



UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Escuela de Geografía

VULNERABILIDAD TERRITORIAL FRENTE AL CALOR NOCTURNO  
DE VERANO ENTRE LOS AÑOS 2010 Y 2021 EN EL GRAN SANTIAGO,  
CHILE

Memoria para optar al título Profesional de Geógrafo

MAURICIO ALEJANDRO ARENAS TUDELA

Profesora Guía: Pamela Elisa Smith Guerra

SANTIAGO – CHILE

2023

## **Agradecimientos**

Gracias a mi familia, quienes están presentes físicamente y quienes lo siguen estando. Gracias, Nona, por enseñarme y mostrarme las ganas de vivir; gracias, Tata, por entregarme un amor incondicional; gracias, tía Paty y Justito, por aceptarme; gracias, papá Alejo por enseñarme del aguante para la vida; gracias, papá, Héctor, por mostrarme los caminos de la universidad de la vida, la más importante; gracias, mamá, Mónica, por darme la vida y las sonrisas, por criarme y malcriarme; gracias, hermana, Macarena, por mostrarme la importancia de estudiar y de perseguir las metas. Gracias, hermanos, primos, y sobrinxs por hacer el aguante en todo este proceso. Gracias a la Aia y a Perrochico por su amor y compañía.

Gracias a la profesora Pamela Smith por apoyarme y darme la oportunidad de poder concretar este documento, además de su disposición y ánimo durante el proceso. Gracias a lxs profesorxs que aportaron con su grano de arena durante toda mi vida. Gracias al barrio y a la calle, a mi comuna, a Chuchunco, con sus torres de agua y sus techumbres oxidadas. Gracias vida por rodearme de personas que disfrutan vivir cuestionándose siempre en búsqueda de un mundo mejor. Gracias a quienes dan la vida día a día por los demás y por sí mismxs. Gracias a la danza y al arte, a Cardo, al tumbé, por moverme más allá de lo que me muevo, gracias a la música por volverse mi vicio y acompañante en todo este proceso, cada letra un paisaje sonoro.

Gracias a lxs compañerxs de las geografías que me apañaron en la realización de esto, ya sea con una sonrisa como también con una salida fuera para airear la mente. A lxs amigxs que estuvieron constantemente dándome su amor, consejos y apoyo. Aguante Borrayo, Nei, Ruti, Claudio, Capi, Peñita, Gabriel, Tuan, Fabi, Rayo, precario. Gracias a todxs, gracias al apoyo que nos trajo hasta acá.

Tanto que agradecer, tantas mandas que junté.

Gracias.

# Índice de contenidos

Resumen .....	6
Capítulo 1: Presentación.....	7
1.1 Introducción .....	7
1.2 Planteamiento del problema.....	8
1.3. Estado del arte.....	12
1.3.1. Isla de Calor Urbana.....	13
1.3.2. Olas de Calor.....	13
1.3.3. Noches Tropicales .....	13
1.3.4. Vulnerabilidad territorial.....	14
1.3.5. Pobreza Energética.....	16
1.3.6. Efectos de las altas temperaturas en la salud.....	16
1.4 Objetivos.....	19
1.4.1. Objetivo General .....	19
1.4.2. Objetivos específicos.....	19
1.5. Área de estudio .....	20
Capítulo 2: Planteamiento metodológico .....	25
2.1. Materiales y métodos, recopilación de datos y antecedentes.....	25
2.1.1. Evaluación de la amenaza por calor nocturno.....	26
2.1.1.1. Amenaza de calor nocturno .....	28
2.1.1.2. Umbrales térmicos.....	28
2.1.2. Factores sociodemográficos .....	29
2.1.2.1. Vulnerabilidad por Adultos mayores por manzana .....	29
2.1.2.2. Vulnerabilidad por materialidad de viviendas.....	30
2.1.2.3. Densidad poblacional por manzana.....	33
Capítulo 3: Resultados .....	37
3.1. Factor ambiental .....	37
3.1.1. Amenaza de calor nocturno.....	37
3.2. Factores sociodemográficos.....	43
3.2.1. Vulnerabilidad por adultos mayores .....	43
3.2.2. Vulnerabilidad por material de la vivienda.....	45
3.2.2.1. Vulnerabilidad por pared precaria .....	48

3.2.2.2. Vulnerabilidad por techo precario .....	49
3.2.3. Densidad poblacional por manzana.....	50
Capítulo 4: Discusión y conclusión .....	52
4.1. Discusión .....	52
4.2. Conclusión .....	54
Capítulo 5: Bibliografía .....	56
Anexos .....	63

## Índice de figuras:

Figura N° 1 Representación del Sistema Territorial.....	15
Figura N° 2: Crecimiento del Gran Santiago .....	22
Figura N° 3: Manzanas del área de estudio .....	24
Figura N° 4: Puntos de muestreo de temperatura .....	27
Figura N° 5: Esquema metodológico para calcular calor nocturno.....	29
Figura N° 6: Fórmula para cálculo de Índice de Materialidad de Vivienda con metodología del Censo .....	31
Figura N° 7: Fórmula para cálculo de Índice de Vulnerabilidad por Pared Precaria .....	32
Figura N° 8: Fórmula para el cálculo de Índice de Vulnerabilidad por Techo Precario .....	33
Figura N° 9: Metodología para calcular la Vulnerabilidad Territorial .....	36
Figura N° 10: Fórmula para cálculo de Índice de Densidad .....	33
Figura N° 11: Islas de Calor Nocturno en el Gran Santiago, 2015 .....	38
Figura N° 12: Vulnerabilidad por adultos mayores por manzana. ....	44
Figura N° 13: Índice de Materialidad de Vivienda con metodología del Censo.....	46
Figura N° 14: Índice de Materialidad de Vivienda con metodología del Censo.....	48
Figura N° 15: Índice de Vulnerabilidad por Pared Precaria.....	49
Figura N° 16: Índice de vulnerabilidad por techo precario .....	50
Figura N° 17: Densidad poblacional por manzana censal.....	51
Figura N° 18: Futuras direcciones: respuesta al riesgo relativo a la adaptación y mitigación. ....	54

## Índice de gráficos:

Gráfico N° 1: Temperatura 21:00 horas en el periodo de estudio, Pudahuel. ....	40
Gráfico N° 2: Temperatura 21:00 horas en el periodo de estudio, Quinta Normal.....	40
Gráfico N° 3: Temperatura 21:00 horas en el periodo de estudio, Tobalaba .....	41
Gráfico N° 4: Temperatura 00:00 horas en el periodo de estudio, Pudahuel .....	41
Gráfico N° 5: Temperatura 00:00 horas en el periodo de estudio, Quinta Normal .....	42

Gráfico N° 6: Temperatura 00:00 horas en el periodo de estudio, Tobalaba .....	42
Gráfico N° 7: Temperatura 03:00 horas en el periodo de estudio, Pudahuel .....	42
Gráfico N° 8: Temperatura 03:00 horas en el periodo de estudio, Quinta Normal .....	43
Gráfico N° 9: Temperatura 06:00 horas en el periodo de estudio, Pudahuel .....	43
Gráfico N° 10: Temperatura 06:00 horas en el periodo de estudio, Quinta Normal .....	43

## Índice de tablas:

Tabla N° 1: Pobreza por ingresos a nivel comunal, año 2020.....	22
Tabla N° 2: Clasificación de material de las paredes exteriores .....	32
Tabla N° 3: Clasificación de material de las paredes exteriores .....	32
Tabla N° 4: Propuesta metodológica.....	35
Tabla N° 5: Viviendas del sector norponiente del Gran Santiago.....	47

## Índice de anexos:

Anexo N° 1: Horas útiles para interpolación, puntos de muestreo SINCA.....	63
Anexo N° 2: Extracto del anexo de NCh 853 2007, Cálculo de transmitancia,.....	63
Anexo N° 3: Vulnerabilidad por cantidad de adultos mayores por manzana, Sector norponiente del Gran Santiago .....	64
Anexo N° 4: Vulnerabilidad por cantidad de adultos mayores por manzana, Sector nororiente del Gran Santiago.....	64
Anexo N° 5: Índice de Vulnerabilidad por Material de Vivienda, Gran Santiago.....	65
Anexo N° 6: Índice de Vulnerabilidad por Pared Precaria, sector oriente del Gran Santiago. .....	65
Anexo N° 7: Índice de Vulnerabilidad por Pared Precaria, sector poniente del Gran Santiago.....	66

## **Resumen**

Este estudio propuso analizar la vulnerabilidad urbana ante las altas temperaturas nocturnas en el Gran Santiago, Chile, considerando factores socioeconómicos, demográficos y materiales. Para lograrlo, se emplearon datos provenientes de fuentes como el Censo de Población y Vivienda, estaciones meteorológicas y sistemas de información ambiental. Se utilizó una metodología que combinó el índice de vulnerabilidad material propuesto por el Ministerio de Desarrollo Social y Familia con información de las condiciones de techos y paredes de las viviendas. Los resultados mostraron una notable heterogeneidad en la distribución de la vulnerabilidad material en el área de estudio. Las comunas del cono oriente, como Vitacura y Las Condes, presentaron bajos índices de vulnerabilidad, mientras que áreas en el sector norponiente, como Cerro Navia y Pudahuel, evidenciaron altos niveles de vulnerabilidad material además de alta amenaza ante el calor nocturno.

La exposición a altas temperaturas nocturnas también se analizó utilizando datos de estaciones meteorológicas. Se observó que en general, las temperaturas sobre los 20°C durante la noche se distribuyen de manera variada en la ciudad. Se destacó una mayor presencia de estas temperaturas en el sector poniente, donde la concentración de estaciones de medición también es notable. Las áreas con mayor vulnerabilidad material coincidieron en muchos casos con las zonas de exposición más alta a temperaturas nocturnas elevadas.

Además, se consideró la distribución de adultos mayores por manzana como factor demográfico. Los resultados mostraron una presencia significativa de personas en edad avanzada en la mayoría de las áreas, con un promedio de alrededor del 11%-14% por manzana. Sin embargo, se identificaron zonas con menor cantidad de adultos mayores, como Providencia y Santiago centro, que podrían estar menos expuestas al calor nocturno.

En conjunto, los resultados revelaron una compleja interacción entre vulnerabilidad material, exposición a temperaturas nocturnas elevadas y factores demográficos en el área metropolitana de Santiago. Las áreas más vulnerables en términos materiales y térmicos tienden a concentrarse en el sector norponiente de la ciudad, donde factores socioeconómicos y de densidad poblacional también influyen en esta situación. Estos hallazgos resaltan la importancia de abordar integralmente la planificación urbana y las políticas públicas para enfrentar los desafíos que plantea el aumento de las temperaturas en las áreas urbanas en el contexto del cambio climático.

Vulnerabilidad - Vulnerabilidad territorial - Calor nocturno - Materialidad vivienda

# Capítulo 1: Presentación

## 1.1 Introducción

El cambio climático es uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad en la actualidad. El acelerado aumento de la temperatura global ha generado una serie de impactos en el clima a nivel mundial, incluyendo un aumento en la frecuencia, intensidad y duración de los eventos de altas temperaturas. Estos cambios en el clima también se han manifestado en las condiciones climáticas del país, afectando a diversas regiones, incluido el Gran Santiago, Chile. El descontrolado crecimiento de los centros urbanos ha ido de la mano con los cambios en la temperatura del planeta, siendo significativamente acelerado en el Antropoceno, donde la temperatura global ha aumentado casi 0,9°C desde el periodo preindustrial (años 1850 - 1900) hasta la actualidad, pudiendo llegar a 1,5°C en 2040 (IPCC, 2018).

En las últimas décadas, se ha observado un incremento en la ocurrencia de eventos de altas temperaturas en el Gran Santiago, lo que plantea una amenaza significativa para la población. Estos eventos extremos, como las Olas de Calor, generan riesgos para la salud y el bienestar de las personas, especialmente durante la noche, cuando las temperaturas no disminuyen lo suficiente para permitir la recuperación y el descanso adecuados.

La comprensión de la vulnerabilidad socioespacial frente al calor nocturno de verano en el Gran Santiago es fundamental para desarrollar estrategias de adaptación y mitigación efectivas. La vulnerabilidad puede variar según factores demográficos, socioeconómicos y espaciales, lo que implica que ciertos grupos y áreas geográficas pueden ser más susceptibles a los efectos negativos del calor nocturno.

Esto trae consigo diversas consecuencias a nivel ambiental como, por ejemplo, la degradación del suelo, pérdida de biodiversidad, destrucción de ecosistemas y fuentes de agua dulce, acidificación del océano, aumento en el nivel del mar, mayor frecuencia de huracanes, inundaciones, incendios forestales y sequías, además de reducirse la cantidad de suelo para la agricultura (IPCC, 2022). Se proyecta que 64% de la población del planeta vivirá en zonas de sequía para el 2025 y que un aumento de 2,5°C promedio en la temperatura global dejaría entre 20-30% de la biodiversidad en riesgo de extinción, además de que un 74% del territorio global podría incrementar la duración y la frecuencia de las temporadas de incendios forestales (Lim, 2020).

El cambio climático se ha asumido como problema directo para la humanidad luego de un siglo de discusión y conocimiento (Eunice Newton Foote, John Tyndall, Steven Arrhenius). Con hitos importantes como el primer debate sobre el tema en 1972 en la ONU, con el nacimiento del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en el año 1988 y con la celebración desde 1995 de la Conferencia de las Partes (COP). Ha existido una adaptación en el sistema de vida actual, apuntando hacia un cambio en las fuentes energéticas alejadas de los combustibles fósiles, aunque continuando con el hilo del

consumo, ahora definido como “verde”, se ha marcado la meta de un aumento de temperatura que no supere el umbral de 1,5°C.

Las Olas de calor sobre áreas altamente habitadas provocan un incremento en las tasas de ingreso hospitalarios junto con un aumento de la mortalidad y morbilidad humana siendo de los mayores riesgos de origen natural en las áreas urbanas (García y Álvarez, 2008)

## **1.2 Planteamiento del problema**

El acelerado aumento de la temperatura global producto del cambio climático ha afectado también las condiciones climáticas del país, donde en las últimas décadas se ha evidenciado una mayor frecuencia, intensidad y duración de los eventos de altas temperaturas (Piticar, 2018). La amenaza de estas condiciones se ha estudiado a través de distintos conceptos asociados dependiendo de las horas del día, tales como las Olas de Calor (OC), las Islas de Calor Urbano (ICU), el Calor Nocturno (CN) y las Noches Tropicales (NT).

El estudio de estos fenómenos ha sido relevante durante varias décadas, aunque los dos últimos han recibido menos atención (Calor Nocturno y Noches Tropicales). Sin embargo, en años recientes han adquirido mayor importancia debido a que se ha identificado que conjunto a factores demográficos y socioeconómicos, como la sobrepoblación, densidad, concentración, edad, enfermedades previas o crónicas, condiciones sanitarias, sexo, raza/etnia y poder adquisitivo, marcaría la existencia de grupos con diferentes niveles de resistencia frente a estas amenazas (Basu, 2009).

Las Olas de Calor (OC) se definen como períodos prolongados de temperaturas más altas que la media esperada para un área o región (Chesini et al., 2019), con una duración de al menos 3 días en los que la temperatura máxima supera los valores habituales (CR2, 2021). Estas Olas de Calor se basan en dos factores: el primero es climático, refiriéndose a la superación de un umbral térmico determinado que se considera extremo; el segundo factor hace referencia a los impactos negativos que estos extremos provocan en la población (García y Álvarez, 2008). La amenaza de las Olas de Calor implica el riesgo para la población de las áreas donde ocurren, que también está influenciado por variables sociales y urbanas, como las características de las viviendas y su entorno, la cantidad de áreas verdes, la edad y las condiciones médicas previas de los habitantes. Estos aspectos se vinculan con el concepto de vulnerabilidad, definido en el último AR6 del IPCC como la propensión o predisposición a ser afectado de manera adversa, incluyendo la sensibilidad, susceptibilidad, falta de adaptación y exposición, lo cual implica la presencia de población, infraestructura y asentamientos en áreas propensas a ser afectadas (IPCC, 2022).

Si bien las altas temperaturas representan una amenaza para toda la población, existen condiciones que determinan una mayor sensibilidad en ciertos grupos, principalmente adultos mayores, niños, personas con enfermedades crónicas como diabetes, asma y afecciones coronarias, así como los sectores de menores recursos y las minorías (Basu, 2009).



Las Islas de Calor Urbano (ICU), que además pueden ser potenciadas por las Olas de Calor, se refieren a la particular configuración de temperaturas más altas en el centro de las ciudades, donde se concentran, y a medida que nos alejamos del área urbana y nos acercamos a la periferia y zonas exteriores, las temperaturas disminuyen (Moreno-García, 1997). Según Oke (1981), esta diferencia de temperaturas se hace más evidente durante la noche debido a la acumulación de energía en la superficie urbana.

La expansión de las ciudades altera las propiedades térmicas de absorción y disipación de calor del suelo, lo que transforma las características atmosféricas debido a los materiales de construcción que reemplazan las cubiertas vegetales y modifican la absorción y reflexión del calor (albedo). Por ejemplo, los parques pueden aparecer como zonas relativamente más frescas y con mayor humedad relativa en comparación con las áreas construidas de su entorno. La presencia de vegetación tiene un impacto significativo en la distribución de las temperaturas, la humedad y las condiciones de confort (Tejedor et al., 2016). Estos factores, junto con otras variables derivadas de la planificación y el diseño urbano, definen el clima urbano, el cual presenta una gran variedad de matices asociados a la morfología de los edificios, el trazado de las calles y la presencia de áreas verdes (García y Álvarez, 2008).

En la literatura sobre el clima urbano y las "Islas de Calor Urbano" (ICU), se destaca que estas últimas son el resultado de la diferencia de temperatura entre el centro y la periferia de una ciudad. Sin embargo, la magnitud de la ICU por sí sola no es determinante para evaluar los efectos sobre los habitantes. Por ejemplo, si la temperatura en el centro es de 25°C y en la periferia es de 22°C, la ICU sería de 3°C. Esta misma magnitud podría existir con temperaturas hipotéticas de 45°C y 42°C, que son casi el doble y representan un riesgo mucho mayor para la salud. A pesar de esto, la presencia de las ICU potencia los efectos de las Olas de Calor y contribuye a mantener altas temperaturas en las áreas urbanas (Tejedor et al., 2016). Esta influencia es particularmente notoria durante las mediciones nocturnas, donde la geometría urbana también contribuye a retener el calor (Nakata y de Souza, 2013).

El término "calor nocturno" se refiere a las altas temperaturas experimentadas durante la noche. Durante los meses de verano, especialmente en regiones con climas cálidos, es común que las temperaturas nocturnas se mantengan elevadas, lo que puede generar condiciones de calor incómodas y potencialmente peligrosas. El calor nocturno ocurre debido a la acumulación de calor durante el día y a ciertos fenómenos climáticos, como las Islas de Calor Urbano, que pueden hacer que las áreas urbanas retengan y emitan calor durante la noche, manteniendo las temperaturas altas incluso después de la puesta de sol (Núñez, 2021). Estas altas temperaturas nocturnas pueden tener diversos impactos en la salud y el bienestar de las personas. Durante el sueño, el calor puede dificultar el descanso adecuado, lo que puede afectar la calidad de vida y el rendimiento diurno. Además, el calor nocturno prolongado puede provocar deshidratación, agotamiento por calor e incluso golpes de calor, especialmente en personas vulnerables como los adultos mayores, los niños pequeños y aquellos con condiciones médicas preexistentes (Basu, 2009). El aumento de la frecuencia e

intensidad de las Olas de Calor nocturnas en muchas partes del mundo se atribuye al cambio climático y al impacto de las actividades humanas en el clima. Esto ha llevado a un mayor interés en comprender y abordar los riesgos asociados con el calor nocturno, así como en implementar estrategias de adaptación y mitigación para proteger la salud y el bienestar de las personas en estas condiciones para lo que se debe entender que la ciudad no es un espacio homogéneo (Royé & Martí, 2015).

Para estudiar de manera más efectiva las temperaturas nocturnas, se implementan conceptos como las "Noches Tropicales". Estas se refieren a periodos donde la temperatura mínima nocturna no baja de los 20°C (Olcina et al., 2019), algo que puede ser común en sectores tropicales, pero no tanto en las regiones extra tropicales, donde se aplica este concepto. Es importante destacar que este índice de umbral pertenece a un grupo de índices que también incluye otros eventos climáticos, como días de fuerte precipitación o días de helada (Royé & Ezpeleta, 2015).

En el mismo estudio mencionado, se utiliza la denominación de "noche cálida" para referirse a las noches en las cuales el porcentaje de horas que se supera el umbral de 20°C es mayor o igual al 40%. Sin embargo, es importante reconocer las limitaciones de este concepto. Por ejemplo, en los meses de verano, en el área de estudio, pueden existir mínimas por debajo de los 20°C, las cuales ocurren en la madrugada, precisamente en ausencia del sol. Por lo tanto, para aplicar el umbral mencionado, debe haber una adaptación específica hacia el territorio estudiado.

Una de las mayores amenazas que el calentamiento global representa para la vida humana es el aumento exponencial de la morbilidad y mortalidad relacionadas con el calor. Si las condiciones actuales de planificación y habitabilidad continúan, se espera un incremento en la frecuencia, intensidad y área de cobertura de las Olas de Calor diurnas y nocturnas. Para el año 2050, se proyecta un aumento de 2,5 veces en la mortalidad anual a nivel mundial por golpes de calor. Entre 2000 y 2019, casi 500.000 muertes en todo el mundo estuvieron relacionadas con el calor, y la tasa de exceso de muertes relacionadas con el calor aumentó significativamente de 2000-2003 a 2016-2019 (Zhao et al., 2021). Los datos también proyectan que el estrés térmico será una amenaza importante para más del 95% de los países a fines de este siglo (Lim, 2020).

