problemas de inmunosupresión.
Enfermedades derivadas de eventos de alta contaminación atmosférica	Aumento de temperatura	Zona centro y sur	Neumonía, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, asma, y cáncer de pulmón, entre otros. Mortalidad prematura.
Lesiones y defunciones por eventos climáticos extremos	Evento hidrometeorológico extremo	Todo el territorio nacional	Eventos accidentales asociados a eventos climáticos extremos.
Efectos del cambio climático en la salud mental	Todo evento asociado al cambio climático	Todo el territorio nacional	Suicidios, desencadenamiento de trastornos de estrés posttraumático, trastornos depresivos, ansiedad, depresión, duelo complicado, síndrome del sobreviviente, trauma indirecto, fatiga y abuso de sustancias.

Tabla 1. Clasificación impactos esperados en la salud en Chile.

Nota: Las causas del empeoramiento de la calidad del mar son variadas y su conexión con el cambio climático no se encuentra definida con claridad. Sin embargo, existe evidencia que asocia el aumento de la concentración de CO2, el derretimiento de los glaciares y el ascenso de la temperatura del mar, con el incremento de los eventos de marea roja y la proliferación de organismos patógenos. En el capítulo 2.4, se expone con mayor profundidad este tema.

Fuente: Elaboración propia.



Con el fin de realizar un primer acercamiento a la necesaria cuantificación del Riesgo del cambio climático en la salud de la población, se estudió, cuantitativamente, cómo afectan las olas de calor y el aumento de la temperatura en la mortalidad en todas las comunas del país. Los resultados de este análisis dieron cuenta de la magnitud del impacto de dicho incremento en la salud humana.

El método utilizado se basó en el estado del arte para la cuantificación de la mortalidad por efecto de la temperatura y constó de dos etapas: 1) determinación de la asociación entre la temperatura ambiente y olas de calor con la mortalidad prematura, usando datos históricos desde 1980 a 2010, para diferentes agrupaciones de comunas; y 2) estimación de la mortalidad en exceso, que resulta del cambio proyectado de temperatura entre cada año del periodo 2035 a 2064 y el promedio de los años 1980 a 2010. Esta estimación se realizó aplicando las relaciones temperatura-mortalidad, determinadas en la etapa 1 a todas las comunas del país, asignándolas según zona climática.

Se presentan los resultados del incremento de la temperatura media esperada y del aumento de olas de calor. Estas últimas se definieron de dos maneras: la primera utilizó la definición de la Dirección Meteorológica de Chile, denominada “DMC”, que corresponde a la ocurrencia de tres o más días seguidos con temperatura máxima sobre el percentil 90; y, la segunda, denominada “Estricta”, que considera el percentil 98 como umbral. Esta última es la que entrega el mejor ajuste estadístico para el efecto de la ola de calor.

Así, se puede proyectar que el aumento de la mortalidad por olas de calor para todo el país, y aumento de temperatura para el año 2050 respecto del promedio 1980-2010 para todo el país, será de 1.1% (-0.6% - 2.8%) y 1.3% (0.2% - 2.4%), para la definición “DMC” y “Estricta” de olas de calor, respectivamente.

La heterogeneidad de los resultados, que representan las diferentes realidades territoriales y estacionales, resalta la importancia de realizar el análisis a nivel comunal. Se observa que la mayor parte de las muertes en exceso, ocurrirían en la zona centro y centro-sur, lo que responde a la alta densidad poblacional en dichas zonas y al aumento en las temperaturas del Valle Central. Resulta interesante observar cómo la distribución entre las muertes asociadas a las olas de calor, el aumento de las temperaturas diarias y las muertes evitadas por la reducción del frío, varían de norte a sur. En el norte del país, el aumento de mortalidad se manifiesta casi uniformemente durante el año, mientras que en las zonas centro y centro sur se observa un fuerte efecto estacional: en el verano aumenta la mortalidad, en cambio, en la temporada fría, el incremento de la temperatura evita muertes. Por su parte, la zona sur y austral tendría un efecto menor en las temporadas cálida e intermedia; mientras que, en la época fría, experimentaría una reducción de los fallecimientos.

Si bien en el presente estudio se exponen resultados netos —que corresponden al aumento de mortalidad por olas de calor y de temperatura, menos la reducción de mortalidad en la temporada fría— esta consideración es relevante, puesto que no es necesariamente la misma población la que se ve afectada por las olas de calor y temperaturas altas, la que se beneficia por mayores temperaturas bajas. Por ello, sería relevante profundizar en futuros estudios sobre la diferenciación de ambos efectos.

Finalmente, es importante destacar que la estimación cuantitativa de la variación en mortalidad corresponde solamente al efecto directo de los cambios de temperatura en la salud de la población expuesta. Otros efectos del cambio climático son abordados de forma cualitativa en el presente estudio.



1029



2

INTRO-DUCCIÓN

El cambio climático y la salud humana están interconectadas de forma compleja, a través de numerosas vías de Exposición y son influenciados por diversas condiciones del sistema. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) esquematiza estas vías, por medio de la **Figura 1**.

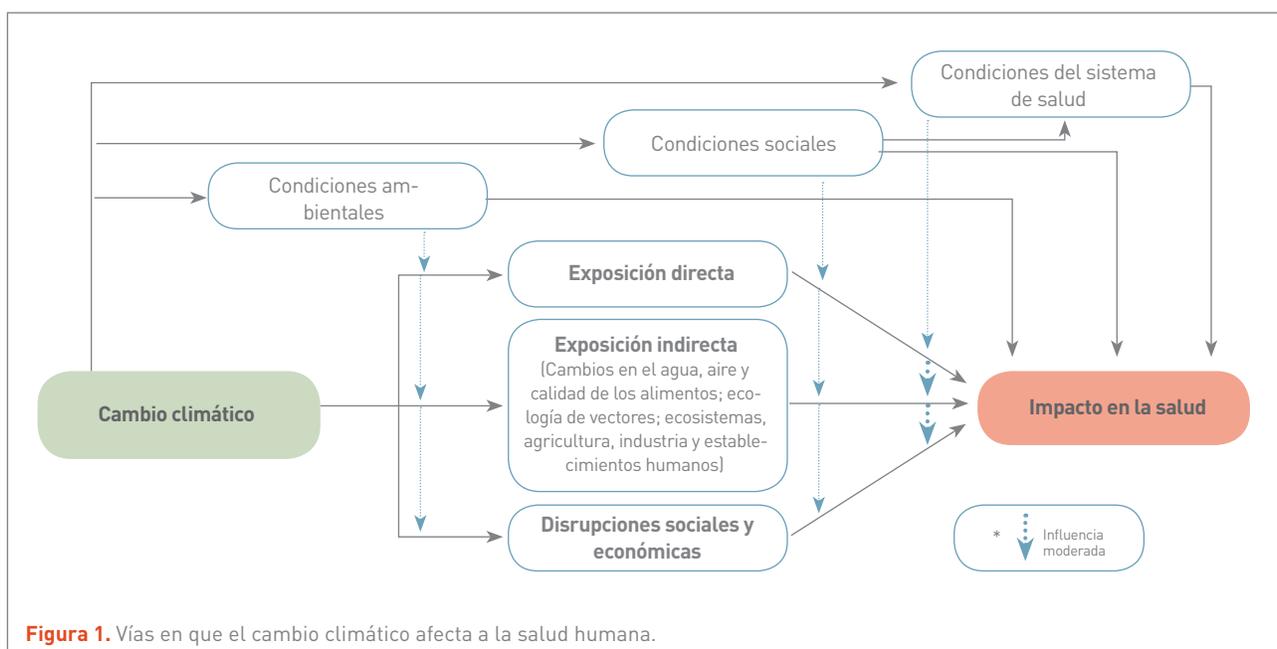


Figura 1. Vías en que el cambio climático afecta a la salud humana.

Fuente: Traducida de (IPCC, 2014).

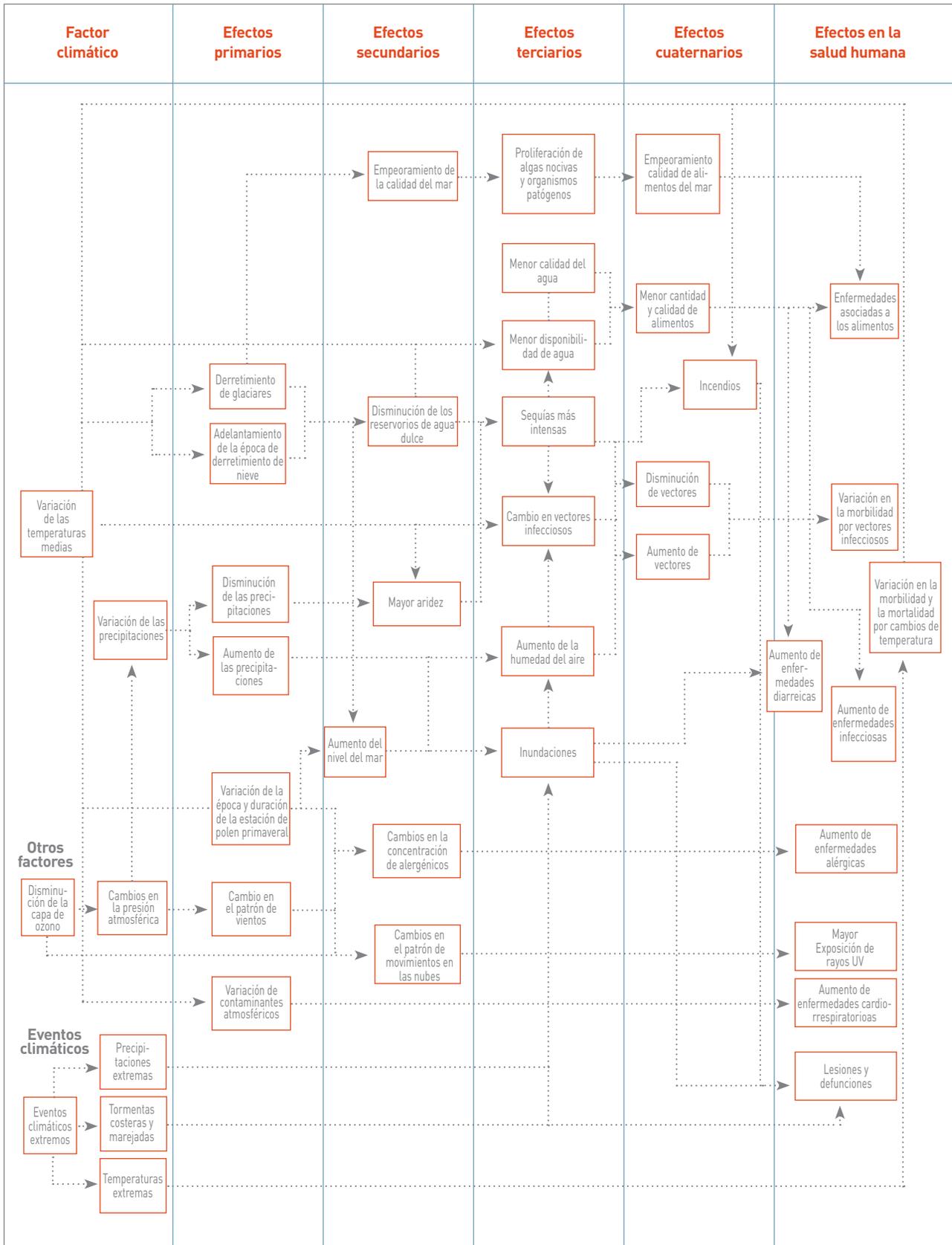


Figura 2. Interrelación de factores relacionados al cambio climático y sus efectos en la salud humana.

Fuente: Elaborado a partir de (GreenLabUC, 2012).

Los efectos esperados del cambio climático pueden afectar la salud, por medio de tres vías principales: (i) la Exposición directa al clima extremo (altas temperaturas, lluvias intensas, etc.), (ii) los cambios en el medioambiente generados por el clima extremo (Exposición indirecta) y (iii) los cambios que el clima genera en el entorno social-económico en que viven las personas. Los efectos del cambio climático y cómo estos perjudican a la población, están determinados por las condiciones ambientales del lugar donde esta reside (clima base, calidad del aire, vegetación, entre otras). Asimismo, las condiciones sociales como pobreza y existencia de redes de ayuda, entre otras, y la capacidad y calidad del sistema de salud, determinan también el nivel de impacto sanitario para dicha población.

En general, estos impactos dependen de una serie de relaciones que las causan, entre los factores climáticos y factores intermedios, representados en la **Figura 2**.

El presente capítulo explorará el Riesgo a la salud —asociado al cambio climático— en dos subcapítulos. **El primer subcapítulo presentará un análisis cualitativo de la cadena de impacto en la salud**, de cada efecto esperado en el país. A partir de éste, se derivan las principales Amenazas, consecuencias y brechas para la cuantificación de los efectos. **El segundo subcapítulo presentará un análisis cuantitativo de los efectos en la salud**. De las brechas que se desprenden del primer subcapítulo, se concluye que éste solo puede efectuarse para el caso del efecto directo del calor, por lo que el análisis cuantitativo se enfoca en estudiar el efecto del aumento de temperatura y olas de calor asociadas en la mortalidad de la población del país.





3

ANÁLISIS CUALITATIVO DEL IMPACTO EN LA SALUD

El siguiente subcapítulo estudia —de manera cualitativa— los distintos efectos en la salud derivados del cambio climático en el país.

En Chile, los efectos del cambio climático en la salud de las personas pueden ser clasificados según su alcance. Los impactos de alcance nacional son aquellos que se espera que ocurran en todo el territorio y se asocian principalmente a eventos climáticos extremos (GreenLabUC, 2014). Los efectos en la salud esperados incluyen enfermedades infecciosas y diarreicas, enfermedades asociadas al consumo de agua y alimentos, variación de la morbilidad por cambios de temperatura, y lesiones y defunciones por efecto directo de los fenómenos extremos (GreenLabUC, 2012).

También, existen efectos de alcance local que se espera ocurran en ciertas regiones con mayor intensidad y frecuencia, principalmente debido a las condiciones meteorológicas y geológicas existentes. Para determinar este alcance, se definen cuatro zonas principales:

Zona norte: Territorio comprendido entre la Región de Arica y Parinacota y el sector cordillerano de la Región de Antofagasta.

Zona centro: Territorio comprendido entre la Región de Atacama y la Región de Los Lagos.

Zona sur: Territorio comprendido entre el Canal de Chacao y la Región de Aysén.



Zona austral: Territorio que comprende la totalidad de la Región de Magallanes.

En la **Figura 3** se ilustran los distintos impactos en la salud asociados al cambio climático, que se espera observar

en Chile, tanto para el alcance nacional como local, y que son destacados en el Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Salud.

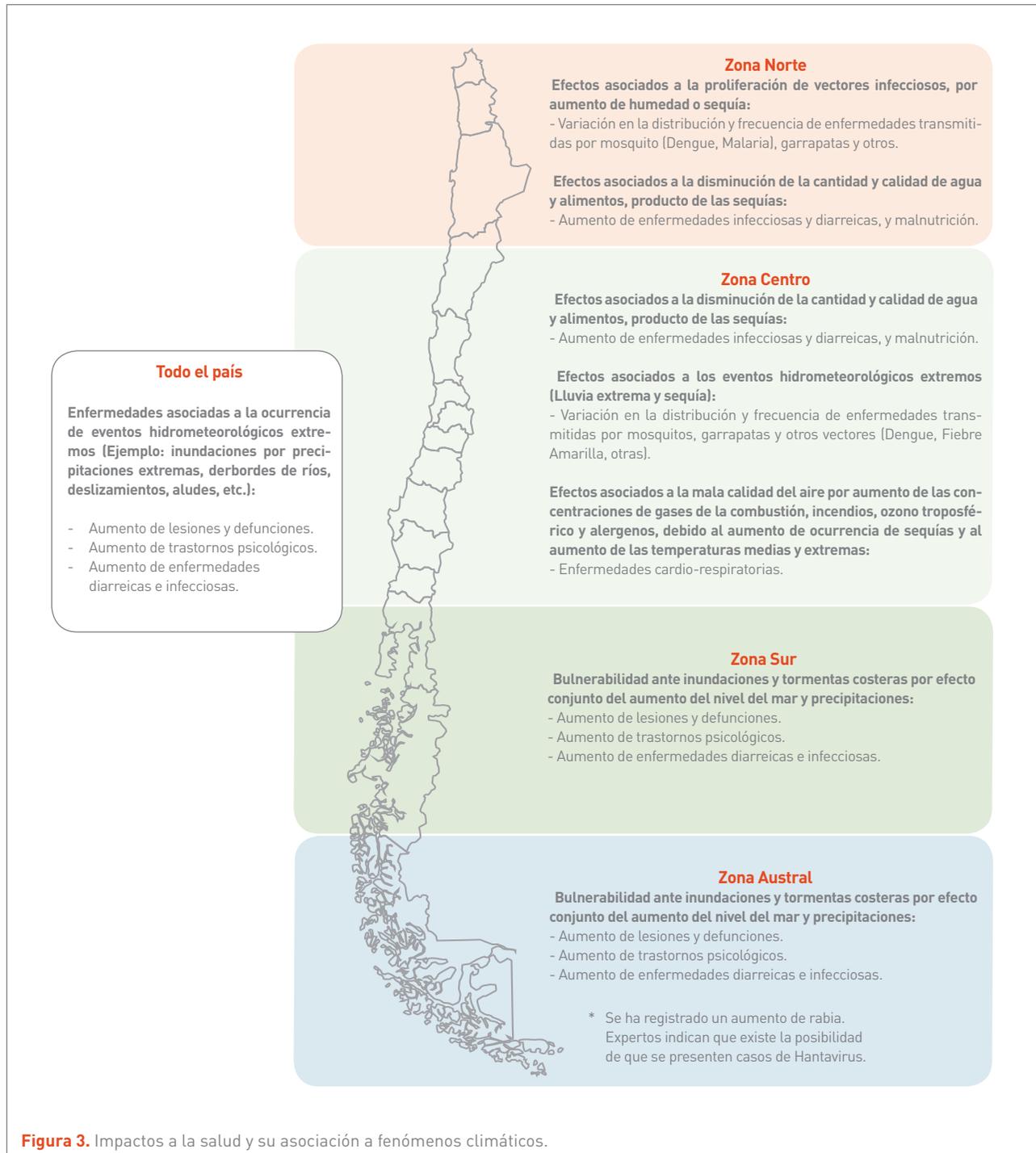


Figura 3. Impactos a la salud y su asociación a fenómenos climáticos.

Fuente: Adaptada de (MINSAL & MMA, 2017)

Factor de Riesgo	Consecuencia sobre el Riesgo del cambio climático en la salud
Bajo nivel socioeconómico	Un bajo nivel socioeconómico implica, entre otros, dificultades para adquirir tecnologías de mitigación [Ej. Aire acondicionado] y para acceder a una atención a la salud eficiente.
Trabajos físicamente demandantes y en el exterior	Las personas con este tipo de trabajo tienden a estar expuestas a altas temperaturas ambientales, durante una gran parte del día.
Problemas de acceso a infraestructura mínima	No tener acceso a infraestructura mínima de resguardo, como por ejemplo, áreas de sombra y espacios verdes, puede llevar a que ciertos grupos de personas estén más expuestos a los factores climáticos, como puede ser el calor extremo.
Problemas de suministro de agua por alcantarillado	No tener acceso a agua potable puede motivar a que la gente almacene agua, y dicho almacenaje, convertirse en un punto focal de reproducción para mosquitos.
Dependencia de recursos naturales como fuente de trabajo o alimento	Las transformaciones que trae el cambio climático, pueden causar estragos en la agricultura, por ejemplo; lo que afectaría directamente a las personas que trabajan en ese rubro.
Personas con movilidad reducida	Las personas con movilidad reducida tienen más dificultad de escapar, en caso de un evento hidrometeorológico que lo exija.
Personas en situación de abandono	Una red de apoyo puede ser parte fundamental para que las personas puedan mitigar o evitar los efectos del cambio climático, en su salud.
Enfermedades preexistentes	En particular, personas con problemas cardiovasculares, respiratorios o que padecen de obesidad, pueden ver sus problemas a la salud exacerbados, por los efectos del cambio climático.
Localidad geográfica	Este grupo se refiere a las personas que viven en lugares que son más propensos a sufrir daños por eventos olas de calor y/o hidrometeorológicos extremos.
Tabla 2. Factores y sus consecuencia sobre el riesgo del cambio climático en la salud.	

