

“Nuevas consecuencias del cambio climático en salud”

Informe Final

11 de Abril de 2022

Preparado para:



Foreign, Commonwealth
& Development Office

Preparado por:



Centro UC
Cambio Global

Con el apoyo de:



dictuc

Autores

Jefa de Proyecto	Luis Abdón Cifuentes (CCG-UC)
Coordinador Proyecto	Cristian Salas (CCG-UC)
Ingeniero de Proyecto	José Miguel Valdés (DICTUC-UC)
Ingeniero de Proyecto	Alejandro Bañados (DICTUC-UC)

El presente informe se entrega en cumplimiento del convenio suscrito entre The Government of the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland actuando a través de su Foreign, Commonwealth & Development Office ("FCDO"), BUPA Chile, Microsoft Chile y el Centro de Cambio Global UC de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Índice de contenidos

Índice de contenidos	2
Índice de figuras	3
Índice de tablas	3
1. INTRODUCCIÓN	4
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Estudios a nivel internacional	5
2.2. Estudios en Chile	6
3. DATOS	8
3.1. Extracción de datos	8
3.2. Descripción de los registros médicos	8
3.3. Temperatura de exposición.....	12
4. METODOLOGÍA	14
5. RESULTADOS	16
6. DISCUSIÓN	21
6.1. Limitaciones	21
6.2. Recomendaciones	21
7. CONCLUSIONES	22
8. REFERENCIAS	23

Índice de figuras

Figura 2-1 Ejemplo de asociación entre temperatura máxima y riesgo relativo	5
Figura 2-2 Ejemplo de dosis-respuesta y rezago respuesta	6
Figura 2-3 Morbilidad, causas cardiovasculares, adultos mayores (65+)	7
Figura 3-1 Proceso de extracción de datos.....	8
Figura 3-2 Número de visitas por semana y causa.....	9
Figura 3-3 Histograma de número de visitas por causa circulatoria por paciente	10
Figura 3-4 Histograma de días entre visitas	11
Figura 3-5 Histograma de días entre visitas excluyendo visitas de control.....	12
Figura 3-6 Temperatura mínima, media y máxima diaria en la estación Quinta Normal	13
Figura 5-1 Funciones de exposición-respuesta estimadas para la temperatura mínima, media y máxima diaria	17
Figura 5-2 Funciones de exposición-respuesta estimadas para la temperatura mínima, media y máxima diaria sin incluir las visitas de control	19
Figura 5-3 Funciones de exposición-respuesta estimadas para temperatura mínima, media y máxima diarias excluyendo visitas de control y control por contaminación	20

Índice de tablas

Tabla 3-1 Número de visitas por año, causa y tipo	9
Tabla 3-2 Número de pacientes por edad y sexo.....	10

1. INTRODUCCIÓN

Con la información actualmente disponible, es posible estimar algunas amenazas derivadas del cambio climático. En Chile existe un Atlas de Riesgos Climáticos (ARClím) que modela estas amenazas en varios escenarios de aumento de temperatura, con proyecciones hasta el 2070, con el objetivo de desarrollar un conjunto de mapas de riesgos relacionados al cambio climático utilizando un marco conceptual común y una base de datos consistente. El ARClím incluye diversos sectores con cobertura nacional y detalle comunal, convirtiéndose así en una importante herramienta para el diseño de políticas públicas e implementación de medidas de adaptación. Sin embargo, la asociación entre la exposición a la temperatura y su respuesta en salud se estimó utilizando datos anonimizados, lo que impidió el estudio de múltiples eventos para los mismos pacientes o comorbilidades que pueden hacerlos más vulnerables a los efectos de la temperatura.

Los registros médicos de BUPA Chile constituyen una nueva fuente de información que actualmente no es recogida por las estadísticas oficiales. Estos nuevos datos pueden relacionar las múltiples ocurrencias de efectos sobre una misma persona en diferentes momentos del tiempo y el impacto de sus posibles comorbilidades. Además de las visitas a urgencias y hospitalizaciones, los datos de BUPA incluyen visitas ambulatorias, lo que no ha sido utilizado previamente en Chile en búsqueda de evidencia sobre los efectos del cambio climático en la salud.

La información que produzca este estudio informará las políticas públicas de las instituciones asociadas al cambio climático en Chile, específicamente el Ministerio de Salud, quien lidera este apartado de la Estrategia Climática de Largo Plazo, y que define los principales lineamientos para enfrentar el cambio climático en Chile durante los próximos 30 años. Por otro lado, brindará información a la población para concientizarla sobre esta realidad.

Los propósitos específicos de este informe son los siguientes. En primer lugar, este estudio intenta actualizar la revisión bibliográfica de investigaciones sobre la asociación entre morbilidad/mortalidad y uno de los efectos más relevantes del cambio climático: la temperatura. En segundo lugar, se describe una muestra de pacientes y sus historias clínicas extraídas de la base de datos de BUPA Chile. Finalmente, se intenta investigar las asociaciones entre estas visitas ambulatorias y diferentes indicadores de temperatura. La revisión de la literatura y el análisis descriptivo se encuentran en las secciones 2 y 3. Por su parte, la metodología, los resultados y las limitaciones para la asociación exposición-respuesta se encuentran en las secciones 4, 5 y 6, respectivamente.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Estudios a nivel internacional

El impacto del cambio climático en salud más ampliamente estudiado y reportado en la literatura científica corresponde al efecto del cambio de la temperatura media en la mortalidad y morbilidad. Para cuantificar este efecto se utilizan curvas de exposición-respuesta entre la temperatura y el riesgo relativo de mortalidad/morbilidad. Estas curvas representan el aumento de muertes o atenciones asociados a un aumento de temperatura específico (ver Figura 2-1).

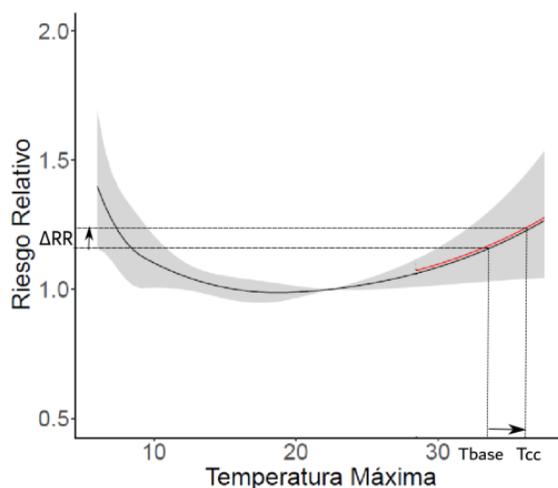


Figura 2-1 Ejemplo de asociación entre temperatura máxima y riesgo relativo
Fuente: Elaboración propia.

La metodología para calcular estas curvas consiste en ajustar un modelo a datos reales de mortalidad/morbilidad, temperatura y otras variables confundentes. Dado que la temperatura no solo tiene efectos durante el día de exposición, sino también en los días siguientes al día de exposición (efecto con rezago), y sumado a que esa asociación no necesariamente es lineal, A. Gasparrini, Armstrong, & Kenward (2010) propusieron el uso de modelos distribuidos de retardo no lineales (DLNM, sigla en inglés) con parámetros seleccionados considerando pruebas de bondad de ajuste. Este tipo de modelos permite combinar las funciones que definen la relación dosis-respuesta y la relación rezago-respuesta (ver Figura 2-2), donde la acumulación de efectos retardado permite encontrar un curva dosis-respuesta total. Desde su presentación, se ha convertido en el modelo más utilizados en estudios epidemiológicos que relacionan temperatura y salud (Bhaskaran et al., 2010; Chen et al., 2018a; Guo et al., 2018; Honda et al., 2014; Hurtado-Díaz et al., 2019; Lin et al., 2012, 2009; Voorhees et al., 2011; WHO, 2014).