Se ha comprobado que la morfología urbana y los diferentes usos del suelo son factores determinantes para explicar las diferencias espaciales en la magnitud del calor dentro de una ciudad. Por ejemplo, la prolongación del calor nocturno es mayor en áreas urbanas con alta densidad de construcción y escasas áreas verdes, que generalmente están habitadas por población envejecida, con niveles de ingresos bajos y altamente vulnerable a estos episodios de calor extremo (García & Álvarez, 2008). Estos hallazgos también son consistentes en ciudades latinoamericanas, como lo demostró el estudio de Bell en 2008 para Sao Paulo, Santiago y Ciudad de México, donde se observó una notable vulnerabilidad en mujeres mayores de 65 años en Ciudad de México y en hombres con menor nivel educativo en las

otras dos ciudades (Basu, 2008).

En las áreas urbanas, el efecto de las altas temperaturas se ve agravado por la gran cantidad y concentración de habitantes. Por ejemplo, en Chile, según datos del INE, la población rural representaba el 13,7% del total en 2002 (2.150.200 habitantes), mientras que la población urbana alcanzaba el 86,3% (13.541.501 habitantes). En 2021, la población rural disminuyó al 11,4% (2.247.649 habitantes) y la población urbana aumentó al 88,6% (17.430.714 habitantes). Se proyecta que para 2035, la población rural será del 10,9% (2.306.146 habitantes) y la población urbana alcanzará el 89,1% (18.831.623 habitantes) (Vieyra, 2021). La capital del país, Santiago, supera estos porcentajes, ya que la Región Metropolitana tiene un 96,3% de población urbana, incluso con comunas que no tienen población rural (INE, 2018). Según el Censo de Población y Vivienda del año 2017, Chile posee una población de 17.574.003 personas efectivamente censadas, mientras que la Región Metropolitana, concentra 7.112.808 de estos habitantes. El área estudiada correspondería a 6.119.984 personas siguiendo estas cifras.

El estudio de la vulnerabilidad ante el calor nocturno en el Gran Santiago se convierte en una tarea ineludible y sumamente relevante, en virtud de múltiples factores que demandan una atención urgente y detallada. La capital de Chile, como epicentro de actividad económica y residencia de una gran proporción de la población del país, presenta un escenario propicio para examinar minuciosamente los efectos del calor nocturno en la salud y el bienestar de una población densamente concentrada y de amplia diversidad socioeconómica.

En virtud de su ubicación geográfica y características climáticas, el Gran Santiago se encuentra expuesta a condiciones propicias para la manifestación de temperaturas elevadas, agravadas por la presencia de Islas de Calor Urbano, áreas urbanas que tienden a presentar temperaturas más altas que las zonas circundantes. Durante la noche, estas áreas pueden mantener niveles de temperatura significativamente superiores, lo cual plantea riesgos considerables para la salud, especialmente para aquellos segmentos de la población más vulnerables, como los adultos mayores, los niños y las personas con enfermedades crónicas.

La población mayor, en particular, se encuentra en un mayor riesgo de mortalidad debido a las altas temperaturas, y se ha identificado que ciertos grupos, como las mujeres mayores y personas con menor educación, son más vulnerables ante las Olas de Calor y eventos térmicos extremos (Bell, 2008). Por tanto, es de crucial importancia identificar a las poblaciones vulnerables frente a estas condiciones climáticas adversas, especialmente considerando el aumento de las temperaturas y la frecuencia de las Olas de Calor en las áreas urbanas. Estos resultados enfatizan la necesidad de implementar estrategias de adaptación y mitigación dirigidas a proteger a los grupos más vulnerables y reducir los riesgos asociados con el calor nocturno y las altas temperaturas en las ciudades.

10 años más cálidos			
Rank	Año	Temp. Media (°C)	Anomalía (°C)
1	2016	13.8	1.03
2	2020	13.6	0.84
3	2015	13.6	0.83
4	2019	13.5	0.72
5	2017	13.4	0.64
6	1997	13.4	0.60
7	2012	13.3	0.59
8	2018	13.3	0.56
9	2006	13.3	0.54
10	2013	13.3	0.53

**Tabla N° 1: Ranking de los 10 años más cálidos en Chile continental desde el año 1961**

Fuente: Dirección Meteorológica de Chile, 2022, p11.

Es fundamental que las políticas de urbanización y planificación del territorio respondan a las propuestas que desde hace años sugieren mayores áreas verdes y una reconfiguración de las ciudades hacia un diseño más sustentable e inteligente (Nakata y de Souza, 2013; Letelier, 2021). Sobre todo, tomando en cuenta que el aumento de las altas temperaturas está siendo más notorio en los últimos años (Tabla N°1).

El análisis exhaustivo de la vulnerabilidad ante el calor nocturno en el Gran Santiago tiene como objetivo primordial obtener información precisa y detallada sobre los grupos poblacionales y las áreas geográficas que se encuentran más expuestos y son más susceptibles a los efectos del calor. Esta información se vuelve fundamental para orientar de manera efectiva la toma de decisiones en materia de planificación urbana, diseño de espacios públicos, políticas de salud pública y la implementación de estrategias de adaptación al cambio climático.

El propósito de esta investigación es acercarse a la situación existente en el país, especialmente en su capital, donde la gran cantidad de población urbana se enfrenta a una amenaza climática en constante avance a través de la interrogante: **¿Cuáles son las zonas de la ciudad que se encuentran mayormente amenazadas y vulnerables ante el calor nocturno en el Gran Santiago?**

### **1.3. Estado del arte**

En el siguiente trabajo, se buscará mostrar las influencias de las temperaturas nocturnas sobre los habitantes urbanos y cómo estas se configuran dentro del espacio, con el objetivo de contribuir al desarrollo de estrategias que mitiguen los impactos del calor extremo en las ciudades. Para esto se hace necesario comprender los siguientes elementos.

### **1.3.1. Isla de Calor Urbana**

La Isla de Calor Urbana (ICU) es un fenómeno principalmente nocturno que ocurre cuando el calor almacenado por el asfalto y los edificios en el interior de la ciudad es liberado a la atmósfera, limitando su enfriamiento. Este fenómeno está determinado por factores geográficos y estructurales (Tejedor, 2016). Su cálculo se basa en la diferencia de temperatura entre el centro de la ciudad y las áreas periféricas o rurales, donde teóricamente se espera encontrar una gradiente, es decir, a mayor distancia del centro, mayor será la diferencia de temperatura.

Además del material de las superficies urbanas, existen otros factores que influyen en la formación de las ICU, como la cantidad de contaminantes en el ambiente, la geometría urbana, la exposición solar, la densidad de población, la altura de los edificios, la presencia y tamaño de áreas verdes, el flujo antrópico diario, entre otros (Tejedor, 2016). Es importante mencionar que las ICU pueden presentar variaciones según las horas en las que se realicen las mediciones (Sarricolea & Martí-Vide, 2014).

### **1.3.2. Olas de Calor**

Por otro lado, las Olas de Calor se definen como períodos prolongados en los que las temperaturas son más cálidas de lo esperado para un área o región específica (Chesini et al., 2019), se considera Ola de Calor toda vez que la temperatura máxima diaria supere el percentil 90 diario de distribución histórica por tres días consecutivos (. Las Olas de Calor se basan en dos factores principales: uno climático, relacionado con la superación de un umbral térmico determinado que confiere a la temperatura registrada la categoría de extremo; y otro factor asociado a los impactos negativos que estas condiciones extremas provocan sobre la población (García & Álvarez, 2008).

En este trabajo, el enfoque se centra en las dinámicas nocturnas de las Olas de Calor, lo que requiere un acercamiento específico al monitoreo y los estudios relacionados con esta parte del ciclo circadiano.

### **1.3.3. Noches Tropicales**

El concepto de "noche tropical" (TN) se define como aquella en la que la temperatura mínima es igual o superior a 20°C. La designación "tropical" proviene del hecho de que, en la región de los trópicos, las temperaturas suelen encontrarse en este rango. Sin embargo, se utiliza para hacer referencia a la presencia de estas temperaturas fuera de las zonas tropicales. En algunas regiones de Europa, como en la zona europea del Mediterráneo, diversos factores climatológicos, como los anticiclones y vientos cálidos provenientes del Sahara, contribuyen a la existencia de noches con este fenómeno (Olcina et al., 2019). No obstante, en la Región Metropolitana, debido a su configuración climática particular, también se presentan mínimas inferiores al rango mencionado, lo que quedaría fuera de la clasificación de "noche tropical". En el Mediterráneo, la mayoría de las noches de verano cumplen con este requisito, lo que podría requerir la búsqueda de un umbral más alto (Núñez, 2021).

El Expert Team on Climate Change Detection and Indices utiliza los días con temperaturas mínimas superiores a 20°C como uno de los indicadores climáticos para el monitoreo del cambio climático. Este índice de umbral se enmarca en un grupo de índices que también incluye otros eventos climáticos, como días de fuertes precipitaciones o días de helada (Royé & Ezpeleta, 2015).

Sin embargo, este enfoque puede tener limitaciones, ya que el hecho de considerar únicamente las temperaturas mínimas mayores a 20°C puede no ser suficientemente representativo. Esto se debe a que las temperaturas mínimas se alcanzan cerca del amanecer, mientras que, durante gran parte de la noche, las temperaturas pueden estar por encima de 20°C. En este caso, el estrés térmico no necesariamente sería menor en comparación con días con temperaturas mínimas superiores a 20°C, especialmente si se considera que la etapa inicial del sueño, en comparación con las siguientes, es más sensible y puede verse más afectada por el efecto acumulado del estrés térmico (Royé, 2017).

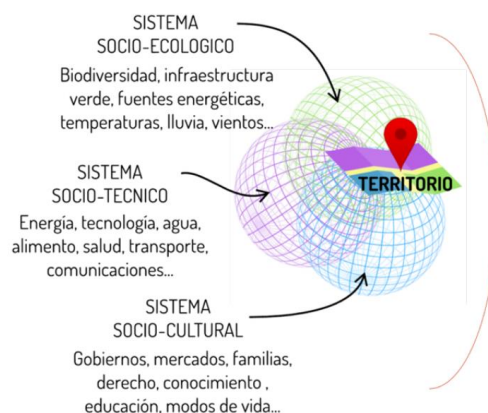
Es importante mencionar que, en el caso de las noches tropicales, el umbral de 20°C puede ser útil en Europa, pero en climas tropicales con temperaturas mínimas superiores a este valor durante varios meses, su aplicabilidad puede ser cuestionable. Por ejemplo, en Hong Kong, se utiliza un umbral de igual o superior a 28°C para definir las "noches calurosas". Otro estudio realizado en Atenas utilizó una temperatura mínima de 23°C como umbral para analizar los efectos biometeorológicos de las temperaturas nocturnas (Nastos y Matzarakis, 2008). La referencia a lo "tropical" se utiliza para señalar situaciones inusuales en regiones extratropicales, como en el caso de Europa. Chen & Lu (2014) usó un umbral de 25°C en su estudio de noches extremadamente cálidas en Beijing, diferenciando "TNa" ( $T_{min} > 25^{\circ}C$ ) de la "TN pura" que consideraba la máxima temperatura ( $T_{min} > 25^{\circ}C$  y  $T_{max} < 35^{\circ}C$ ) (Royé y Ezpeleta, 2015; Olcina et al., 2019).

La influencia de la geometría urbana es un factor significativo en la formación de las Islas de Calor Nocturnas (ICN) (Nakata y de Souza, 2013). Estas ICN coinciden en gran medida con áreas que han experimentado un intenso proceso de urbanización y crecimiento periurbano en diversos centros urbanos (Olcina et al., 2019). Este fenómeno tiene un impacto directo en el confort térmico, que se refiere a la percepción de condiciones climáticas aceptables y cómodas dentro de los edificios, evitando cualquier sensación de extremo térmico, ya sea calor o frío (Bravo y de la Torre, 2014).

#### **1.3.4. Vulnerabilidad territorial**

El concepto de territorio se entenderá como aquella manifestación espacial del poder fundamentada en relaciones sociales, relaciones que están determinadas, en diferentes grados, por la presencia de energía – acciones y estructuras concretas – y de información – acciones y estructuras simbólicas (Raffestin 1981 en González, 2011). Además, la concepción de territorio se basa en tres aspectos: socio-técnico, abordado desde ámbitos como energía e infraestructura; socio-ecológico en cuanto a infraestructura verde y clima; sociocultural asociado a áreas como gobierno, modos de vida, etc. (Amigo, 2019; Red de

Pobreza Energética, 2020).



**Figura N° 1 Representación del Sistema Territorial**

Fuente: Amigo, 2019

Por otro lado, la vulnerabilidad se define en el último AR6 del IPCC como la propensión o predisposición a ser afectado de manera adversa, incluyendo la sensibilidad, susceptibilidad, falta de adaptación y exposición, lo cual implica la presencia de población, infraestructura y asentamientos en áreas propensas a ser afectadas (IPCC, 2022). Esta vulnerabilidad puede surgir debido a la interacción de factores físicos, socioeconómicos y ambientales que hacen que el territorio sea más susceptible a sufrir daños o pérdidas frente a eventos adversos.

En concreto, la vulnerabilidad territorial implica la limitada capacidad de un territorio para resistir, adaptarse o recuperarse de los impactos negativos de los riesgos naturales o generados por el ser humano. Esta incapacidad puede ser resultado de diversos factores, como la ubicación geográfica, las características físicas del entorno, la falta de infraestructuras resilientes, la pobreza, la desigualdad social, la falta de acceso a servicios básicos, la fragilidad ecológica y la falta de capacidad institucional.

La vulnerabilidad territorial puede manifestarse en diferentes formas, como la exposición a inundaciones, terremotos, sequías, deslizamientos de tierra, eventos climáticos extremos, contaminación ambiental, entre otros. Estos eventos pueden tener consecuencias negativas en la economía, la salud, la calidad de vida y el bienestar de la población que reside en ese territorio.

Es crucial entender que la vulnerabilidad territorial no es un concepto estático, sino que puede cambiar con el tiempo. La planificación y gestión adecuadas del territorio pueden contribuir a reducir la vulnerabilidad, fortaleciendo la capacidad de respuesta, implementando medidas de mitigación y promoviendo la resiliencia en las comunidades y en el entorno construido.

En resumen, la vulnerabilidad territorial se refiere a la susceptibilidad de un territorio a sufrir daños o pérdidas frente a los riesgos y amenazas. Esto abarca una serie de condiciones físicas,

socioeconómicas y ambientales que hacen que un territorio sea más propenso a la adversidad. La comprensión de la vulnerabilidad territorial es fundamental para adoptar medidas de prevención, adaptación y mitigación que promuevan la resiliencia y la sostenibilidad en el desarrollo de los territorios.

El crecimiento exponencial de la demanda de sistemas de refrigeración se ha convertido en una preocupación importante a medida que aumenta la temperatura del planeta. Sin embargo, el uso generalizado de hidrofluorocarbonos como refrigerantes y la elevada cantidad de energía consumida por los sistemas de aire acondicionado contribuyen significativamente a las emisiones de carbono en el ambiente. Además, los compresores utilizados en estos dispositivos liberan calor, lo que contribuye directamente al fenómeno de las Islas de Calor Urbano (ICU) (Lim, 2020).

Aunque el uso de sistemas de aire acondicionado puede proporcionar confort térmico en los hogares, su funcionamiento es independiente de la hora del día, lo que lleva a un uso constante. Aquí radica un punto crítico relacionado con las disparidades en el poder adquisitivo, que afecta la manera en que las personas pueden acceder a un ambiente agradable para el descanso. Aquellos con recursos limitados enfrentan dificultades para adquirir y mantener estos equipos debido a los altos costos de compra y el aumento en el consumo energético para mantenerlos en funcionamiento.

### **1.3.5. Pobreza Energética**

La pobreza energética es un concepto que surge cuando los hogares no tienen acceso equitativo a servicios energéticos de alta calidad para satisfacer sus necesidades básicas (RedPe, 2019). Esta situación genera una vulnerabilidad energética, ya que algunos hogares carecen de acceso a métodos más efectivos para enfriar sus viviendas, lo que los expone a un mayor estrés térmico, especialmente cuando se combina con la exposición diurna. Esto da como resultado una acumulación de calor corporal que dificulta la regulación térmica necesaria para un descanso adecuado.

Es relevante mencionar que los análisis sobre estrés térmico no deben limitarse únicamente a factores ambientales, sino que también deben considerar aspectos sociales e individuales. El tipo de cama, la ropa utilizada y las características de la construcción de las viviendas, como la ventilación, orientación, materiales y conducción del calor entre el interior y el exterior, también influyen en el estrés térmico (Höppe y Martinac, 1998).

Además, en los casos en los que se utilizan aparatos de aire acondicionado, las causas socioeconómicas juegan un papel relevante en la correlación entre factores ambientales y la calidad del sueño, tal como lo han demostrado investigaciones realizadas en varias ciudades estadounidenses (O'Neill et al., 2005).

### **1.3.6. Efectos de las altas temperaturas en la salud**

Las altas temperaturas afectan directamente el funcionamiento orgánico del cuerpo humano, y es importante comprender su mecanismo para entender su impacto. La termorregulación es



la propiedad física del cuerpo que regula la temperatura y depende del flujo de sangre en el organismo. El hipotálamo, parte del sistema límbico, actúa como un termostato corporal y regula las emociones, ubicado cerca del tálamo y bajo la corteza cerebral.

Existe una diferencia entre la temperatura central ( $T_c$ ) y la temperatura en la piel ( $T_p$ ), y el flujo de sangre entre estos puntos a través de los capilares puede ayudar a disminuir o aumentar la temperatura corporal ( $T_b$ ). El cuerpo humano regula su temperatura mediante el contacto con el ambiente, ya sea a través de la radiación o la convección, y el sudor juega un papel fundamental para enfriar el cuerpo. Sin embargo, esto también puede llevar a la deshidratación, y en casos extremos, incluso a la muerte, especialmente en ambientes húmedos con altas temperaturas, si no se produce una correcta adaptación (Libert et al., 1991).

La regulación de la temperatura corporal ( $T_b$ ) en los seres humanos es un proceso fisiológico complejo que depende de varios factores. La  $T_b$  está compuesta por los valores de la temperatura central ( $T_c$ ) y la temperatura de la piel ( $T_p$ ), y es regulada por el cerebro para mantenerse en promedio alrededor de  $36.8^\circ\text{C}$  en reposo. En casos excepcionales, como en pacientes con cáncer o deportistas de alto rendimiento, se ha observado que se puede tolerar una  $T_c$  mayor a  $42^\circ\text{C}$  sin consecuencias graves para la salud (Lim, 2020).

Los infantes son más vulnerables a las altas temperaturas debido a su menor área de piel para disipar el calor y su menor desarrollo de la capacidad termorreguladora (Basu, 2009). Además, con la edad, la capacidad termorreguladora disminuye, lo que hace a los adultos mayores más susceptibles a los efectos del calor (Chesini et al., 2019).

La tolerancia al calor se refiere a la capacidad de tolerar altas temperaturas sin sufrir efectos fisiológicos adversos y se relaciona con conceptos como el esfuerzo y el estrés calórico. El esfuerzo calórico representa la diferencia de temperatura desde el reposo hasta la máxima temperatura alcanzada durante una actividad, mientras que el estrés calórico indica el máximo valor alcanzado en la  $T_b$ . Por ejemplo, si la  $T_b$  aumenta de  $37^\circ\text{C}$  a  $39.8^\circ\text{C}$  durante una carrera de 10 km, el esfuerzo calórico sería de  $2.8^\circ\text{C}$ , mientras que el estrés calórico sería de  $39.8^\circ\text{C}$ .

El cuerpo humano produce energía para moverse a través del ciclo de Krebs, liberando calor en el proceso. Sin embargo, solo un 25-30% de esta energía se aprovecha, y el resto se almacena en el cuerpo como calor, lo que explica el aumento de la temperatura durante la actividad física.

La termorregulación es el mecanismo que utiliza el cuerpo para mantener su temperatura adecuada, similar a la termodinámica de fluidos que ocurre en el planeta. El termostato que regula la temperatura corporal está ajustado por el sistema límbico, que también es responsable de regular las emociones. La diferencia entre la  $T_c$  y la  $T_p$ , junto con el flujo de sangre a través de los capilares, ayuda a regular la  $T_b$ . Por ejemplo, aplicar un paño húmedo a menor temperatura sobre la frente durante la fiebre puede disminuir la  $T_b$ . Los infantes son

más vulnerables a las altas temperaturas debido a su menor capacidad para disipar el calor a través de la piel, y los adultos mayores también son más susceptibles al estrés térmico debido a la disminución de la capacidad termorreguladora (Basu, 2009; Chesini et al., 2019). El cuerpo libera calor a través de la radiación, convección y, significativamente, mediante la sudoración, que puede provocar deshidratación en casos extremos. Por lo tanto, los ambientes húmedos y calurosos pueden ser más perjudiciales para la salud (Libert et al., 1991).