Fuente: Elaboración propia a partir del (IPCC, 2014).

El Riesgo, para los habitantes de cada zona, dependerá tanto de la capacidad de adaptación y el estado de Vulnerabilidad de las distintas ciudades, así como de las características de Vulnerabilidad de la población. El efecto del cambio climático en la ciudad está abordado en el estudio realizado por el equipo de Ciudades y Asentamientos Humanos (Urquiza *et al.*, 2020), por lo que, el presente capítulo, estará enfocado en las características de Vulnerabilidad de la población.

La incidencia de los efectos en la salud, que genera el cambio climático, tiene directa relación con la existencia de grupos más vulnerables a ellos. En el país, la Vulnerabilidad de la población depende de elementos como la aptitud del sector salud y la capacidad de respuesta (en términos de rapidez, claridad y calidad) del gobierno (IPCC, 2014). Adicionalmente, existen características específicas en cada

persona que, de forma aislada o mediante una combinación de ellas, aumentan la Vulnerabilidad de sufrir ciertos efectos en su salud. La **Tabla 2** muestra ocho factores de Riesgo, que hacen a las personas más propensas a sufrir efectos en la salud por consecuencia del cambio climático.

Estos factores de Riesgo pueden ser usadas para destacar a los diferentes grupos de personas que, como consecuencia de la forma en que se estructura la sociedad y/o los roles comúnmente asignados, tienden a poseer una o más de dichas características y, por lo tanto, pueden ser definidos como grupos de Riesgo, como por ejemplo las mujeres, quienes, de acuerdo a los resultados de la encuesta CASEN, son afectadas en mayor proporción por la pobreza que los hombres. Asimismo, la población indígena del país presenta una mayor incidencia de pobreza que la que no lo es. Otro caso es el de los adultos mayores,



quienes muchas veces son un grupo que tiende a tener movilidad reducida y enfermedades preexistentes. Por otro lado, generalmente son los hombres jóvenes de 20 a 40 años que efectúan trabajos físicamente demandantes.

Así, es posible definir grupos que cumplen con ciertas características que los hacen más vulnerables a los distintos efectos en la salud que traerá el cambio climático. De esta forma, el Riesgo asociado a cada efecto esperado en la salud depende tanto de la zona geográfica del país donde habitan las personas (ya que eso determina los cambios climatológicos a los que se verán expuestos, así como la capacidad del sistema de salud existente), como de las características de Vulnerabilidad que poseen.

A continuación, se detalla la cadena de impacto para cada efecto en la salud esperado en el país.

3.1 VARIACIÓN EN LA MORBILIDAD Y MORTALIDAD POR CAMBIOS EN LA TEMPERATURA

3.1.1 AMENAZA

Una de las principales consecuencias del cambio climático, se viene dando por las variaciones que se espera sufra la temperatura. Este factor es ciertamente uno de los más importantes, ya que, a partir de él, se generan gran parte de las modificaciones en otros factores del clima y en otras variables ambientales (cambios en los patrones de viento, en la estación del polen, aumento en la aridez, entre otros) que, por su parte, tienen sus propios efectos en la salud de la población. En particular, la evidencia científica asocia el impacto directo de la temperatura en la salud de la población, a dos efectos principales (IPCC, 2014):

- El cambio en la temperatura media; y
- El cambio en la ocurrencia de temperaturas extremas, en especial, de olas de calor.

Un ejemplo notorio de los estragos que las temperaturas extremas pueden provocar en la salud de la población es la ola de calor que azotó a Europa durante el año 2003, a la que se le atribuyen hasta 15.000 muertes solo en el territorio francés (Fouillet *et al.*, 2008).

3.1.2 VULNERABILIDAD

Los grupos más afectados por el calor son las personas con enfermedades preexistentes, en particular problemas cardiovasculares y respiratorios, ya que estas tienden a presentar complicaciones asociadas al agravamiento de los síntomas de sus enfermedades (Chung *et al.*, 2017; Ho, Knudby, Walker, & Henderson, 2017; Zhang, Gao, Pan, Li, & Huang, 2017). Además, personas de condición socioeconómica desfavorable y un menor nivel educacional, podrían considerarse como especialmente afectadas, debido a que parte de la capacidad de adaptación está asociada a la adquisición de elementos que permiten mitigar las altas temperaturas, tales como el aire acondicionado (Mees, Driessen, & Runhaar, 2015; Nicolay, Brown, Johns, & Ialynytchev, 2016; Petkova, Ebi, Culp, & Redlener, 2015). Adicionalmente, personas que trabajan al aire libre, especialmente en ocupaciones que requieren de esfuerzo físico, están más expuestas a los efectos del calor (Maria Pia, Cabella, & Gherardi, 2016; Runkle *et al.*, 2019). A su vez, los grupos minoritarios de la población son vulnerables ante esta Amenaza, pues su participación en la sociedad suele estar afectada por profundas desigualdades de acceso, tanto físicas como culturales, que limitan su capacidad de buscar medios para atenuar las consecuencias negativas de las olas de calor, en términos de salud de los individuos (Patel *et al.*, 2019).

3.1.3 EXPOSICIÓN

En Chile, se espera una mayor ocurrencia de condiciones de calor extremo, especialmente en la zona norte del país, así como en las comunas costeras del centro-norte y en los valles centrales de la zona centro y centro-sur (ADAPT Chile & Municipalidad de Santiago, 2015; CR2, 2015), que impactarán directamente la salud de sus habitantes. Además, la población urbana estará expuesta a una mayor Amenaza,

debido al fenómeno de islas de calor (Patel *et al.*, 2019). La falta de áreas verdes y el diseño de las calles, ocasionan que las ciudades y las construcciones generen una concentración del calor que hace que las ciudades registren temperaturas más elevadas que en las zonas rurales bajo las mismas condiciones meteorológicas. Asimismo, existen puntos -dentro de una misma ciudad- que concentran más calor que otros y, por lo tanto, someten a la población a diferencias significativas de Exposición (Aravena & Opazo, 2017). En particular, en la ciudad de Santiago, las temperaturas indican una mayor Exposición en la zona sur poniente de la capital (Aravena & Opazo, 2017).

3.1.4 EFECTO ESPERADO

El efecto directo de la temperatura en la salud, tiene relación con la complicación de patologías existentes (en particular, enfermedades respiratorias y cardiovasculares), síncope por calor, golpes de calor, calambres, trastornos hidroelectrolíticos, agotamiento y enfermedades al riñón.

3.2 ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES

3.2.1 AMENAZA

El cambio climático ha provocado que las condiciones de supervivencia de los vectores cambien y que las zonas donde se presentan se extiendan y contraigan en diferentes partes del mundo, por lo que se estima que exista un cambio en su área de distribución, desapareciendo en algunos sectores, aumentando en otros, e inclusive trasladándose hacia áreas aledañas, donde actualmente no se encuentran. La evidencia científica indica que las enfermedades transmitidas por vectores son sensibles a las temperaturas y las lluvias. Un aumento en las temperaturas y la humedad de un sector, puede generar una expansión de la zona habitable por mosquitos y/o un ambiente óptimo para su mayor reproducción. Por otro lado, el hábitat óptimo para garrapatas, vinchucas y roedores se caracteriza por un clima templado, con inviernos

suaves y húmedos. Sin embargo, su época de auge se asocia a la variabilidad climática más que a ciertas condiciones para su supervivencia, como en el caso de los insectos. No obstante, en general la determinación de las condiciones óptimas para la proliferación de vectores, depende del tipo de vector estudiado y parece ser inherentemente no lineal. Niveles de temperatura y/o precipitación —por sobre o bajo cierto umbral— pueden significar una disminución de la capacidad reproductiva de ciertos vectores (IPCC, 2014).

En Chile Continental, los mosquitos transmisores de enfermedades (principalmente el mosquito *Aedes Aegypti*), se encuentran prácticamente erradicados. Sin embargo, durante los últimos años, se han encontrado ejemplares en el norte del país, que alertan sobre un posible cambio en las condiciones climáticas, que favorecen su reproducción. Asimismo, los casos de Hantavirus presentaron un aumento, durante el año 2019, que puede ser atribuido a un cambio en el patrón de temperatura y precipitaciones en la zona sur del país, lo que incrementó la disponibilidad de alimento del roedor vector.

3.2.2 VULNERABILIDAD

Una de las preocupaciones por una mayor proliferación de vectores, hacia zonas en las que no se encuentran, es la falta de preparación y conocimiento de la población para hacer frente a la Amenaza. Esto conlleva que quienes no se encuentren preparados, presenten características de Vulnerabilidad inherentes. Asociado a esto, están las personas que no cuentan con suministro de agua potable, ya que el almacenamiento de dicho recurso puede contribuir a generar espacios óptimos para la reproducción de mosquitos (IPCC, 2014). Personas que trabajan en la agricultura, o que realizan actividades al aire libre, también se encuentran especialmente vulnerables.

3.2.3 EXPOSICIÓN

La presencia de mosquitos y vinchucas se hace más probable en la Zona Norte y Centro del país, por sus condiciones climáticas, llegando hasta la Región de O'Higgins, en el caso de las vinchucas. Si bien los mosquitos vectores están predo-



minantemente erradicados de Chile continental, su presencia se mantiene en Isla de Pascua (WHO WMO, 2012). También, se han encontrado ejemplares del mosquito *Aedes Aegypti*, en las regiones de Arica y Parinacota y Tarapacá¹. Por otro lado, los ratones que transmiten el Hanta predominan en la zona Centro, principalmente donde las precipitaciones favorecen la existencia de su alimento y cerca de cuerpos de agua.

3.2.4 EFECTO ESPERADO

Entre las enfermedades más comunes transmitidas por mosquitos, destacan el Dengue, Malaria, Fiebre Amarilla, Zika, Chikungunya. Este tipo de enfermedades se encuentran erradicadas en el país, por lo que la presencia de sus vectores asociados, se halla bajo permanente vigilancia y control. Sin embargo, existe alto Riesgo de dispersión a otras áreas del norte y centro, debido a los probables cambios en los patrones de precipitaciones que se pronostican en dicha área. Por su parte, los triatominos (o vinchucas) son portadores de la Enfermedad de Chagas, la que generalmente presenta síntomas luego de un periodo que puede durar hasta 30 años. Las principales problemáticas derivadas de las garrapatas y roedores corresponden a Leptospirosis, Tularemia y Virosis hemorrágica (especialmente ante inundaciones); y Lyme, Encefalitis y hantavirus (principalmente por variabilidad climática).

3.3. ENFERMEDADES ASOCIADAS AL CONSUMO DE ALIMENTOS Y CONSUMO DE AGUA

3.3.1 AMENAZA

La falta de agua, la baja en su calidad, los cambios en los patrones de lluvia y el aumento en las temperaturas, generan condiciones que afectan la calidad de alimentos y agua, provocando enfermedades a quienes los consumen. Los cambios demográficos, ambientales, sociales, tecno-

lógicos y de otro tipo, sobre nuestros modos de vida, que estarían siendo gatillados por el cambio climático, también modificarán la frecuencia de enfermedades infecciosas. Por ejemplo, las precipitaciones pueden influir en el transporte y la propagación de agentes infecciosos hacia los cursos de agua, mientras que la temperatura afecta a su desarrollo y supervivencia. O bien, grandes migraciones poblacionales del campo a la ciudad, motivadas por problemas de sequía, por ejemplo, pueden ocasionar nuevas problemáticas a los centros urbanos, como el hacinamiento, carencia de agua potable, comida y albergue.

Los efectos del cambio climático, en la seguridad alimentaria y calidad del agua, son complejos y dependen de una serie de condiciones. Por un lado, en época de sequías, la oferta de alimentos tiende a disminuir, lo que puede asociarse a un aumento en sus precios. Como consecuencia, se reduce la diversidad en la dieta y, con esto, el consumo de nutrientes. Existen diversos estudios que han confirmado y cuantificado los efectos de las altas temperaturas con formas comunes de envenenamiento por alimentos, como Salmonelosis, debido a la ocurrencia de condiciones óptimas para la supervivencia de las bacterias que la provocan (IPCC, 2014). Además, variaciones en las temperaturas y humedad pueden provocar la proliferación de hongos y micotoxinas en los cultivos (Medina, González-Jartín, & Sainz, 2017).

3.3.2 VULNERABILIDAD

En general, las personas más vulnerables a las enfermedades, que ocurren como consecuencia de alimentos en mal estado y agua contaminada, son aquellas que tienen un sistema inmune debilitado, a causa de alguna enfermedad preexistente; o bien por la etapa de vida en que se encuentran, como por ejemplo, niños, ancianos y mujeres embarazadas. Además, quienes tienen bajos recursos, también se encuentran en una posición de mayor Vulnerabilidad. Por otro lado, personas cuya dieta principal depende de alimentos que son más escasos también se verían más afectadas, sobre todo en el caso de no tener los medios o el conocimiento para acceder a alternativas.

¹ <https://www.minsal.cl/ministro-de-defensa-y-subsecretaria-de-salud-dirigen-en-iquique-inspeccion-masiva-del-aedes-aegypti/>

3.3.3 EXPOSICIÓN

Por un lado, los efectos de la sequía en el país han sido cada vez más evidentes durante los últimos años, afectando tanto a la industria ganadera como a la agricultura. (CR2, 2015). Un ejemplo de su daño es el desplazamiento de las zonas de producción de vinos, que se espera se desplacen hacia el sur, producto de los problemas de abastecimiento de agua (ODEPA, 2013). Asimismo, el cambio en la temperatura ha alterado el ciclo productivo y el rendimiento de ciertos cultivos, favoreciéndolos en algunos casos y perjudicándolos en otros (Soto *et al.*, 2020). Por otro lado, actualmente se reconocen los Riesgos asociados a la presencia de micotoxinas, para las que existe una reglamentación, que impone límites máximos para la concentración presente en distintos tipos de alimentos.

3.3.4 EFECTO ESPERADO

Al referirnos a la calidad del agua, es necesario destacar dos tipos de enfermedades: las transmitidas por el agua (ingerida) y aquellas asociadas al lavado con agua (causadas por la falta de higiene). Se destacan patologías como la meningitis meningocócica, y las enfermedades diarreicas e infecciosas.

Las enfermedades diarreicas están altamente relacionadas con la ingesta de alimentos contaminados o en mal estado; y son altamente sensibles al clima, especialmente a inundaciones y sequías, ya que estos eventos provocan una baja en la calidad del agua y, por ende, en la de los alimentos. Las patologías identificadas en los textos son: Cólera, Criptosporidiosis, Infecciones por E. Coli, Giardiasis, Shigelosis y Fiebre tifoidea.

Con respecto a las enfermedades infecciosas, cuya transmisión puede ser afectada por cambios en la calidad y disponibilidad de agua, se ha constatado en todo el mundo un incremento de la frecuencia de muchas de estas, incluidas algunas de reciente aparición (Hantaviriosis, Hepatitis A y C, SRAS, entre otras).

En general, los principales efectos a la salud humana asociados a la ingesta de alimentos (agua y comida) son:

fallecimientos, malnutrición (desnutrición, déficit de proteínas y energía y/o déficit de micronutrientes), enfermedades diarreicas, enfermedades infecciosas y enfermedades respiratorias (WHO & UNCCD, 2000).

3.4 ENFERMEDADES ASOCIADAS AL EMPEORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL MAR

3.4.1 AMENAZA

La calidad de los productos del mar se ve dañada por los eventos de floraciones algales nocivas (marea roja), un aumento en la bioacumulación de mercurio y otros contaminantes orgánicos persistentes en las plantas y animales marinos, y un incremento de patógenos *Vibrio*. Estos eventos, con un nivel medio de confianza, tienen relación con el calentamiento global (IPCC, 2019).

La conexión entre el cambio climático y el empeoramiento de la calidad de los productos del mar, se basa en la teoría de que la acumulación de CO₂ en la atmósfera, que acidifica la superficie del océano, contribuye a aumentar su temperatura y, a la vez, modifica el balance de organismos que dependen del carbón inorgánico para completar su fotosíntesis (Giordano, Beardall, & Raven, 2005). Esto fomentaría la producción de floraciones algales nocivas que generan toxinas dañinas para la salud (Giordano *et al.*, 2005) y que, además, presentan una correlación positiva con la proliferación de *Vibrio* (Main, Salvitti, Whereat, & Coyne, 2015). Además, estos cambios incrementarían la concentración de mercurio y otros contaminantes, debido a un aumento de la temperatura del agua (Booth & Zeller, 2005).

A nivel mundial, las floraciones de algas nocivas y organismos patógenos (como *Vibrio*, por ejemplo), han mostrado una expansión respecto del área comúnmente afectada y un aumento en la frecuencia de su aparición, desde la década de los 80, influenciadas tanto por factores climáticos como no-climáticos (IPCC, 2019). Asimismo, se proyecta un



aumento en la concentración de mercurio y otros metales pesados en el agua, derivado del incremento de temperatura de la misma y por el derretimiento de glaciares que actualmente funcionan como reservorios (IPCC, 2019).

Si bien aún falta más evidencia que soporte la existencia de una fuerte relación entre el cambio climático y los eventos que llevan al empeoramiento de la calidad de los alimentos que derivan del mar, los estudios realizados —hasta la fecha— concuerdan en que la calidad del agua de mar debe ser un tema a considerar, entre las Amenazas que deben ser monitoreadas (Gobler, 2020; IPCC, 2019).

3.4.2 VULNERABILIDAD

De forma similar, para las enfermedades asociadas al consumo de alimentos, en general, las personas más vulnerables son aquellas que tienen su sistema inmune debilitado, debido a alguna patología preexistente, o bien, por la etapa de vida en que se encuentran (por ejemplo, niños, ancianos y mujeres embarazadas). No obstante, las más vulnerables a los efectos de un empeoramiento en la calidad del mar, son aquellas cuya dieta consiste principalmente en pescados y mariscos. Además, aquellos cuya fuente de trabajo depende de los productos del mar, se ven especialmente afectados cuando ocurren eventos de marea roja y proliferación de *Vibrio*.

3.4.3 EXPOSICIÓN

En Chile, las intoxicaciones alimentarias por el patógeno *Vibrio parahaemolyticus*, que derivan principalmente del consumo de mariscos crudos contaminados, están presentes desde el año 1997 (Ministerio de Agricultura, 2017). Si bien no existe evidencia de un aumento considerable de casos durante los últimos años, los esfuerzos han estado orientados hacia la vigilancia del patógeno y a la educación de la comunidad sobre la importancia de cocer los mariscos, lo que reduciría la probabilidad de verse afectados. Por otro lado, durante los últimos años el país ha experimentado un aumento en la frecuencia y la extensión del área geográfica afectada por floraciones de algas nocivas. (Comisión Marea Roja y MINECON, 2016). En particular, en el año 2016 hubo

un evento de marea roja muy extenso, que alcanzó por primera vez a la Región de Los Ríos, para la cual existe evidencia de una posible contribución del cambio climático y que trajo como consecuencia importantes pérdidas económicas para la industria y pescadores locales del sector (León-Munõz, Urbina, Garreaud, & Iriarte, 2018). Por otro lado, existe evidencia de que los pescados, en Chile, contienen concentraciones de mercurio que pueden resultar dañinas para la salud (Cortes & Fortt, 2007).