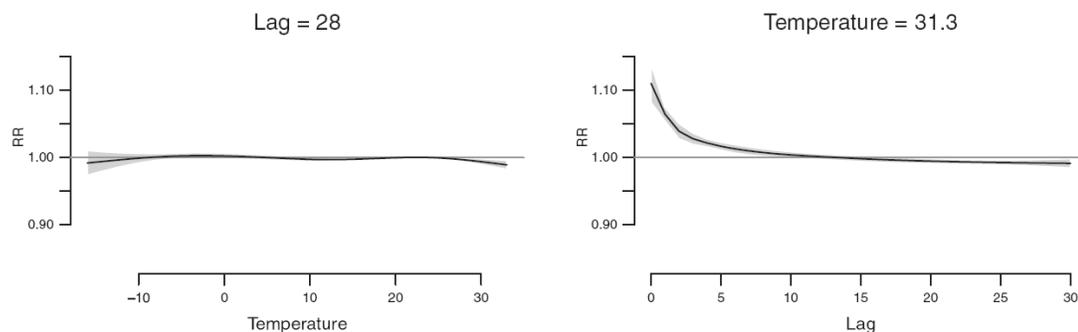


Figura 2-2 Ejemplo de dosis-respuesta y rezago respuesta
Fuente: (A. Gasparini, Armstrong, & Kenward, 2010)

Los resultados de estos estudios han demostrado efectos diferentes entre altas y bajas temperaturas. Las altas temperaturas generan un efecto agudo no-lineal, a diferencia de las bajas temperaturas que aumentan el riesgo relativo de manera paulatina y lineal a medida que las temperaturas bajas son más extremas (A. Gasparini, Guo, & Hashizume, 2015). Respecto de los rezagos también existen diferencias, mientras las altas temperaturas presentan su mayor impacto en los días inmediatamente siguientes a la exposición, los efectos del frío aparecen con retraso y pueden aparecer hasta más de 10 días posteriores al evento (Chen et al., 2018; Guo et al., 2014).

El efecto de las olas de calor también ha sido estudiado y sí se ha encontrado que hay un efecto adicional por la persistencia de días con altas temperaturas, sin embargo, este efecto es relativamente menor al efecto acumulativo de temperaturas extremas de cada día (Antonio Gasparini & Armstrong, 2011). Esto implica que, en una ola de calor el efecto más relevante es producto de la temperatura alta de cada día y en menor medida por la persistencia de días.

Las causas de mortalidad y morbilidad más estudiadas son enfermedades cardiovasculares y respiratorias, pero también se han estudiado efectos específicos en infartos, diabetes, sistema digestivo, sistema genitourinario, sistema nervioso, como también en enfermedades transmisibles e infecciones (Green et al., 2019). Respecto de grupos vulnerables, algunos estudios que han desagregado los efectos por edad han encontrado que los niños y adultos mayores son especialmente vulnerables (Fu, Gasparini, Rodriguez, & Jha, 2018; Mrema, Shamte, Selemani, & Masanja, 2012). Al mismo tiempo, el nivel socioeconómico ha mostrado tener relevancia en la vulnerabilidad (Benmarhnia, Deguen, Kaufman, & Smargiassi, 2015; Hajat & Kosatky, 2010).

2.2. Estudios en Chile

Recientemente, se han realizado en Chile dos estudios que cuantifican el impacto de la temperatura en la mortalidad y la morbilidad. El primero corresponde al análisis realizado en el marco de Atlas de Riesgo Climático (ARClm), proyecto desarrollado para el Ministerio de Medio Ambiente que contó con un enfoque sectorial para el desarrollo de cadenas de riesgo frente al cambio climático. Particularmente en el sector Salud (Cifuentes, Quiroga, Valdes, & Cabrera, 2020), se desarrollaron indicadores cuantitativos relativos al aumento de mortalidad prematura debido al incremento de las temperaturas diarias medidas y a las

olas de calor. Este utilizó el registro de defunciones hospitalarios que el Departamento de Estadística e Información de Salud (DEIS) del Ministerio de Salud.

El segundo estudio corresponde a la “Evaluación de los Costos de la Inacción Frente al Cambio Climático en Chile”, también realizado para el Ministerio de Medio Ambiente. En el sector salud, el equipo consultor realizó un análisis similar al anterior, con la novedad de incorporar el efecto en egresos hospitalarios (ver Figura 2-3). Esta última información también fue obtenida del Departamento de Estadística e Información de Salud (DEIS) del Ministerio de Salud, lo cual tiene la limitación de ser reportada de manera anonimizada, lo que impide conocer comorbilidades ni historiales de los o las hospitalizadas.

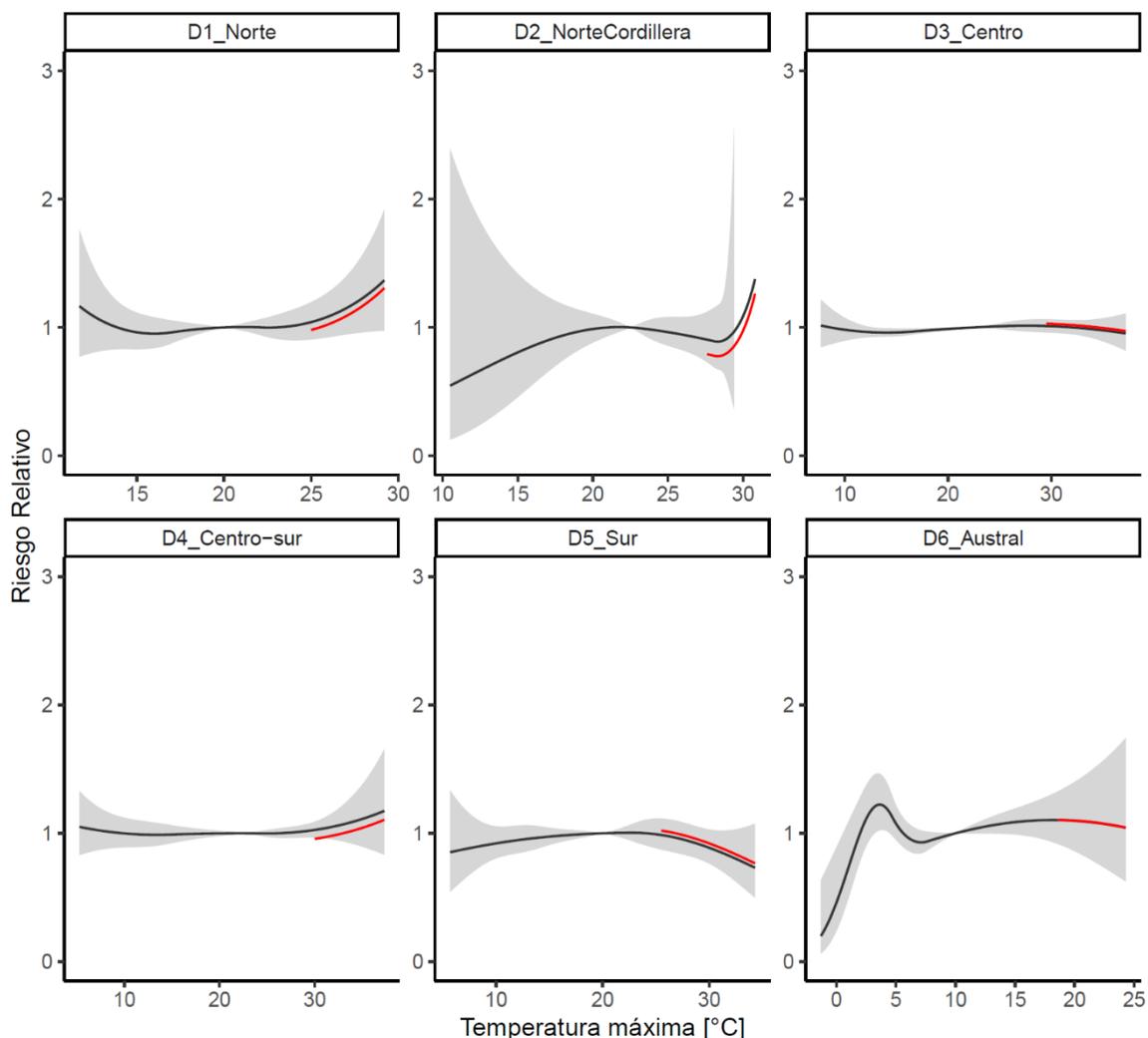


Figura 2-3 Morbilidad, causas cardiovasculares, adultos mayores (65+)
Fuente: Evaluación de los Costos de la Inacción Frente al Cambio Climático en Chile, Sector Salud, aún en proceso de publicación.