Los seres vivos, incluidos los humanos, responden al ciclo circadiano, que es un ritmo biológico de aproximadamente 24 horas que se manifiesta en la diferencia entre el día y la noche para diferentes especies. En humanos, la  $T_b$  se mantiene aproximadamente entre 37-37.5°C durante el día y disminuye a 36.5-36.8°C durante el sueño nocturno (Lim, 2020).

El cuerpo humano tiene la capacidad de adaptarse al medio en términos térmicos, y este proceso generalmente toma entre 4 y 6 días en promedio, alcanzando una meseta después de 10 a 14 días. Sin embargo, es importante destacar que las primeras horas de exposición a altas temperaturas son las más perjudiciales, ya que pueden llevar a un shock térmico. El esfuerzo calórico tiende a aumentar cuando se experimentan días continuos con altas temperaturas, y el periodo de reposo nocturno se vuelve esencial para disminuir la cantidad de calor acumulado. Sin embargo, si las altas temperaturas persisten incluso durante la noche, este ciclo se rompe y se incrementa el impacto sobre la salud.

La exposición al calor durante la noche interrumpe y retrasa el sueño, afectando el sueño de onda lenta SWS (Slow Wave Sleep) y/o el sueño de movimientos oculares rápidos REM (Rapid Eyes Movement) (Martínez y Martínez, 2011). Dado que las primeras fases del sueño son las más sensibles y tienen un mayor impacto en el descanso del organismo, las noches en las que durante las primeras horas se superan los 20°C pueden generar estrés térmico y problemas en el sueño, y potencialmente afectar la salud (Royé y Martí, 2015).

Las personas con condiciones de salud preexistentes, como problemas cardiovasculares, asma, diabetes y desórdenes psiquiátricos, son más vulnerables a estos cambios térmicos. Además, los factores socioeconómicos también pueden influir en la vulnerabilidad de las personas ante el estrés térmico (Basu, 2009). Proyecciones realizadas en 27 ciudades de China indican que un aumento de 1.5 a 2°C en la temperatura superficial podría resultar en un aumento de mortalidad de 1.5 a 2 veces, lo que equivaldría a más de 28,000 decesos anuales. Para regiones de América, Europa y el este asiático, un aumento de más de 4°C en la temperatura podría aumentar la mortalidad relacionada con el calor entre 3.5 y 8.9 veces en comparación con las cifras actuales (Lim, 2020).

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Evaluar la vulnerabilidad territorial ante el calor nocturno de verano en el Gran Santiago entre 2010 y 2021 en el marco del cambio climático

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Analizar el comportamiento de la temperatura nocturna de verano e identificar áreas de mayor amenaza por calor en la ciudad
- Identificar la vulnerabilidad territorial ante el calor nocturno de verano en el Gran Santiago

## 1.5. Área de estudio

El Gran Santiago, ubicado en la Región Metropolitana, está compuesto por las 32 comunas de la provincia de Santiago, además de Puente Alto (capital de la Provincia de Cordillera) y San Bernardo (capital de la Provincia de Maipo). Sus coordenadas aproximadas son 33°26'16''S 70°39'01''O, y su extensión total abarca 837,89 km<sup>2</sup>. La población en esta área es de 6.254.314 habitantes, lo que representa el 35,6% de la población total del país (INE, 2017). El área de estudio corresponde a un total de 41.391 manzanas, 1.916.535 viviendas con un total de 5.697.713 habitantes, en un área de 580 km<sup>2</sup>.

El clima en esta región se clasifica como templado de verano seco (Csb) según la clasificación de Köppen. Respecto a las temperaturas extremas para el período de referencia 1981-2010, el mes de enero registra una temperatura media de las máximas de 30,1°C, con una oscilación térmica de 26,2°C. La temperatura media anual es de 14,7°C, y enero es el mes más cálido, con una temperatura media de 21,2°C (Sarricolea & Martí-Vide, 2014, p.125). Cabe mencionar que el Gran Santiago presenta la mayor Isla de Calor Urbano (ICU) a nivel nacional, con un valor estimado de 9,2°C, y se proyecta que la ICU más intensa sea de 10,8°C para el año 2065 (ARCLIM, 2020). Además, la comuna de Pudahuel presenta el mayor calentamiento en los últimos años con una anomalía de casi 4°C respecto al promedio 1981-2010 en su temperatura media (Dirección de Aeronáutica Civil, 2021).

Aunque el Gran Santiago se encuentra por debajo del promedio nacional de pobreza por ingreso, es importante considerar que esta estadística utiliza el total de población y los ingresos del área como referencia, lo que puede generar una percepción errónea debido a la alta población existente en el área de estudio. En cifras brutas, el área concentra la mayor cantidad de personas en situación de pobreza, con 387.257 en 2017 y 732.654 en 2020, según la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional para cada año. Esto representa un aumento de 345.397 personas en solo 3 años. Además, la brecha de ingresos entre el decil más rico y el decil más pobre (índice 10/10) ha experimentado un incremento dramático, pasando de 24,9 veces en 2017 a 132,8 veces en 2020, mientras que el índice 20/20 aumentó casi 10 unidades (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2020).

Es importante tener en cuenta que las cifras mencionadas pueden haber sido afectadas por la pandemia, ya que para el año 2022, la estimación de personas en situación de pobreza en la región llegó a 368.013, con variaciones en comparación con las cifras anteriores (406.605 para 2017 y 721.516 para 2020), lo que representa una fuerte disminución, aunque la región continúa teniendo el mayor número total de personas en situación de pobreza a nivel nacional (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2022).

En el Gran Santiago, se observan realidades socioeconómicas contrastantes entre distintas comunas. Por ejemplo, comunas como Vitacura y Las Condes tienen tasas de pobreza cercanas al 3%, mientras que La Pintana presenta tasas de pobreza más altas, con un 14,14% medido por ingresos y un 32,74% medido de manera multidimensional, según los datos de la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional del año 2017.

Es importante resaltar que las cifras presentadas en la tabla N°2 se han calculado considerando el total de población por comuna. Esto se debe a que, al igual que las diferencias en los porcentajes de personas en situación de pobreza por ingresos, también se observan notables disparidades en la cantidad de habitantes. Por ejemplo, comunas como Puente Alto, Maipú y Santiago cuentan con más de 40.000 personas en situación de pobreza, al mismo tiempo que tienen poblaciones cercanas al medio millón.

A continuación, se presentan las cifras de pobreza correspondientes al año 2020 para las 34 comunas que conforman el área de estudio:

Nombre comuna	Número de personas según proyecciones de población (*)	Número de personas en situación de pobreza por ingresos (**)	Porcentaje de personas en situación de pobreza por ingresos 2020
Santiago	<b>508.785</b>	<b>42.810</b>	8,41%
Cerrillos	89.174	8.060	9,04%
Cerro Navia	142.391	18.400	12,92%
Conchalí	139.274	17.347	12,46%
El Bosque	171.889	21.583	12,56%
Estación Central	209.920	24.535	11,69%
Huechuraba	113.321	9.350	8,25%
Independencia	144.380	20.119	13,93%
La Cisterna	100.695	7.862	7,81%
La Florida	403.516	32.337	8,01%
La Granja	122.327	14.610	11,94%
<b>La Pintana</b>	189.347	29.038	<b>15,34%</b>
La Reina	100.328	4.709	4,69%
<b>Las Condes</b>	332.556	9.237	<b>2,78%</b>
Lo Barnechea	125.218	6.877	5,49%
<b>Lo Espejo</b>	103.662	14.951	<b>14,42%</b>
Lo Prado	104.407	14.280	13,68%
Macul	135.310	9.403	6,95%
Maipú	<b>580.866</b>	<b>40.853</b>	7,03%
Ñuñoa	252.463	10.019	3,97%
Pedro Aguirre Cerda	107.628	12.616	11,72%
Peñalolén	267.750	28.386	10,60%
Providencia	158.634	5.755	3,63%
Pudahuel	254.584	22.604	8,88%
Quilicura	257.713	21.971	8,53%
Quinta Normal	137.373	12.583	9,16%
Recoleta	191.515	25.365	13,24%
Renca	161.297	16.434	10,19%
San Joaquín	103.641	12.230	11,80%

San Miguel	134.602	7.157	5,32%
San Ramón	86.272	11.346	13,15%
Vitacura	97.157	3.232	3,33%
Puente Alto	<b>649.570</b>	<b>51.876</b>	7,99%
San Bernardo	336.441	35.977	10,69%

**Leyenda:**

	Mayor porcentaje de personas en situación de pobreza por ingreso 2020
	Menor porcentaje de personas en situación de pobreza por ingreso 2020

(\*) Proyecciones de población comunal en viviendas particulares al 30 de noviembre de 2020 según el Censo de Población y Vivienda 2017.

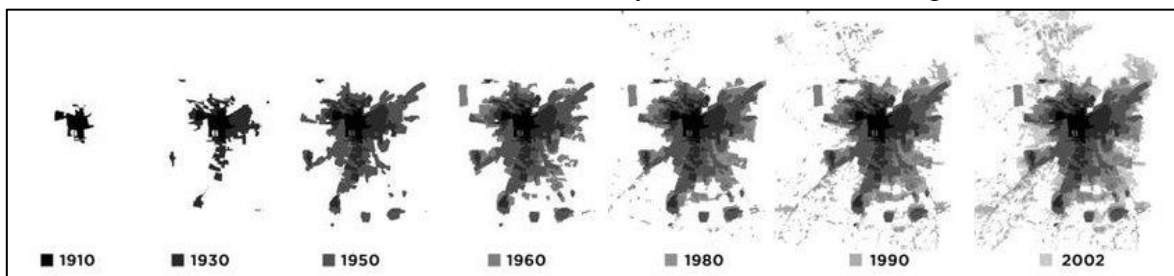
(\*\*) Este número se obtiene de multiplicar las proyecciones de población de cada comuna por su respectiva estimación de pobreza comunal según la metodología de áreas pequeñas.

**Tabla N° 2: Pobreza por ingresos a nivel comunal, año 2020**

Fuente: Elaboración propia, basado en la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional, Ministerio de Desarrollo Social y Familia, año 2020.

En línea con otras capitales mundiales, Santiago exhibe la mayor densidad poblacional del país, con una cifra de 539,5 habitantes por km<sup>2</sup>. Además, presenta la mayor concentración de población en áreas urbanas, donde la gran mayoría de las comunas tienen un 100% de habitantes viviendo en zonas urbanas, a excepción de La Florida, Maipú, San Bernardo y Puente Alto. Esta metrópolis, también conocida como "precariópolis" según Hidalgo et al. (2008), es un claro ejemplo de cómo ha sido la evolución de las ciudades latinoamericanas, fuertemente influenciadas por una lógica neoliberal en sus modelos de planificación. Esta situación ha permitido el desarrollo de zonas densamente urbanizadas que resultan más vulnerables frente a eventos de calor extremo.

Por otro lado, se evidencia un importante déficit para satisfacer la demanda de viviendas, que se estima cercana a las 650.000 unidades para el año 2022, según el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MinVU, 2022). El libre mercado ha acentuado las desigualdades territoriales al propiciar la construcción a bajo costo y sin planificación adecuada, lo que ha llevado a un aumento en la densificación y la saturación de espacios libres en la ciudad, como es el caso de la comuna de Estación Central y sus llamados guetos verticales.



**Figura N° 2: Crecimiento de Santiago**

Fuente: Camila Cociña, 2016.

La configuración del Gran Santiago, así como su crecimiento, ha seguido una lógica orientada hacia la maximización de las ganancias, lo que se refleja en ciertas comunas donde los índices de hacinamiento cuadruplican los de otras, debido a la optimización del uso del espacio. Esta desigualdad se extiende también al ámbito ambiental, donde se observan disparidades en la cantidad de áreas verdes y servicios disponibles.

En la actualidad, esta configuración desigual también se traduce en distintas formas de afrontar las condiciones meteorológicas, lo que ha sido objeto de estudio desde la perspectiva de la pobreza energética. Esto se manifiesta en bajas temperaturas interiores en los hogares durante el invierno y altas temperaturas en el periodo de calor durante el verano.

Chile es un país con altos niveles de desigualdad, como lo confirman diversos estudios. Por ejemplo, el Informe sobre la Desigualdad Global 2022 destaca cómo la distribución de la riqueza se polariza significativamente entre el 10% más rico y el resto del país, siendo que casi la mitad de la población vive con ingresos considerablemente inferiores al PIB per cápita. Esta situación sugiere que los extremos de la balanza tienen un fuerte peso en la ecuación. El 10% de la población con mayores ingresos logra contrarrestar las desigualdades internas, evocando el poema de Nicanor Parra:

*Hay dos panes.*

*Usted se come dos.*

*Yo ninguno.*

*Consumo promedio:*

*un pan por persona.*

“Los panes, 2013”

La Región Metropolitana destaca como la región con el mayor porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB) nacional, representando un 43% del total (CORFO, 2022). Este alto peso del PIB regional se concentra principalmente en actividades de servicios financieros y empresariales, seguido por el comercio, y en menor medida por los servicios de vivienda e inmobiliarios y la construcción, que en conjunto suman el 15,3% del PIB regional en 2021 (CORFO, 2022).

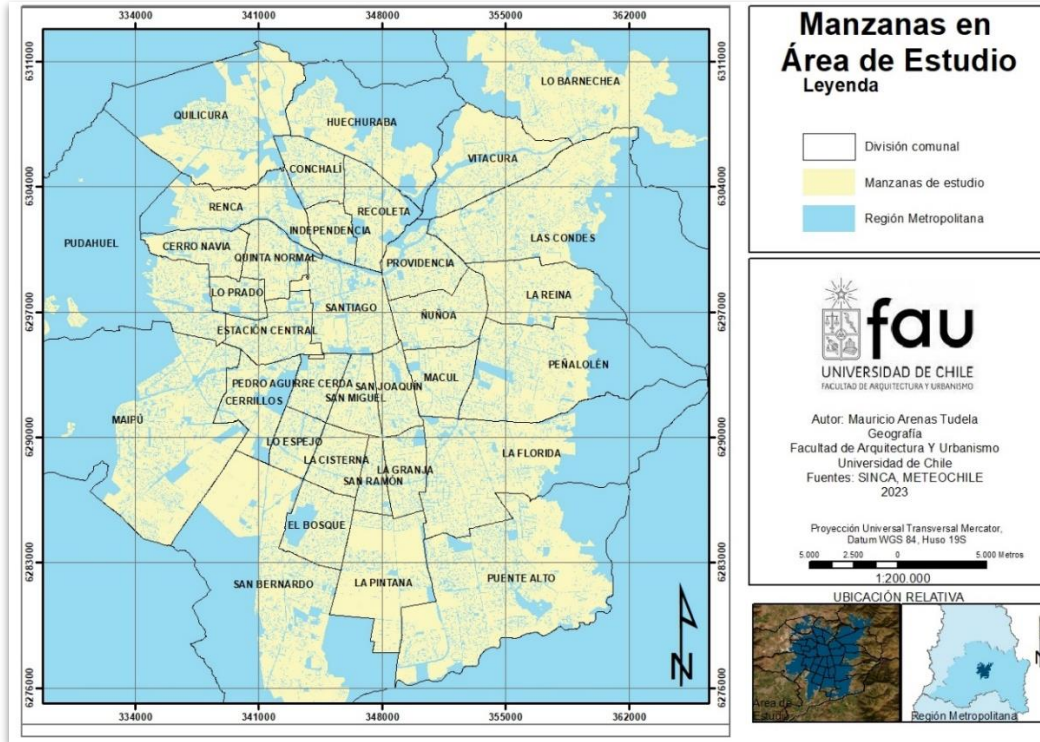


Figura N° 3: Manzanas del área de estudio

Fuente: Elaboración propia, 2023; basado en INE 2017

En cuanto a las desigualdades, también se observa una amplia diferencia en el consumo de carbono, donde se estima que cada habitante emite aproximadamente 6 toneladas de CO<sub>2</sub> per cápita. Sin embargo, el 10% más rico de la población emite en promedio 26 toneladas al año, con el 1% más adinerado alcanzando las 108,2 toneladas anuales. Mientras tanto, el 50% más pobre de la población suma solo 2,7 toneladas y el restante 40% suma 5,8 toneladas (Chancel et al., 2022).

El índice de Calidad de Vida Urbana (ICVU), desarrollado por la Pontificia Universidad Católica de Chile, muestra que las comunas de la Región Metropolitana experimentan un aumento del 9,8% en su población con un nivel bajo en el índice. Esto refleja una mayor desigualdad en el área metropolitana, y las dimensiones que más contribuyen a esta desigualdad son "Vivienda y entorno" y "Ambiente de negocios" en comparación con otras comunas del país. Entre las comunas del Gran Santiago, las del cono oriente ocupan los primeros lugares en el índice, mientras que la comuna de La Pintana, también ubicada en el área de estudio, se encuentra en el último lugar a nivel nacional. Estos resultados subrayan las desigualdades presentes en el país, que son evidentes incluso dentro del mismo espacio que ocupa el Gran Santiago. El ICVU para el año siguiente apenas varía, con 5 comunas que mejoran y otras 5 que empeoran, manteniendo los extremos (ICVU, 2021).



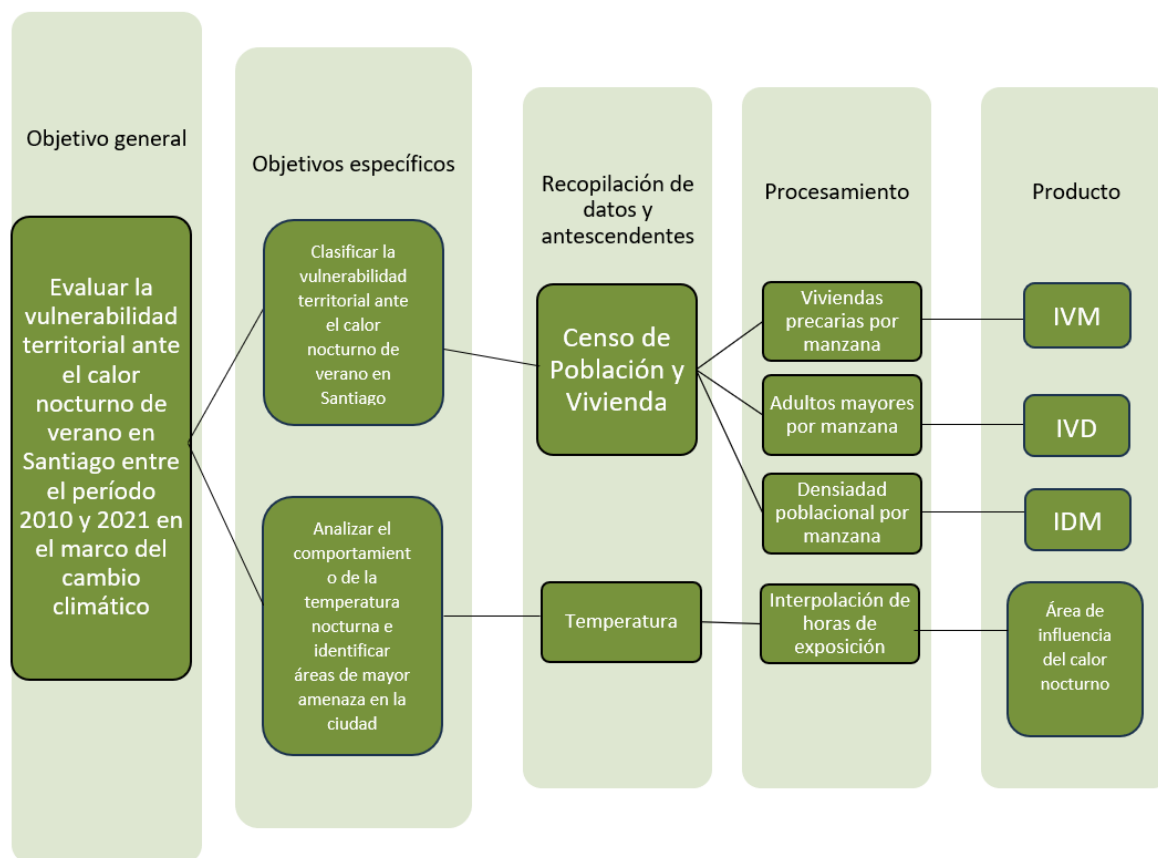
## **Capítulo 2: Planteamiento metodológico**

### **2.1. Materiales y métodos, recopilación de datos y antecedentes**

El objetivo de este estudio es generar una combinación de los datos térmicos procesados para demostrar, tanto en una escala acumulada como puntual, las vulnerabilidades ante la amenaza de calor extremo urbano. Se utilizarán datos recopilados durante los meses de diciembre a marzo, correspondientes al período de 2010 a 2021, provenientes de las estaciones meteorológicas de Quinta Normal, Pudahuel y Tobalaba. Esto debido a que desde el 2011 los años han sido consecutivamente más cálidos que lo normal, sumando 10 años seguidos, donde el 2016 sigue estando en el primer lugar con 13.8°C (+1.03°C) de temperatura media, mientras que este año 2020 fue solo una centésima mayor que el 2015, quedando en segundo y tercer lugar, respectivamente (Dirección Meteorológica de Chile, 2022).

A partir de estos datos, se crearán gráficos que mostrarán que las temperaturas durante las primeras horas de la noche son significativamente altas, lo que afecta la etapa inicial del sueño. Esta situación, sumada a las altas temperaturas registradas durante el día y en ocasiones de forma consecutiva, aumenta el riesgo para la salud, especialmente en personas que presentan condiciones médicas previas.