3.4.4 EFECTO ESPERADO

Una de las consecuencias más relevantes del aumento de la marea roja, es la proliferación de la micro alga *Alexandrium Catenella*, productora del Veneno Paralizante de Mariscos (VPM), cuyo consumo, puede provocar la muerte por paro respiratorio (Krock, Seguel, & Cembella, 2007). Adicionalmente, el Veneno Amnésico de Mariscos (VAM) y el Veneno Diarreico de Mariscos (VDM), producidos principalmente por las microalgas *Pseudonitzschia australis* y las microalgas del género *Dinophysis sp*, respectivamente, también son de interés en el país (Ministerio de Salud, 2016). En particular, el VDM produce problemas gastrointestinales, como diarrea, náuseas, vómitos y dolores abdominales; mientras que el VAM, además de las señaladas complicaciones gastrointestinales, causa trastornos neurológicos, tales como: desorientación, vértigo, confusión y pérdida temporal de la memoria (FAO, 2005). Además, la contaminación por *Vibrio* genera problemas gastrointestinales similares a los del VDM, que incluyen diarrea, dolores de cabeza, vómitos, náuseas y dolores abdominales (Su & Liu, 2007).

Por otro lado, dependiendo de la cantidad consumida, el mercurio en los pescados puede dañar el desarrollo del sistema nervioso de fetos y niños (Trasande, Landrigan, & Schechter, 2005). Asimismo, se cree que su consumo puede estar ligado a problemas neurológicos y cardiovasculares en adultos, sin embargo, aún no se tiene evidencia suficiente para afirmar dichos efectos (Budnik & Casteleyn, 2019).

3.5 ENFERMEDADES ALÉRGICAS

3.5.1 AMENAZA

En general, las condiciones de temperatura más elevadas tienden a favorecer la producción de alérgenos, como esporas de hongos y polen. Por lo tanto, puede esperarse que el cambio climático tenga incidencia en la estacionalidad de estos alérgenos, extendiendo los meses del año en que estos son producidos. Adicionalmente, un aumento en la concentración de CO₂ podría estimular el crecimiento de las plantas, incrementando la producción de alérgenos, además de aumentar la Sensibilidad de las personas a estos. Por otro lado, periodos de sequía y vientos fuertes podrían transportar a estos alérgenos hacia áreas geográficas más extensas (IPCC, 2014).

3.5.2 VULNERABILIDAD

Personas alérgicas, con problemas respiratorios son las más vulnerables a esta Amenaza. En particular, los niños son un grupo especialmente susceptible a enfermedades alérgicas (Schmier & Ebi, 2009).

3.5.3 EXPOSICIÓN

La Exposición a los distintos tipos de alérgenos depende de la zona en que se habita. En Santiago, por ejemplo, la mayoría del polen proviene de los árboles, entre los que destacan como principales contribuyentes: el Plátano Oriental, Arce, Ciprés, Fresno, Álamo, Olivo, Patagua, Palma y el Pino (Toro *et al.*, 2015). En el caso de dicha ciudad, al comparar los datos de polen del periodo 1993-1996 con los del 2009-2013, se observa que estos se han duplicado, aumentando prácticamente para todas las especies alérgicas relevantes (Toro *et al.*, 2015).

Si bien se estima que el cambio climático afectaría de forma negativa a las personas alérgicas en el país, actualmente sólo se tienen publicados niveles de polen actualizados para la ciudad de Santiago, dificultando el estudio del efecto en el ámbito nacional.

3.5.4 EFECTO ESPERADO

La Exposición a alérgenos puede complicar enfermedades respiratorias, como el asma; generar rinitis alérgica (fiebre del heno), así como también, conjuntivitis y dermatitis (Beggs, 2010).

3.6 ENFERMEDADES ASOCIADAS A UNA MAYOR EXPOSICIÓN A RAYOS UV

3.6.1 AMENAZA

El adelgazamiento de la capa de ozono tiene como consecuencia una menor filtración de los rayos UV, dejando a la Tierra más desprotegida frente a ellos. Si bien dicho adelgazamiento no tiene relación con el cambio climático, la ocurrencia de este fenómeno, sumado al cambio en el patrón de los vientos y, por consecuencia, de las nubes, generarían una variación en la Exposición de la población a dicha radiación. Además, aumentos en las temperaturas podrían provocar otros efectos, como modificaciones en el tipo de vestimenta que usan las personas, y en el tiempo de actividades outdoor que las expongan a los rayos UV.

3.6.2 VULNERABILIDAD

Las personas más vulnerables a los efectos de los rayos UV son aquellas con poca pigmentación, tales como recién nacidos (Paller *et al.*, 2011) y adultos mayores, quienes cuentan con menor protección en la piel, además de adolescentes y niños, edades en las que se pasa normalmente una mayor lapso a la intemperie, en comparación con la etapa adulta (OMS, 2003). Por otro lado, los agricultores y trabajadores de la construcción, que realizan sus actividades *outdoor* y/o que no cuentan con el conocimiento o los medios para adquirir medios de protección contra el sol, forman también parte de un grupo de alta Exposición y Vulnerabilidad.



3.6.3 EXPOSICIÓN

Chile es un país especialmente vulnerable, debido a su cercanía con el agujero en la capa de ozono, siendo común observar niveles “Muy Altos” y “Extremos” de índice UV, según las mediciones realizadas por la Dirección Meteorológica de Chile. Se espera que mayores temperaturas, especialmente en lugares de climas típicamente más fríos, promuevan las actividades al aire libre, aumentando el tiempo que las personas pasan en el exterior [Bélanger, Gray-Donald, O’loughlin, Paradis, & Hanley, 2009]. Por lo mismo, es necesario evaluar periódicamente si los aumentos de temperatura generan cambios en los patrones de conducta de los habitantes, sobre todo en la Zona Sur del territorio nacional.

3.6.4 EFECTO ESPERADO

La Radiación Ultra Violeta causa una gran cantidad de efectos adversos en la salud, como cataratas corticales, melanoma maligno cutáneo, quemaduras de sol y problemas de inmunosupresión (disminución en la capacidad de respuesta del sistema inmunológico, ante la presencia de antígenos).

3.7 ENFERMEDADES DERIVADAS DE EVENTOS DE ALTA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

3.7.1 AMENAZA

El clima puede provocar cambios en la concentración de contaminantes, debido a los efectos del viento (y presión), en el transporte, dispersión y depósito de estos (GreenLabUC, 2012). Además, los eventos de sequía y altas temperaturas generan las condiciones ideales para que se produzcan incendios forestales, los que provocan episodios agudos de contaminación principalmente por material particulado. También, las altas temperaturas incentivan la producción de ozono troposférico,

cuyos efectos se verían intensificados en periodos de poco viento (Stathopoulou, Mihalakakou, Santamouris, & Bagiorgas, 2008). En este sentido, la tendencia muestra que los episodios críticos de contaminación son estacionales. Por ejemplo, en Santiago, el ozono troposférico tiende a aumentar en verano como consecuencia de las altas temperaturas, mientras que en invierno varían fuertemente las condiciones de ventilación, incrementando, con ello, la concentración de material particulado (Gramsch, Cereceda-Balic, & Oyola, 2006).

3.7.2 VULNERABILIDAD

Las personas que ya padecen de problemas cardio-respiratorio, o que tienen un sistema inmune debilitado, son las más vulnerables a estos efectos. Además, existe evidencia de que los niños y adolescentes tienden a ser más afectados por los efectos de la contaminación, siendo más susceptibles a desarrollar problemas a la salud en comparación con los adultos expuestos a las mismas concentraciones (Braga *et al.*, 2001). El nivel socioeconómico también es un factor relevante a considerar, debido a que los sectores más pobres de la población tienen un menor acceso a la salud y, en oportunidades, tienden a vivir en lugares más afectados por la contaminación (Hajat, Hsia, & O’Neill, 2015). Por otro lado, personas que viven en lugares que tienen más probabilidades de ser afectados por incendios forestales son más vulnerables a sufrir las consecuencias de los episodios críticos de contaminación, que estos provocan.

3.7.3 EXPOSICIÓN

El problema de contaminación atmosférica ha motivado varios estudios y planes de descontaminación, antes de cualquier conexión de esta con el cambio climático. Sin embargo, uno de los fenómenos más preocupantes, que sí posiblemente esté motivado por efectos del cambio climático, son los incendios forestales, los que —de acuerdo a las estadísticas de la Conaf²— han aumentado en un 56% con respecto al año 1990, en términos del número de incendios anuales.

² https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1595377861TABLA1_TEMPORADA2020_01_OK.xls

3.7.4 EFECTO ESPERADO

Entre las principales patologías que se asocian a este tipo de efectos en la salud podemos encontrar un aumento en la morbilidad respiratoria por: neumonía, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, asma, y cáncer de pulmón, entre otros, y, por consecuencia, un aumento en la mortalidad prematura.

3.8 LESIONES Y DEFUNCIONES POR EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS

3.8.1 AMENAZA

Los eventos climáticos extremos, tales como inundaciones, aluviones, marejadas, tormentas, entre otros, pueden ocasionar gran cantidad de muertes, tanto durante el episodio como después. Por ejemplo, en un estudio de las muertes durante la temporada de huracanes en el Estado de Florida, Estados Unidos, reveló que la mayoría de estas ocurren luego de pasado el evento, producto de accidentes (Ragan, Schulte, Nelson, & Jones, 2008). Dado esto, los eventos climáticos extremos no solo son peligrosos por los brotes de enfermedades que pueden generarse a partir de ellos, sino también por generar un medio más peligroso que puede propiciar accidentes.

3.8.2 VULNERABILIDAD

Las personas más vulnerables a estos efectos son quienes habitan en lugares que tienen más probabilidades de ser afectados por eventos climáticos extremos y/o que no cuentan con la resiliencia necesaria a nivel estructural. Por ejemplo, una infraestructura para la evacuación y drenaje de aguas lluvias, que no es capaz de soportar eventos de precipitaciones fuera de lo común, aumenta la probabilidad de accidentarse por inundaciones y, por ende, la Vulnerabilidad de las personas que viven en dicha ciudad. También destacan, como grupos vulnerables, las personas de movilidad reducida o en situación de abandono, ya que cuentan con menores recursos y capacidades para escapar de situaciones de peligro.

3.8.3 EXPOSICIÓN

Año a año, Chile se ve afectado por eventos climáticos extremos que afectan a las distintas zonas del país y que son motivados en gran parte por el fenómeno ENSO. Episodios de precipitaciones extremas, incendios forestales, aluviones, marejadas y tornados son algunos ejemplos de dichos eventos registrados a lo largo del territorio nacional y que han provocado estragos en los lugares que azotaron.

3.8.4 EFECTO ESPERADO

Como efecto en la salud se incluye todo tipo de accidente y lesión asociados a un evento climático extremo. Las lesiones y defunciones se refieren, principalmente, a los eventos extremos tales como: las inundaciones, incendios y tormentas costeras, que afectan de forma directa e inmediata a la salud humana. La importancia de este tipo de efectos es que, dependiendo de la magnitud del evento, pueden ser masivos, lo que cobra gran relevancia, ya que, por el cambio climático, este tipo de eventos está en alza.

3.9 EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA SALUD MENTAL

3.9.1 AMENAZA

El cambio climático puede tener efectos adversos también en la salud mental (Garibay & Bifani-richard, 2012). El incremento de la temperatura, el aumento del nivel del mar y las sequías, generan cambios en el paisaje; en la disponibilidad de agua y alimentos; en las condiciones de agricultura; en el uso del suelo y de los lugares habitables, entre otros. Todos generan problemas que deterioran la salud mental (Hayes, Blashki, Wiseman, Burke, & Reifels, 2018). Por ello, todos los cambios y eventos esperados —derivados del cambio climático— pueden ser considerados como Amenazas potenciales, puesto que su



efecto en la salud mental de las personas dependerá del nivel en que estas fueron afectadas por el evento.

3.9.2 VULNERABILIDAD

Los impactos del cambio climático no afectan a todas las personas de igual manera. Así, quienes sufren de algún nivel de deterioro en su salud mental, se verán más fácilmente afectadas que aquéllas que no (Cianconi, Betrò, & Janiri, 2020). Además, las personas de menores recursos podrían verse mayormente afectadas, al igual que con otros efectos en la salud, principalmente debido a que se encuentran en una posición más vulnerable, en cuanto a contar con medidas de mitigación y acceso a la salud (Hayes *et al.*, 2018). También los adultos mayores, que son un grupo que presenta mayores dificultades para adaptarse a los cambios, sobre todo cuando estos son bruscos (Cianconi *et al.*, 2020).

3.9.3 EXPOSICIÓN

La evidencia indica que existe una fuerte relación entre el deterioro de la salud mental y los efectos del cambio climático. Las personas están cada día más expuestas a noticias que informan sobre los cambios que están ocurriendo y los que se espera ocurran a futuro, provocando estrés y una sensación de incertidumbre e impotencia en la población (Cianconi *et al.*, 2020).

El grado de impacto psicológico que tendrán los efectos del cambio climático en la población, dependerá del tipo de uso y relación que las personas tengan con el medio afectado. Por ejemplo la sequía, que potencialmente podría implicar la pérdida de trabajo para agricultores, podría afectar su salud mental en mayor medida que la de alguien que no se ve tan directamente afectado. Estas diferencias, en el tipo de impacto percibido por las personas, generan distintos niveles de Exposición, que dependen del valor de uso y no uso que se le da al medio afectado (Cianconi *et al.*, 2020).

3.9.3 EFECTO ESPERADO

Las transformaciones que se derivan del cambio climático causan desesperación y desesperanza, debido a que las acciones para evitarlo como los problemas que éste genera, parecen ser intangibles e insignificantes en comparación con la magnitud de la Amenaza (Albrecht, 2011). En cuanto a los efectos en la salud mental de los episodios singulares, la evidencia es variada. Por ejemplo, existe la que conecta al aumento de temperatura con suicidios (Kim *et al.*, 2019) y episodios de violencia (Anderson, 2001). Además, se ha vinculado la ocurrencia de eventos climáticos extremos con el desencadenamiento de trastornos de estrés postraumático, trastornos depresivos, ansiedad, depresión, duelo complicado, síndrome del sobreviviente, trauma indirecto, fatiga y abuso de sustancias (Hayes *et al.*, 2018).

Los impactos del cambio climático en la salud mental pueden diferenciarse en tres tipos: agudos directos, indirectos y psicosociales (Garibay & Bifani-richard, 2012). Los primeros están asociados a los traumas psicológicos, generados por la ocurrencia de eventos extremos, que conducen a enfermedades somáticas, depresión, abuso de drogas y alcohol. Los impactos indirectos, por su parte, son causados también por la ocurrencia de eventos extremos y generan reacciones posteriores de ansiedad, pena, angustia e insensibilidad, entre otros. Finalmente, los impactos psicosociales son los que afectan la salud mental, debido a sus efectos a en la comunidad. Estos son generados por diferentes impactos climáticos como las olas de calor, que pueden crear conflictos intergrupales debido a las reacciones violentas que pueden tener las personas por la Exposición a estas alteraciones en la temperaturas); o la sequía, que debido a sus efectos económicos, pueden ocasionar sensaciones de inestabilidad a causa de la escasez de recursos y a las migraciones asociadas a dichos fenómenos.





4 ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LOS EFECTOS EN LA SALUD

En este capítulo se estudian, de manera cuantitativa, los efectos de salud derivados del cambio climático.

4.1 ALCANCE DE ANÁLISIS

Si bien existe suficiente información para caracterizar efectos esperados de varios fenómenos asociados al cambio climático (Ebi, Mills, Smith, & Grambsch, 2006), la estimación de dichos efectos a futuro no es una tarea sencilla dada la incertidumbre asociada a su ocurrencia. Por ello, se definen tres criterios de selección del fenómeno a estudiar:

- Existencia de evidencia científica del efecto del fenómeno en la salud.
- Existencia de metodologías de cuantificación.
- Disponibilidad de datos proyectados en el tiempo.

A partir de estos, se seleccionó el efecto de la temperatura como el fenómeno a estudiar, (que incluye tanto olas de calor como el cambio en la temperatura diaria), ya que es el único que cumple con los tres criterios establecidos. En particular, el efecto directo de la temperatura en la salud ha sido ampliamente estudiado, tanto en el ámbito internacional como nacional, en términos de la cuantificación de su efecto a futuro.



En cuanto a los efectos analizados en el capítulo anterior, se detectaron brechas principalmente enfocadas en la disponibilidad de datos proyectados en el tiempo. Esto tanto en términos de la proyección del evento climático como

de la disponibilidad de datos de mortalidad y morbilidad, para estimar el efecto del evento climático en la salud de la población. La **Tabla 3** resume las brechas detectadas, para cada efecto en la salud analizado anteriormente.

Efecto en la salud	Brecha
Enfermedades transmitidas por vectores	No existe –actualmente- una proyección de las zonas que serán potencialmente más afectadas por la proliferación de vectores. Dicha proyección es una tarea especialmente compleja, que considera la relación entre el vector, el clima, la geografía, así como la proyección de la flora y fauna en el territorio, lo que escapa del alcance de este Estudio. En el caso de los mosquitos, no existe suficiente evidencia de personas enfermas o muertas por alguna enfermedad vectorial, que permita asociar las distintas condiciones climáticas a un nivel de Riesgo, que se proyecte a todas las comunas del país.
Enfermedades asociadas al consumo de alimentos y agua	En general, la proyección de enfermedades asociadas al consumo de alimentos y agua. Estudia la incidencia del Cólera en poblaciones en que la ocurrencia de esta es alta, ya que es un patógeno cuyo comportamiento puede ser fácilmente asociado a niveles de temperatura y humedad (Lo Iacono <i>et al.</i> , 2017). En el caso de Chile, no existe suficiente evidencia para conectar- de forma certera- los casos de cólera a condiciones climáticas proyectadas para todas las comunas del país, debido a que la incidencia de la citada enfermedad es muy baja.
Enfermedades asociadas al empeoramiento de la calidad del mar	Las dinámicas del océano son complejas y dependen de un sinnúmero de condiciones. Evidencia de esto es que aún no se pueda hacer una conexión certera entre el cambio climático y los episodios de marea roja (IPCC, 2019). Dado esto, no se considera posible, dentro de los alcances del presente estudio, investigar las dinámicas del mar chileno y su conexión con la incidencia de enfermedades hacia un escenario futuro.
Enfermedades alérgicas	Las enfermedades alérgicas son complejas de estudiar, ya que en su mayoría no derivan en ingresos hospitalarios, generando una brecha de conocimiento en cuanto a la cantidad de personas afectadas. Asimismo, los niveles de polen solo han sido reportados para Santiago, Valparaíso, Talca y Temuco y, actualmente, solo se tienen mediciones para Santiago, impidiendo la proyección del estudio hacia el resto del país.
Enfermedades asociadas a una mayor Exposición de rayos UV	El Riesgo asociado a la intensidad de rayos UV, depende de una proyección que resulta del patrón de nubes y del estado de la capa de ozono, entre otros factores, así como del patrón de comportamiento de las personas, que define el tiempo que pasan al aire libre. A la fecha, no se cuenta con una proyección de rayos UV, para el país, que permita un análisis a nivel comunal.
Enfermedades derivadas de eventos de alta contaminación atmosférica	La distribución y cobertura de los monitores de ozono no permiten hacer un estudio que abarque todas las comunas del país. Por otro lado, uno de los eventos más interesantes de estudiar -asociado al cambio climático- tiene que ver con las emisiones producidas por los incendios. Sin embargo, no se cuenta con una proyección de los eventos de incendio a futuro .
Lesiones y defunciones por eventos climáticos extremos	La proyección de lesiones y defunciones asociadas a eventos climáticos extremos, depende de un análisis de lo que ha ocurrido en dichos eventos, que a la vez deriva de la preparación de la comunidad estudiada, en cuanto a su infraestructura y educación. Esto hace muy complejo proyectar los efectos de un evento climático extremo a futuro, para todas las comunas del país, dentro de niveles de incertidumbre aceptados.
Efecto del cambio climático en la salud mental	El efecto del cambio climático en la salud mental es complejo debido a que, como se mencionó en la descripción cualitativa del efecto en la salud, existen varias formas en que dicho cambio puede afectarla. Un acercamiento utilizado en la literatura, es estudiar la incidencia de suicidios asociados al calor. Sin embargo, en Chile, realizar un estudio con este nivel de detalle, en todas las comunas de menor tamaño, significaría incurrir en un alto nivel de incertidumbre, debido al escasonúmero de muestras de estos casos en el ámbito comunal.