3. DATOS

3.1. Extracción de datos

Los datos para este estudio fueron proporcionados por BUPA Chile, los cuales incluyen visitas ambulatorias, visitas a urgencias y hospitalizaciones en sus centros médicos y clínicas. Dada la gran cantidad de datos disponibles en sus registros, solo fue posible extraer una muestra. Además, el algoritmo de extracción aún está en desarrollo, por lo que solo admite una extracción máxima de 1.000 pacientes por año histórico.

Dadas estas limitaciones, se seleccionó para el análisis un grupo conocido por ser más sensible a los cambios de temperatura. Este consiste en pacientes mayores de 65 años, diagnosticados con alguna enfermedad del sistema circulatorio (CIE-10 I00-I99). Además, debido a que BUPA tenía más información para Santiago, también se enfocó solo en los pacientes atendidos en los centros médicos de esta ciudad.

BUPA Chile extrajo casi 1.000 pacientes por año (seleccionados aleatoriamente) desde 2015 hasta 2021, lo que resultó en un total de 6.652 pacientes. De cada uno de estos pacientes se extrajo también la historia clínica completa, que incluía visitas entre 2012 y 2022. Esto suma un total de 161.105 visitas para el análisis. Es importante resaltar que, si bien los pacientes seleccionados tuvieron al menos una visita por causa circulatoria, el resto de la historia clínica incluye visitas por cualquier causa. El diagrama de la Figura 3-1 resume el proceso de extracción.



Figura 3-1 Proceso de extracción de datos
Fuente: Elaboración propia

3.2. Descripción de los registros médicos

El primer análisis que se puede hacer es ver la composición y evolución de las visitas, independientemente de a qué pacientes estén asociadas. En la Tabla 3-1 se muestra el número de visitas por año, causas (agregadas en circulatorias, respiratorias, otras, y no declaradas), y tipo de visitas (ambulatoria, urgencias o hospitalización). Vale la pena señalar que dado el método de muestreo (ver sección anterior) el total por año es más estable que el total de pacientes atendidos por BUPA, que ha aumentado más rápidamente. Se puede apreciar que alrededor de 2018 se inician las consultas de urgencias y hospitalizaciones, lo cual es consistente con la apertura de la Clínica BUPA en Santiago. Esto significa que, con esta cantidad de observaciones, no se puede hacer un análisis donde los ingresos hospitalarios se expliquen por visitas previas menos graves (como visitas ambulatorias). Sumado a lo anterior, se aprecia una caída dramática de visitas en

2020, lo que es esperable dada la pandemia de COVID-19.

Tabla 3-1 Número de visitas por año, causa y tipo

Year	CIE10 I: circulatory			CIE10 J: respiratory			Not declared			Other CIE10			Grand Total
	Outpati..	Emerge..	Hospital	Outpati..	Emerge..	Hospital	Outpati..	Emerge..	Hospital	Outpati..	Emerge..	Hospital	
2012	1.859			1.016			86			7.588	1		10.550
2013	2.342			1.133			70			8.368	4		11.917
2014	2.669			1.239			143			9.501	2	4	13.558
2015	3.688			1.328	1		168			10.845	1	6	16.037
2016	3.769	2		1.592			174			11.960	4		17.501
2017	3.867			1.696			206			12.978	1		18.748
2018	3.959	1	30	1.724	3		184	1	6	13.716	17	71	19.712
2019	4.086	5	80	1.786	9	45	239	2	37	13.949	58	178	20.474
2020	2.861	6	122	543	3	59	140	3	37	10.022	48	386	14.230
2021	3.323	12	83	567	1	58	151	3	46	11.540	64	432	16.280
Grand Total	32.423	26	315	12.624	17	162	1.561	9	126	110.467	200	1.077	159.007

Fuente: Elaboración Propia.

Para comprender mejor la evolución y estacionalidad de las visitas, en la Figura 3-2 se muestra la serie temporal por causa. Al igual que en el cuadro anterior, se destaca la disminución de visitas a causa de la pandemia de 2020. También se pueden ver fuertes caídas en algunas semanas. La mayoría de estas caídas son en Navidad, Año Nuevo y una fiesta nacional popular (el 18 de septiembre, que tiene los valores más bajos del registro), pero también hay fuertes caídas en febrero, que es menos esperable. Este es un hallazgo interesante porque podría significar que una cantidad considerable de personas está saliendo de Santiago en fechas prolongadas, lo que sería problemático para algunos diseños de estudio. Por último, cabe señalar que las visitas de causa circulatoria muestran un comportamiento relativamente estable a lo largo del año, a diferencia de las visitas de causa respiratoria que aumentan en invierno.

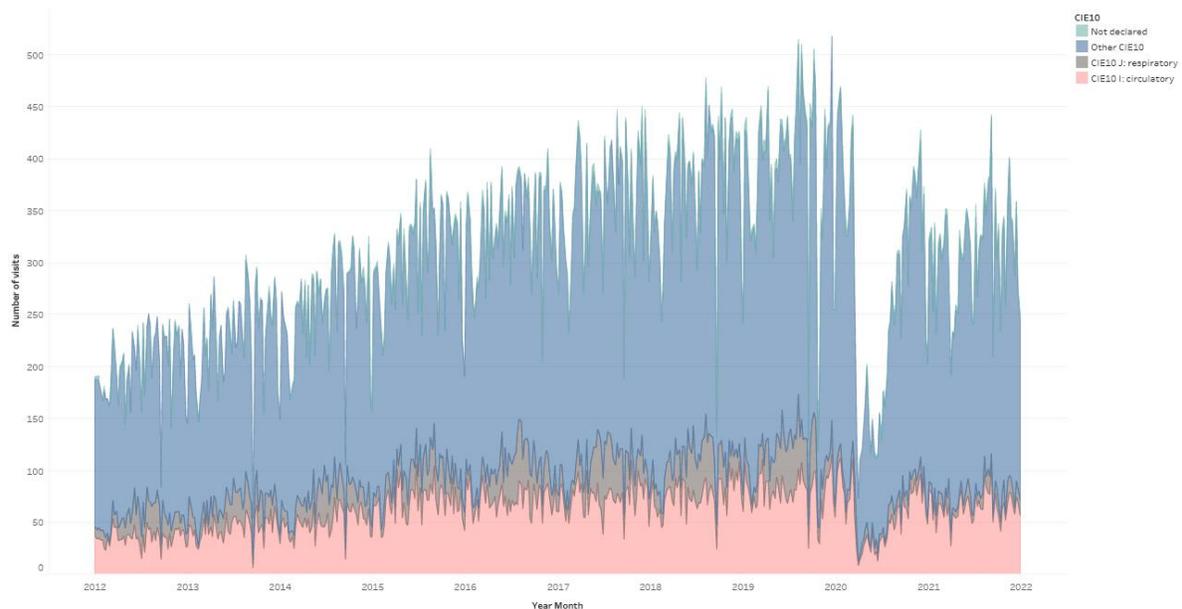


Figura 3-2 Número de visitas por semana y causa

Fuente: Elaboración Propia.