Además, se elaborarán cartografías que identifiquen y expliquen las vulnerabilidades encontradas ante este problema a través de las variables propuestas (Tabla N°6). Estas cartografías permitirán visualizar de manera más clara las áreas con mayor exposición al calor extremo y ayudarán a comprender la magnitud del riesgo para la población en diferentes partes del área de estudio. Con esta información, se podrá analizar la distribución espacial de las altas temperaturas y su posible relación con factores socioeconómicos y demográficos de la población (Figura N°4).

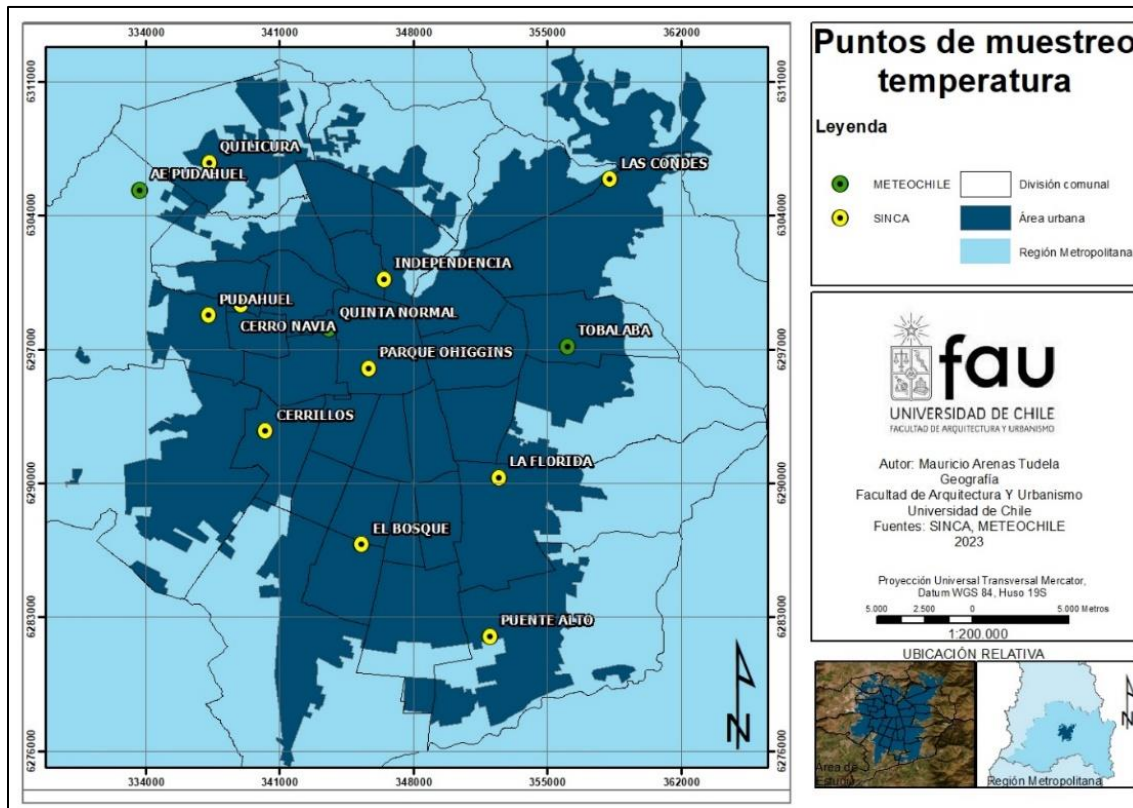


**Figura N° 4: Esquema metodológico**

Fuente: Elaboración propia, 2023.

### 2.1.1. Evaluación de la amenaza por calor nocturno

Para este estudio, se utilizaron dos fuentes de información para medir las temperaturas en el área de estudio. La primera fuente es la Dirección Meteorológica de Chile de la Dirección de Aeronáutica Civil (Meteochile), que cuenta con tres puntos de medición en el área de estudio: el Aeropuerto de Pudahuel (333699 E, 6305342 S), Quinta Normal (343587 E, 6298112 S) y Tobalaba (356075 E, 6297166 S). Sin embargo, estas tres estaciones resultaron insuficientes para abarcar toda el área de estudio, por lo que se complementaron con otras diez estaciones del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA) del Ministerio del Medio Ambiente. Estas diez estaciones adicionales son: Cerrillos (340277E 6292747S), Cerro Navia (338984E, 6299360S), El Bosque (345313E, 6286825S), Independencia (346488E, 6300681S), La Florida (352504E, 6290304S), Las Condes (358305E, 6305906S), Parque O'Higgins (345673E, 6296019S), Pudahuel (337311E, 6298809S), Puente Alto (352049E, 6282013S) y Quilicura (337356E, 6306788S). Estas estaciones adicionales permiten obtener una cobertura más amplia y representativa de las condiciones de temperatura en el área de estudio.



**Figura N° 5: Puntos de muestreo de temperatura**

Fuente: Elaboración propia, 2023; basado en INE 2017

Para analizar la información recopilada entre los años 2010 y 2021, se realizó un proceso de limpieza y organización de los datos contenidos en tablas Excel provenientes de diferentes fuentes. Estos datos incluían información sobre fechas, horas y temperaturas registradas en diferentes estaciones meteorológicas. Para el estudio, se seleccionaron los meses de verano, que comprenden diciembre, enero, febrero y marzo, dado que en esta temporada se observan las mayores temperaturas en el área de estudio, de acuerdo con informes del IPCC de 2022 que indican un aumento en la duración del verano en ciertas regiones, incluyendo el área de estudio (Sarricolea & Martí-Vide, 2014; Ortega, 2018; Letelier, 2020).

Luego de filtrar los datos por los meses de verano, se procedió a seleccionar las horas nocturnas, donde no hay presencia de luz solar. Dado que la exposición al sol es mayor durante el verano, con días más largos que las noches, se tomó como referencia el periodo de 21:00 hrs a 6:00 hrs para el análisis nocturno. Sin embargo, se observaron diferencias significativas en las mediciones de diferentes fuentes durante las noches más calurosas.

Para abordar estas diferencias, se emplearon dos enfoques distintos para analizar los datos obtenidos:

### **2.1.1.1. Amenaza de calor nocturno**

Adicionalmente, para analizar los datos obtenidos desde SINCA, se adoptó la metodología propuesta por Fernández y García (2008). Se realizó una suma del número de horas que superaron los 20°C por noche. Esto se debió a la presencia de vacíos de información en diferentes estaciones. Con el fin de obtener una aproximación, se consideró la cantidad de datos obtenidos en relación con el total posible, para evaluar la representatividad de las mediciones. Luego, se realizó el mismo cálculo respecto a la suma de horas de temperatura sobre el umbral sugerido y el total de horas medidas. Esto permitió obtener un porcentaje que indicara la frecuencia de noches calurosas durante el período de estudio.

Posteriormente, se asoció el valor de este porcentaje a cada punto de medición para determinar los años con las mayores y menores medidas, estableciendo una comparación entre ambos. Con estos valores, se empleó la herramienta ArcGIS de ArcMap para generar una interpolación espacial de los puntos de medición. Se probaron distintas opciones, como Kernel, IDW, Kriging, Vecino natural, Spline, Spline con barreras, Tendencia, entre otras. El objetivo era seleccionar el método que mejor estimara los espacios sin mediciones, lo que permitiría identificar de manera más precisa las áreas con índices de calor urbano (ICU) y aquellas con mayor influencia de altas temperaturas.

### **2.1.1.2. Umbrales térmicos**

Se propuso realizar un análisis de las temperaturas durante la noche utilizando datos de las estaciones de Meteochile de la DMC. Se enfocará específicamente en las primeras horas de la noche, que incluyen la primera fase del sueño, ya que se ha establecido que son las más sensibles y propensas a acumular alteraciones por estrés térmico (Royé, 2017).

Se seleccionarán cuatro momentos durante la noche para el análisis: 21:00 hrs, 00:00 hrs, 03:00 hrs y 06:00 hrs. Se establecerán tres parámetros de temperatura: 30°C, 25°C (noches muy cálidas) y 20°C (noches tropicales).

Dado que la temperatura disminuye desde la puesta de sol hasta el amanecer, los parámetros para identificar la gravedad de las cifras obtenidas se categorizarán de la siguiente manera:

- A las 21:00 hrs, se considerarán altamente peligrosas las temperaturas mayores a 30°C y noches muy cálidas las iguales o mayores a 25°C. El rango común será de 20°C.
- A las 00:00 hrs, se aplicarán las mismas medidas que a las 21:00 hrs, es decir, 25°C y 20°C como noches muy cálidas y rango común, respectivamente.
- A las 03:00 hrs, se mantendrán las temperaturas de noches muy cálidas (25°C) y noches tropicales (20°C).
- Para las 06:00 hrs, se considerarán las noches tropicales, ya que a esta hora se registran las temperaturas más bajas sin llegar a ser consideradas bajas.

Es importante mencionar que el punto del aeródromo de Tobalaba no cuenta con mediciones desde las 00:00 hrs hasta las 11:00 hrs

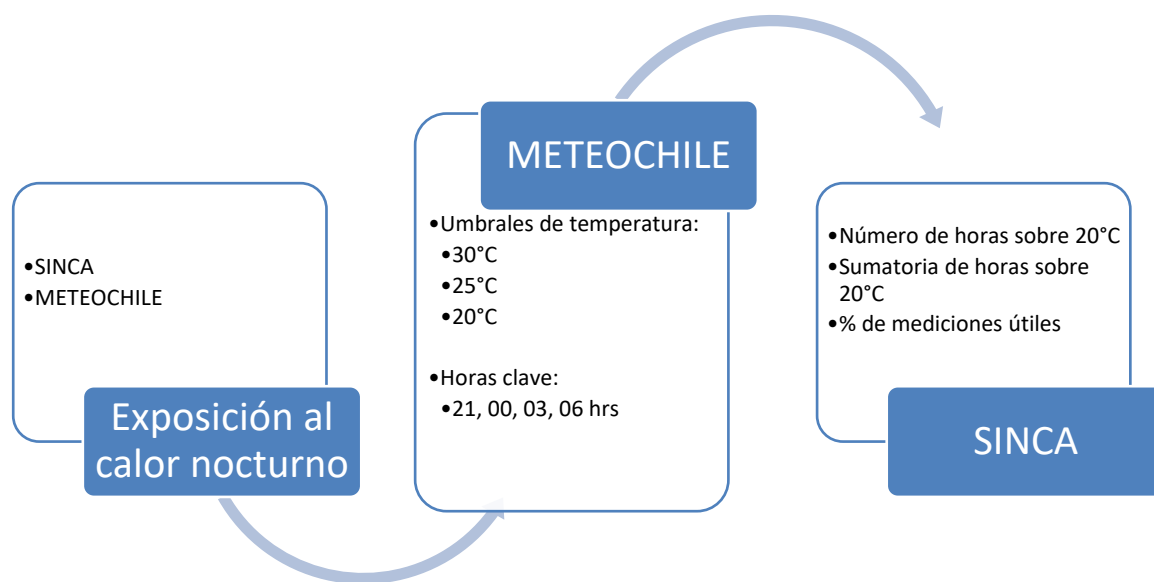


Figura N° 6: Esquema metodológico para calcular calor nocturno

Fuente: Elaboración propia, 2023.

## 2.1.2. Factores sociodemográficos

En el ámbito de los factores sociodemográficos, se enfrenta un desafío significativo con respecto a la calidad y cantidad de datos disponibles a nivel de individuo en el país. Las encuestas como la Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN) del Ministerio de Desarrollo Social y Familia, o el Censo de Población y Vivienda son las principales fuentes de información, pero no proporcionan una respuesta precisa sobre el poder adquisitivo de cada sector de la ciudad. No obstante, este dato puede estimarse mediante el cruce de información en algunos estudios, considerando variables como la cantidad de profesionales por sector, la materialidad de las viviendas, los metros cuadrados de las propiedades, el valor del suelo, la existencia de áreas verdes privadas, la cantidad de vehículos, entre otros (Encinas et al., 2022).

### 2.1.2.1. Vulnerabilidad por Adultos mayores por manzana

Para este estudio, se emplean datos del Censo de Población y Vivienda 2017 con el objetivo de identificar tanto variables demográficas como socioeconómicas. Las variables demográficas incluyen la edad de las personas en cada parte de la ciudad, y datos como el Índice de Dependencia Demográfica (IDD) y el Índice de Adultos Mayores (IAM) sobre población mayor de 65 años proporcionan información sobre el porcentaje de personas dependientes en comparación con la población en edad de trabajar, así como la relación entre adultos mayores y población infantil. En la Región Metropolitana, el porcentaje de hogares con adultos mayores ha aumentado en alrededor de un 10% desde 1992 hasta 2020, alcanzando casi el 40% del total (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2020).

En este estudio, no se utilizaron datos sobre menores de edad debido a que, desde la realización del Censo hasta el presente, la diferencia de edad los situaría en otro grupo, disminuyendo su valor. Además, no se expresaría la cantidad de recién nacidos, quienes podrían presentar mayor vulnerabilidad. No obstante, para la población de 65 años y más, este problema no se daría, ya que el número inicial debería mantenerse o aumentar, de acuerdo con las proyecciones y considerando la curva de crecimiento demográfico del país (BCN, 2023).

### 2.1.2.2. Vulnerabilidad por materialidad de viviendas

Para la variable socioeconómica se utilizará las respuestas del Censo de Población y Viviendas correspondientes al Índice de Materialidad de las Viviendas, las que se dividen en Aceptable, Recuperable e Irrecuperable:

<p>Viviendas con índice de materialidad <b>aceptable</b>: si las paredes exteriores, cubierta del techo y piso de la vivienda fueron clasificados como aceptables al unísono.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si se declara Hormigón Armado; Albañilería: bloque de cemento, piedra o ladrillo; o Tabique forrado por ambas caras (madera o acero).</li> <li>- Si se declara Tejas o tejas de arcilla, metálicas, de cemento, de madera, asfálticas o plásticas; Losa de hormigón, o planchas metálicas de zinc, cobre o fibrocemento (tipo pizarreño).</li> <li>- Si se declara Parquet, piso flotante, cerámico, madera, alfombra, flexit, cubrepiso u otro similar; sobre radier o vigas de madera.</li> </ul>
<p>Viviendas con índice de materialidad <b>recuperable</b>: al menos uno de los materiales (paredes exteriores, cubierta del techo o piso de la vivienda) fue clasificado como recuperables y ningún material como irrecuperable.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si se declara Tabique sin forro interior (madera u otro), o Adobe, barro, quincha, pirca, u otro artesanal tradicional</li> <li>- Si se declara Fonolita o plancha de fieltro embreado o Paja, coirón, totora o caña.</li> <li>- Si se declara Radier sin revestimiento, Baldosa de cemento o Capa de cemento sobre tierra.</li> </ul>
<p>Viviendas con índice de materialidad <b>irrecuperable</b>: Si las paredes exteriores, cubierta del techo o piso de la vivienda fueron clasificados como irrecuperables.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si se declara Materiales precarios (lata, cartón, plástico, etc.).</li> <li>- Si se declara Materiales precarios (lata, cartón, plástico, etc.), o Sin cubierta sólida en el techo.</li> <li>- El piso se considera irrecuperable si se declara Tierra.</li> </ul>

**Tabla N° 3: Materiales de construcción y clasificación INE**

Fuente: Glosario INE, 2018

Gracias a la materialidad de las viviendas, se logra hacer un acercamiento hacia la población con mayor vulnerabilidad respecto a la amenaza de las altas temperaturas. Para este estudio se generó una relación entre la cantidad de viviendas no aceptables dentro del total, generando la fórmula calcular el Índice de Materialidad de Vivienda (Figura N°6).

En este estudio, se empleó dicha fórmula para calcular la vulnerabilidad material en cada manzana censada dentro del área de estudio, permitiendo obtener información precisa con una escala homogénea. Al considerar únicamente las viviendas ocupadas con moradores presentes, se estableció una relación directa con los habitantes, lo que proporciona un acercamiento más efectivo. Sin embargo, al analizar las clasificaciones de ocupación del INE, se identificó un problema, ya que dentro de las viviendas clasificadas como "aceptables", se

incluyen aquellas con paredes de tabique forrado y cubiertas de techos de materiales como zinc, cobre o fibrocemento, los cuales presentan menor capacidad aislante y resistencia a las variaciones de temperatura. Esta clasificación del Censo (Tabla N°3), amplia en su enfoque, podría ocultar en gran medida una realidad más precisa del territorio estudiado.

$$\frac{(Recuperable + Irrecuperable) * 100}{(Aceptable + Recuperable + Irrecuperable)}$$

**Figura N° 7: Fórmula para cálculo de Índice de Materialidad de Vivienda con metodología del Censo**

Fuente: Elaboración propia, 2023. Basado en INE 2017.

Para abordar esta cuestión, se proponen dos nuevos cálculos que permitan comprender mejor la precariedad según el material presente en las manzanas, distinguiendo así la vulnerabilidad de techos y paredes exteriores a través de una reclasificación. Si bien el piso también podría influir en la vulnerabilidad, se estima que para los propósitos de este estudio su impacto no sería significativo, aunque podría ser relevante para investigaciones más detalladas en el futuro.

La clasificación de los materiales se basó en el orden de respuestas presentado en el Censo y conjunto a la clasificación por conductividad térmica de la NCh. 853 2007, donde, por ejemplo, las tejas fueron ubicadas en una escala superior a la paja o la totora, y las paredes de hormigón por encima de materiales como el cartón o la lata. Así, los materiales se clasificaron como "aceptables" o "precarios", generando una diferencia que permite distinguirse de la clasificación del Censo. En este análisis, se consideraron materiales de la opción "recuperable" dentro de los clasificados como precarios (Tabla N°4 y N°5).

Es importante destacar que esta clasificación fue diseñada para obtener un índice que refleje de manera más clara la vulnerabilidad material promedio de las manzanas, tanto para techos como para paredes, de manera independiente, y también ofrece la posibilidad de calcular su combinación. Esta aproximación busca proporcionar una perspectiva más precisa sobre la vulnerabilidad material en el área de estudio.

#### **2.1.2.2.1. ¿Cuál es el material de construcción principal en las paredes exteriores?**

Ante la respuesta de ¿Cuál es el material de construcción principal en las **paredes exteriores**? Para el total de viviendas ocupadas con moradores presentes, se clasifican las siguientes opciones, basado en el listado oficial de soluciones constructivas para aislamiento térmico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo y en la norma de acondicionamiento térmico NCh 853 Of 2007 disponible en la sección de Anexos.

<b>Material de las paredes exteriores</b>	<b>Clasificación propuesta</b>
Hormigón armado	Aceptable
Albañilería	Aceptable
Tabique forrado por ambas caras	Precario
Tabique sin forro interior	Precario
Adobe, barro, quincha, pirca u otro artesanal tradicional	Precario
Materiales precarios (lata, cartón, plástico, etc.)	Precario

**Tabla N° 4: Clasificación de material de las paredes exteriores.**

Fuente: Elaboración propia, 2023. Basado en INE 2017 y NCh 853 2007.

A través de la expresión de este índice por manzana, se puede cartografiar los sectores vulnerables por materialidad, como acercamiento, lo que además se combina con otro porcentaje utilizado para expresar la cantidad de adultos mayores por manzana, con un promedio simple de la cantidad de estos dividido por la cantidad total de habitantes en cada manzana.

$$Pared\ precaria = \frac{Tabique\ forrado + Tabique\ sin\ forro + Adobe + Material\ precario}{\sum Total\ de\ viviendas\ que\ contestan}$$

**Figura N° 8: Fórmula para cálculo de Índice de Vulnerabilidad por pared precaria.**

Fuente: Elaboración propia, 2023. Basado en INE 2017.

#### **2.1.2.2.2. ¿Cuál es el material de construcción principal en la cubierta del techo?**

Ante la respuesta de ¿Cuál es el material de construcción principal en la **cubierta del techo**? Para el total de viviendas ocupadas con moradores presentes, se clasifican las siguientes opciones basado en el listado oficial de soluciones constructivas para aislamiento térmico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo y en la norma de acondicionamiento térmico NCh 853 Of 2007 disponible en la sección de Anexos, además del Manual de acondicionamiento térmico elaborado por la Cámara Chilena de la Construcción en el año 2015.

<b>Material del techo</b>	<b>Clasificación propuesta</b>
Tejas	Aceptable
Losa de hormigón	Aceptable
Planchas metálicas de zinc, cobre, etc. o fibrocemento	Precario
Fonolita o plancha de fieltro embreado	Precario
Paja, coirón, totora o caña	Precario
Sin cubierta sólida en el techo	Precario

**Tabla N° 5: Clasificación de material de las paredes exteriores.**

Fuente: Elaboración propia, 2023. Basado en INE 2017 y NCh 853 2007.

A través de la expresión de este índice por manzana, se puede hacer un acercamiento para cartografiar los sectores más vulnerables en cuanto a materialidad, lo que, combinado con el índice de adultos mayores, daría un resultado sobre los sectores con menor resistencia a las



altas temperaturas.

$$Techo\ precario = \frac{Planchas + Fonolita + Paja + Sin\ techo}{\sum Total\ de\ viviendas\ que\ contestan}$$

**Figura N° 9: Fórmula para cálculo de Índice de Vulnerabilidad por Techo precario.**

Fuente: Elaboración propia, 2023. Basado en INE 2017.