Tabla 3. Brechas detectadas para la proyección del Riesgo en salud en el país.

Fuente: Elaboración propia.



Con respecto al fenómeno a estudiar, existen dos principales efectos: (i) la frecuencia e intensidad de olas de calor y frío y (ii) el cambio de la temperatura diaria. El efecto del cambio en la temperatura media, es referido por expertos como el fenómeno principal asociado a la temperatura, en el sentido de que el aumento de Riesgo asociado a la mortalidad depende principalmente de éste, mientras que las olas de calor y frío corresponderían un fenómeno adicional cuyo aporte al Riesgo de mortalidad es sustancialmente menor (Antonio Gasparrini & Armstrong, 2011). Sin embargo, el efecto de las olas de calor no puede ser omitido, ya que se espera que la frecuencia y duración de estos eventos aumente en el tiempo, tomando cada vez más relevancia el efecto directo de la temperatura en la salud de las personas. A la fecha, Sudamérica es una región que muestra una baja representación de estudios que analicen la relación entre olas de calor y salud (Campbell, Remenyi, White, & Johnston, 2018), por lo que parece de suma relevancia, tanto nacional como internacionalmente, estudiar su efecto en el país.

Además, se decidió estudiar “mortalidad” y no “morbilidad”, principalmente porque la cantidad de datos disponibles de mortalidad permiten generar un estudio más robusto y con mayor precisión respecto al efecto del cambio de temperatura en la salud de la población. No obstante, a futuro, el estudio también puede expandirse para incluir morbilidad.

En síntesis, el presente análisis estima el impacto, en la mortalidad, del aumento de las olas de calor y cambio en la temperatura esperado hacia el año 2050. La metodología incluye un análisis aislado del efecto de la ola de calor,

para dos definiciones de ola de calor, de modo de entender sus consecuencias en la salud humana.

4.2 ANTECEDENTES

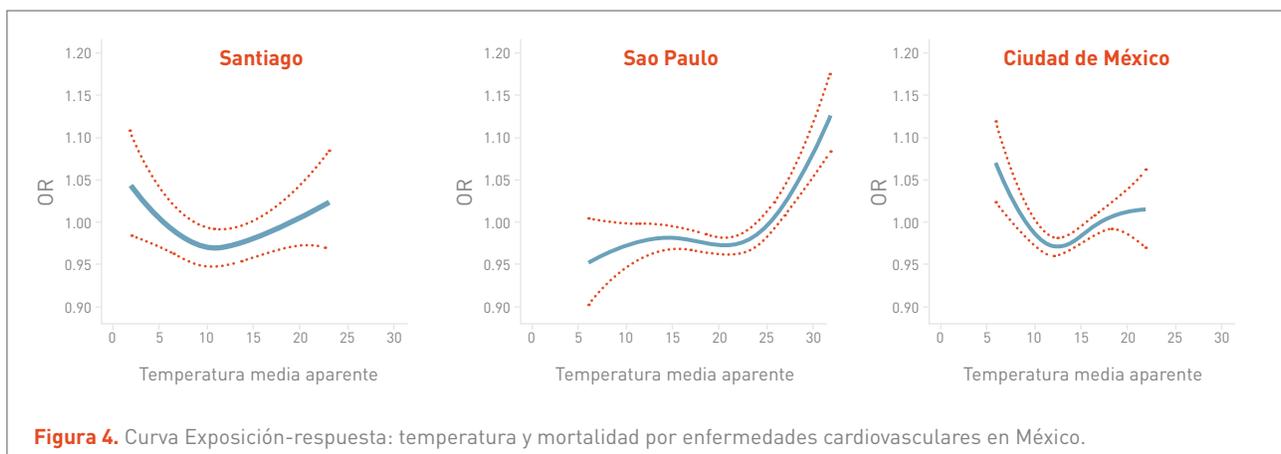
La siguiente sección presenta los antecedentes en los que se basó la metodología usada. En particular, se revisaron documentos asociados a cuatro temas principales:

- Relación entre temperatura y mortalidad.
- Efecto de las olas de calor.
- Cuantificación de casos.
- Capacidad de adaptación.

A continuación, se presentan los principales resultados de la revisión para cada uno de los temas indicados:

4.2.1 RELACIÓN ENTRE TEMPERATURA Y MORTALIDAD

Los cambios estadísticos del valor esperado promedio de *endpoints* de mortalidad, pueden ser cuantificados a partir de curvas de Exposición-respuesta, entre la temperatura de las ciudades y el Riesgo relativo de mortalidad y morbilidad. La **Figura 4** muestra un ejemplo de estas curvas, calculadas para tres ciudades de latinoamérica.



Fuente: (Hurtado-Díaz et al., 2019).



En este caso, el eje “x” corresponde a la temperatura y el eje “y” al Riesgo relativo (RR). Un $RR > 1$, implica una asociación positiva entre la temperatura y el Riesgo; mientras que un $RR < 1$ implica una asociación negativa. Así, las personas expuestas a cada temperatura tienen un Riesgo aproximado de $(RR - 1) \times 100\%$ de muerte, al alcanzar temperaturas fuera de la que indica mínima mortalidad, señalada con una línea roja en la figura.

La metodología para calcular estas curvas consiste en ajustar un modelo epidemiológico a datos históricos de mortalidad, temperatura y otras variables. Generalmente, la relación entre las variables y la cantidad de muertes en una serie de tiempo, se modela a partir de una regresión de Poisson. La **Ecuación 1** entrega un ejemplo de este tipo de modelo, el que relaciona la temperatura media (T_t), humedad (H_t), día de la semana (DW_t), días feriados (Vac_t) y concentración de contaminantes atmosféricos (P_t) con el número esperado de muertes en un día ($E[Y_t]$).

$$Y_t \sim \text{Poisson}(E[Y_t])$$

$$\text{Log} E[Y_t] = \alpha + \beta T_t + \beta H_t + DW_t + Vac_t + P_t$$

Ecuación 1. Modelo Poisson.

Existe evidencia de que la temperatura no solo tiene efectos en la mortalidad durante el día de Exposición, sino también en los días siguientes (efecto con rezago) y que esa asociación no es lineal (Guo, Punnasiri, & Tong, 2012a; Hurtado-Díaz *et al.*, 2019). En particular, estudios han demostrado que el efecto del calor es más agudo que el del frío; este último, con consecuencias que aparecen con retraso y duran hasta más de 10 días luego de producido el evento (Chen *et al.*, 2018; Guo *et al.*, 2014). Dado esto, algunos autores proponen el uso de modelos no lineales distribuidos (DLNM, por sus siglas en inglés), que permiten incorporar al análisis el cambio en el Riesgo de mortalidad, en los días siguientes, luego de una Exposición específica a una temperatura, considerando además la no-linealidad de dicha relación (A. Gasparrini, Armstrong, & Kenward, 2010). Así, este tipo de modelos permite combinar las funciones que definen la relación “dosis-respuesta” (en este caso, temperatura-Riesgo relativo) y la relación “rezago-respuesta” (o rezago-Riesgo relativo) (A. Gasparrini, Guo, & Hashizume, 2015).

La **Tabla 4**, muestra una selección de estudios, que han calculado curvas de Exposición-respuesta, para cuantificar la relación entre los cambios de temperatura y la mortalidad, en distintas ciudades del mundo.





Autor y año	Descripción
(Hurtado-Díaz <i>et al.</i> , 2019)	Evalúa las muertes diarias frente a eventos de calor y frío. Modelo de regresión asumiendo Quasi-Poisson, con retraso de 3, 7 y 21 días.
(R. Chen <i>et al.</i> , 2018)	Examina la asociación entre temperatura y causas específicas de mortalidad, cuantificando la carga de enfermedad correspondiente, atribuible a temperaturas ambiente no óptimas.
(Barreca, Clay, Deschenes, Greenstone, & Shapiro, 2016)	Analiza las muertes asociadas a temperaturas y el rol del aire acondicionado, en la adaptación al cambio climático.
(Hales, Salmond, Town, Kjellstrom, & Woodward, 2000)	Analiza la relación entre la mortalidad, las variables climáticas y la contaminación atmosférica por material particulado, en la ciudad de Christchurch, Nueva Zelanda.
(Barnett, Tong, & Clements, 2010)	Estudia la relación entre diferentes “tipos” de temperatura (ambiente, aparente y Humidex) y la mortalidad, bajo la hipótesis de que la temperatura ambiente, comúnmente usada para analizar el efecto de la temperatura en la salud, no necesariamente es el mejor predictor para la temperatura percibida. La relación se hace considerando una regresión Poisson con efecto no-lineal de temperatura y lag.
(H. Chen <i>et al.</i> , 2016)	Diseño de estudio de casos cruzados, para investigar los efectos agudos de las temperaturas frías y calientes, en la mortalidad en Ontario. El análisis está restringido a las muertes que ocurren en los meses más fríos (diciembre a febrero) (estación fría) y los meses más cálidos (junio a agosto) (estación cálida).
(Guo, Punnasiri, & Tong, 2012b)	Examina la relación entre temperatura y mortalidad, en la ciudad de Chiang Mai, Tailandia, durante 1999–2008.
(Guo <i>et al.</i> , 2014)	Examina la relación entre temperatura y mortalidad en 306 comunidades de 12 países y regiones (Australia, Brasil, Tailandia, China, Taiwán, Corea, Japón, Italia, España, Reino Unido, Estados Unidos y Canadá).
(Bell <i>et al.</i> , 2008)	Investiga la mortalidad relacionada con el calor, en tres ciudades latinoamericanas (Ciudad de México, México; Sao Paulo, Brasil; y Santiago, Chile), utilizando un enfoque cruzado de casos para 754 291 muertes entre 1998 y 2002. Consideró exposiciones rezagadas, que confundían contaminación del aire, causa de muerte y susceptibilidad por nivel educativo, edad y sexo.
(Baccini <i>et al.</i> , 2008)	Análisis sobre la función de Exposición-respuesta y el efecto rezagado del calor en 15 ciudades europeas.
(McMichael <i>et al.</i> , 2008)	Describe la mortalidad relacionada con el calor y el frío en 12 poblaciones urbanas, en países de ingresos bajos y medios, ampliando así el conocimiento de cómo las poblaciones diversas, en países no pertenecientes a la OCDE, responden a temperaturas extremas.
(Zanobetti & Schwartz, 2008)	Examina la asociación entre la temperatura aparente media y la mortalidad total, en 9 ciudades de los Estados Unidos, durante la temporada cálida (mayo a septiembre) desde 1999 a 2002. El estudio proporciona evidencia de un aumento de la mortalidad, debido a la elevada Exposición a la temperatura aparente, sin confusión ni modificación del efecto, debido a la contaminación del aire.
(A. Gasparrini <i>et al.</i> , 2015)	Analiza el efecto de la temperatura en la mortalidad de 384 comunidades de Australia, Brasil, Canadá, China, Italia, Japón, Corea del Sur, España, Suecia, Taiwán, Tailandia, Reino Unido y EE. UU.

Tabla 4. Estudios selectos que estiman curvas de Exposición-respuesta

Fuente: Elaboración propia.

En su mayoría, los estudios aplican modelos DLNM, para el ajuste de las curvas, con parámetros seleccionados considerando pruebas de bondad de ajuste. Si bien la elección de variables confundentes depende de la información disponible, la humedad y concentración de contaminantes atmosféricos son las más usadas.

4.2.2 EFECTO DE LAS OLAS DE CALOR

Las olas de calor pueden tener un efecto adicional al de la temperatura sin considerar su distribución temporal. Para considerar este efecto se agregó una nueva variable al modelo, que representa la ola de calor como una se-

cuencia de días con altas temperaturas. La duración de la ola de calor y el umbral para la alta temperatura se pueden definir de diferentes maneras. La **Tabla 5** presenta tres estudios y la forma en que han caracterizado las olas de calor.

Autor y año	Descripción
[Guo et al., 2017]	Modelo de serie de tiempo (Poisson) al que se le incluye, además de la variable de temperatura media, una variable binaria que indica los días en que están ocurriendo olas de calor. Se usaron 12 distintas definiciones de olas de calor, intercambiando percentiles y duraciones mínimas. El análisis está limitado a los 4 meses más calurosos del año, para cada lugar geográfico estudiado. Se concluye que el efecto de las olas de calor varía según lugar geográfico; y que éste aumenta a medida que la definición de ola de calor se hace más estricta.
[Antonio Gasparrini & Armstrong, 2011]	Estudio del efecto añadido por olas de calor por medio de un modelo de serie de tiempo (Poisson), que agrega, además de la de temperatura media, una variable binaria, que indica si hay o no olas de calor (definidas a partir de diferentes combinaciones de umbrales y días de duración mínima). Un segundo análisis estudia el efecto de la duración de la ola. Se determina que el efecto de esta es pequeño (0.2%-2.8% de Riesgo relativo en exceso, dependiendo de la definición) y solo se hace aparente luego de 4 días consecutivos o más de olas de calor.
[Tong, Ren, & Becker, 2010]	Modelo de serie de tiempo (Poisson) para el área de Brisbane. Agrega, además de la temperatura media, una variable binaria que indica si hay o no olas de calor. Se estima un aumento de 75 muertes por efecto del calor, durante la ola del año 2004.

Tabla 5. Estudios selectos que estiman curvas de Exposición-respuesta, aislando el efecto de olas de calor

Fuente: Elaboración propia.

En general, la metodología se basa en agregar una variable binaria al modelo de serie de tiempo, que indica si se está bajo condiciones de olas de calor. Como no existe una definición única de ola de calor, los estudios tienden utilizar más de una. Solo en el caso de que se esté analizando el efecto de una ola en particular se usa una definición única. La **Ecuación 2** muestra un ejemplo de este tipo de modelo, el que, a diferencia de aquel que integra todo el efecto de la temperatura en una sola variable (**Ecuación 1**), aísla el efecto del aumento de temperatura y ola de calor por medio de la incorporación de una nueva variable binaria (Hw) que toma valor 1, cuando se está bajo condiciones de olas de calor y 0 en otro caso.

$$Y_t \sim \text{Poisson}(E[Y_t])$$

$$\text{Log } E[Y_t] = \alpha + \beta T_t + \beta H_t + DW_t + Vac_t + P_t + \beta Hw_t$$

Ecuación 2. Modelo Poisson.

De esta manera, el coeficiente asociado a la variable binaria Hw, indica el Riesgo asociado a las olas de calor, bajo la definición de estas previamente definidas.

4.2.3 CUANTIFICACIÓN DE CASOS EN EXCESO

Una vez determinada la relación entre la temperatura y mortalidad, la segunda etapa del Estudio corresponde a la cuantificación de las muertes asociadas al cambio de temperatura, asociadas al cambio climático. Existen dos estudios relevantes que han realizado análisis similares: Voorhees *et al* (2011), que utiliza el modelo BenMap y coeficientes de Riesgo de otros estudios para su cuantificación; y la Organización Mundial de la Salud (OMS), que estima los casos a nivel mundial, usando la metodología establecida en el estudio de Honda (2014). Ambos estudios proponen métodos diferentes pero esencialmente similares para cuantificar el número de muertes, basándose en los resultados de Riesgo relativo obtenidos con la metodología descrita.



A continuación, se sintetizan los principales aspectos de ambas metodologías.

Modelo BenMAP

De acuerdo con el estudio de Voorhees *et al* (2011), el modelo BenMAP, desarrollado por la US-EPA, y ampliamente usado para la cuantificación de muertes asociadas a la contaminación atmosférica, puede ser utilizado para cuando estas ocurren por efecto de los cambios de temperatura. La metodología consiste en aplicar una función de daño a los cambios de temperatura diaria. Dicha función cuantifica el cambio en los casos (Δy), a partir de un coeficiente de Riesgo (β), el cambio en la variable ambiental (Δx), una tasa de incidencia base y_0 y la población (Pop). La relación entre estas variables se muestra en la **Ecuación 2**.

$$\Delta y = y_0 \times (e^{\beta \Delta x} - 1) \times Pop$$

Ecuación 3. Ecuación para estimar el número de casos en exceso.

Organización Mundial de la Salud

El reporte *Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s* (WHO, 2014), publicado por la OMS, el año 2014, establece que las muertes por calor ocurren cuando la temperatura máxima diaria sobrepasa su valor óptimo. Dicho valor corresponde a la temperatura máxima diaria, para la cual se observa una mortalidad mínima, como se muestra en la **Figura 5**. De acuerdo con los análisis realizados por el autor de la metodología, la temperatura de mortalidad mínima (OT) puede ser estimada como el percentil 83,6 de la temperatura máxima diaria en un año (Honda *et al.*, 2014).

Así, la metodología propone que el número de muertes asociadas a altas temperaturas se estima como la tasa

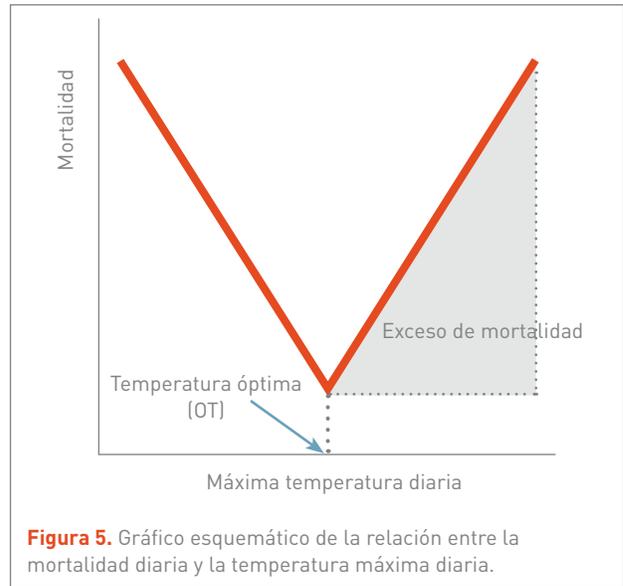


Figura 5. Gráfico esquemático de la relación entre la mortalidad diaria y la temperatura máxima diaria.