En cuanto al análisis a nivel de pacientes, la Tabla 3-2 muestra el número de pacientes por grupos de edad (en 2022) y sexo. Se puede observar que hay más pacientes de los grupos de edad más jóvenes. También se puede observar que hay más mujeres que hombres en nuestra muestra.

Tabla 3-2 Número de pacientes por edad y sexo

	Men	Women	Undefined	Grand Total
65-69	672	912	9	1.593
70-74	707	866	5	1.578
75-79	516	799	4	1.319
80-84	357	607	7	971
85-89	221	454	5	680
90-94	109	261	2	372
95+	45	94		139
Grand Total	2.627	3.993	32	6.652

Fuente: Elaboración Propia.

Analizando las visitas de los pacientes podemos observar diferentes comportamientos. La Figura 3-3 muestra un histograma del número de visitas por causa circulatoria por paciente. Se puede observar que la mayoría de los pacientes de la muestra presentan una sola visita en su historia clínica. Esto hace que estas observaciones no sean adecuadas para un diseño de estudio a nivel de sujetos.

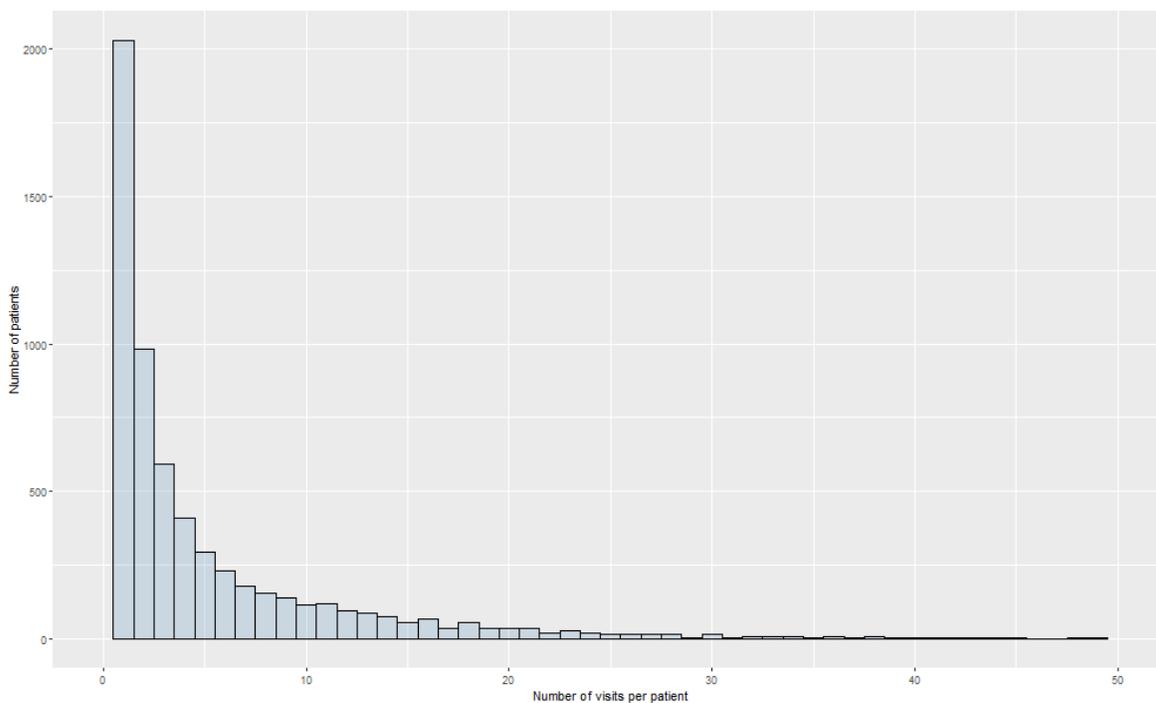


Figura 3-3 Histograma de número de visitas por causa circulatoria por paciente
Fuente: Elaboración Propia.

Continuando con la descripción, la Figura 3-4 muestra un histograma de los días entre visitas por causa circulatoria (para los pacientes con más de una visita), donde cada barra representa un mes. Destaca una densidad inusualmente alta para los 6 meses entre visitas. Esto podría deberse a que 6 meses es un tiempo común para las visitas de control. El problema de esto es que supondrá que muchas de las visitas observadas pueden estar programadas previamente y no tener relación alguna con la temperatura de exposición (dependencia entre visitas).

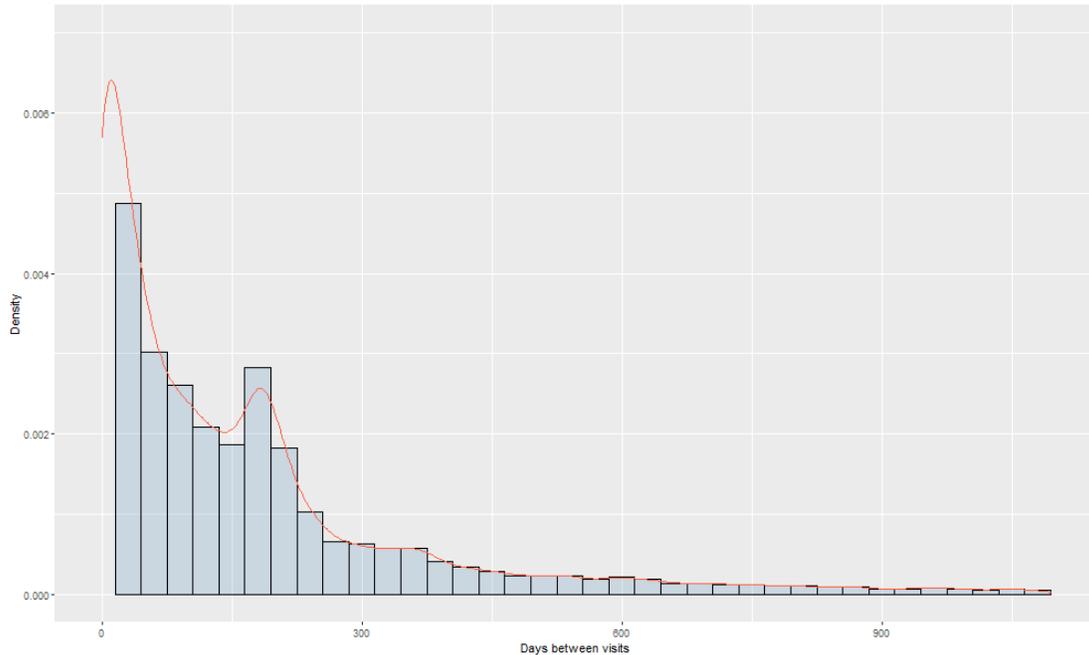


Figura 3-4 Histograma de días entre visitas
Fuente: Elaboración Propia.

Para abordar el problema explicado anteriormente, se filtraron las visitas que declararan explícitamente en el campo de texto libre de "Motivo de visita" que son controles¹. El histograma con este filtro se muestra en la Figura 3-5. Se puede observar que el *peak* de seis meses ha bajado su nivel, pero aún tiene mayor densidad que 5 y 7 meses. Esto podría significar que todavía hay visitas dependientes que no se han eliminado.

¹ Se eliminaron las observaciones que contienen las palabras "ntrol" y "NTROL", tratando de incluir faltas de ortografía.