### 2.1.2.3. Densidad poblacional por manzana

Para calcular la densidad en el área de estudio se procedió a hacer un cálculo de las áreas de las manzanas en metros cuadrados para posteriormente dividirlo por el total de personas que habitan la manzana (Figura N°10). Así, se logró generar un acercamiento a la cantidad de metros cuadrados que presentaría cada persona en relación con el espacio que ocupa, es decir, a un menor valor, se puede predecir que existe una mayor densidad y quizá hacinamiento. Hay que tomar en cuenta que las manzanas se muestran de manera distinta en toda el área de estudio, donde además se toma la superficie del suelo, lo que mostraría las diferencias entre cuadras de mismo tamaño, pero con edificios de mayor tamaño en su área. Así podemos saber cuán saturada está un área, lo que generaría un mayor riesgo debido a que la exposición total de personas ante la amenaza sería mayor.

$$Densidad = \frac{\text{Área de la manzana en m}^2}{\text{Cantidad de personas en la manzana}}$$

**Figura N° 10: Fórmula para cálculo de Índice de densidad.**

Fuente: Elaboración propia, 2023. Basado en INE 2017.

Variable actual	Cálculo	Variable propuesta	Cálculo propuesto
<b>Índice de envejecimiento</b> (CEPAL, 2021)	Expresa la relación entre la cantidad de personas adultas mayores y la cantidad de niños y jóvenes. <b>Se calcula como el cociente entre personas de 65 años y más, respecto de las personas menores de 15 años, multiplicado por 100.</b> Se interpreta como el número de adultos mayores (de 65 años y más) por cada 100 niños y jóvenes (menores de 15 años)	<b>Vulnerabilidad por personas mayores o igual a 65 años</b>	Expresa la cantidad de personas adultas mayores en relación con el total de habitantes por manzana. <b>Se calcula como el total de personas igual o mayores a 65 años, dividido por el total de habitantes por manzana.</b> Se interpreta como el número de adultos mayores presentes por manzana
<b>Índice de</b>	Es un indicador de		

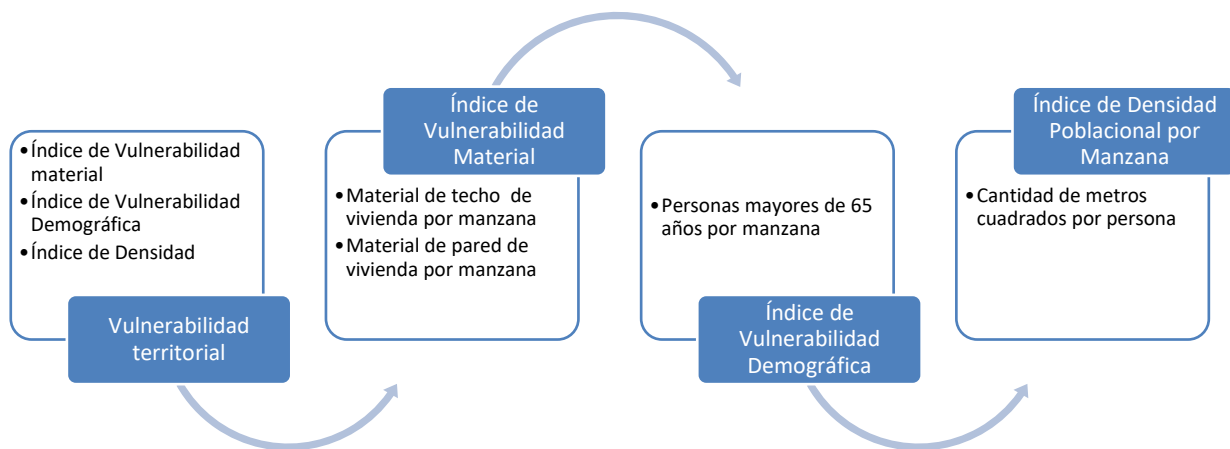
<p><b>dependencia demográfica</b> (CEPAL, 2021)</p>	<p>dependencia económica potencial: mide la población en edades "teóricamente" inactivas en relación con la población en edades "teóricamente" activas. Se calcula como <b>el total de población de 0 a 14 años más la población de 65 y más, dividido por el total de población de 15 a 64 años, multiplicado por 100</b>. Se interpreta como el número de personas en edad inactiva por cada 100 personas en edad de trabajar</p>		<p>en relación con el total de habitantes.</p>
<p><b>Hogares hacinados %</b> (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2014)</p>	<p>Expresa el porcentaje de hogares hacinados presentes en el Registro Social de Hogares (RSH) para cada sexo del(la) Jefe(a) de hogar y tramo CSE, respecto del total de hogares del sexo y tramo CSE correspondiente</p>	<p><b>Densidad poblacional por manzana</b></p>	<p>Expresa la cantidad de habitantes por manzana en relación con el área de esta. <b>Se calcula como la división del área total de la manzana por la cantidad de habitantes presentes</b>. Expresa la cantidad de personas presentes por manzana con relación al tamaño de esta.</p>
<p><b>Índice de materialidad</b> (Min. Desarrollo Social)</p>	<p>Permite conocer las condiciones materiales de las viviendas que habitan los hogares. <b>Se categoriza en Aceptable, Recuperable e Irrecuperable.</b></p>	<p><b>Índice de Vulnerabilidad por material</b></p>	<p>Expresa la cantidad de viviendas no Aceptables por el total en cada manzana. <b>Se calcula sumando las viviendas Recuperables e Irrecuperables, dividido por el total de viviendas.</b></p>
		<p><b>Índice de Vulnerabilidad por material del techo</b></p>	<p>Expresa la cantidad de viviendas que presentarían materiales precarios para su techo en relación con el total. <b>Se calcula sumando las viviendas con materiales precarios en sus techos,</b></p>

			<b>divididos por el total de viviendas.</b>
		<b>Índice de Vulnerabilidad por material de las paredes</b>	Expresa la cantidad de viviendas que presentarían materiales precarios para sus paredes en relación con el total. <b>Se calcula sumando las viviendas con materiales precarios en sus paredes, divididos por el total de viviendas.</b>
<b>Noches Tropicales</b> (Fernández & Álvarez, 2008) (Royé &	Permite conocer la exposición por cantidad de noches en que la temperatura mínima es igual o mayor a 20°C	<b>Horas de control DMC</b>	Permite conocer las temperaturas en 4 horas distintas de la noche
		<b>Puntos de muestreo SINCA</b>	Permite conocer la acumulación de horas con temperaturas sobre los 20°C en cada estación de muestreo, permitiendo generar una interpolación para obtener resultados a nivel del área de estudio

**Tabla N° 6: Propuesta metodológica**

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Se buscó calcular la Vulnerabilidad territorial a través del acercamiento que permite la elaboración de índices sobre la materialidad, rango etario y la densidad poblacional presentes en cada manzana de las 34 comunas correspondientes al Gran Santiago (Figura N°11). De esta manera identificar los sectores que presentarían una mayor vulnerabilidad ante el calor nocturno de verano en el Gran Santiago. El procesamiento de la información obtenida respecto a la materialidad se trabajó a través de una reclasificación basado en el cálculo de transmitancia de la Norma Chilena, presentes en las viviendas censadas. Respecto a la información demográfica, se trató directamente con el número de personas mayores o iguales a 65 años, entendiendo que este grupo presenta además una diversidad donde a mayor edad, mayor es la vulnerabilidad a las altas temperaturas (Lim, 2020). También se tomó en cuenta lo densamente poblada que se encuentra el área de estudio ya que la mayor densidad genera una dinámica de mayor exposición a la amenaza del calor nocturno.



**Figura N° 11: Metodología para calcular la Vulnerabilidad territorial**

Fuente: Elaboración propia, 2023.

## **Capítulo 3: Resultados**

Los productos de este estudio se describen a continuación, conjunto un breve análisis.

### **3.1. Factor ambiental**

#### **3.1.1. Amenaza de calor nocturno**

Gracias al uso de la interpolación Kernel con los datos del año 2015, que corresponde al período con mayor cantidad de muestras válidas y altas temperaturas, se puede observar que, en general, el porcentaje de horas nocturnas con temperaturas sobre los 20°C oscila entre un mínimo de 13% y un máximo de 44%. La distribución de estas temperaturas muestra mayores valores hacia el sector poniente del Gran Santiago, coincidiendo espacialmente con las Islas de Calor Urbano (ICU) en Providencia y el centro norte del área de estudio, lo cual concuerda con estudios previos realizados por Sarricolea & Martí-Vide (2013).

Es relevante destacar que también se observa una mayor cantidad de horas de exposición a altas temperaturas nocturnas en los sectores de Cerrillos y Maipú, junto con valores medios en las áreas de Estación Central, Lo Prado, Cerro Navia, Quinta Normal y parte de Pudahuel.

En resumen, la exposición a altas temperaturas nocturnas parece ser más frecuente en el sector poniente, donde también se registra la mayor vulnerabilidad material. Estos hallazgos resaltan la importancia de comprender la distribución espacial de las temperaturas y las áreas con mayor exposición al calor nocturno para poder implementar medidas de adaptación y mitigación efectivas frente a los efectos del cambio climático en áreas urbanas. El análisis de las ICU y su relación con la vulnerabilidad material puede contribuir a mejorar la planificación urbana y la toma de decisiones en políticas públicas para enfrentar el impacto del calor extremo en la población y el medio ambiente.

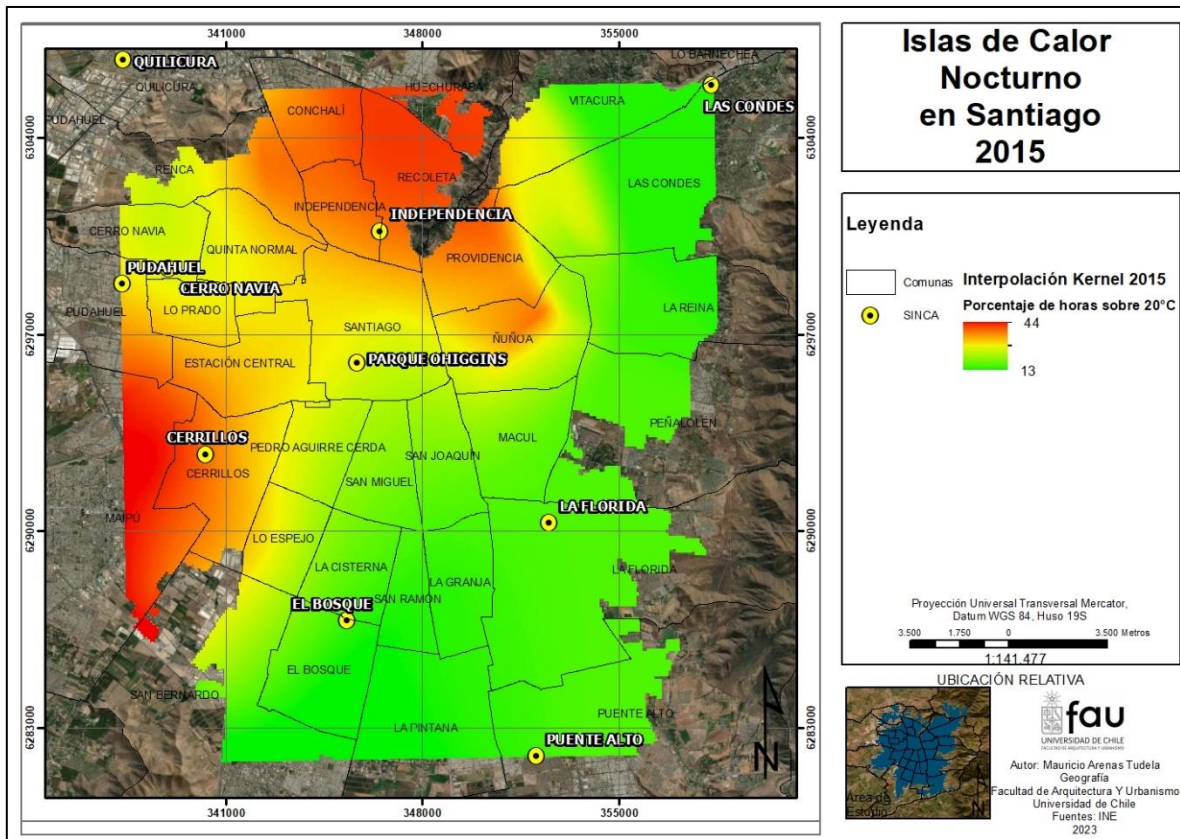


Figura N° 12: Islas de Calor Nocturno en el Gran Santiago 2015.

Fuente: Elaboración propia, 2023; basado en SINCA, 2015.

Se puede observar que las temperaturas registradas durante los periodos señalados se mantienen dentro del rango de amenaza, es decir, entre los 20°C y 30°C, incluso existiendo muchas mediciones por sobre el límite máximo, lo que afectaría directamente el inicio del sueño en horas cercanas a la señalada (Gráfico N°1).

Continuando con esta lógica, para las 00:00 (Gráfico N°4) se observa que las temperaturas siguen por sobre lo señalado como TN e incluso se aprecian mediciones por sobre los 25°C, lo cual, relacionándolo con la termorregulación, se traduciría en un valor acumulado de 3 horas de alto estrés térmico durante las noches que presenten esta condición.

Respecto a las temperaturas registradas a las 3 de la mañana (Gráfico N°7), siguen estando cerca de la TN, teniendo varias noches seguidas que superan esta media, sobre todo durante enero. Siguiendo la lógica antes expuesta, desde las 21hrs hasta este momento, la exposición a temperaturas muy altas llevaría una acumulación de 6 horas, lo cual en este punto ya representa una acción bastante negativa sobre la salud y la calidad de sueño.

En el horario de las 6 de la mañana (Gráfico N°9), cercano al amanecer, la temperatura muestra descenso por bajo los 20°C, aunque con fuerte presencia sobre los 15°C. Cabe destacar los picos de temperatura que están por sobre la medida, lo cual mostraría que puede

existir una gran exposición durante toda la noche, lo cual en dichos episodios agravaría significativamente los riesgos.

Operativa desde el año 1967, se ubica en el Aeropuerto Arturo Merino Benítez a una altitud de 482msnm y a 20kms dirección este de la ciudad. Debido a esta distancia, se esperaría que al adentrarse hacia la ciudad los resultados fuesen más intensos, potenciados por el efecto de las ICU.

En el caso de Quinta Normal, se puede observar que para el periodo de las 21:00 (Gráfico N°2), la temperatura se distribuye notoriamente por sobre los 25°C en su mayoría, existiendo también una gran frecuencia en las temperaturas por sobre los 30°C. Cabe destacar que se puede observar continuidad en las medidas de los días de algunos periodos, lo que se asocia con las Olas de Calor y su efecto continuo después de la puesta de sol.

A la medianoche (Gráfico N°5), las temperaturas registradas se mantienen en su mayoría por sobre la medida de los 20°C, llegando a superar los 25°C. Destaca que la mayoría de las mediciones se encuentran entre estos márgenes, situación que evidencia un descenso al llegar a marzo. Además, se pueden observar algunos picos de temperatura sobre los 30°C

Para el periodo de las 3 de la mañana (Gráfico N°8), se logra observar una tendencia a superar el umbral de los 20°C, incluso en noches seguidas del mes de enero. Además se observan valores cercanos a los 25°C, lo cual señalaría un gran estrés térmico por las condiciones ambientales, lo que se podría traducir en un gran riesgo para la población.

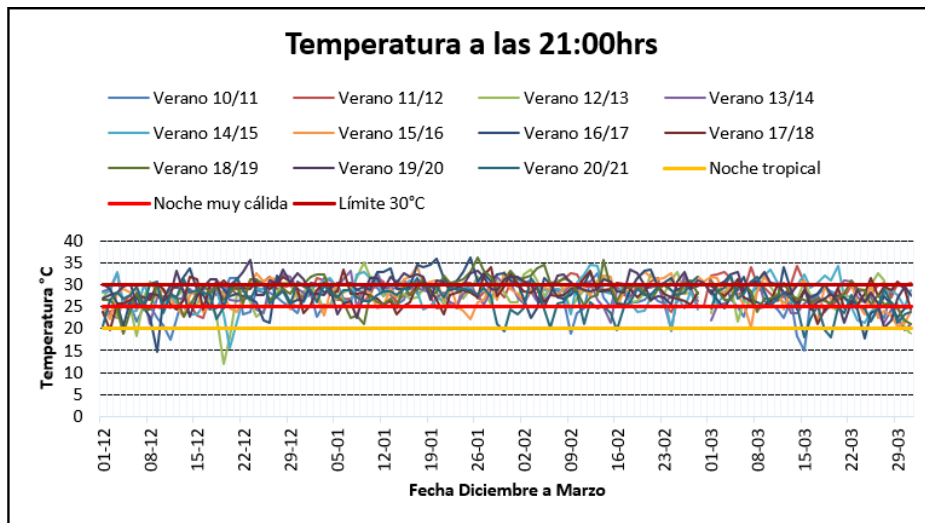
La mayoría de las temperaturas registradas a las 6 de la mañana (Gráfico N°10) se encuentran en el rango de los 10°C a 20°C, continuando con la tendencia de su aumento hacia el mes de enero. Cabe destacar la presencia de noches donde la temperatura a esta hora superó los 20°C, lo que evidencia la existencia de NT además de noches que no quedarían bajo esta clasificación, sin embargo, son bastante cercanas en su valor.

Esta estación está operativa desde el año 1849, sin embargo, con registros continuos desde 1914, lo que ha permitido observar la variación en las temperaturas de la ciudad, ubicada en Avda. Portales N° 3450 cerca del centro de la ciudad y a una altitud de 520msnm. La tendencia de la estación Quinta Normal es de +0.14°C/década desde 1914 al 2022 en su temperatura media según la información de la DMC al año 2023, lo cual evidencia además el efecto del cambio climático en una estación ubicada al centro de la ciudad.

En la estación meteorológica de Tobalaba se logra observar la misma lógica que en las otras estaciones, donde los rangos de los 20°C son altamente superados, teniendo una clara tendencia a rondar los 30°C, con peaks sobre los 35°C, destacando el valor alcanzado el día 26 de enero del 2019, donde a las 21hrs se registraba una temperatura de 37,2°C (Gráfico N°3).

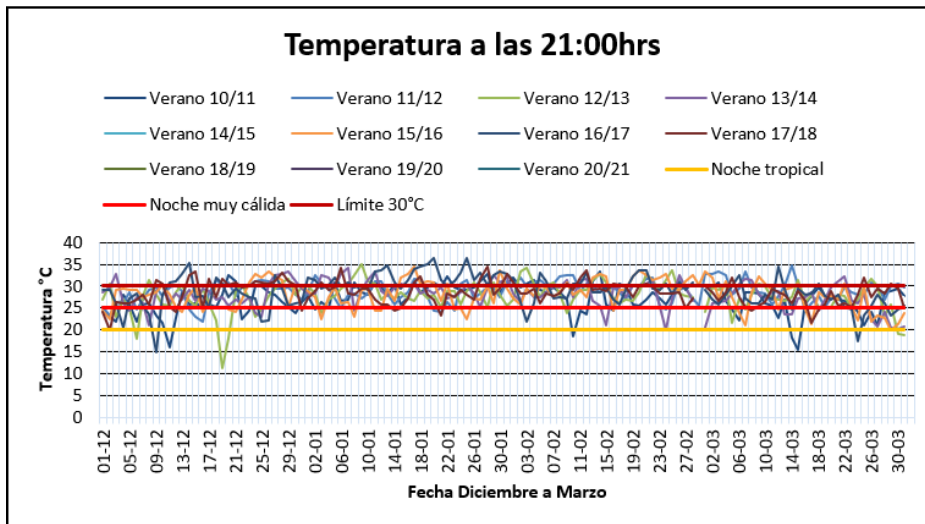
A las 00:00 (Gráfico N°6) se observa que las temperaturas suelen superar los 20°C y tienden a llegar sobre los 25°C. Lo observado en este horario concuerda con las mediciones de las

otras estaciones, además de nuevamente evidenciar la continuación de días con noches cálidas. Esta estación está ubicada 10km al oriente de la Plaza de Armas, a una altitud de 650msnm., por lo que también da para esperar valores más altos hacia el centro de la ciudad.



**Gráfico N° 1: Temperatura 21:00 horas en el periodo de estudio, Pudahuel.**

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DMC.



**Gráfico N° 2: Temperatura 21:00 horas en el periodo de estudio, Quinta Normal**



Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DMC.

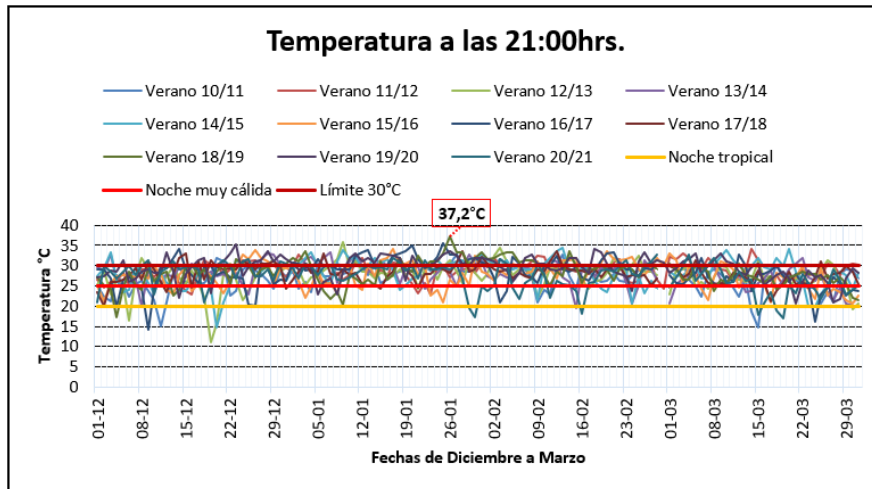


Gráfico N° 3: Temperatura 21:00 horas en el periodo de estudio, Tobalaba

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DMC.