Fuente: (WHO, 2014).

base de mortalidad (que corresponde al número de muertes diarias sin considerar aquellas que ocurrieron por exceso de calor), multiplicado al aumento de Riesgo relativo por efectos del calor. La **Ecuación 4** muestra esta relación. Donde, $(D_{av} \times \frac{RR_{OT}}{RR_{av}})$ corresponde a la tasa base de mortalidad, calculado como la multiplicación del número promedio de muertes diarias (D_{av}) y el cociente entre el Riesgo relativo en la temperatura optima³ (RR_{OT}) y el Riesgo relativo promedio diario (RR_{av}). La tasa base de mortalidad, multiplicada al aumento del Riesgo relativo en un valor de temperatura específico ($RR_T - 1$) corresponde al número de muertes totales en el año de estudio.

$$N \text{ Muertes} = D_{av} \times \frac{RR_{OT}}{RR_{av}} \times (RR_T - 1)$$

Ecuación 4. Número de muertes por calor.

Fuente: (WHO, 2014).

Adicionalmente, a partir de un análisis del cociente entre el Riesgo relativo a temperatura máxima óptima y el Riesgo relativo promedio diario $(\frac{RR_{OT}}{RR_{av}})$, el autor de la metodología concluye que dicha relación puede ser aproximada por 0.88 para todos los países (Honda *et al.*, 2014).

³ De acuerdo a los análisis realizados por el autor, el valor de la temperatura óptima (OT) puede ser estimado como el percentil 83,6 de la temperatura máxima diaria en un año (Honda *et al.*, 2014).

En su análisis, la OMS aplica esta ecuación a todas las personas de 65 años o más (WHO, 2014), sin embargo, el análisis puede ser aplicado a todos los grupos etarios (Honda *et al.*, 2014).

Es importante destacar que este análisis considera solo el cambio en mortalidad por el aumento de temperaturas sobre la “temperatura óptima”, sin considerar los efectos en las temperaturas bajo esta, lo que a nuestro entender no es correcto.

4.2.4 CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN

La adaptación puede categorizarse, en general, de tres formas:

Asociada a cambios fisiológicos: Permiten al ser humano soportar temperaturas más cálidas y/o frías.

Asociada a cambios tecnológicos: Relacionados con la adquisición de elementos que posibiliten tolerar cambios en la temperatura, tales como: aire acondicionado, artefactos de calefacción, revestimiento térmico en hogares, entre otros.

Asociada a cambios en infraestructura: Que abarca tanto la capacidad de atención de centros de salud, como la existencia de espacios públicos con control de temperatura donde la población pueda refugiarse, por ejemplo, en caso de olas de calor.

No considerar la capacidad de adaptación genera resultados pesimistas en cuanto al impacto a la salud esperado, sin embargo, no existe un consenso sobre cómo considerar dicho efecto al estudiar la relación entre la temperatura futura y su impacto en la salud de la población. En particular, no existe acuerdo sobre el período de tiempo que demoraría el cuerpo humano en adaptarse a nuevas temperaturas, ya que en general esto depende de características físicas inherentes a cada organismo (Stillman, 2019). Por otro lado, los cambios tecnológicos y en infraestructura, están ligados a variables asociadas al desarrollo de cada país y comunidad, los que pueden proyectarse, pero sin mayor certeza cuando se trata de periodos futuros muy distantes del presente.

En la **Tabla 6** se describen diferentes maneras usadas en la literatura para considerar la adaptación. Estas, en

Estudio	Metodología
(Yu, Lei, & Wang, 2019)	Estudian el uso de energía y los patrones de propiedad de AC de la población urbana y rural en China. Con esta información, hacen un modelo de regresión controlando por temperatura, humedad y precipitación.
(Dessai, 2003)	Se cuantifican las muertes por efecto del aumento de temperatura. Considera aclimatización, asumiendo que esta toma 3 décadas en ocurrir. Esto es, luego de 3 décadas, la curva Exposición-respuesta será válida para el desplazamiento de la temperatura en 1 grado (metodología propia del autor).
(Knowlton et al., 2007)	Para considerar la aclimatización en una cierta ciudad en el futuro, se toman curvas Exposición-respuesta de ciudades similares que tengan en el presente temperaturas similares a las esperadas en la ciudad proyectada en el futuro.
(Honda et al., 2014)	El modelo propuesto se basa en la definición de una temperatura óptima, estimada como el percentil 83,6 de la temperatura máxima diaria. Este valor -a la vez- asume que no existe adaptación. Por lo tanto, los autores proponen calcular la temperatura óptima con la temperatura actual, para los casos en que se asume que no hay adaptación; con la temperatura futura para el caso de 100% de adaptación y con la temperatura intermedia (punto medio entre temperatura óptima actual y futura) para el caso con 50% de adaptación.
(Guo et al., 2018)	Se consideran dos escenarios: sin adaptación y con adaptación. Como el estudio está enfocado en el efecto de las olas de calor, en el escenario sin adaptación, las olas de calor se calculan considerando el percentil de temperatura de los años base; mientras que, en el caso de adaptación la ocurrencia de olas de calor, se calcula considerando el percentil de los años futuros.

Tabla 6. Metodologías para incorporar la adaptación a cambios de temperatura

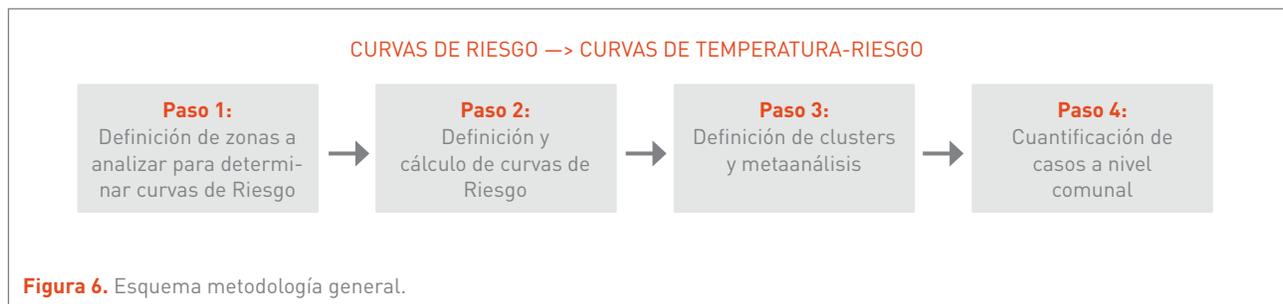
Fuente: Elaboración propia.



general, requieren una gran cantidad de datos (patrones de consumo de energía o de propiedad de aire acondicionado, por ejemplo) o fuertes supuestos sobre la evolución de la sociedad, en términos fisiológicos y monetarios, que se traducen en cambios en el modelo. Dado esto, se debe ser muy cauteloso al usar este tipo de métodos. En este estudio no se ha considerado la posible adaptación, por lo que la estimación de los impactos podrían estar sobrestimados.

4.3 METODOLOGÍA

La metodología general seguida para la cuantificación del efecto de las olas de calor y la temperatura, cuenta con cuatro pasos principales, que se presentan en la **Figura 6**.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se describe la metodología seguida en cada paso:

4.3.1 PASO 1: DEFINICIÓN DE ÁREAS GEOGRÁFICAS

Una de las principales limitaciones de estudiar los efectos a nivel comunal, es el tamaño de las comunas en Chile. Una población baja implica pocas muertes ocurriendo en la comuna, lo que a la vez agrega una alta variabilidad a los datos a analizar. Para mitigar este efecto, y así evitar sobre o subestimar el efecto de las olas de calor y temperatura en la mortalidad, se estudió en profundidad el comportamiento de las comunas de manera individual. A partir de este análisis preliminar se decidió trabajar a ni-

vel de ciudad, entendiendo esta como aquella conurbación urbana que incluye una o más comunas con población que posee características sociales similares. Adicionalmente, solo se consideraron ciudades de 100.000 habitantes o más.

Como resultado, se obtuvo un conjunto de 30 ciudades para el análisis. Para cada una de estas, se ajustó una curva de temperatura-Riesgo. En algunos casos las áreas geográficas corresponden a comunas únicas, mientras que en otros a conjuntos de 2 o más comunas (este es el caso de: Iquique-Alto Hospicio, Santiago, Valparaíso-Viña del Mar, Concepción y Temuco-Padre Las Casas). Las ciudades de análisis y su descripción se presentan en la **Tabla 7**.



Región	Área Geográfica	Comunas	Población	Mortalidad		Tmax pro-medio [°C]	Tmin pro-medio [°C]
				Prom. anual	Prom. diario		
Arica y Parinacota	Arica	Arica	232,628	1,149	3	23	15
Tarapacá	Iquique – Alto Hospicio	Iquique Alto Hospicio	315,989	1,211	3	22	13
Antofagasta	Calama	Calama	171,875	594	2	24	5
	San Pedro de Atacama	San Pedro de Atacama	9,177	22	0	16	0
	Antofagasta	Antofagasta	381,635	1,877	5	19	14
Atacama	Diego de Almagro	Diego de Almagro	14,559	52	0	16	0
	Copiapó	Copiapó	165,066	678	2	24	11
Coquimbo	La Serena	La Serena	233,270	1,138	3	22	11
	Coquimbo	Coquimbo	239,467	1,074	3	21	11
	Ovalle	Ovalle	117,221	604	2	24	9
Valparaíso	Valparaíso – Viña del Mar	Valparaíso – Viña del Mar	656,967	4,373	12	21	10
	Quilpué	Quilpué	160,210	1,099	3	22	9
	Villa Alemana	Villa Alemana	131,544	732	2	22	9
Metropolitana	Colina	Colina	152,740	428	1	21	8
	Lampa	Lampa	107,662	341	1	23	9
	Lo Barnechea	Lo Barnechea	109,778	324	1	17	7
	Santiago	32 comunas de la provincia de Santiago, sin considerar Lo Barnechea + San Bernardo y Puente Alto	6,351,215	32,017	88	23	9
	Melipilla	Melipilla	133,232	722	2	22	9
	Buín	Buín	101,743	384	1	23	8
O'Higgins	Rancagua	Rancagua	255,550	1,322	4	24	7
Maule	Curicó	Curicó	156,377	822	2	23	7
		Talca	230,644	1,310	4	24	8
Biobío	Concepción	Chiguayante, Concepción Coronel, Hualpén, Hualqui, Lota, Penco, San Pedro de la Paz, Talcahuano, Tome	1,019,393	5,310	15	20	8
	Los Ángeles	Los Ángeles	212,875	1,065	3	22	7
Araucanía	Temuco - PLC	Temuco - PLC	374,858	1,835	5	20	6
	Villarrica	Villarrica	57,466	301	1	18	7
Los Ríos	Valdivia	Valdivia	171,725	933	3	18	7
Los Lagos	Osorno	Osorno	170,129	1,083	3	19	6
	Puerto Montt	Puerto Montt	258,579	1,017	3	16	7
Magallanes	Punta Arenas	Punta Arenas	136,476	801	2	11	3

Tabla 7. Descripción zonas para curvas temperatura-Riesgo.

Nota: Los datos de población corresponden al año 2017, según el Censo 2017. Las muertes no accidentales corresponden a los datos de mortalidad por causas no externas (excluye causas código S00-Z99 del CIE-10) del año 2016. Las temperaturas corresponden a aquéllas medidas durante el año 2016. Si las zonas se forman por más de una comuna, la temperatura corresponde al promedio, ponderada por población de cada comuna.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Censo, DEIS y METEODATA.



4.3.2 PASO 2: DEFINICIÓN Y CÁLCULO DE CURVAS DE RIESGO

Para el modelamiento de las curvas de cada zona, se usó la temperatura máxima real y la humedad relativa, para los años desde 1990 a 2016, en los puntos urbanos de cada comuna. Se consideró el *endpoint* mortalidad prematura para todas las causas no externas (excluye causas código S00-Z99 del CIE-10).

El primer paso, para definir las curvas de Riesgo, fue definir el concepto de ola de calor que será estudiado. Una ola de calor se define como un periodo de temperaturas más altas de lo normal, en un territorio, por un lapso determinado. Dependiendo del análisis y uso que se quiera dar a la información, una ola de calor puede ser definida por un sinnúmero de combinaciones de características de temperatura umbral y número mínimo de días seguidos en que se sobrepase dicho umbral. Para efectos del presente análisis, es necesario estudiar bajo qué condiciones de temperatura y número mínimo de días de duración, se pueden observar efectos adversos relevantes en la salud de las personas.

Si bien la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) maneja una definición de ola de calor que usa para cuantificar la ocurrencia, esta no necesariamente es bajo la que el efecto en la salud se caracteriza de mejor manera. Dado esto, se estudiaron varias condiciones de temperatura y número mínimo de días de duración, de modo de evaluar la Sensibilidad de distintos niveles de olas de calor y contrastarlas con la definición usada por la DMC. Del análisis realizado, se seleccionó una definición adicional a la de la DMC, que producía resultados estadísticamente

significativos. A esta nueva definición se le llamará, en adelante, Definición Estricta de ola de calor, debido a que el percentil usado para definir el umbral de la temperatura considerada, es mayor a aquel usado por la DMC.

La **Tabla 8** muestra los umbrales de temperatura y el número mínimo de días consecutivos, en que este umbral debe superarse, para que los días sean considerados como parte de una ola de calor.

El modelo aísla el efecto de las olas de calor para ambas definiciones por separado, por medio del uso de una variable binaria, que toma el valor de 1 si se está bajo condiciones de ola de calor; y 0 cuando no. También se incluyó una variable categórica (que rescata el Riesgo asociado a los días de frío) y que tiene como objetivo aislar el efecto del frío extremo, definido como temperaturas mínimas bajo el percentil 5 de las temperaturas mínimas de los años 1981-2020.

Así, a partir de los antecedentes revisados, se generó un modelo lineal generalizado con una regresión Poisson, definido como:

$$\log E(Y_t) = \alpha + \beta_1 Hw_t + \beta_2 T_{t,l} + \beta_3 H_{t,l} + \beta_4 Cw_t + NS(Fecha, n/año) + DOW_t$$

Ecuación 5.

Donde,

- β es el coeficiente de cada variable⁴.
- Hw_t es la variable categórica que indica si se está en un periodo de olas de calor.

Nombre definición	Umbral temperatura	Duración mínima
DMC	Temperaturas máximas sobre el percentil 90 de las temperaturas máximas de los años 1981-2010	3 días
Estricta	Temperaturas máximas sobre el percentil 98 de las temperaturas máximas de los años 1981-2010	3 días

Tabla 8. Definiciones de ola de calor.

Fuente: Elaboración propia

⁴ Este coeficiente corresponde a la incógnita a estimar.



- Cw_t es la variable categórica que indica si se está en un periodo de olas de frío.

- $T_{t,l}$ es la “base cruzada” (*cross-basis*) de temperatura y la distribución de su efecto retrasado (*lag*).

- $H_{t,l}$ es la base cruzada de humedad.

- NS (*Fecha,n/año*) es la fecha suavizada por medio de una spline natural con n grados de libertad anuales.

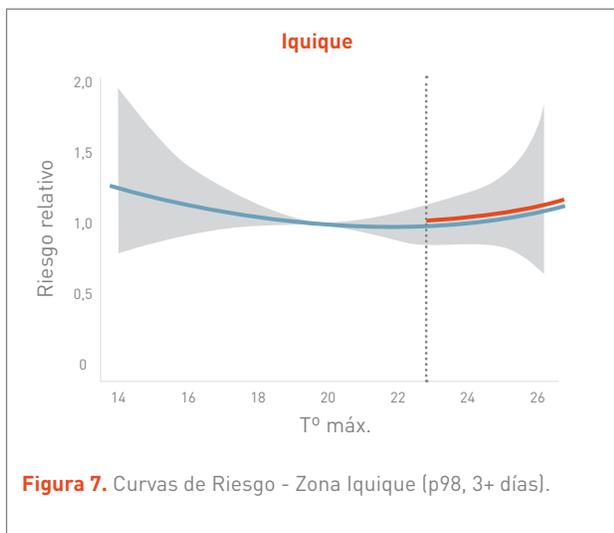
- DOW_t es el día de la semana.

- Y_t es la cantidad de muertes en el día t .

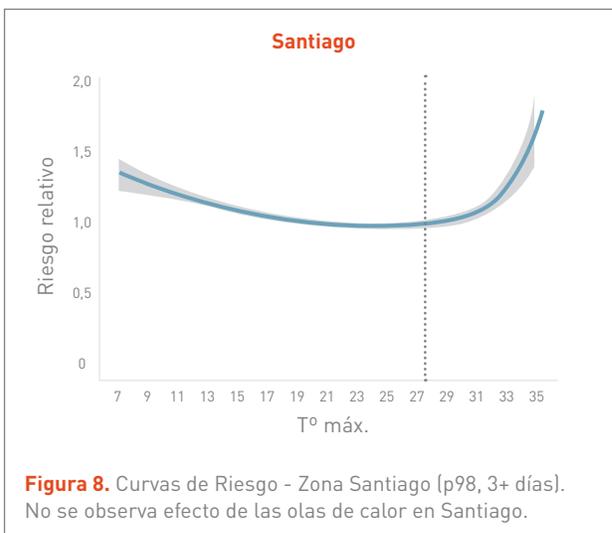
Para cada una de las zonas definidas en la **Tabla 7**, se ajustó una curva de Riesgo.

A continuación, se presentan curvas de Riesgo considerando la definición de ola de calor Estricta de cuatro zonas seleccionadas. Para cada curva se marca en rojo el efecto de las olas de calor.

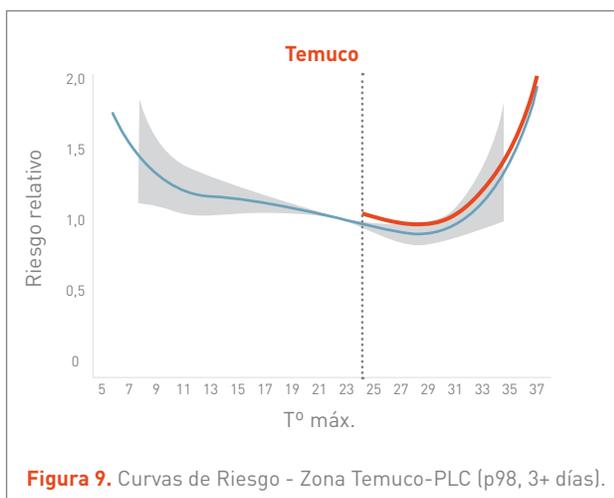
Los resultados de la definición DMC, para las mismas cuatro zonas, se presentan en el **Anexo 5.1**.