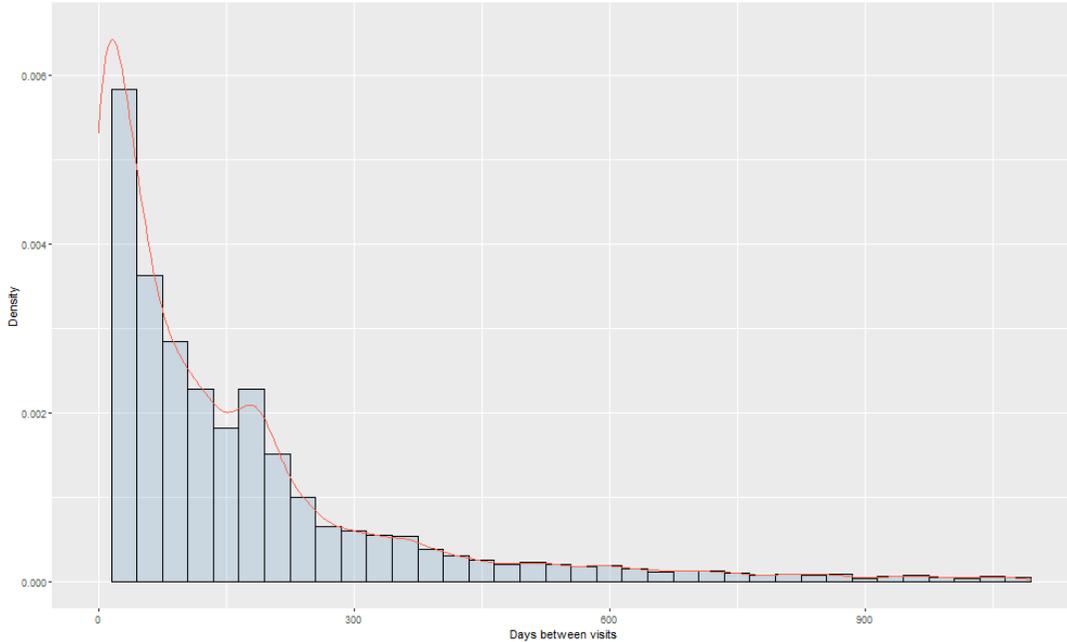


Figura 3-5 Histograma de días entre visitas excluyendo visitas de control
Fuente: Elaboración Propia.

3.3. Temperatura de exposición

Para representar la temperatura de exposición que sufre cada individuo, se utilizó la información de la estación Quinta Normal, disponible en la API de la Dirección Meteorológica de Chile (DMC). El uso de la misma estación para todos los pacientes se justifica por la inexistencia de comunas residenciales estandarizadas en los datos médicos y la completitud de los datos de temperatura en esa estación para todo el periodo de estudio.

La Figura 3-6 muestra la temperatura mínima, media y máxima diaria en la estación Quinta Normal. Se puede observar que tiene un comportamiento muy estacional, con un poco más de dispersión en temperatura máxima y mínima que la media diaria.

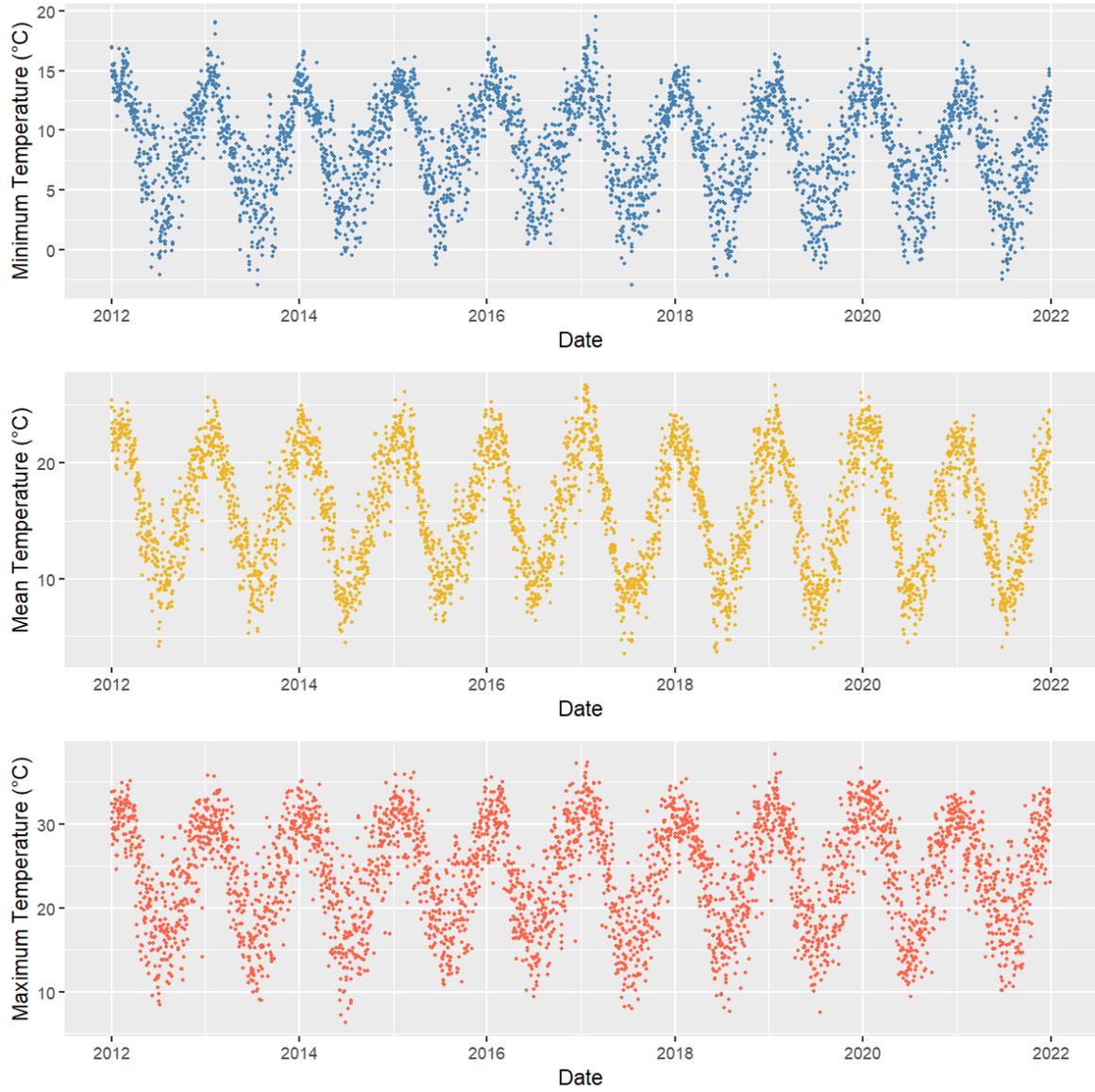


Figura 3-6 Temperatura mínima, media y máxima diaria en la estación Quinta Normal
Fuente: Elaboración Propia.

4. METODOLOGÍA

El diseño de estudio que se utilizó es el recientemente publicado "Case Time Series" (Antonio Gasparrini, 2021). Este diseño utiliza datos longitudinales que permiten controlar las variables que cambian con el tiempo, pero también las diferencias entre sujetos que persisten en el tiempo. Dados los datos disponibles, el diseño *case time series* es especialmente apropiado en comparación con otros diseños. La exposición frecuente a temperaturas extremas y su componente estacional es problemática cuando se definen períodos de control en un diseño de *case-crossover*. En segundo lugar, dado que la exposición a la temperatura es una variable continua, también es difícil utilizar *self-controlled case series*. Finalmente, agregar los datos para usar un diseño de series de tiempo (lo que hacen la mayoría de los estudios de temperatura-mortalidad/morbilidad) perdería información valiosa a nivel de sujeto y, por lo tanto, los beneficios de un diseño donde cada sujeto es su propio control.