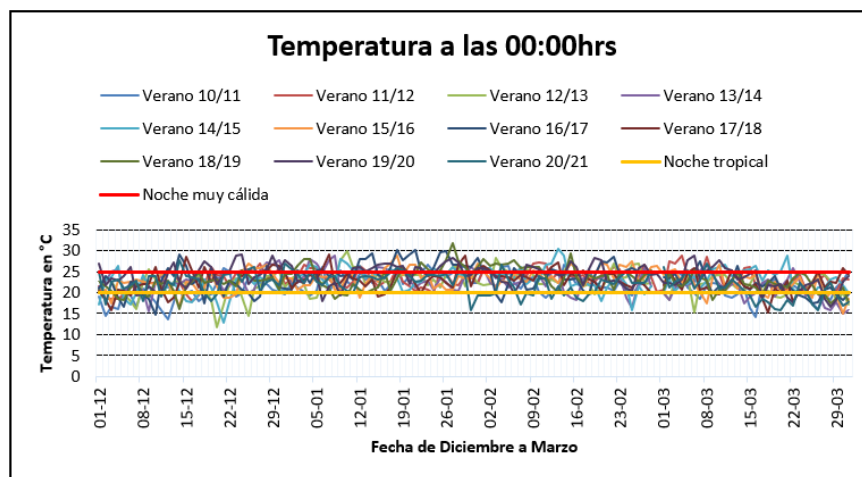
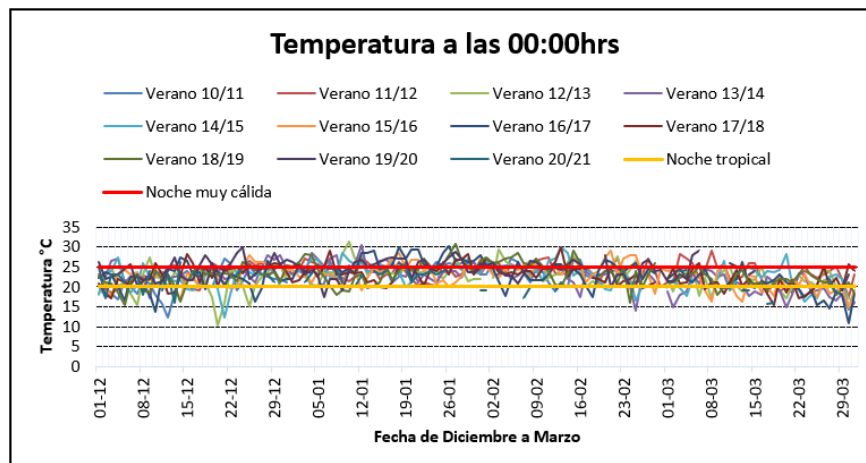


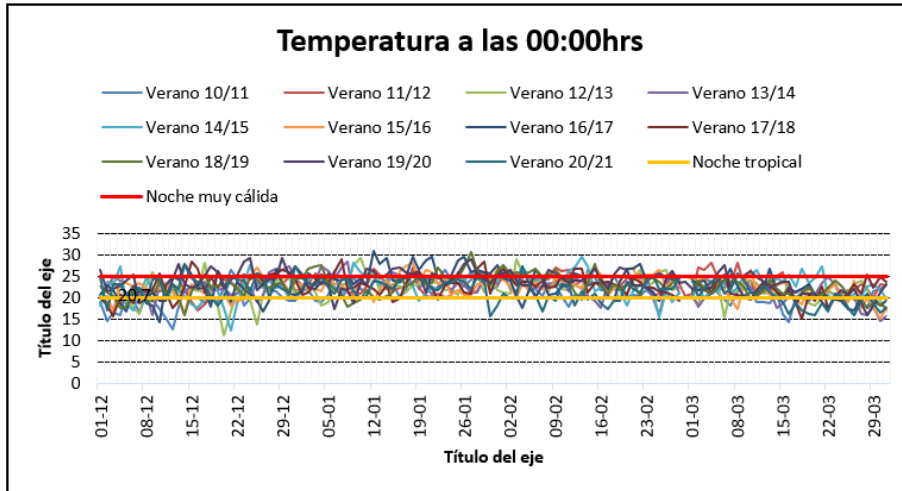
Gráfico N° 4: Temperatura 00:00 horas en el periodo de estudio, Pudahuel

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DMC.



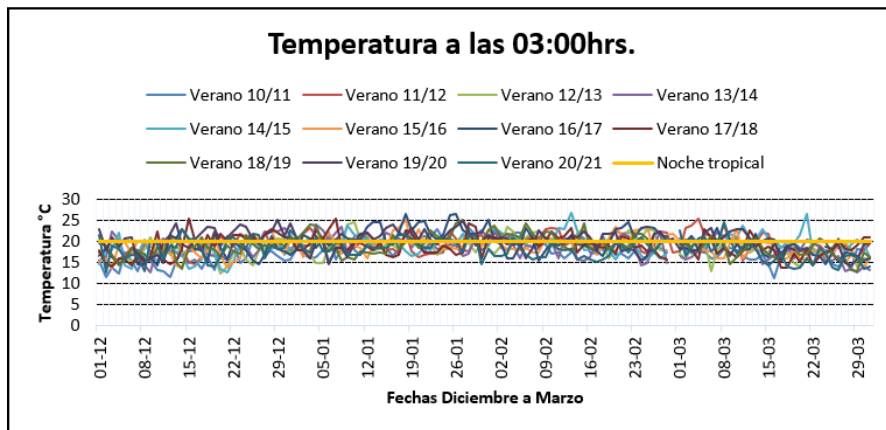
**Gráfico N° 5: Temperatura 00:00 horas en el periodo de estudio, Quinta Normal**

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DMC.



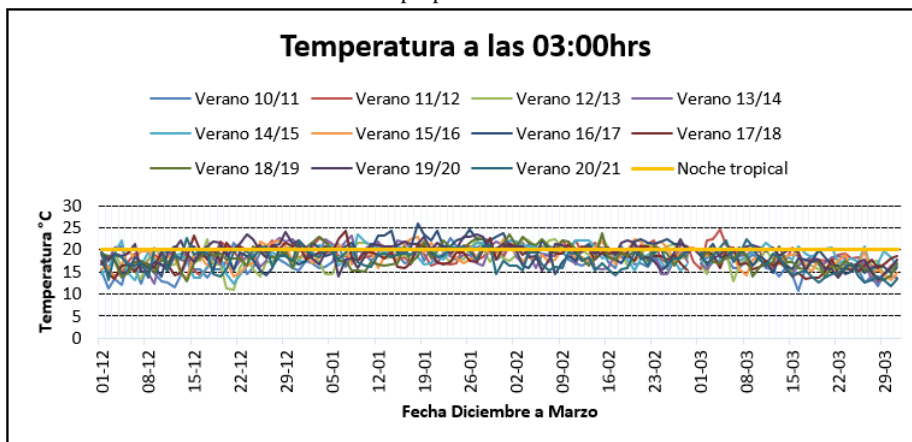
**Gráfico N° 6: Temperatura 00:00 horas en el periodo de estudio, Tobalaba**

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DMC.



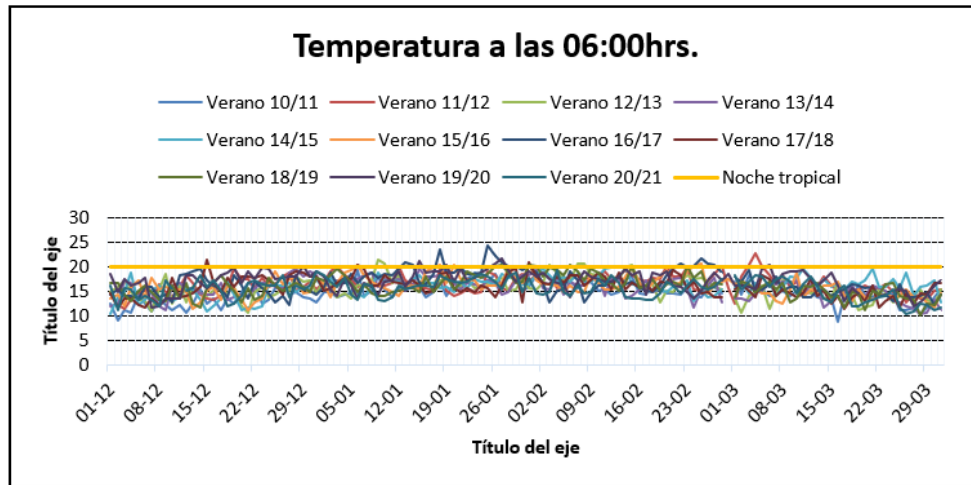
**Gráfico N° 7: Temperatura 03:00 horas en el periodo de estudio, Pudahuel**

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DMC.



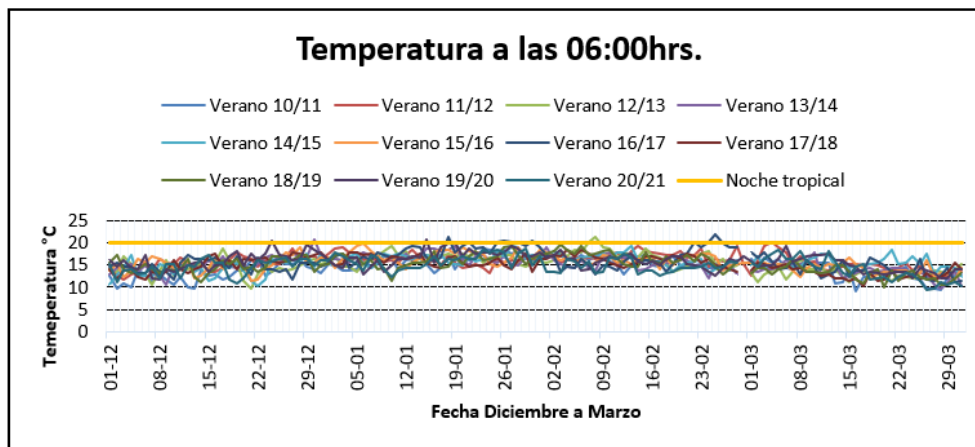
**Gráfico N° 8: Temperatura 03:00 horas en el periodo de estudio, Quinta Normal**

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DMC.



**Gráfico N° 9: Temperatura 06:00 horas en el periodo de estudio, Pudahuel**

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DMC.



**Gráfico N° 10: Temperatura 06:00 horas en el periodo de estudio, Quinta Normal**

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la DMC.

## 3.2. Factores sociodemográficos

### 3.2.1. Vulnerabilidad por adultos mayores

Con relación a la cantidad de adultos mayores por manzana, se observa una alta presencia de personas en edad avanzada, lo cual se ajusta a la lógica demográfica presente en el país. En promedio, aproximadamente el 11% al 14% de los habitantes por manzana corresponden a adultos mayores. Esta distribución se muestra de manera más homogénea en toda la ciudad del Gran Santiago.

Sin embargo, para obtener un estudio más preciso y certero, es necesario analizar cómo se comporta la densidad de personas mayores por sector, dado que los tamaños y áreas de las

manzanas varían en toda la ciudad. Se debe tener en cuenta que el hacinamiento puede afectar la vulnerabilidad de las personas, especialmente durante condiciones climáticas extremas.

Al observar en particular los sectores de Providencia y Santiago centro, se nota una menor cantidad de adultos mayores por manzana en comparación con otros sectores. Esto sugiere que estos lugares podrían tener una menor vulnerabilidad en términos de exposición al calor nocturno, ya que la presencia de adultos mayores puede ser un factor relevante en la susceptibilidad a temperaturas extremas.

Es importante considerar estos hallazgos para mejorar la planificación urbana y desarrollar estrategias para abordar los desafíos que representan las altas temperaturas en la ciudad, especialmente para las poblaciones más vulnerables como los adultos mayores. Un enfoque más detallado en el análisis de la distribución espacial de la población y sus características demográficas puede proporcionar información valiosa para la toma de decisiones en políticas públicas y medidas de adaptación frente a condiciones climáticas extremas.

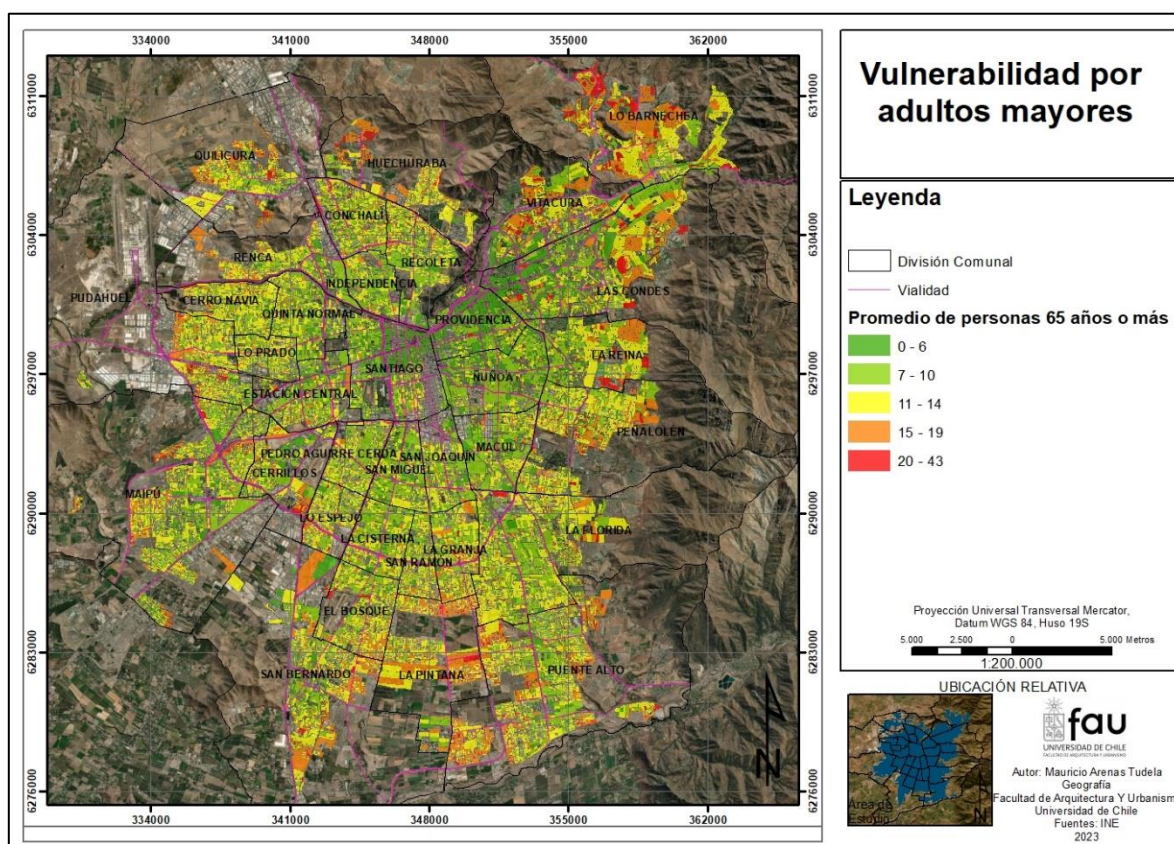


Figura N° 13: Vulnerabilidad por adultos mayores por manzana.

Fuente: Elaboración propia, 2023; basado en INE 2017

### **3.2.2. Vulnerabilidad por material de la vivienda**

Los resultados de la metodología aplicada para calcular la vulnerabilidad por manzana en el área de estudio muestran similitudes con investigaciones previas (Encinas et al., 2022). Se destaca que el cono oriente de la capital, que incluye las comunas de Vitacura, Las Condes, Providencia, así como parte de Lo Barnechea y La Reina, exhibe una menor vulnerabilidad económica y material. En este sector, el índice de vulnerabilidad llega a ser 0 absoluto, lo que indica que la gran mayoría de las viviendas se clasifican como Aceptables.

Tal como se observa en la figura N°13, a una escala de 1:100.000, se puede observar que en las comunas mencionadas predomina el tono verde, lo que contrasta con los tonos rojos presentes en otros sectores de las comunas colindantes. La clasificación utilizada para esta muestra se ha realizado con 10 clases, categorizadas según los intervalos geométricos proporcionados por defecto en la herramienta ArcMap, donde el tono rojo representa la mitad superior de los índices de vulnerabilidad.

Estos resultados sugieren que el cono oriente de la ciudad posee un nivel socioeconómico más alto y una mayor calidad de vivienda, lo que se traduce en una menor vulnerabilidad ante las condiciones térmicas extremas. Por otro lado, otras áreas de las comunas colindantes presentan una mayor vulnerabilidad, lo que podría indicar la necesidad de implementar medidas de adaptación y mitigación para proteger a la población más expuesta a los efectos del calor extremo.

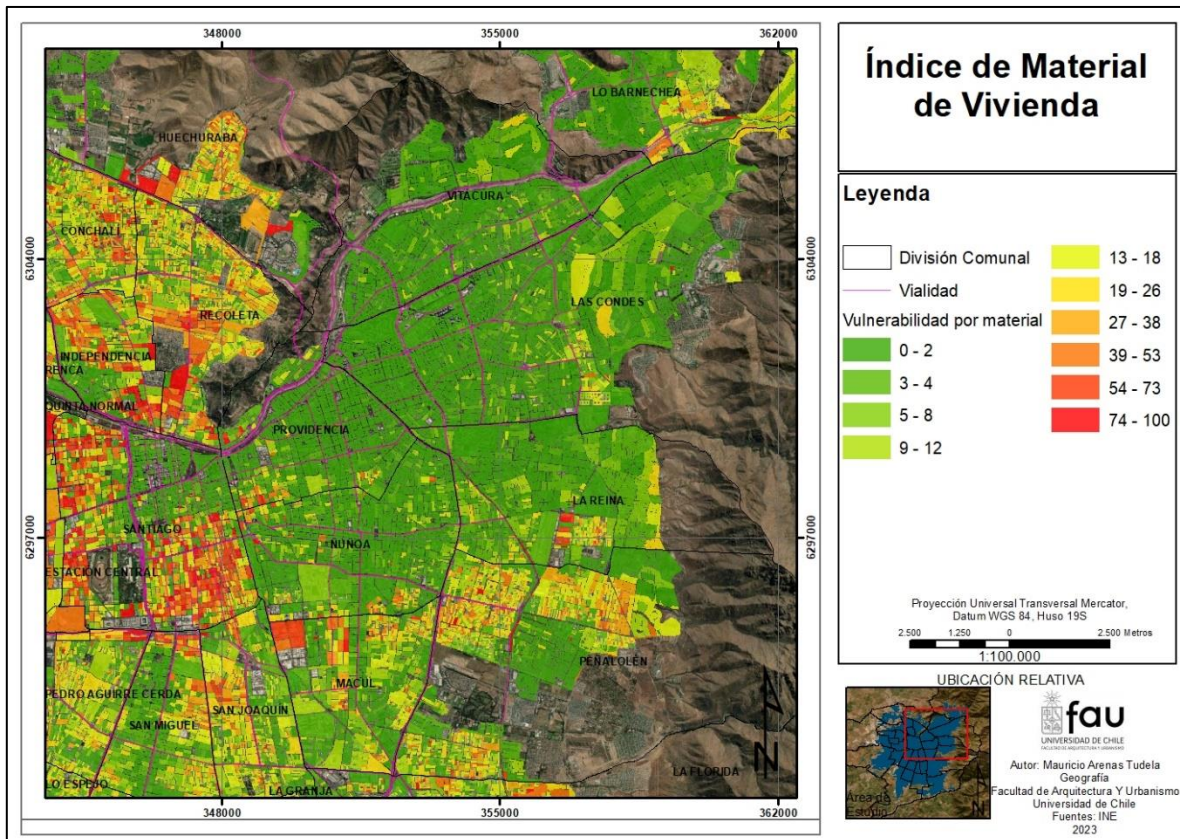


Figura N° 14: Índice de Materialidad de Vivienda con metodología del Censo.

Fuente: Elaboración propia, 2023; basado en INE 2017

En la figura N°14 se aprecia el sector norponiente con una mayor diversidad de matices en comparación con la imagen anterior. Esto se debe a que los niveles de vulnerabilidad por material de vivienda tienden a ser más elevados en esta área. Aunque aún existen sectores con un porcentaje muy bajo o nulo de vulnerabilidad, se destacan las zonas en tonos amarillos, donde aproximadamente el 20% de las viviendas por manzana presentan índices Recuperables o Irrecuperables. Entre las comunas que sobresalen con una alta vulnerabilidad por material se encuentran Pudahuel, Cerro Navia, Lo Prado, Renca, Quinta Normal, Independencia, Recoleta y Conchalí, donde la mayoría de las manzanas exhiben un alto índice de vulnerabilidad de acuerdo con la metodología empleada por el Censo.





**Tabla N° 7: Viviendas del sector norponiente del Gran Santiago**

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Asimismo, se observa una heterogeneidad en la comuna de Santiago, donde contrasta el sector perteneciente al casco histórico con valores de vulnerabilidad más bajos en comparación con el sector norte colindante con Quinta Normal o el sector sur colindante con Estación Central. También se aprecian amplias áreas en tonos rojos, que se presume corresponden a viviendas de tipo informal asentadas en espacios no residenciales como plazas, parques o áreas cercanas a carreteras.