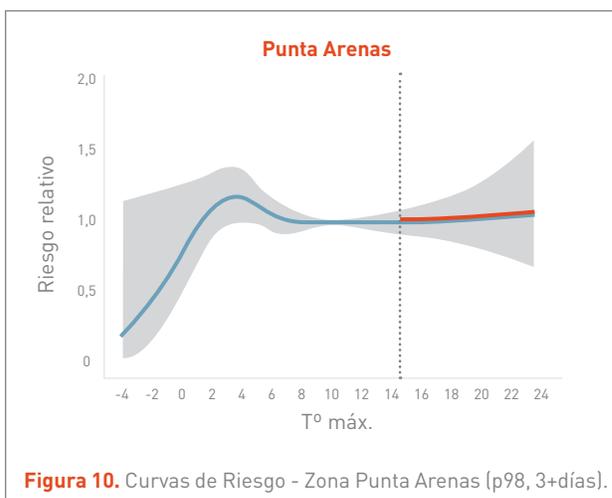
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



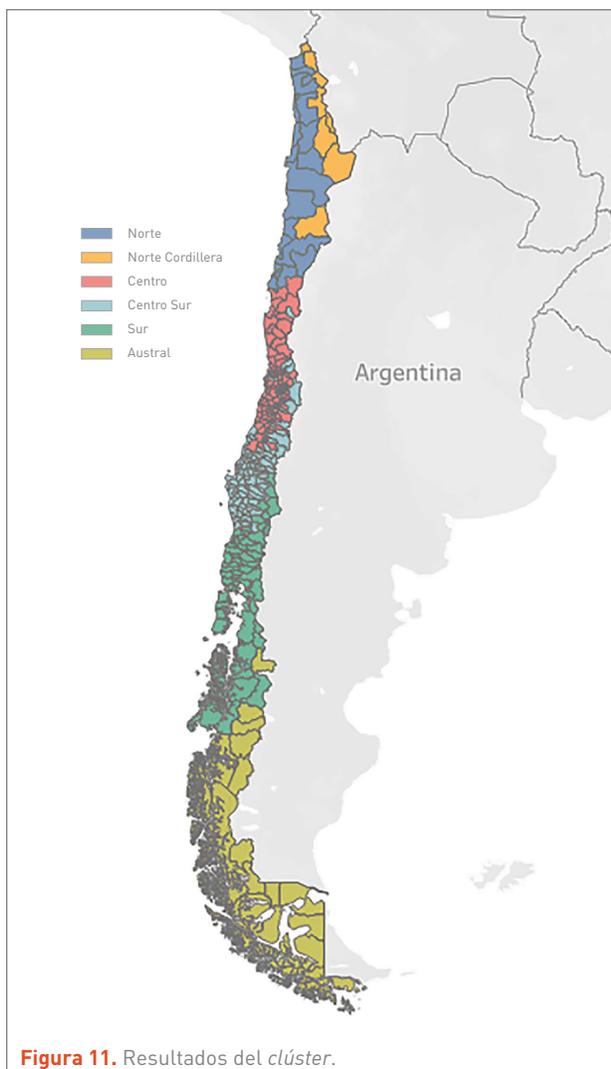
Fuente: Elaboración propia.

En los gráficos, las áreas sombreadas corresponden al IC del 95%.



4.3.3 PASO 3: DEFINICIÓN DE CLÚSTERS Y META-ANÁLISIS

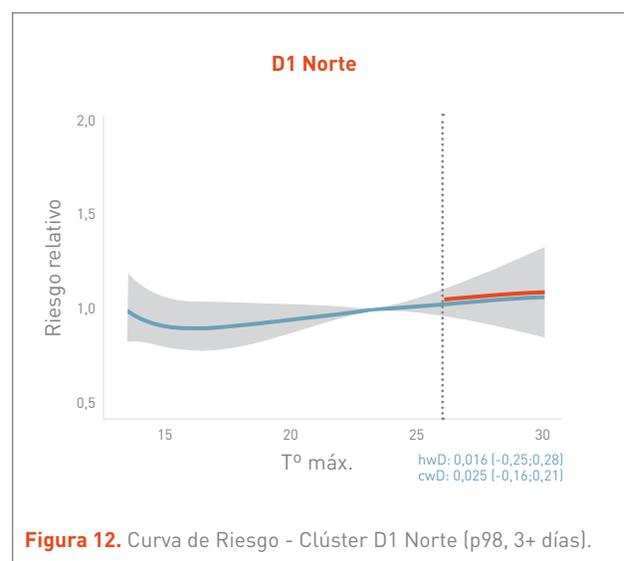
Para llevar los resultados de estas ciudades a todas las comunas del país, se realizó un análisis de *clústers*, considerando temperatura y latitud, de modo de caracterizar a cada una de las comunas, en función de las curvas de Riesgo calculadas. El análisis de *clústers* dio como resultado la identificación de seis grupos de comunas, que presentaron características climáticas estadísticamente similares. Se estudió la posibilidad de desagregar en un mayor número de grupo de comunas, sin embargo, los resultados del análisis de *clúster* derivaban en grupos con una población pequeña, lo que impedía obtener resultados estadísticamente robustos. La **Figura 11** muestra los *clústers* definidos.



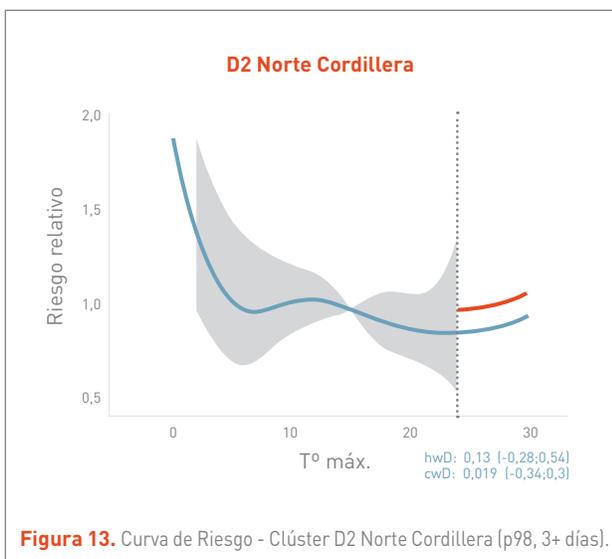
Fuente: Elaboración propia.

Cada una de las ciudades analizadas, para crear las curvas de Riesgo individuales durante el Paso 2, pertenece a uno de los *clústers* definidos. Luego, la caracterización del Riesgo de cada *clúster* se llevó a cabo por medio de un meta-análisis de las curvas de Riesgo de cada ciudad individual, perteneciente a cada *clúster*. Los resultados individuales de las curvas estimadas para cada ciudad (presentadas en la **Tabla 7**), fueron combinados controlando la covarianza entre cada una de las variables de los modelos. De esta forma, se tiene una curva representativa para las diferentes comunas del país, en función de las zonas para las cuales el Riesgo puede ser calculado incurriendo en el mínimo error posible.

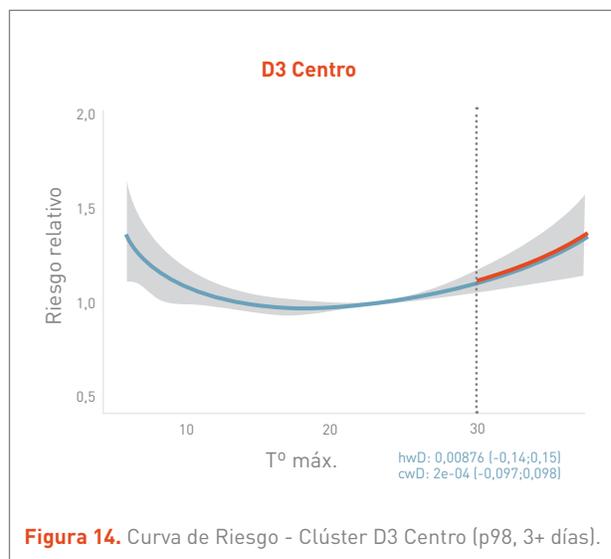
A continuación, se presentan las curvas resultado para cada *clúster*, considerando la definición de olas de calor Estricta. (**Figuras 12 a 17**). Para cada curva, se marca en rojo el efecto de las olas de calor, que corresponde a la diferencia entre la curva negra y la roja por sobre el umbral considerado (marcado con una línea vertical punteada). En cada figura, se indica además el coeficiente β resultado, que señala el aumento del Riesgo asociado a las olas de calor (hWD) y a las olas de frío (cWD). Curvas similares a estas, fueron calculadas para la segunda definición de olas de calor DMC y se presentan en el **Anexo 5.2**.



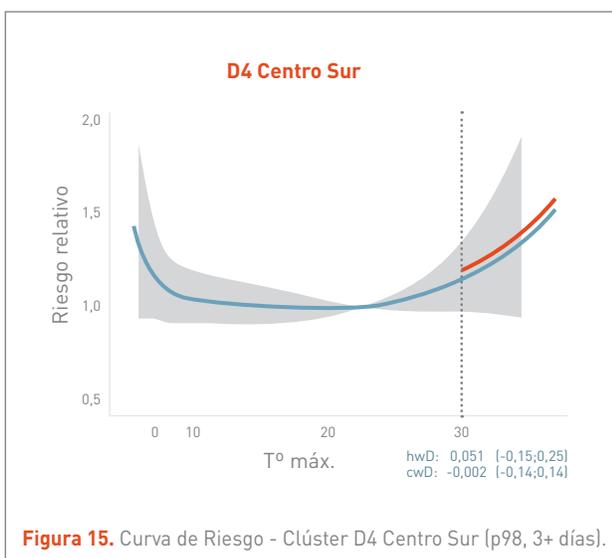
Fuente: Elaboración propia.



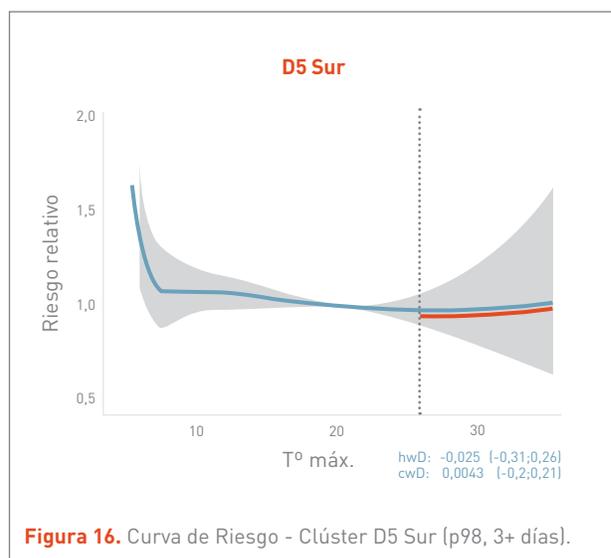
Fuente: Elaboración propia.



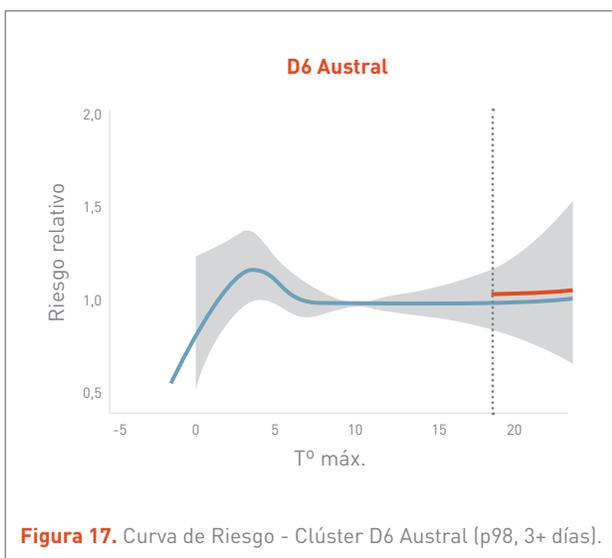
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

4.3.4 PASO 4: CUANTIFICACIÓN DE CASOS A NIVEL COMUNAL

Una vez estimados los coeficientes de Riesgo asociados a los cambios de temperaturas y a las olas de calor, se realizó la cuantificación de la mortalidad adicional, considerando las proyecciones de población y temperaturas. Para esto, se tomaron en cuenta dos periodos a comparar:

- Periodo futuro: construido a partir de los años 2035 – 2064.
- Periodo base: construido a partir de los años 1980 – 2010.



La proyección de los casos de mortalidad se estima a partir de la proyección del INE de la población nacional al año 2050, que corresponde a la mejor proyección oficial disponible a la fecha del Estudio. Originalmente, esta proyección está a nivel nacional, entonces, para realizar la estimación comunal, se supone la misma distribución observada en la proyección del INE de la población comunal al año 2035.

Las tasas de incidencia de mortalidad por comuna, se suponen iguales al promedio observado para el periodo 2010-2017, las que son estimadas a partir de la información disponible en el DEIS. Las tasas de incidencia han cambiado mucho a través de los años, lo que se refleja, por ejemplo, en la variación de la esperanza de vida. Por esto, se optó por utilizar este periodo bajo el supuesto de que el pasado reciente es la mejor estimación disponible de cómo serán las tasas en el futuro. Este supuesto podría ser mejorado de contarse con una proyección de las tasas de incidencia futuras, pero tal ejercicio escapa al alcance del presente Estudio.

Respecto a la proyección de la Amenaza, tanto las olas de calor como las temperaturas máximas proyectadas son estimadas a partir del promedio de los 23 modelos de proyección climática utilizadas en el presente proyecto para el periodo 2035-2064. Las olas de calor esperadas son identificadas considerando las dos definiciones de olas de calor utilizada para cada uno de los 23 modelos climáticos considerados en el estudio y presentadas anteriormente en la **Tabla 9**. Una vez identificadas las olas de calor para cada modelo de proyección, se estima el promedio de días con olas de calor para cada par comuna-mes. De forma similar, las temperaturas máximas futuras son estimadas a partir del promedio de las temperaturas máximas de todos los modelos de proyección para para cada par mes-comuna. Respecto a las olas de calor periodo base, estas son calculadas para cada par comuna-mes a partir de los datos de temperaturas máximas de la década de 1980 a 2010.

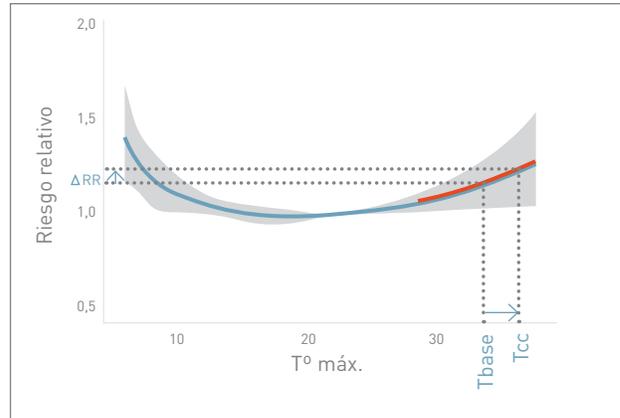


Figura 18. Ejemplo de asociación entre temperatura máxima y Riesgo relativo.

Fuente: Elaboración propia.

Conocida la relación entre el Riesgo relativo (RR), las olas de calor y temperaturas máximas, se puede estimar la variación del Riesgo relativo. A modo de ejemplo, la **Figura 18** presenta la curva obtenida para el *clúster* Centro. En este caso, se observa que el aumento desde una temperatura base (T_{base}) a una más alta, asociada al cambio climático (T_{cc}), implica una variación positiva del RR.

Esto se calcula matemáticamente para cada par comuna-mes, siguiendo lo establecido en la Ecuación 6, donde c corresponde a cada comuna y m a cada mes del año. Así, la variación del RR por efectos de olas de calor, se obtiene a partir de la multiplicación del coeficiente obtenido de las curvas de RR (β^{hw}) por la diferencia en el número de días con olas de calor entre el escenario base y futuro ($HW_{CC}^{c,m} - HW_{base}^{c,m}$).

Por su parte, la variación del RR por causas de la variación de la temperatura, se estima como la diferencia del RR para la temperatura futura y el RR para la temperatura base. Esto, multiplicado por la tasa de incidencia ($IR^{c,m}$) y la población comunal ($Población^c$) da cuenta de la variación de los casos de mortalidad por efecto del aumento de temperaturas futuras.

$$\Delta Casos_{CC}^c = Población^c \times \sum_{m=mes} IR^{c,m} \times \left(\Delta RR(T_{base}^{c,m}, \Delta T_{CC}^{c,m}) + \beta^{hw} (HW_{CC}^{c,m} - HW_{base}^{c,m}) \right)$$

Ecuación 6. Estimación de la variación en casos para cada *endpoint* por variación en temperaturas a causa del cambio climático.

4.4 RESULTADOS

En la **Tabla 9** se presentan los resultados de cambios en la mortalidad asociados al aumento del número de días con olas de calor y a la variación de las temperaturas para las dos definiciones de olas de calor estudiadas. Si bien se observa que las medianas de los resultados son similares

entre ambas definiciones, también se aprecia que una definición más estricta resulta en intervalos de confianza más estrechos, dando cuenta de la captura más precisa del efecto de las olas de calor. Lo anterior es especialmente visible al analizar los resultados asociados a la variación de muertes por aumento de calor y olas de calor, observándose una mejora general de los niveles de significancia de la estimación y en rangos más estrechos de incertidumbre.

Grupo de Comuna	Definición DMC: p.90 - 3+ días			Definición Estricta: p.98 - 3+ días		
	Variación de muertes por aumento calor y HW	Variación de muertes por menor frío	Variación muertes netas por cambio climático	Variación de muertes por aumento calor y HW	Variación de muertes por menor frío	Variación muertes netas
D1. Norte	154 [-72 - 380]	**0 [0 - 0]	154 [-72 - 380]	143 [-48 - 334]	** 0 [0 - 0]	143 [-48 - 334]
D2. Norte Cordillera	45 [-364 - 454]	** -5 [-6 - 4]	40 [-369 - 450]	28 [-220 - 276]	-8 [-31 - 14]	20 [-250 - 290]
D3. Centro	* 750 [-104 - 1603]	** -265 [-351 - -178]	485 [-282 - 1252]	** 945 [417 - 1472]	** -241 [-322 - -159]	** 704 [258 - 1150]
D4. Centro Sur	235 [-128 - 598]	-132 [-318 - 54]	103 [-120 - 326]	* 225 [-26 - 477]	-133 [-315 - 49]	93 [-81 - 267]
D5. Sur	88 [-87 - 262]	-225 [-524 - 73]	-138 [-610 - 335]	* 92 [-7 - 192]	-245 [-569 - 79]	-153 [-576 - 271]
D6. Austral	1 [-12 - 14]	** -19 [-30 - -9]	* -18 [-27 - 8]	2 [-7 - 12]	** -19 [-29 - -9]	** -17 [-24 - -9]
Total	1273 [-638 - 3184]	** -646 [-1228 - -65]	627 [-703 - 1956]	** 1436 [210 - 2662]	** -646 [-1222 - 70]	* 789 [-147 - 1726]

Tabla 9. Variación en el número de muertes [casos por año] por cambio climático.

Se presentan resultados de mediana e intervalo de confianza de 90%. ** Resultado con significancia estadística de 90% * Resultado con significancia estadística de 80%

Fuente: Elaboración propia

Respecto a la distribución geográfica de los impactos, se observa que la mayor parte de las muertes adicionales ocurrirían en la zona centro y centro-sur, lo que responde a la concentración de gran parte de la población en dicha zona y al aumento en las temperaturas del valle central. Resulta interesante observar como la distribución entre las muertes -propiciadas por las olas de calor y el aumento de las temperaturas diarias- y las muertes evitadas por la reducción del frío varía de norte a sur.