El resultado de interés se definió como visitas (visitas ambulatorias, urgencias, y hospitalizaciones) por causas del sistema circulatorio (ICD-10 I00-I99). La exposición de interés se definió como la temperatura diaria máxima, media y mínima. La relación se modeló con una regresión logística con efectos fijos por paciente, utilizando un modelo distribuido de retardo no lineales (DLNM) para la temperatura. También se agregaron *splines* temporales e indicadores de día de la semana para controlar los no observables que varían en el tiempo. La especificación estimada fue la siguiente:

$$\ln\left(\frac{P(Y_{it} = 1|X_{it} = x)}{1 - P(Y_{it} = 1|X_{it} = x)}\right) = \alpha_i + \beta^T T_{it,l} + NS\left(\text{Fecha}, \frac{n}{\text{año}}\right) + DOW_t + \epsilon_{itl}$$

Ecuación 4-1 Regresión Logística

Donde,

- Y_t es una variable binaria que toma el valor de 1 si el día t el sujeto i registra una atención.
- β es el coeficiente de cada variable.
- $T_{it,l}$ es la "base cruzada" (*cross-basis*) de temperatura máxima en el día t y la distribución de su efecto en hasta l días pasado el evento².
- $NS(\text{Fecha}, n/\text{año})$ es la fecha suavizada por medio de una *spline* natural con n grados de libertad anuales.
- DOW_t es el día de la semana que corresponde al día t .
- t es un día en el periodo de estudio
- l días de rezago considerado: el evento climático en el día t tiene efectos en la salud hasta el día $t + l$

Usamos retrasos de hasta 14 y 21 días para evitar el *harvesting* (un aumento en las visitas que de todos modos habría ocurrido en los días siguientes). Las variables de control

² Para mayor detalle sobre la construcción de una base cruzada, revisar (A. Gasparrini et al., 2010)

como la humedad y la contaminación del aire no se incluyeron en los resultados principales. El primero porque su relevancia aún está en debate (Armstrong et al., 2019) y el segundo porque puede considerarse como un mediador del efecto de la temperatura en lugar de una variable confundente (Buckley, Samet, & Richardson, 2014). Tampoco se incluyó el efecto de persistencia en días de olas de calor. Esta decisión se justifica por el efecto nulo encontrado para Santiago en estudios previos, sumado a la dificultad de interpretación general³. Los análisis estadísticos se realizaron en R (Versión 4.1.2), utilizando los paquetes 'dlnm', 'gnm', 'lubridate', 'data.table', 'splines' y 'dplyr'.

³ Por lo general, solo hay un ligero efecto asociado a la variable binaria de la ola de calor. Esto puede malinterpretarse creyendo que las olas de calor tienen poco efecto. Esto es incorrecto porque el efecto principal de las olas de calor está asociado al riesgo acumulado de varios días de temperatura alta y no a la persistencia.

5. RESULTADOS

El resultado de la primera especificación estimada para los tres indicadores de temperatura se muestra en la Figura 5-1. En esta figura, en el lado izquierdo se muestra una Curva de Exposición-Respuesta Acumulada para cada tipo de temperatura y al lado derecho se muestra un gráfico de Exposición-Rezago-Respuesta. La primera curva es lo que normalmente se muestra como una curva de dosis-respuesta e incluye su intervalo de confianza del 95%. El resultado se muestra como Odds Ratio que representa la probabilidad adicional de tener una visita. Se llama acumulativo porque suma el efecto de cada rezago. El segundo gráfico para cada temperatura que se muestra a la derecha es la estimación detallada para cada temperatura y rezago. Aquí podemos ver cómo cambia el efecto estimado de una temperatura dada en los días siguientes.

Particularmente para la especificación de la Figura 5-1, se permitieron 21 rezagos y no se excluyeron las visitas declaradas como controles. Aunque los resultados no muestran tendencias muy claras o consistentes, existe una asociación significativa al 95 % de confianza: un aumento de la probabilidad de visita para temperaturas mínimas bajas. Curiosamente, los diferentes indicadores de temperatura tienen comportamientos diferentes, mientras que para bajas temperaturas mínimas pareciera haber un aumento de probabilidad, para bajas temperaturas máximas pareciera haber una baja. El mismo efecto opuesto se muestra para mínimos y máximos altos. En cuanto a la temperatura media diaria, el efecto acumulativo no muestra ninguna tendencia distinguible, pero el gráfico de Exposición-Rezago-Respuesta muestra un comportamiento más similar a la temperatura mínima.

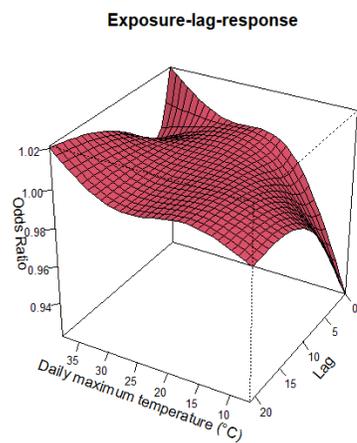
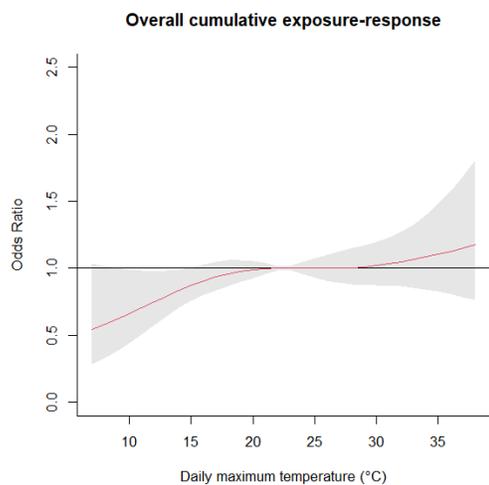
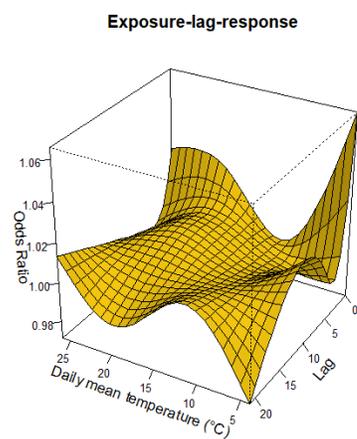
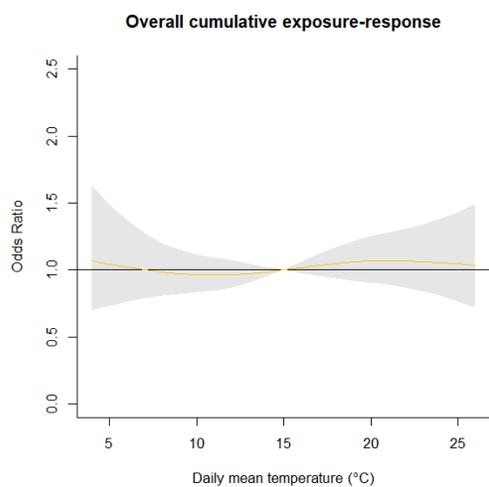
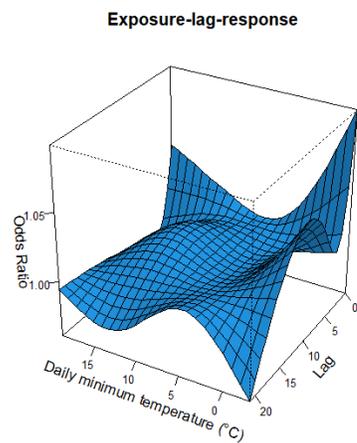
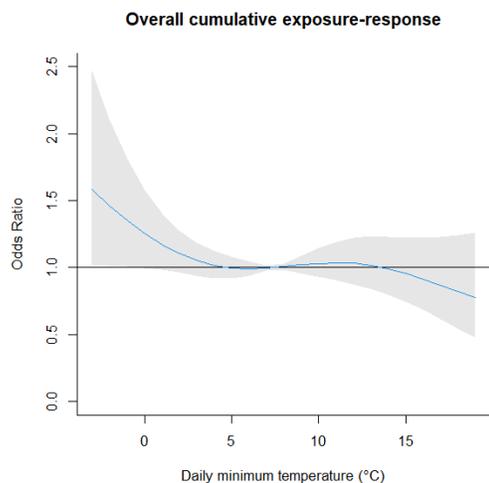


Figura 5-1 Funciones de exposición-respuesta estimadas para la temperatura mínima, media y máxima diaria
Fuente: Elaboración Propia.