Estos hallazgos sugieren que el sector norponiente de la ciudad enfrenta mayores desafíos en términos de vulnerabilidad por material de vivienda, lo que podría influir en su capacidad de adaptación y resiliencia frente a eventos climáticos extremos, como el calor. Identificar y abordar las áreas con mayor vulnerabilidad es esencial para desarrollar estrategias efectivas de mitigación y protección para la población más expuesta a los impactos del cambio climático en estas zonas.

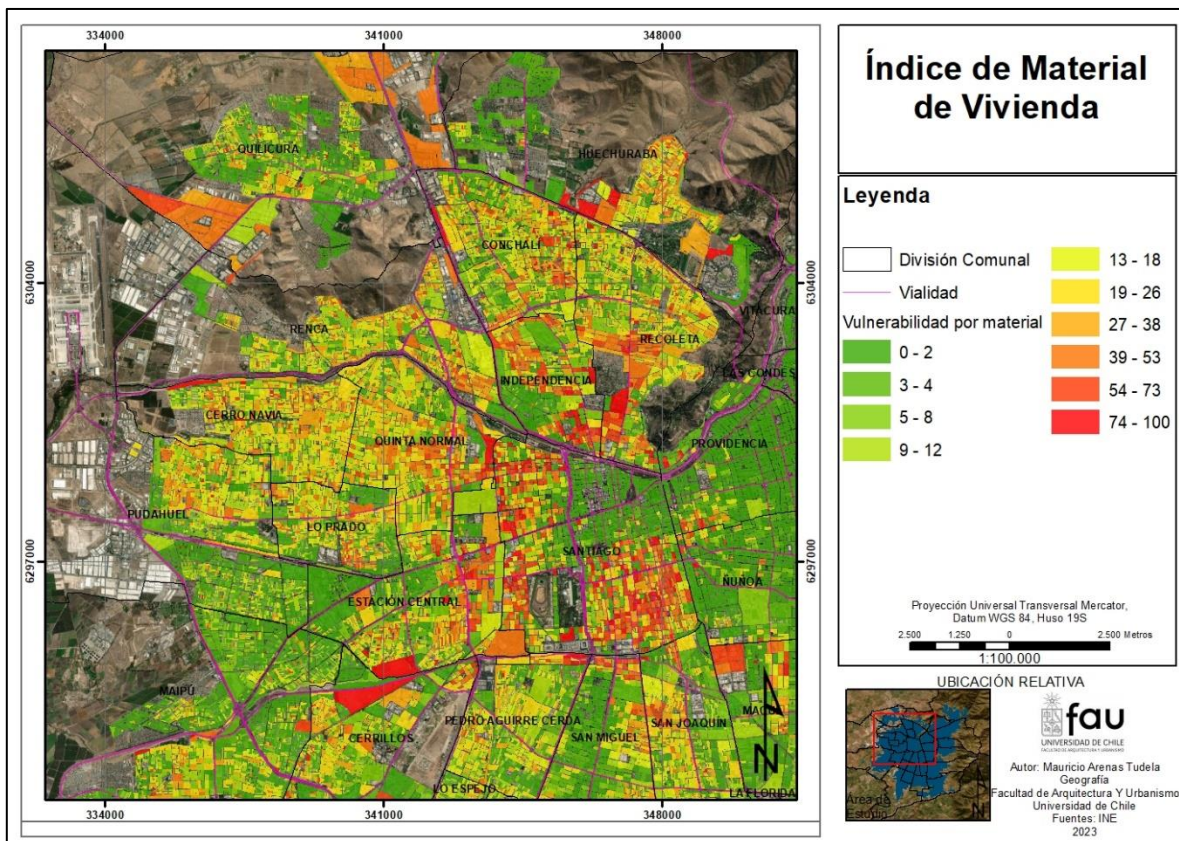


Figura N° 15: Índice de Materialidad de Vivienda con metodología del Censo.

Fuente: Elaboración propia, 2023; basado en INE 2017

### 3.2.2.1. Vulnerabilidad por pared precaria

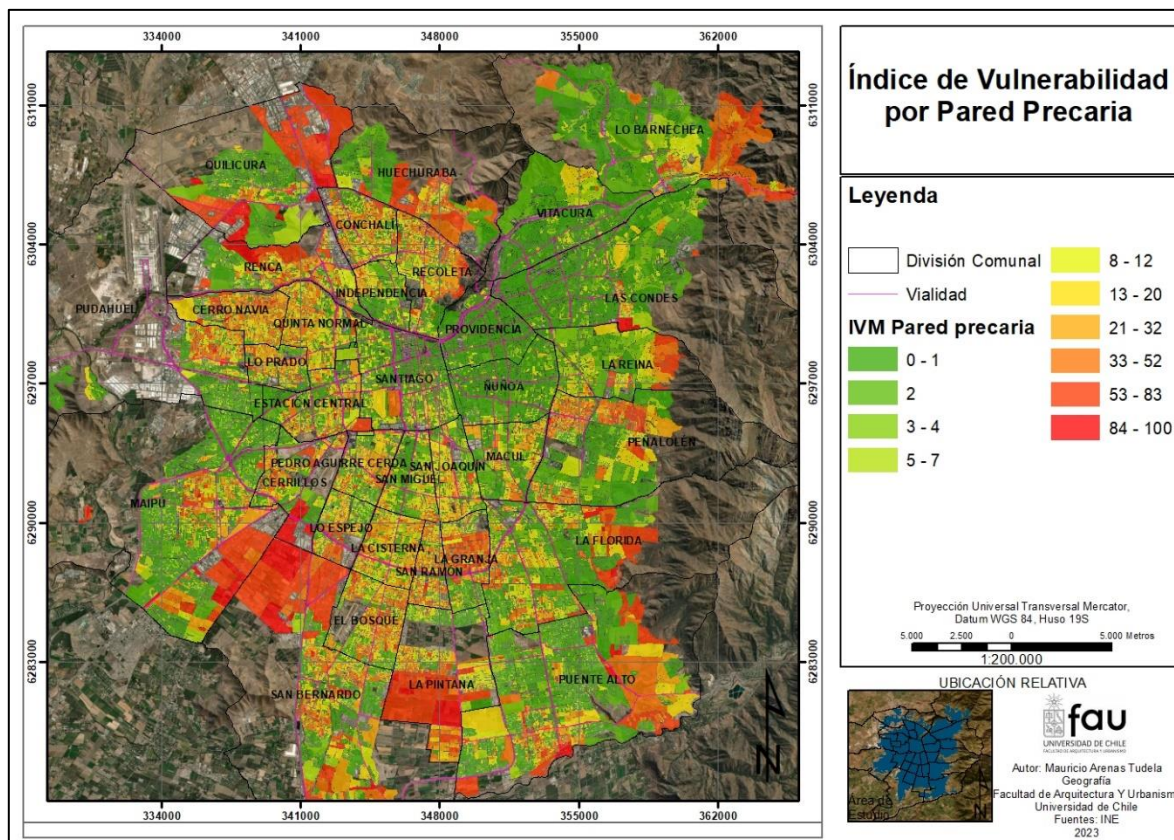
En cuanto a los materiales de las paredes, se observan diferencias menores en comparación con la imagen anterior, mostrando una mayor presencia de colores que van desde verde hasta amarillo. Sin embargo, es destacable y preocupante que sectores previamente catalogados como vulnerables según la clasificación del Ministerio, continúen siendo identificados como tales en esta nueva clasificación.

La presencia marcada de alta vulnerabilidad en el sector norponiente de la capital se mantiene en cuanto a la materialidad de las paredes. Estos hallazgos concuerdan con investigaciones previas, como por ejemplo el estudio de Encinas et al. (2022), que también reveló polarizaciones similares entre los distintos sectores de la ciudad.

En esta nueva cartografía, se observa que el sector más cercano a la cordillera también presenta manzanas con materiales precarios en las paredes, posiblemente debido a la utilización de tabiques o a viviendas que en el momento del Censo se encontraban en una fase inicial de construcción. Además, se detectan grandes espacios en rojo, que corresponden a viviendas informales asentadas en áreas de siembra o espacios no urbanizados en la periferia de la ciudad.



Estos resultados son relevantes para comprender la distribución espacial de la vulnerabilidad en términos de materialidad de las paredes en el Gran Santiago. Esta información puede ser útil para la formulación de políticas y estrategias destinadas a mejorar las condiciones de vivienda y reducir la vulnerabilidad de las poblaciones más desfavorecidas y expuestas a riesgos climáticos y ambientales.



**Figura N° 16: Índice de Vulnerabilidad por Pared Precaria.**

Fuente: Elaboración propia, 2023; basado en INE 2017

### 3.2.2.2. Vulnerabilidad por techo precario

En la cartografía a escala 1:200.000, se puede apreciar la presencia de una notable heterogeneidad dentro del área de estudio. A diferencia del índice propuesto por el Ministerio de Desarrollo Social y Familia (2014), los valores obtenidos en este estudio indican una mayor vulnerabilidad general por manzana. Aunque persisten las diferencias significativas entre el cono oriente y el sector norponiente, ahora también se observan grandes áreas de vulnerabilidad en el sector sur, así como en las comunas de Maipú y Puente Alto, donde se concentra una considerable cantidad de habitantes urbanos que se encuentran bajo esta condición.

En las áreas más cercanas a la cordillera, la materialidad sugiere condiciones más favorables. Sin embargo, se destaca la presencia de un importante sector en la zona de Peñalolén que también exhibe vulnerabilidad material en los techos.

Estos resultados reflejan que, en general, el Gran Santiago presenta una alta vulnerabilidad en cuanto a la calidad de los materiales utilizados en los techos de las viviendas. La presencia significativa de materiales como planchas metálicas o zinc, catalogados como Aceptables, podría inclinar el índice hacia una mayor vulnerabilidad material en comparación con lo propuesto en el índice del Ministerio de Desarrollo Social y Familia.

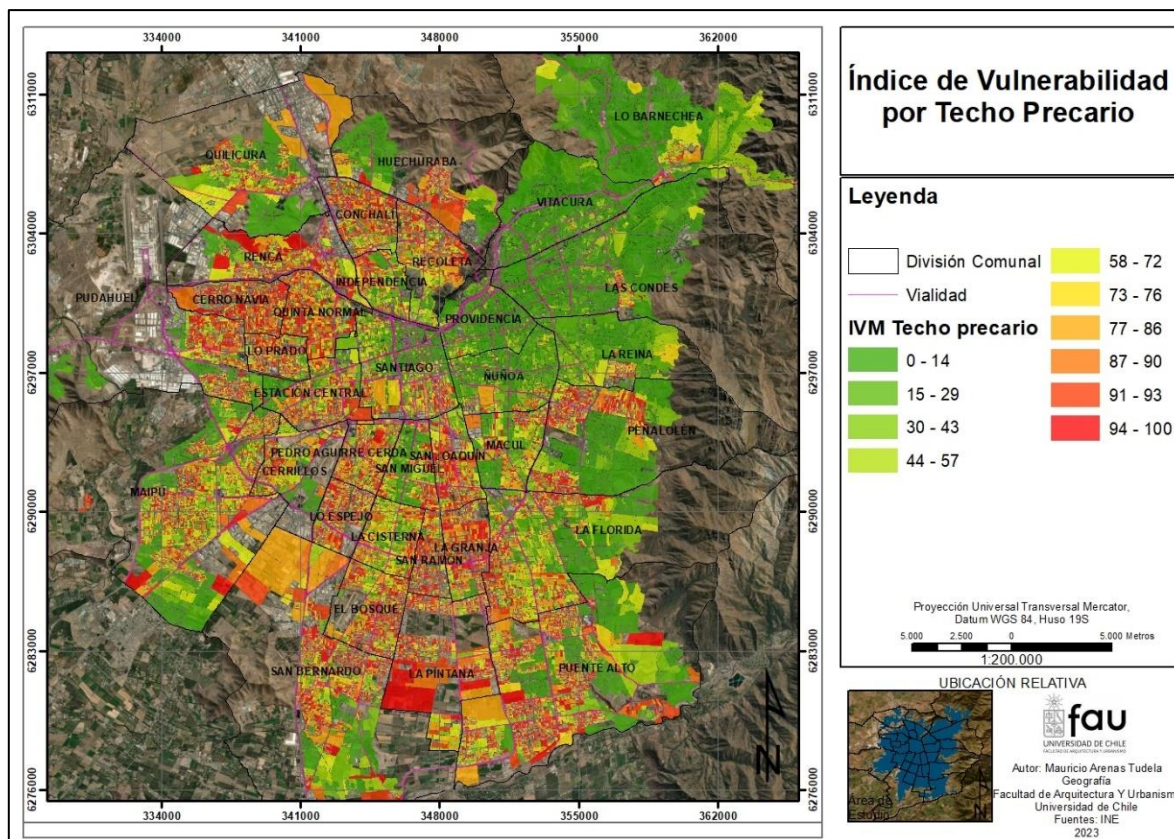


Figura N° 17: Índice de vulnerabilidad por techo precario

Fuente: Elaboración propia, 2023; basado en INE 2017

### 3.2.3. Densidad poblacional por manzana

Es importante resaltar que el Gran Santiago es una ciudad caracterizada por la alta densidad poblacional y el espacio limitado que ocupa, lo que ha llevado a una situación de hacinamiento en diversas áreas. Los resultados obtenidos en este estudio corroboran esta realidad, mostrando una concentración significativa de población en áreas como el centro, donde las edificaciones de mayor altura contribuyen a una alta densificación habitacional. Asimismo, en las comunas de Maipú y Puente Alto, ubicadas en la periferia de la ciudad, también se observa una gran cantidad de población, en sectores conocidos por su alta

densidad y que surgieron como resultado de políticas de desarrollo urbano impulsadas por reformas neoliberales iniciadas en 1976, que fomentaron la construcción de viviendas mediante excepciones fiscales (Encinas et al., 2022).

Una vez más, el sector norponiente del Gran Santiago muestra cifras preocupantes, ya que, en combinación con los demás resultados del estudio, revela una alta vulnerabilidad frente a las diversas variables analizadas. Esta zona, caracterizada por su alta vulnerabilidad material y exposición a altas temperaturas nocturnas, destaca como uno de los sectores más vulnerables de la ciudad.

Estas conclusiones son relevantes para comprender la distribución espacial de la vulnerabilidad en la ciudad y orientar las políticas y medidas de adaptación y resiliencia ante eventos climáticos extremos, como las Olas de Calor, que podrían afectar a las poblaciones más vulnerables y desfavorecidas en estas zonas.

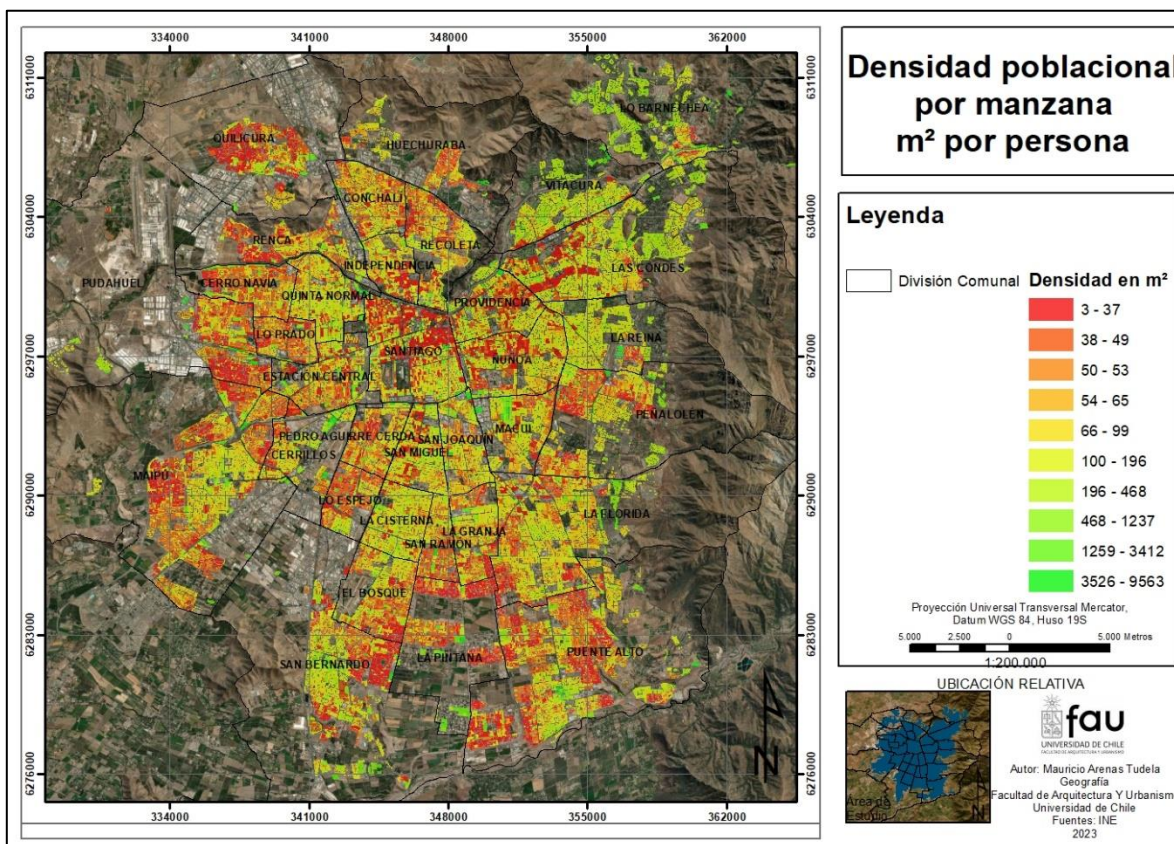


Figura N° 18: Densidad poblacional por manzana censal.

Fuente: Elaboración propia, 2023; basado en INE 2017

## **Capítulo 4: Discusión y conclusión**

### **4.1. Discusión**

Las altas temperaturas presentan una persistencia notable en los intervalos temporales estudiados. Esta situación, junto con las proyecciones globales sobre el cambio climático, resalta la amenaza inminente que impacta a nivel comunal en el contexto del Gran Santiago. Para abordar la dinámica del calor en entornos urbanos, es imperativo considerar la recopilación de datos a lo largo de la noche en lugar de limitarse únicamente a las temperaturas mínimas. Estas últimas no capturan adecuadamente el esfuerzo térmico acumulado durante ese periodo, en relación con la duración en que el organismo está sometido a condiciones de alta temperatura (Royé, 2017). No obstante, las temperaturas mínimas pueden revelar noches más intensamente calurosas que otras, como evidenciado por las lecturas de 20°C a las 06:00 hrs., indicativas de noches agotadoras y perturbadoras para el descanso y la regulación térmica corporal.

Los registros de las estaciones de monitoreo demostraron que la ventana de tiempo entre las 21:00 hrs. y las 03:00 hrs. resultaría insuficiente para un descanso térmico óptimo, a pesar de la capacidad de aclimatación del organismo humano. La presencia de mediciones que superan los 25°C e incluso los 30°C durante las horas nocturnas confirma el nivel de absorción de calor en el entorno urbano.

Los hallazgos indican que las áreas más propensas al calor nocturno se alinean con los sectores de mayor vulnerabilidad demográfica y material, incluyendo la concentración de adultos mayores, la densidad poblacional y las carencias en la materialidad de las viviendas (Figuras N°13 a N°19). Existe una posibilidad de establecer una relación más directa con la salud de los habitantes urbanos al incorporar datos de defunciones proporcionados por el Departamento de Estadísticas e Información de Salud (DEIS), una sugerencia válida para futuras investigaciones. Es relevante destacar que la mayoría de los puntos de muestreo se concentran hacia el sector poniente, lo que podría influir en los resultados obtenidos. A pesar de esta consideración, las diferencias térmicas significativas entre los sectores oriente y poniente del Gran Santiago son claras, en línea con las mediciones que registran la cantidad de horas nocturnas con temperaturas superiores a 20°C al 2017 (Figura N°19)

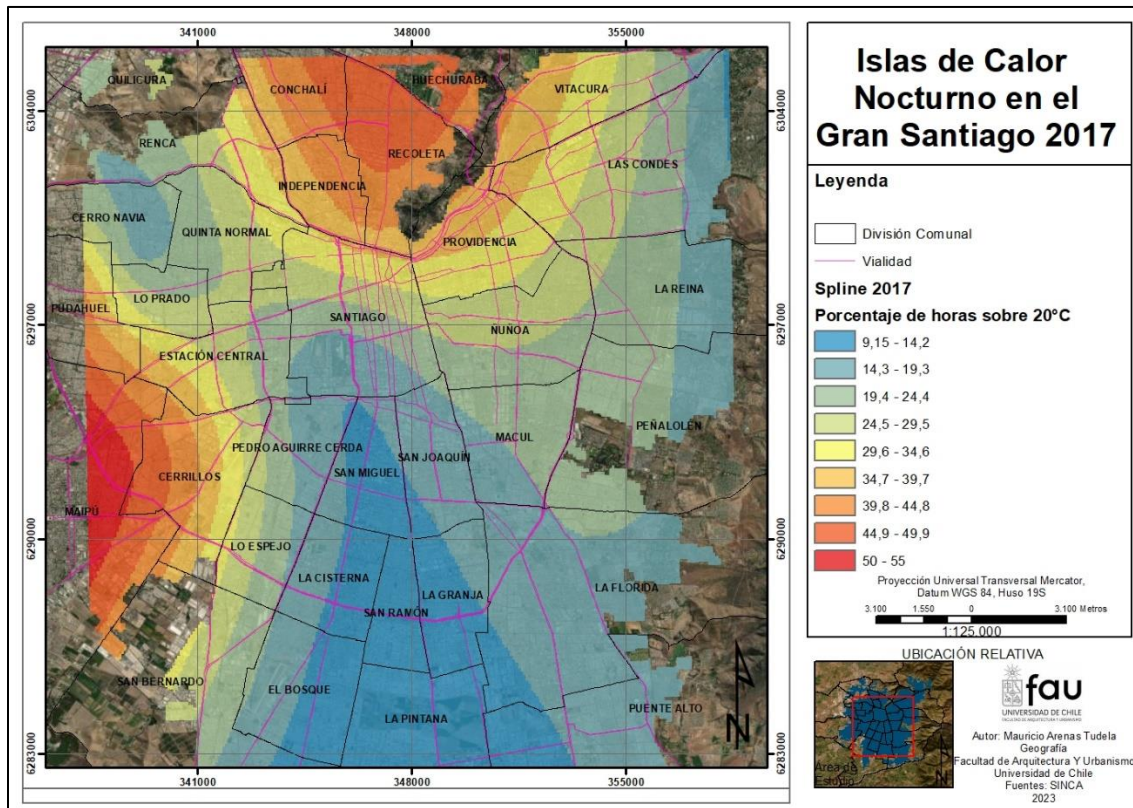


Figura N° 19: Islas de Calor Nocturno en el Gran Santiago, 2017

Fuente: Elaboración propia, 2023.