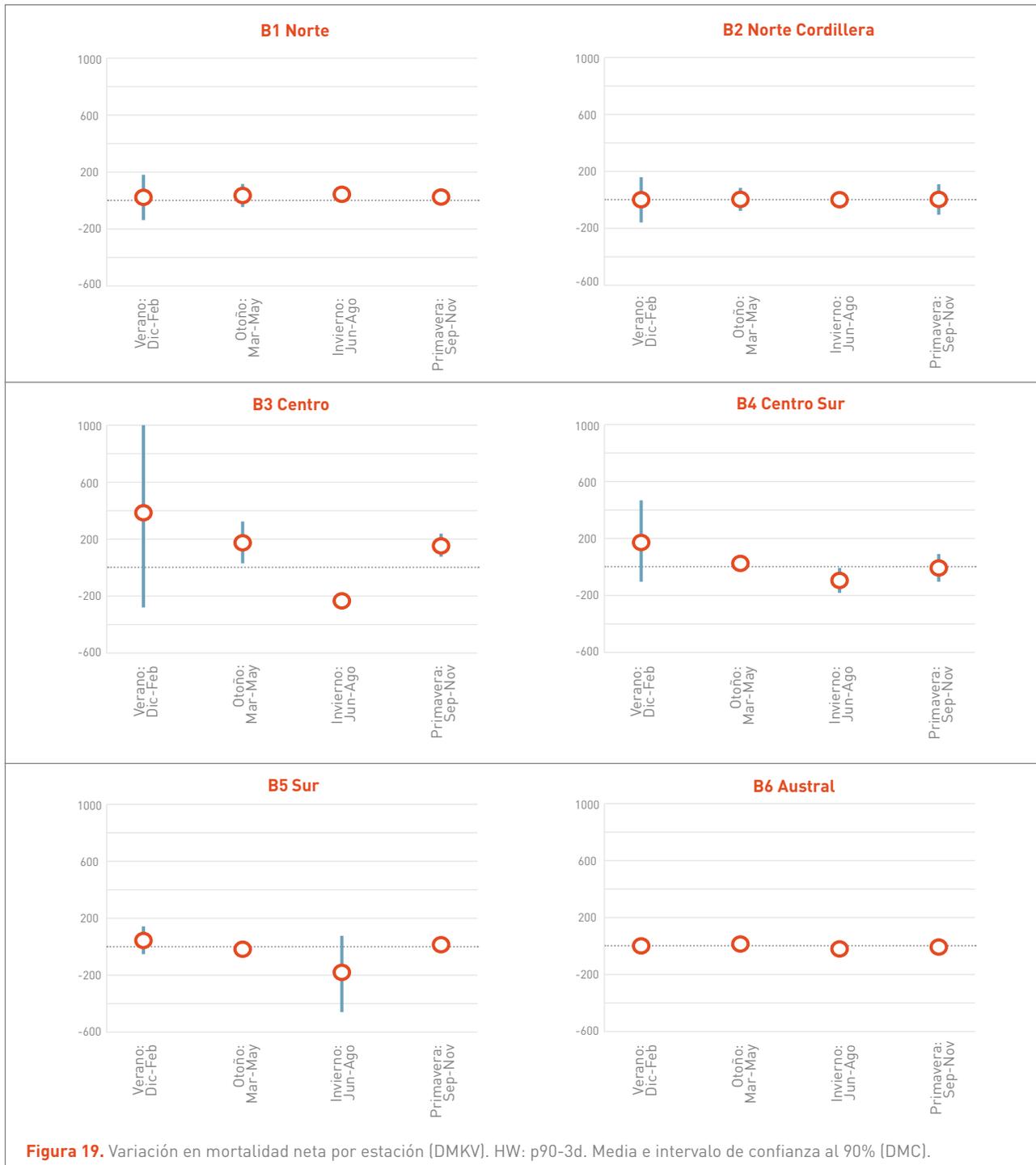
Se observa que, en las zonas “D1. Norte” y “D2. Norte Cordillera”, el aumento de los casos esperados supera largamente el número de muertes estadísticas evitadas, sin embargo, se destaca la alta incertidumbre de estos valores, asociada a la baja población de estas zonas y la consiguien-

te mayor incertidumbre en las curvas de Riesgo relativo. En las zonas “D3. Centro” y “D4. Centro Sur”, relevantes para el análisis por contar con marcadas estaciones cálidas y frías como por un mayor número de población, se observa que existe cierto número de muertes estadísticas que serán evitadas por la reducción del frío en la temporada fría. Aun así, la variación esperada de muertes en la temporada cálida es superior a las evitadas por un gran margen relevante, lo que resulta en un aumento de la mortalidad esperada por cambio climático en estas zonas. Por otra parte, las zonas “D5. Sur” y “D6. Austral”, si bien tendrían algún aumento esperado de muertes por olas de calor y incremento de las temperaturas diarias, esto se ve sobrepasado por el efecto de reducción del frío.



En las **Figura 19** y **Figura 20**, se observan los resultados por estación para cada una de las zonas, según ambas definiciones de olas de calor analizadas. Se aprecia para el verano el mayor aumento en el número de muertes, mientras que en invierno habría el efecto opuesto, pero con una magnitud menor. Se observa que en el verano la incer-

tidumbre es mayor, lo que se explica porque el cambio climático produciría temperaturas que no son usuales en la serie histórica utilizada para obtener la relación entre temperatura y Riesgo Relativo, lo cual implica un mayor nivel de incertidumbre respecto a la magnitud del efecto.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la distribución del impacto estimado entre el aumento de temperatura y las olas de calor, en la **Tabla 10** se presentan las estimaciones para cada una de las variables por separado. Se observa que ni la definición de la DMC

para olas de calor (percentil 90 y 3+ días de duración), ni la más estricta propuesta (percentil 98 y 3+ días de duración), permiten obtener resultados con un alto nivel de significancia estadística de forma transversal a todas las zonas



y estaciones, sin embargo, se destaca que la definición más estricta permite acotar de forma relevante el nivel de incertidumbre, además de dar un resultado en línea con lo esperado. Las razones para la baja potencia estadística de los resultados asociados a la variable de días de olas de calor, se explica por los datos históricos utilizados, cuando no se han observado, de forma generalizada, olas de calor con un nivel de intensidad y de duración que permita mayor robustez estadística. Al respecto, cabe destacar que se exploraron definiciones más estrictas de olas de calor, ya sea con un umbral de temperatura mayor o con una mayor duración, pero la ocurrencia de olas bajo

esas definiciones baja de tal forma que reducía aún más la potencia estadística del análisis.

Es importante destacar que las consecuencias de las olas de calor, lejos de no ser relevantes, tienen un doble efecto, tanto por la intensidad de las temperaturas (capturado por la variable aumento de temperaturas), como por la extensión en el tiempo (capturado por la variable olas de calor). El modelamiento de estos efectos se realiza de forma aditiva, es decir, una parte del efecto de la ola de calor es capturado por los resultados asociados al aumento de la temperatura.

Variables	Variación de muertes (DMC: p.90 - 3+ días)	Variación de muertes (Estricta: p.98- 3+ días)
Por aumento de temperatura	** 1178 (502 - 1854)	** 1347 (914 - 1780)
Por días de olas de calor	-95 (-1140 - 1330)	89 (-705 - 882)
Total variación de muertes por aumento calor y días de olas de calor	1273 (-638 - 3184)	** 1436 (210 - 2662)

Tabla 10. Variación de aumento de mortalidad por olas de calor y aumento de temperaturas según efecto

* Resultado estadísticamente significativo al 90%.

Fuente: Elaboración propia.





5 CONCLU- SIONES

Los efectos en la salud derivados del cambio climático son producidos de interrelaciones complejas entre factores climáticos, condiciones ambientales y sociales de las distintas comunidades. En el caso de Chile, se espera que estos sean variados, destacándose un cambio en la morbilidad y mortalidad producto del cambio en la temperatura; un aumento del Riesgo de contraer enfermedades transmitidas por vectores; un incremento en el Riesgo de enfermedades asociadas al consumo de alimentos y agua en mal estado; un deterioro de la salud producto del malogro de la calidad de alimentos provenientes del mar; una mayor incidencia de enfermedades asociadas a una mayor Exposición a rayos UV y a episodios de alta contaminación atmosférica; lesiones y defunciones, principalmente producto de accidentes durante la ocurrencia de eventos climáticos extremos; y desmejora de la salud mental, principalmente derivados de las consecuencias de los eventos climáticos, en el estilo de vida de las personas.

Se espera que estos efectos tengan incidencias a lo largo de todo el país, con mayor importancia en ciertas zonas, donde las condiciones climáticas proyectadas generen circunstancias más ideales para su ocurrencia. Por ejemplo, debido a sus altas temperaturas, se proyecta un mayor

Riesgo de enfermedades transmitidas por vectores en la Zona Norte y Centro del país, mientras que en la Zona Sur se proyecta un Riesgo asociado a enfermedades diarreicas e infecciosas derivadas de episodios de precipitaciones intensas.

En general, los efectos del cambio climático se han hecho evidentes en los últimos años, con un aumento de los episodios de marea roja, una mega sequía prolongada, episodios de grandes incendios -como el ocurrido el año 2017- y un incremento de las temperaturas en distintas zonas del país. Todos estos episodios traen consecuencias en la salud de la población y, por lo tanto, es sumamente importante mantener el monitoreo de las distintas condiciones climáticas, del estado de salud de la población como de la capacidad de respuesta del sistema sanitario, para hacer frente a los efectos esperados en el futuro. Asimismo, se hace necesario proyectar los distintos niveles de Riesgo a los que la población se ve enfrentada, para actuar de manera preventiva.

Con el fin de realizar un primer acercamiento a la necesaria cuantificación del Riesgo en la salud, el presente análisis estudió de manera cuantitativa el efecto de las

olas de calor y el aumento de la temperatura esperado en los niveles de mortalidad de las distintas comunas del país. Los resultados dan cuenta de la magnitud del impacto que tendría el cambio climático en la salud humana. Se presentaron resultados para dos definiciones de olas de calor: la de DMC y una definición más estricta, que exige un umbral de temperatura más alto. Las muertes por olas de calor y aumento de temperaturas proyectado representan un aumento del total de muertes aproximado de 1.12% (-0.56% - 2.81%) y 1.27% (0.18% - 2.35%), para las dos definiciones de ola de calor consideradas (umbral de temperatura sobre el p90 y p98, ambas con duración mínima de 3 días).

Se observó que la principal diferencia entre ambas estimaciones se encuentra en la incertidumbre asociada. Un análisis más detallado del origen de esta, permite visualizar que la principal fuente proviene de la incertidumbre asociada al efecto de las olas de calor, el cual depende directamente de la definición de olas de calor. En este sentido, hay dos consideraciones relevantes que hay que tomar para la definición de las olas de calor: una definición que considere un umbral de temperatura bajo o una duración mínima de días sobre el umbral muy corta corre el Riesgo de no estar capturando el efecto adicional de las olas de calor, afectando la potencia estadística de este resultado; y una definición que considere un umbral de temperatura alto o una duración muy larga corre el Riesgo de observarse escasamente en los datos históricos, nuevamente afectando la potencia estadística.

Dado que actualmente ya se están observando variaciones en las temperaturas, es esperable que la inclusión de nuevos años a la serie de tiempo considerada para la estimación del Riesgo relativo (1990-2016), permita aumentar la potencia estadística de estimaciones futuras en la medida que en los nuevos años se pueda encontrar mayor número de días que califiquen como olas de calor, según las diferentes definiciones.

Otra fuente de incertidumbre relevante se asocia a la baja población en varias de las zonas estudiadas, lo cual se refleja en que zonas como Norte-Cordillera presentan los mayores intervalos de confianza. Si bien se observa que

los resultados de cada zona van en línea con los encontrados en la literatura, se aprecian también las variaciones entre los distintos territorios. Dichas variaciones, que se expresan en la relación entre el Riesgo relativo y las olas de calor y temperaturas, responden a complejas relaciones que incluyen otras condiciones socioeconómicas y ambientales que no han podido ser consideradas en el presente Estudio, en gran medida por la falta de información y asimetría de los datos disponibles entre las diferentes ciudades estudiadas para el desarrollo de la relación RR y olas de calor y temperaturas. Por ejemplo, se espera que la inclusión de variables como la contaminación por MP2.5, caracterización del parque de sistemas de climatización, entre otras, pudieran mejorar los resultados en ejercicios futuros.

La heterogeneidad de los resultados destaca la importancia del análisis a nivel zonal. En general, los resultados del análisis muestran diferentes realidades territoriales y estacionales. De esta forma, se observa cómo, en el norte del país, hay una tendencia a contar con un mayor número de muertes causadas por el cambio climático durante todo el año. Mientras que, en la zona centro y centro sur, se observa un efecto estacional, en donde el aumento de las temperaturas en la temporada fría permitiría evitar una fracción de las muertes. Por su parte, la zona sur y austral tendría un efecto menor en las temporadas cálida e intermedia, mientras que en la temporada fría se apreciaría una reducción de las muertes por menor frío. Al respecto, cabe destacar que la variación en la mortalidad estimada no considera otras consecuencias del cambio climático sobre la salud, las que son abordadas de forma cualitativa por el presente Estudio.

Otro aspecto relevante es que, si bien en este Estudio se presentan resultados netos, estos se estiman como la suma de los resultados de aumento de mortalidad por olas de calor y temperaturas y la reducción de mortalidad por menor frío. Esta es una consideración relevante, puesto que no es necesariamente la misma población la que se ve afectada por las olas de calor y las temperaturas altas que aquella que se ve beneficiada por temperaturas bajas. De esta forma, sería relevante profundizar en estudios futuros sobre la diferenciación de ambos efectos.



6

REFE- RENCIAS

ADAPT Chile, & Municipalidad de Santiago. (2015). *Plan Local de Cambio Climático Comuna de Santiago*.

Albrecht, G. (2011). *Chronic Environmental Change: Emerging 'Psychoterratic' Syndromes*. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9742-5_3.

Anderson, C. A. (2001). Heat and violence. *Current Directions in Psychological Science*. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.00109>.

Aravena, H. I. R., & Opazo, D. (2017). Ondas e islas de calor registrados en Santiago de Chile en enero de 2017. In *Os Desafíos da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento*. <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2454>.

Baccini, M., Biggeri, A., Accetta, G., Kosatsky, T., Katsouyanni, K., Analitis, A., ... Michelozzi, P. (2008). Heat effects on mortality in 15 European cities. *Epidemiology*, *19*(5), 711–719. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e318176bfcd>.

Barnett, A. G., Tong, S., & Clements, A. C. A. (2010). What measure of temperature is the best predictor of mortality?

Environmental Research, *110*(6), 604–611. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2010.05.006>.

Barreca, A., Clay, K., Deschenes, O., Greenstone, M., & Shapiro, J. S. (2016). Adapting to climate change: The remarkable decline in the US temperature-mortality relationship over the Twentieth Century. *Journal of Political Economy*, *124*(1), 105–159. <https://doi.org/10.1086/684582>.

Beggs, P. J. (2010). *Adaptation to Impacts of Climate Change on Aeroallergens and Allergic Respiratory Diseases*. 3006–3021. <https://doi.org/10.3390/ijerph7083006>.

Bélanger, M., Gray-Donald, K., O'loughlin, J., Paradis, G., & Hanley, J. (2009). Influence of Weather Conditions and Season on Physical Activity in Adolescents. *Annals of Epidemiology*. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2008.12.008>.

Bell, M. L., O'Neill, M. S., Ranjit, N., Borja-Aburto, V. H., Cifuentes, L. A., & Gouveia, N. C. (2008). *Vulnerability to heat-related mortality in Latin America: A case-crossover study in São Paulo, Brazil, Santiago, Chile and Mexico City, Mexico*.



- International Journal of Epidemiology, 37(4), 796–804. <https://doi.org/10.1093/ije/dyn094>
- Booth, S., & Zeller, D. (2005). Mercury, food webs, and marine mammals: Implications of diet and climate change for human health. *Environmental Health Perspectives*. <https://doi.org/10.1289/ehp.7603>.
- Braga, A. L. F., Saldiva, P. H. N., Pereira, L. A. A., Menezes, J. J. C., Conceição, G. M. S., Lin, C. A., ... Dockery, D. W. (2001). Health effects of air pollution exposure on children and adolescents in São Paulo, Brazil. *Pediatric Pulmonology*. [https://doi.org/10.1002/1099-0496\(200102\)31:2<106::AID-PPUL1017>3.0.CO;2-M](https://doi.org/10.1002/1099-0496(200102)31:2<106::AID-PPUL1017>3.0.CO;2-M).
- Budnik, L. T., & Casteleyn, L. (2019). Mercury pollution in modern times and its socio-medical consequences. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.408>.
- Campbell, S., Remenyi, T. A., White, C. J., & Johnston, F. H. (2018). Heatwave and health impact research: A global review. *Health and Place*. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2018.08.017>
- Chen, H., Wang, J., Li, Q., Yagouti, A., Lavigne, E., Foty, R., ... Copes, R. (2016). Assessment of the effect of cold and hot temperatures on mortality in Ontario, Canada: a population-based study. *CMAJ Open*, 4(1), E48–E58. <https://doi.org/10.9778/cmajo.20150111>.
- Chen, R., Yin, P., Wang, L., Liu, C., Niu, Y., Wang, W., ... Zhou, M. (2018). Association between ambient temperature and mortality risk and burden: Time series study in 272 main Chinese cities. *BMJ (Online)*, 363. <https://doi.org/10.1136/bmj.k4306>
- Chung, Y., Noh, H., Honda, Y., Hashizume, M., Bell, M. L., Guo, Y. L. L., & Kim, H. (2017). Temporal Changes in Mortality Related to Extreme Temperatures for 15 Cities in Northeast Asia: Adaptation to Heat and Maladaptation to Cold. *American Journal of Epidemiology*. <https://doi.org/10.1093/aje/kww199>
- Cianconi, P., Betrò, S., & Janiri, L. (2020). The Impact of Climate Change on Mental Health: A Systematic Descriptive Review. *Frontiers in Psychiatry*. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2020.00074>
- Comisión Marea Roja y MINECON. (2016). *Informe Final* (p. 64). p. 64. Retrieved from http://www.subpesca.cl/portal/616/articles-95146_documento.pdf
- Cortes, S., & Fortt, A. (2007). Mercury content in Chilean fish and estimated intake levels. *Food Additives and Contaminants*. <https://doi.org/10.1080/02652030701278362>
- CR2. (2015). *Informe a la Nación. La megasecuía 2010-2015: Una lección para el futuro* (p. 26). p. 26. <https://doi.org/10.1021/acs.joc.5b00380>.
- Dessai, S. (2003). Heat stress and mortality in Lisbon Part II. An assessment of the potential impacts of climate change. *International Journal of Biometeorology*, 48(1), 37–44. <https://doi.org/10.1007/s00484-003-0180-4>.
- Ebi, K. L., Mills, D. M., Smith, J. B., & Grambsch, A. (2006). Climate change and human health impacts in the United States: An update on the results of the U.S. National Assessment. *Environmental Health Perspectives*, 114(9), 1318–1324. <https://doi.org/10.1289/ehp.8880>.
- FAO. (2005). *Biotoxinas Marinas*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-y5486s.pdf>.
- Fouillet, A., Rey, G., Wagner, V., Laaidi, K., Empereur-Bissonnet, P., Le Tertre, A., ... Hémon, D. (2008). Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *International Journal of Epidemiology*, 37(2), 309–317. <https://doi.org/10.1093/ije/dym253>.
- Garibay, M., & Bifani-richard, P. (2012). *Cambio Climáticodesafío para la naturaleza humana*.
- Gasparini, A., Armstrong, B., & Kenward, M. G. (2010). Distributed lag non-linear models. *Statistics in Medicine*, 29(21), 2224–2234. <https://doi.org/10.1002/sim.3940>.