El resultado de una segunda especificación estimada para los tres indicadores de temperatura se muestra en la Figura 5-2. Para esta especificación se permitieron 14 rezagos y se eliminaron las visitas de control. Los resultados tienen tendencias más claras, pero aún hay pocos rangos de temperatura con una asociación significativa. El cambio más interesante se muestra en los resultados de temperatura mínima, donde surge un claro aumento en el Odds Ratio para temperaturas bajas. También hay un aumento para la temperatura media-alta seguido de una disminución en valores extremadamente altos. Esto podría explicarse argumentando que la temperatura extremadamente alta cambia la gravedad de los eventos que requieren hospitalización o urgencias en centros fuera de la red BUPA (ya que hay pocas de estas observaciones en nuestra muestra). Se necesita más investigación para dilucidar esta posible dinámica. La temperatura media muestra una tendencia más marcada, similar a la temperatura mínima, pero sin asociación significativa clara. La temperatura máxima presenta una tendencia menos marcada y amplía su intervalo de confianza, lo que reduce la robustez de estos resultados.

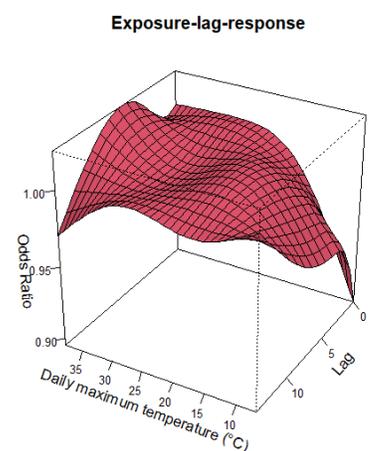
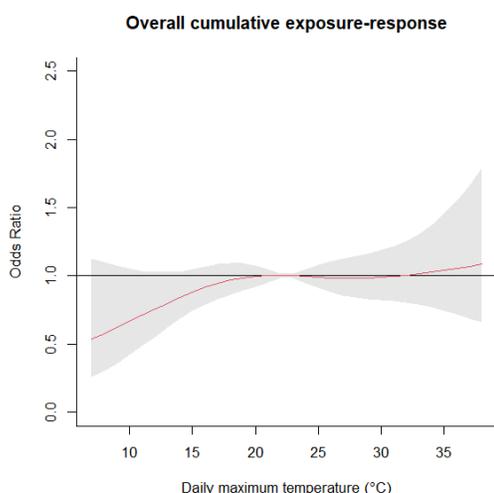
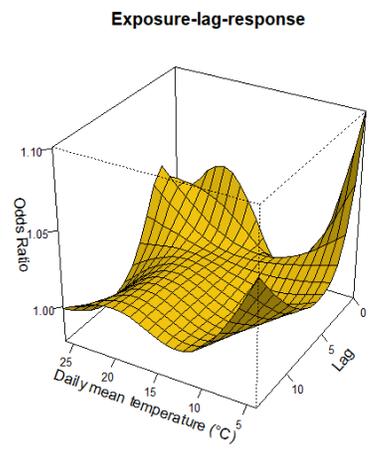
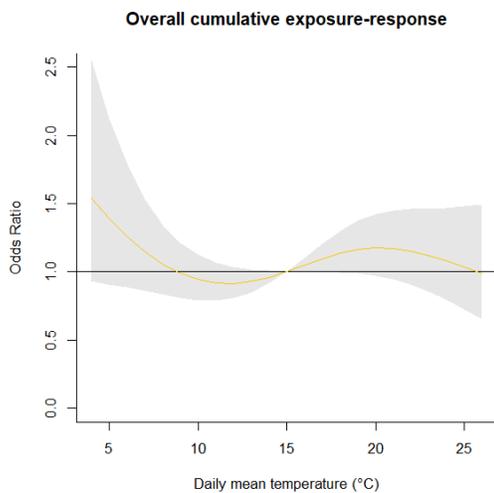
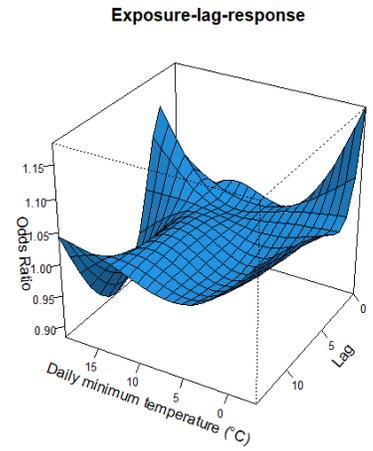
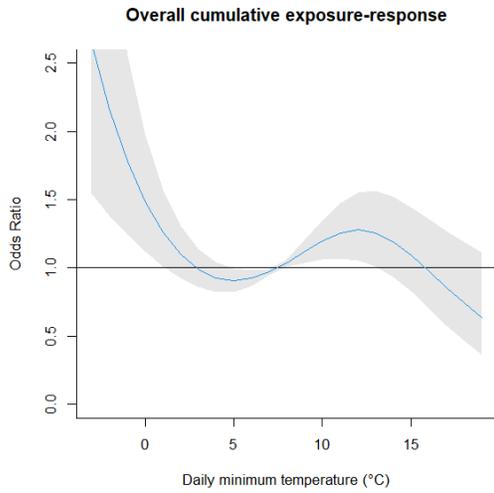


Figura 5-2 Funciones de exposición-respuesta estimadas para la temperatura mínima, media y máxima diaria sin incluir las visitas de control
Fuente: Elaboración Propia.

Para despejar las dudas de que la alta razón de probabilidad de la temperatura mínima pueda ser causada por la contaminación del aire, se estima una especificación adicional, similar a la anterior, pero con un control de material particulado de 2,5 microgramos (3 rezagos). El resultado se muestra en la Figura 5-3 y se puede ver que no hay una diferencia considerable con la estimación sin control, lo que respalda las estimaciones anteriores.