- Gasparrini, A., Guo, Y., & Hashizume, M. (2015). Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *Lancet*, *386*, 369–375. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0).
- Gasparrini, Antonio, & Armstrong, B. (2011). The impact of heat waves on mortality. *Epidemiology*, *22*(1), 68–73. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e3181fdcd99>.
- Giordano, M., Beardall, J., & Raven, J. A. (2005). CO2 concentrating mechanisms in algae: Mechanisms, environmental modulation, and evolution. *Annual Review of Plant Biology*. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant.56.032604.144052>.
- Gobler, C. J. (2020). Climate Change and Harmful Algal Blooms: Insights and perspective. *Harmful Algae*, *91*(December 2019), 101731. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.101731>.
- Gramsch, E., Cereceda-Balic, F., & Oyola, P. (2006). Examination of pollution trends in Santiago de Chile with cluster analysis of PM10 and Ozone data. *Atmospheric Environment*, *40*(28), 5464–5475.
- GreenLabUC. (2012). *Identificación de Impactos, Evaluación de Vulnerabilidad del Sector Salud frente al Cambio Climático y Propuestas para la Adaptación*.
- GreenLabUC. (2014). *Elaboración de Propuesta de un Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático para el sector Salud*.
- Guo, Y., Gasparrini, A., Armstrong, B. G., Tawatsupa, B., Tobias, A., Lavigne, E., ... Tong, S. (2017). Heat wave and mortality: A multicountry, multicomunity study. *Environmental Health Perspectives*, *125*(8), 1–11. <https://doi.org/10.1289/EHP1026>.
- Guo, Y., Gasparrini, A., Armstrong, B., Li, S., Tawatsupa, B., Tobias, A., ... Williams, G. (2014). Global variation in the effects of ambient temperature on mortality: A systematic evaluation. *Epidemiology*, *25*(6), 781–789. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000165>.
- Guo, Y., Gasparrini, A., Li, S., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A. M., de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, M., ... Tong, S. (2018). Quantifying excess deaths related to heatwaves under climate change scenarios: A multicountry time series modelling study. *PLoS Medicine*, *15*(7), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002629>.
- Guo, Y., Punnasiri, K., & Tong, S. (2012a). Effects of temperature on mortality in Chiang Mai city, Thailand: A time series study. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, *11*(1), 1. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-11-36>.
- Hajat, A., Hsia, C., & O'Neill, M. S. (2015). Socioeconomic Disparities and Air Pollution Exposure: a Global Review. *Current Environmental Health Reports*. <https://doi.org/10.1007/s40572-015-0069-5>.
- Hales, S., Salmond, C., Town, G. I., Kjellstrom, T., & Woodward, A. (2000). Daily mortality in relation to weather and air pollution in Christchurch, New Zealand. *Aust NZ J Public Health*, *24*(1), 89–91. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/htbin-post/Entrez/query?db=m&form=6&dopt=r&uid=10777987>.
- Hayes, K., Blashki, G., Wiseman, J., Burke, S., & Reifels, L. (2018). Climate change and mental health: Risks, impacts and priority actions. *International Journal of Mental Health Systems*. <https://doi.org/10.1186/s13033-018-0210-6>.
- Ho, H. C., Knudby, A., Walker, B. B., & Henderson, S. B. (2017). Delineation of spatial variability in the temperature-mortality relationship on extremely hot days in greater Vancouver, Canada. *Environmental Health Perspectives*. <https://doi.org/10.1289/EHP224>.
- Honda, Y., Kondo, M., McGregor, G., Kim, H., Guo, Y. L., Hijioka, Y., ... Kovats, R. S. (2014). Heat-related mortality risk model for climate change impact projection. *Environmental Health and Preventive Medicine*, *19*(1), 56–63. <https://doi.org/10.1007/s12199-013-0354-6>.
- Hurtado-Díaz, M., Cruz, J. C., Texcalac-Sangrador, J. L., Félix-Arellano, E. E., Gutiérrez-Ávila, I., Briseño-Pérez, A. A., ... Riojas-Rodríguez, H. (2019). Short-term effects of



- ambient temperature on non-external and cardiovascular mortality among older adults of metropolitan areas of Mexico. *International Journal of Biometeorology*. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01778-y>.
- IPCC. (2014). Chapter 11. *Human Health: Impacts, Adaptation, and Co-benefits*. (October 2013).
- IPCC. (2019). Special Report: The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. *Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Kim, Y., Kim, H., Gasparrini, A., Armstrong, B., Honda, Y., Chung, Y., ... Hashizume, M. (2019). Suicide and ambient temperature: A multi-country multi-city study. *Environmental Health Perspectives*, 127(11), 1–10. <https://doi.org/10.1289/EHP4898>.
- Knowlton, K., Lynn, B., Goldberg, R. A., Rosenzweig, C., Hogue, C., Rosenthal, J. K., & Kinney, P. L. (2007). Projecting heat-related mortality impacts under a changing climate in the New York City region. *American Journal of Public Health*, 97(11), 2028–2034. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2006.102947>.
- Krock, B., Seguel, C. G., & Cembella, A. D. (2007). Toxin profile of *Alexandrium catenella* from the Chilean coast as determined by liquid chromatography with fluorescence detection and liquid chromatography coupled with tandem mass spectrometry. *Harmful Algae*. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2007.02.005>.
- León-Munõz, J., Urbina, M. A., Garreaud, R., & Iriarte, J. L. (2018). Hydroclimatic conditions trigger record harmful algal bloom in western Patagonia (summer 2016). *Scientific Reports*, 8(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19461-4>.
- Lo Iacono, G., Armstrong, B., Fleming, L. E., Elson, R., Kovats, S., Vardoulakis, S., & Nichols, G. L. (2017). Challenges in developing methods for quantifying the effects of weather and climate on water-associated diseases: A systematic review. *PLoS Neglected Tropical Diseases*. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0005659>.
- Main, C. R., Salvitti, L. R., Whereat, E. B., & Coyne, K. J. (2015). Community-Level and species-specific associations between phytoplankton and particle-associated *Vibrio* species in Delaware's inland bays. *Applied and Environmental Microbiology*. <https://doi.org/10.1128/AEM.00580-15>.
- Maria Pia, G., Cabella, R., & Gherardi, M. (2016). Climate change: the potential impact on occupational exposure to pesticides. *Ann Ist Super Sanità*, 47(4), 363–372. <https://doi.org/10.4415/ANN>.
- McMichael, A. J., Wilkinson, P., Kovats, R. S., Pattenden, S., Hajat, S., Armstrong, B., ... Nikiforov, B. (2008). International study of temperature, heat and urban mortality: The "ISOTHURM" project. *International Journal of Epidemiology*, 37(5), 1121–1131. <https://doi.org/10.1093/ije/dyn086>.
- Medina, Á., González-Jartín, J. M., & Sainz, M. J. (2017). Impact of global warming on mycotoxins. *Current Opinion in Food Science*. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.11.009>.
- Mees, H. L. P., Driessen, P. P. J., & Runhaar, H. A. C. (2015). "Cool" governance of a "hot" climate issue: public and private responsibilities for the protection of vulnerable citizens against extreme heat. *Regional Environmental Change*, 15(6), 1065–1079. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0681-1>.
- Ministerio de Salud. (2016). Previene Intoxicaciones por Marea Roja. Retrieved from <https://www.minsal.cl/previene-intoxicaciones-por-marea-roja/>.
- MINSAL, & MMA. (2017). *Plan de Adaptación al Cambio Climático del Sector Salud*. Retrieved from <https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/02/Plan-de-Adaptacion-al-CC-para-Salud-Version-Final.pdf>.
- Ministerio de Agricultura. (2017). *Ficha de Peligro - Vibrio parahaemolyticus*. Retrieved from <https://www.achipia.gob.cl/wp-content/uploads/2018/03/Ficha-Peligro-08-Vibrio-parah-v01.pdf>.
- Nicolay, M., Brown, L. M., Johns, R., & Ialynytchev, A. (2016). A study of heat related illness preparedness in homeless



- veterans. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 18, 72–74. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.05.009>.
- ODEPA. (2013). *Cambio Climático Impacto en la Agricultura Heladas y Sequías*.
- OMS. (2003). Índice UV Solar Mundial. Oms, Vol. 29, p. 31. Retrieved from <http://www.who.int/uv%0Ahttp://www.who.int/uv/publications/en/uvispa.pdf>.
- Paller, A. S., Hawk, J. L. M., Honig, P., Giam, Y. C., Hoath, S., Mack, M. C., & Stamatias, G. N. (2011). New insights about infant and toddler skin: Implications for sun protection. *Pediatrics*. <https://doi.org/10.1542/peds.2010-1079>.
- Patel, D., Jian, L., Xiao, J., Jansz, J., Yun, G., & Robertson, A. (2019). Joint effect of heatwaves and air quality on emergency department attendances for vulnerable population in Perth, Western Australia, 2006 to 2015. *Environmental Research*, 174(March), 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.04.013>.
- Petkova, E. P., Ebi, K. L., Culp, D., & Redlener, I. (2015). Climate change and health on the U.S. Gulf Coast: Public health adaptation is needed to address future risks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. <https://doi.org/10.3390/ijerph120809342>.
- Ragan, P., Schulte, J., Nelson, S. J., & Jones, K. T. (2008). Mortality surveillance: 2004 to 2005 florida hurricane-related deaths. *American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 29(2), 148–153. <https://doi.org/10.1097/PAF.0b013e318175dd5e>.
- Runkle, J. D., Cui, C., Fuhrmann, C., Stevens, S., Del Pinal, J., & Sugg, M. M. (2019). Evaluation of wearable sensors for physiologic monitoring of individually experienced temperatures in outdoor workers in southeastern U.S. *Environment International*. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.05.026>.
- Schmier, J. K., & Ebi, K. L. (2009). The impact of climate change and aeroallergens on children's health. *Allergy and Asthma Proceedings*, 30(3), 229–237. <https://doi.org/10.2500/aap.2009.30.3229>.
- Stathopoulou, E., Mihalakakou, G., Santamouris, M., & Baggiorgas, H. S. (2008). On the impact of temperature on tropospheric Ozone concentration levels in urban environments. *Journal of Earth System Science*. <https://doi.org/10.1007/s12040-008-0027-9>.
- Stillman, J. H. (2019). Heat waves, the new normal: Summertime temperature extremes will impact animals, ecosystems, and human communities. *Physiology*. <https://doi.org/10.1152/physiol.00040.2018>
- Su, Y. C., & Liu, C. (2007). *Vibrio parahaemolyticus*: A concern of seafood safety. *Food Microbiology*. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2007.01.005>.
- Tong, S., Ren, C., & Becker, N. (2010). Excess deaths during the 2004 heatwave in Brisbane, Australia. *International Journal of Biometeorology*, 54(4), 393–400. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0290-8>.
- Toro, A. R., Córdova, J. A., Canales, M., Morales, S. R. G. E., Mardones, P. P., & Leiva, G. M. A. (2015). Trends and threshold exceedances analysis of airborne pollen concentrations in Metropolitan Santiago Chile. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123077>.
- Trasande, L., Landrigan, P. J., & Schechter, C. (2005). Public health and economic consequences of methyl mercury toxicity to the developing brain. *Environmental Health Perspectives*. <https://doi.org/10.1289/ehp.7743>.
- Voorhees, A. S., Fann, N., Fulcher, C., Dolwick, P., Hubbell, B., Bierwagen, B., & Morefield, P. (2011). Climate change-related temperature impacts on warm season heat mortality: A proof-of-concept methodology using BenMAP. *Environmental Science and Technology*, 45(4), 1450–1457. <https://doi.org/10.1021/es102820y>.
- WHO. (2014). *Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s*. Retrieved from <http://www.who.int/globalchange/publications/quantitative-risk-assessment/en/>.



WHO, & UNCCD. (2000). *The Health Impacts of Desertification and Drought. UNCCD Down to Earth Newsletter*. Retrieved from http://catalogue.unccd.int/1464_UNCCD_newsletter_health_impacts_desertification_2000.pdf.

WHO WMO. (2012). Atlas of health and climate change. In *Health and Environment Series*.

Yu, X., Lei, X., & Wang, M. (2019). Temperature effects on mortality and household adaptation: Evidence from China. *Journal of Environmental Economics and Management*, 96, 195–212. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2019.05.004>.

Zanobetti, A., & Schwartz, J. (2008). Temperature and mortality in nine US cities. *Epidemiology*, 19(4), 563–570. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e31816d652d>

Zhang, Y., Gao, Z., Pan, Z., Li, D., & Huang, X. (2017). Spatiotemporal variability of extreme temperature frequency and amplitude in China. *Atmospheric Research*, 185, 131–141. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.10.018>.

Soto, León-Muñoz, Molinet, Soria-Galvarro, Videla, Opazo, Díaz, Tapia & Segura (2020) Informe Proyecto ARCLim, Equipo de Acuicultura. Puerto Montt, Chile.

Urquiza, Billi, Amigo, Calvo, R, Álamos, Labraña, Nevea, Monsalve, Neira, Prieto, Fleishmann, Arrieta, Allendes, Vargas, Salinas, Palacios, Barrera, Horta, Peña, Cárdenas, Plass, Oyarzún & Basolato (2020) Informe Proyecto ARCLim, Equipo de Asentamientos Humanos. Santiago, Chile.

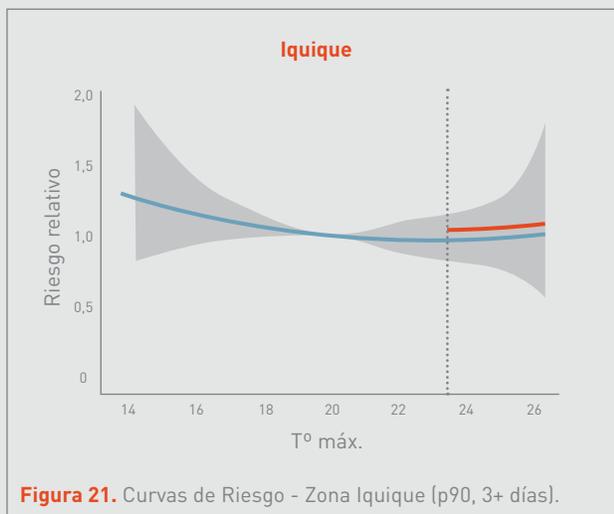




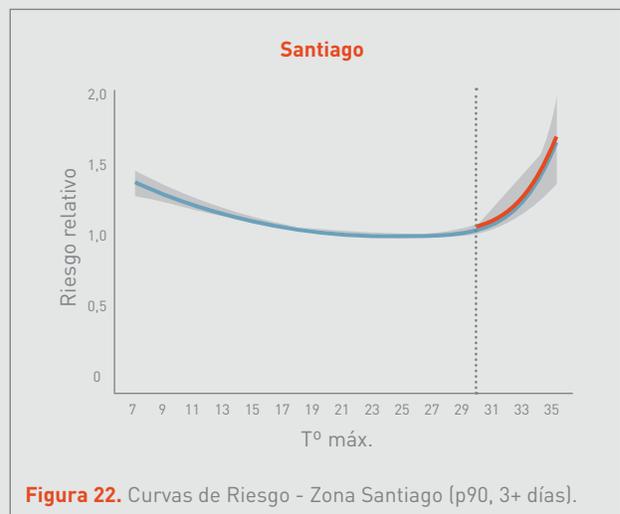
7 ANEXOS

7.1 CURVAS DE RIESGO PARA CIUDADES SELECCIONADAS, DEFINICIÓN DMC

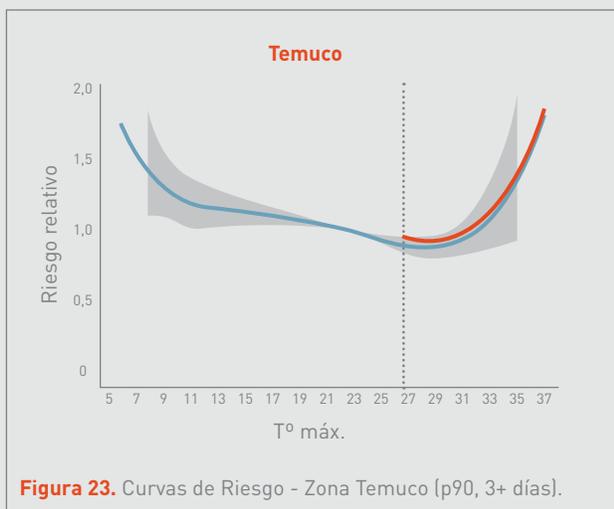
Las siguientes figuras muestran las curvas de Riesgo para cuatro ciudades seleccionadas, cuando se usa la definición de olas de calor.



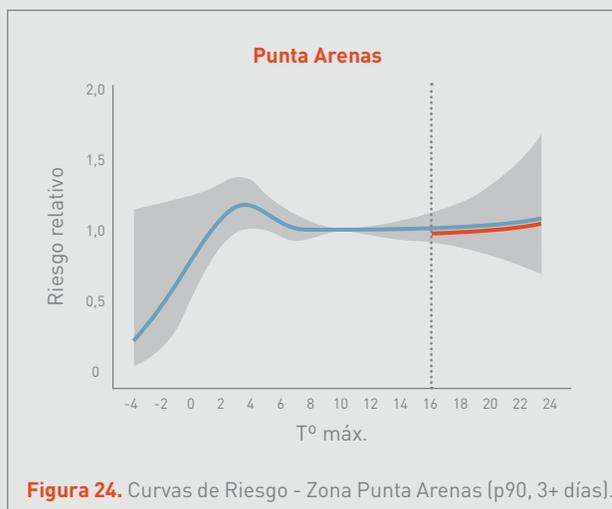
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.



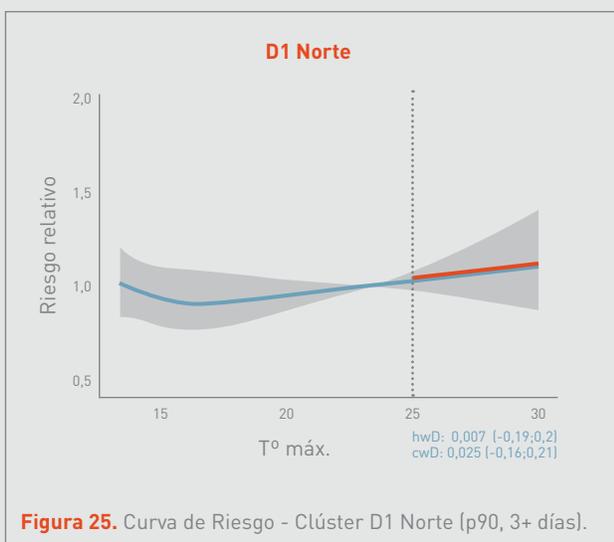
Fuente: Elaboración propia.



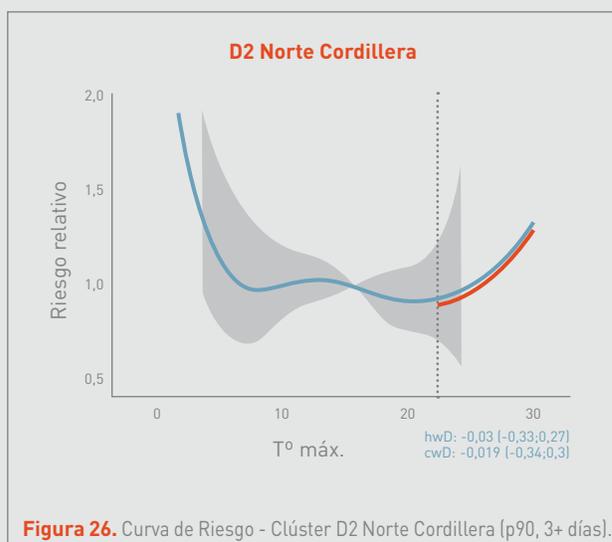
Fuente: Elaboración propia.

7.2 CURVAS DE RIESGO PARA CADA CLÚSTER, DEFINICIÓN DMC

Las siguientes figuras muestran las curvas de Riesgo para los *clústers* cuando se usa la definición de olas de calor.



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