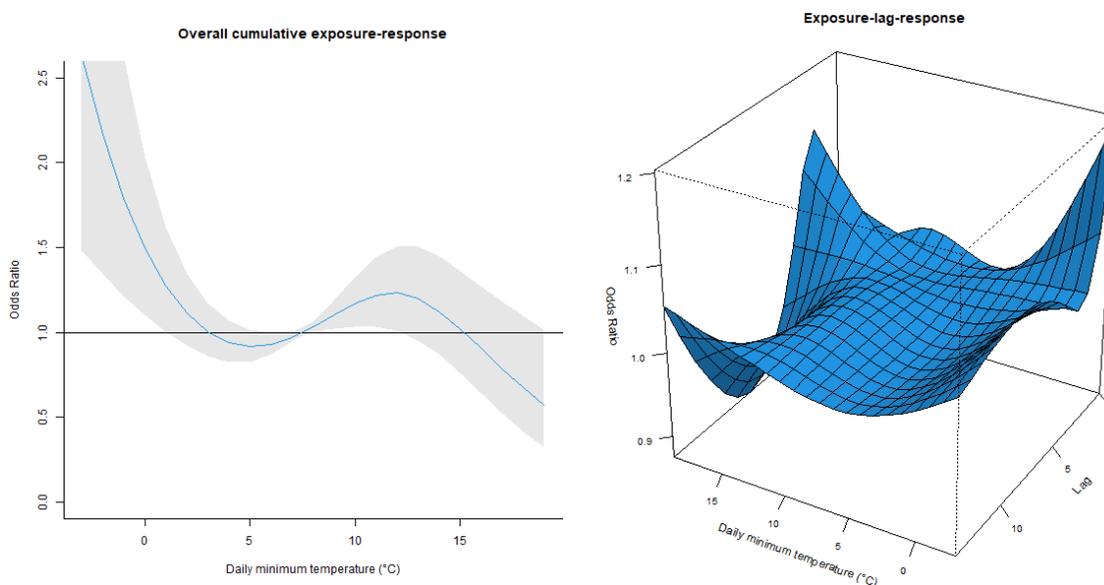


Figura 5-3 Funciones de exposición-respuesta estimadas para temperatura mínima, media y máxima diarias excluyendo visitas de control y control por contaminación
Fuente: Elaboración Propia.

6. DISCUSIÓN

6.1. Limitaciones

Este estudio tiene varias limitaciones, pero muchas de ellas pueden ser resueltas en futuras investigaciones. En primer lugar, solo se analizó una muestra de un grupo específico de pacientes. Con el refinamiento de la herramienta de extracción se podrían analizar mayor cantidad de datos, con los beneficios en robustez estadística que ello implica.

Una gran suposición necesaria para usar este diseño de estudio es que los datos observados corresponden al registro médico completo de cada paciente. Si bien para las estimaciones se utilizaron solo pacientes que declararon vivir en Santiago, aún existe el riesgo de que haya visitas en un centro médico fuera de la red de BUPA del cual no se tiene conocimiento. Esto podría sesgar los resultados porque se asume que no hay visita cuando podría efectivamente haberla.

En tercer lugar, como se muestra en la Figura 3-5, no todas las visitas que dependen de una visita anterior parecen eliminarse. Esto puede debilitar la suposición necesaria para un diseño *case time series* de que los eventos son independientes.

6.2. Recomendaciones

Para futuras investigaciones se recomiendan hacer diferentes mejoras que no fueron realizados por limitaciones de tiempo o capacidades técnicas. Primero, se recomienda en próximas investigaciones utilizar todos los datos disponibles para el grupo de interés. Al término de este estudio, la herramienta de extracción se encontraba en una etapa más adelantada de desarrollo, por lo que ya sería posible extraer muestras de mayor tamaño. En segundo lugar, se recomienda codificar las siguientes variables: comuna, consumo de alcohol, consumo de tabaco, y motivo de consulta. Para ello podría ser necesario desarrollar un algoritmo específico.

Respecto del manejo interno de datos de BUPA, también se detectaron algunas falencias que de solucionarse podrían facilitar el análisis de sus datos. En primer lugar, se recomienda pedir mayor consistencia a los especialistas sobre el campo donde se anotan los signos vitales. En algunos casos estaban en texto libre y en otros en los campos específicos. En segundo lugar, se recomienda que la comuna de residencia se ingrese codificada (a partir de una lista de opciones) en vez de en texto libre. Según lo entendido, si se agenda la consulta de manera *online* este campo sí se selecciona de una lista de opciones, a diferencia de cuando se agenda en recepción donde se ingresa como campo de texto libre lo que dificulta el análisis posterior. Por último, se recomienda sistematizar la fecha en que se agenda cada consulta. Según lo entendido, esta información es recolectada pero no está disponible en las mismas bases de datos.

7. CONCLUSIONES

Se estudió una nueva fuente de datos de consultas ambulatorias, urgencias y hospitalizaciones proveniente de los registros médicos de BUPA Chile. Se puede destacar del análisis descriptivo un número particularmente bajo de visitas de causa circulatoria durante festivos y periodos de vacaciones. A nivel de pacientes, vimos una frecuencia de visitas especialmente alta alrededor de los seis meses después de una visita determinada, lo que podría explicarse por las visitas de control programadas.

Se utilizó el diseño *Case Time Series* para explorar la asociación entre la ocurrencia de visitas médicas y la temperatura. Los resultados muestran un aumento en la probabilidad de visitas por baja temperatura mínima, asociación que persiste incluso controlada por la contaminación del aire. Los resultados no muestran otras tendencias claras, pero se pueden mejorar en el futuro con más y mejores datos de esta nueva fuente. El desarrollo de nuevas herramientas es fundamental para ello, especialmente para sistematizar datos contenidos en campos de texto libre de los historiales médicos.

8. REFERENCIAS

- Benmarhnia, T., Deguen, S., Kaufman, J. S., & Smargiassi, A. (2015). Review Article: Vulnerability to Heat-related Mortality: A Systematic Review, Meta-analysis, and Meta-regression Analysis. *Epidemiology*, 26(6). Retrieved from https://journals.lww.com/epidem/Fulltext/2015/11000/Review_Article__Vulnerability_to_Heat_related.2.aspx
- Bhaskaran, K., Hajat, S., Haines, A., Herrett, E., Wilkinson, P., & Smeeth, L. (2010). Short term effects of temperature on risk of myocardial infarction in England and Wales: Time series regression analysis of the Myocardial Ischaemia National Audit Project (MINAP) registry. *BMJ (Online)*, 341(7768), 338. <https://doi.org/10.1136/bmj.c3823>
- Chen, R., Yin, P., Wang, L., Liu, C., Niu, Y., Wang, W., ... Zhou, M. (2018a). 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>
- Chen, R., Yin, P., Wang, L., Liu, C., Niu, Y., Wang, W., ... Zhou, M. (2018b). 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>
- Fu, S. H., Gasparrini, A., Rodriguez, P. S., & Jha, P. (2018). Mortality attributable to hot and cold ambient temperatures in India: a nationally representative case-crossover study. *PLoS Medicine*, 15(7), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002619>
- Gasparrini, 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. (2021). The Case Time Series Design. *Epidemiology*, 32(6), 829–837. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000001410>
- Gasparrini, Antonio, & Armstrong, B. (2011). The impact of heat waves on mortality. *Epidemiology*, 22(1), 68–73. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e3181fdcd99>
- Green, H., Bailey, J., Schwarz, L., Vanos, J., Ebi, K., & Benmarhnia, T. (2019). Impact of heat on mortality and morbidity in low and middle income countries: A review of the epidemiological evidence and considerations for future research. *Environmental Research*, 171(January), 80–91. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.01.010>
- 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>
- Hajat, S., & Kosatky, T. (2010). Heat-related mortality: a review and exploration of heterogeneity. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 64(9), 753 LP – 760. <https://doi.org/10.1136/jech.2009.087999>
- 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>

- Lin, S., Hsu, W. H., van Zutphen, A. R., Saha, S., Lubber, G., & Hwang, S. A. (2012). Excessive heat and respiratory hospitalizations in New York State: Estimating current and future public health burden related to climate change. *Environmental Health Perspectives*, *120*(11), 1571–1577. <https://doi.org/10.1289/ehp.1104728>
- Lin, S., Luo, M., Walker, R. J., Liu, X., Hwang, S. A., & Chinery, R. (2009). Extreme high temperatures and hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases. *Epidemiology*, *20*(5), 738–746. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e3181ad5522>
- Mrema, S., Shamte, A., Selemani, M., & Masanja, H. (2012). The influence of weather on mortality in rural Tanzania: a time-series analysis 1999–2010. *Global Health Action*, *5*(1), 19068. <https://doi.org/10.3402/gha.v5i0.19068>
- 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.