Los resultados obtenidos destacan la imperiosa necesidad de abordar de manera holística los desafíos planteados por la alta densidad poblacional, la vulnerabilidad material y la exposición a temperaturas extremas en el contexto del Gran Santiago. Esto impulsa la importancia de implementar estrategias de planificación urbana y políticas públicas que no solo mejoren la calidad de vida de los ciudadanos, sino que también reduzcan los riesgos inherentes al cambio climático y las condiciones climáticas extremas, en un escenario de rápido crecimiento urbano.

Particular énfasis debe ser colocado en la capacidad de respuesta ante las amenazas climáticas y territoriales actuales, ya que ello guiará la senda del desarrollo futuro en términos de adaptación y mitigación de los peligros relacionados con el clima, conforme lo plantea el informe del IPCC del año 2022 (Figura 20). Estos resultados resaltan la relevancia de establecer políticas efectivas que aborden la interconexión entre la densidad poblacional, la vulnerabilidad material y la exposición al calor extremo, considerando la vital importancia de la sostenibilidad urbana, la adaptación y la resiliencia ante los impactos del cambio climático.

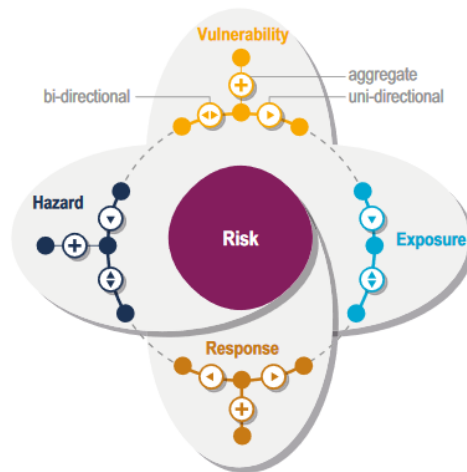


Figura N° 20: Futuras direcciones: respuesta al riesgo relativo a la adaptación y mitigación.

Fuente: IPCC AR6 (2022) p.147

## 4.2. Conclusión

Este estudio se enfocó en analizar la vulnerabilidad de la población en el área del Gran Santiago ante las altas temperaturas nocturnas, considerando aspectos demográficos, socioeconómicos y materiales de viviendas. Los resultados obtenidos resaltan la diversidad de niveles de vulnerabilidad en diferentes zonas de la ciudad, destacando el sector norponiente como más vulnerable y amenazado.

La metodología empleada para evaluar la vulnerabilidad material por manzana proporcionó resultados significativos. Se identificó una clara polarización entre sectores con alta y baja vulnerabilidad material. En comparación con el cono oriente, caracterizado por un mayor desarrollo socioeconómico, el sector norponiente presentó condiciones precarias en techos y paredes, lo que se tradujo en niveles más elevados de vulnerabilidad. Estos resultados corroboran investigaciones anteriores (Encinas et al., 2022) y resaltan la relación entre el estatus económico y las características habitacionales. Asimismo, se subraya la importancia de considerar recomendaciones ya planteadas en investigaciones previas en cuanto a la necesidad de incrementar áreas verdes y promover un diseño urbano sustentable (Nakata y de Souza, 2013).

El análisis de las temperaturas nocturnas reveló patrones inquietantes. La exposición a temperaturas por encima de 20°C durante la noche fue notoria en toda la ciudad, mostrando una concentración mayor en el sector poniente. Este fenómeno puede agravar los efectos adversos del estrés térmico en la población, en particular en adultos mayores y personas con condiciones de salud preexistentes, así como en sectores de bajos recursos y marginados en general (Basu, 2009).

Las áreas con alta densidad poblacional manifestaron mayor vulnerabilidad, lo que concuerda con la tendencia de concentración de habitantes en el entorno urbano. La saturación del espacio en el centro de la ciudad y en las comunas de Maipú y Puente Alto refuerza la relación entre densidad poblacional y vulnerabilidad. Además, se destaca el papel crucial de los adultos mayores como grupo particularmente vulnerable en todas las áreas.

En síntesis, este estudio proporciona una comprensión más profunda de la interacción entre vulnerabilidad material, demográfica y climática en el Gran Santiago. Los resultados subrayan la necesidad de políticas urbanas y de planificación más equitativas y adaptadas al cambio climático, considerando la distribución desigual de recursos y las condiciones habitacionales. Es esencial agregar una mayor variedad de factores y variables en las estrategias de adaptación, en base a datos más precisos, especialmente con miras al Censo 2024, para evaluar la evolución y proyección de las inequidades en el país. La formulación de estrategias de mitigación y adaptación resulta crucial para afrontar los retos presentes y futuros que plantea el aumento de temperaturas en contextos urbanos.

## Capítulo 5: Bibliografía

Amigo, C. (2019) Cultura y vulnerabilidad energética territorial: el problema de la contaminación en Coyhaique (Tesis de Maestría). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Sociales. Disponible en: [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/173897/Cultura%20y%20vulnerabilidad%](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/173897/Cultura%20y%20vulnerabilidad%20)

Amigo, C., Billi, M., Fleischmann, M., Urquiza, A., Álamos, N. & Navea, J. (2021) Territorial Energy Vulnerability Assessment to Enhance Just Energy Transition of Cities. *Front. Sustain. Cities*. Vol 3. N°635976. Disponible en: <http://redesvid.uchile.cl/pobreza-energetica/wp-content/uploads/2021/08/Territorial-Energy-Vulnerability-Assessment-to-Enhance-Just-Energy-Transition-of-Cities.pdf>

Basagaña, X., Sartini, C., Barrera-Gómez, J., Dadvand, P., Cunillera, J., Ostro, B., Sunyer, J. & Medina-Ramón, M. (2011). Heat waves and cause-specific mortality at all ages. *Epidemiology*, 765-772.

Basu, R. (2009). High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. *Environmental health*, 8(1), 1-13

Bekkar, B., Pacheco, S., Basu, R., & DeNicola, N. (2020). Association of air pollution and heat exposure with preterm birth, low birth weight, and stillbirth in the US: a systematic review. *JAMA network open*, 3(6), e208243-e208243.

Bravo, M. F. G., & De la Torre, J. M. O. (2014). Confort Térmico en los Espacios Públicos Urbanos, Clima cálido y frío semi-seco. *Hábitat Sustentable*, 52-63.

Blender, M. (2015) Isla de Calor Urbana. *Arquitectura y energía*. Disponible en: <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/isla-de-calor-urbana/>

Biblioteca del Congreso Nacional (2017) Reportes estadísticos comunales 2017. Disponible en: <https://reportescomunales.bcn.cl/2017/index.php/>

Cálculo de transmitancia, SERVIU s/a. Disponible en: [http://xi.serviu.cl/pda/presentacion\\_calculo\\_de\\_transmitancia.pdf](http://xi.serviu.cl/pda/presentacion_calculo_de_transmitancia.pdf)

Cantos, J. O., Serrano-Notivoli, R., Miró, J., & Meseguer-Ruiz, O. (2019). Tropical nights on the Spanish Mediterranean coast, 1950-2014. *Climate Research*, 78(3), 225-236.

Castillo, E., Mite, J. & Pérez, J. (2019) Influencia de los materiales de la envolvente en el confort térmico de las viviendas. Programa Mucho Lote II, Guayaquil. *Universidad y Sociedad* vol.11 no.4. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202019000400303](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202019000400303)



Castillo, I. (2020) Clima urbano de espacios públicos en Peñalolén: Confort térmico exterior como un caso de injusticia climática (Memoria de pregrado). Universidad de Chile. Facultad de Arquitectura y urbanismo. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/175847/Clima-urbano-de-espacios-publicos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2 (2018) Simulaciones climáticas regionales y marco de evaluación de la vulnerabilidad. Universidad de Chile, Facultad de Matemáticas y ciencias Físicas. Disponible en: <http://www.cr2.cl/wp-content/uploads/2019/06/Simulaciones-clima-CC%81ticas-regionales-2018.pdf>

Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2 (2019) Explorador Climático. Meteodata. Disponible en: <http://explorador.cr2.cl/>

Chancel, L., Piketty, T., Saez, E., & Zucman, G. (Eds.). (2022). World inequality report 2022. Harvard University Press.

Chesini, F., Abrutzky, R., & Titto, E. D. (2019). Mortalidad por olas de calor en la ciudad de Buenos Aires, Argentina (2005-2015). *Cadernos de Saúde Pública*, 35, e00165218.

Cociña, Camila. "Habitar Desigualdades: Políticas Urbanas y el despliegue de la vida en Bajos de Mena." Serie de Documentos de trabajo de PNUD 5 (2016).

Cuesta, J. (2020) Caracterización de la Isla de Calor Urbana (ICU) mediante el uso de imágenes obtenidas por satélite, procesadas mediante software de código abierto Qgis. Aplicación al caso de Valencia (Tesis de Maestría). Universitat Politècnica de Valencia. EtsIngenieros de caminos, canales y puertos. Disponible en: <https://n9.cl/tbqz1>

Dirección Meteorológica de Chile [DMC] (2020) Informe climatológico diario nacional. Disponible: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/diario/boletinClimatologicoDiario/actual>

Dirección Meteorológica de Chile (2022), Reporte anual de la evolución del clima en Chile. Disponible en: <https://climatologia.meteochile.gob.cl/publicaciones/reporteEvolucionClima/reporteEvolucionClima2021.pdf>

Encinas, F., Truffello, R., Aguirre-Nuñez, C., Puig, I., Vergara-Perucich, F., Freed, C., & Rodríguez, B. (2022). Mapping energy poverty: How much impact do socioeconomic, urban and climatic variables have at a territorial scale?. *Land*, 11(9), 1449.

Farrelli, F., Bustos, M. & Piccolo, M. (2016) La expansión urbana y sus impactos sobre el clima y la sociedad de la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. *Estudios Geográficos* Vol.LXXVII, 281, pp. 469-489. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/312356005\\_La\\_expansion\\_urbana\\_y\\_sus\\_impactos\\_sobre\\_el\\_clima\\_y\\_la\\_sociedad\\_de\\_la\\_ciudad\\_de\\_Bahia\\_Blanca\\_Argentina/fulltext/587](https://www.researchgate.net/publication/312356005_La_expansion_urbana_y_sus_impactos_sobre_el_clima_y_la_sociedad_de_la_ciudad_de_Bahia_Blanca_Argentina/fulltext/587)

dee0908aed3826af3c03a/La-expansion-urbana-y-sus-impactos-sobre-el-clima-y-la-sociedad-de-la-ciudad-de-Bahia-Blanca-Argentina.pdf

García, F. F., & Álvarez, D. R. (2008). Olas de calor e influencia urbana en Madrid y su área metropolitana. *Estudios geográficos*, 69(265), 495-518.

González, A. R. (2011). Nuevas percepciones del territorio, Espacio social y el Tiempo. Un estudio desde los conceptos tradicionales (o clásicos) hasta su concepción en el siglo XXI” (Facultad de Humanidades, Artes y Ciencias Sociales. In VI jornadas de jóvenes investigadores. Instituto de Investigaciones Gino Germani, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires.

Hernández, T. (2019) Caracterización de los efectos de la isla de calor en la Delegación Venustiano Carranza, Ciudad de México (Memoria de Pregrado). Universidad Autónoma Metropolitana. Disponible en: [http://desh.izt.uam.mx/licenciaturas/geografiahumana/wp-content/uploads/2019/07/3\\_Tania\\_Yanet\\_Hernandez\\_Godinez.pdf](http://desh.izt.uam.mx/licenciaturas/geografiahumana/wp-content/uploads/2019/07/3_Tania_Yanet_Hernandez_Godinez.pdf)

Hu, X. M., Klein, P. M., Xue, M., Lundquist, J. K., Zhang, F., & Qi, Y. (2013). Impact of low-level jets on the nocturnal urban heat island intensity in Oklahoma City. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52(8), 1779-1802.

Instituto Nacional de Estadísticas [INE] (2017) Resultados Censo 2017. Disponible en:

<http://resultados.censo2017.cl/>

Letelier, A. (2020) Estudio de la isla de calor urbana en Santiago Centro entre 2016 y 2017, bajo la mirada de la planificación y diseño sensible al clima (Memoria de pregrado). Universidad de Chile. Facultad de Arquitectura y urbanismo. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/178096>

IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

- Kusaka, H., & Kimura, F. (2004). Thermal effects of urban canyon structure on the nocturnal heat island: Numerical experiment using a mesoscale model coupled with an urban canopy model. *Journal of applied meteorology*, 43(12), 1899-1910.
- Libert, J. P., Bach, V., Johnson, L. C., Ehrhart, J., Wittersheim, G., & Keller, D. (1991). Relative and combined effects of heat and noise exposure on sleep in humans. *Sleep*, 14(1), 24-31.
- Lim, C. L. (2020). Fundamental concepts of human thermoregulation and adaptation to heat: a review in the context of global warming. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 7795.
- Martín-Vide, J., Moreno García, M., Artola, V. M., & Cordobilla, M. J. (2016). Los tipos sinópticos de Jenkinson & Collison y la intensidad de la isla de calor barcelonesa.
- Martínez, C. (2015) Mapas: La urbanización en el mundo entre 1950 y 2030. Plataforma urbana. Disponible en: <https://www.plataformaurbana.cl/archive/2015/02/16/mapas-la-urbanizacion-en-el-mundo-entre-1950-y-2030>
- Martínez Navarro, F., Simón-Soria, F., & López-Abente, G. (2004). Valoración del impacto de la ola de calor del verano de 2003 sobre la mortalidad. *Gaceta Sanitaria*, 18, 250-258.
- Martínez Ruiz, M., & Martínez Galdámez, M. E. (2011). El sueño en ambientes extremos. *Sanidad Militar*, 67(3), 310-316.
- Ministerio de Desarrollo Social y Familia (2014) Vivienda, Índice de hacinamiento. Disponible en: [http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen/casen\\_def\\_vivienda.php](http://observatorio.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/casen/casen_def_vivienda.php)
- Ministerio de Desarrollo Social y Familia (2020) Resumen de resultados: Pobreza por Ingresos y Distribución de Ingresos. Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional.
- Ministerio de Desarrollo Social y Familia (2022) Resultados de incidencia, brecha promedio y severidad de la pobreza. Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional.
- Ministerio de Economía (2007). D.F.L. N°4. Ley general de servicios eléctricos. Disponible en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=258171>
- Ministerio de Energía (2018) Programa Con Buena Energía. Disponible en: <https://www.energia.gob.cl/programa-con-buena-energia>
- Ministerio de Energía (2019) Mapa de Vulnerabilidad energética, Síntesis metodológica y resultados. Disponible en: [https://energia.gob.cl/sites/default/files/documento\\_de\\_metodologia\\_y\\_resultados\\_0.pdf](https://energia.gob.cl/sites/default/files/documento_de_metodologia_y_resultados_0.pdf)
- Ministerio de Medio Ambiente (2020) Atlas de riesgo climático [Arclim]: Efecto de la isla de calor urbana. Disponible en: [https://arclim.mma.gob.cl/atlas/view/isla\\_calor\\_urbana/](https://arclim.mma.gob.cl/atlas/view/isla_calor_urbana/)

Moreno García, M. D. C. (1997). Una propuesta de terminología castellana en climatología urbana. *Investigaciones geográficas*, nº 17, 1997; pp. 89-97.

Morris, C. J. G., Simmonds, I., & Plummer, N. (2001). Quantification of the influences of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 40(2), 169-182.

Nakata, C. M., & de Souza, L. C. (2013). Verification of the influence of urban geometry on the nocturnal heat island intensity. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 7(2), 286-292.

Núñez Mora, J. Á. (2021). Noches muy cálidas en las ciudades mediterráneas.

Okamoto-Mizuno, K., Tsuzuki, K., & Mizuno, K. (2005). Effects of humid heat exposure in later sleep segments on sleep stages and body temperature in humans. *International journal of biometeorology*, 49(4), 232-237.

Oke, T. R. (1981) Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *J. Climatology*. 1, 237-254

Oke, T. (1987) *Boundary Layer Climates* (2a. ed.). London: Routledge.

Olcina Cantos, J., Serrano-Notivoli, R., Miró, J., Meseguer-Ruiz, O. (2019) Tropical nights on the Spanish Mediterranean coast, 1950-2014. *Clim Res* 78:225-236. <https://doi.org/10.3354/cr01569>

Oliveras, L., Peralta, A., Palencia, L., Gotsens, M., López, M., Artazcoz, L., Borrell, C. & Marí-Dell'Olmo, M. (2021) Energy poverty and health: Trends in the European Union before and during the economic crisis, 2007–2016. *Heath & Place*. Vol. 67. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1353829219303077>

Organización de las Naciones Unidas [ONU] (2018) Las Ciudades seguirán creciendo, sobre todo en los países en desarrollo. Disponible en: <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>

Ortega, F. (2018) Isla de Calor Urbana de Santiago y microclima en el espacio público: de la medición a la percepción. El caso del barrio Italia en la comuna de Providencia, Chile (Tesis de Magister). Universidad de Chile. Facultad de Arquitectura y urbanismo. Disponible: [repositorio.uchile.cl/handle/2250/170696](https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/170696)

Red de Pobreza Energética [RedPE (A)] (2019) Monitoreo y seguimiento piloto “Superando la vulnerabilidad energética en Renca”. Universidad de Chile. Disponible en: <http://redesvid.uchile.cl/pobreza-energetica/wp-content/uploads/2019/03/MONITOREO-Y-SEGUIMIENTO-PILOTO-RENCA-FINAL-CON-ISBN.pdf>

Red de Pobreza Energética [RedPE (B)] (2019) Policy paper Pobreza energética: El acceso desigual a energía de calidad como barrera para el desarrollo de Chile. Universidad de Chile. Disponible en: <http://redesvid.uchile.cl/pobreza-energetica/wp-content/uploads/2020/09/Policy-Paper-Pobreza-Energe%CC%81tica.-El-acceso-desigual-a-energi%CC%81a-de-calidad-como-barrera-para-el-desarrollo-en-Chile.pdf>

Red de Pobreza Energética [RedPE] (2020) Vulnerabilidad energética territorial: Desigualdad más allá del hogar. Universidad de Chile. Disponible en: [http://redesvid.uchile.cl/pobreza-energetica/wp-content/uploads/2020/11/VF\\_Informe-VET.pdf](http://redesvid.uchile.cl/pobreza-energetica/wp-content/uploads/2020/11/VF_Informe-VET.pdf)

Romero, H., Salgado, M. & Smith, P. (2010). Cambios climáticos y climas urbanos: Relaciones entre zonas termales y condiciones socioeconómicas de la población de Santiago de Chile. Revista INVI, 25(70). Disponible en: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-83582010000300005](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-83582010000300005)

Royé, D., & Ezpeleta, A. M. (2015). Análisis de las noches tropicales en la fachada atlántica de la Península Ibérica. Una propuesta metodológica. Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles.

Royé, D. (2017). The effects of hot nights on mortality in Barcelona, Spain. International journal of biometeorology, 61(12), 2127-2140.

Saa-Vidal, R., Ubilla-Bravo, G., Johnson-Amorrortu, B., Espíndola, L., Cuevas, R. & Vallejos M. (2018) Capítulo 8. Asentamientos Humanos (Informe país Chile 2018). Informe País: Estado del Medio Ambiente en Chile 2018, Centro de Análisis de Políticas Públicas, Universidad de Chile. Disponible en: <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-02418595/document>

Sánchez, C. (2018) De la vulnerabilidad energética al derecho a la energía. Ecologistas en Acción. España. Disponible en: <https://www.ecologistasenaccion.org/wp-content/uploads/2018/12/informe-pobreza-energetica-2018.pdf>

Sánchez, R. (2013) Respuestas Urbanas al cambio climático en América latina. Organización de las Naciones Unidas [ONU]. Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. Disponible en: [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36622/1/S2013813\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36622/1/S2013813_es.pdf)

Sarricolea, P. & Romero, H. (2010) Análisis de factores condicionantes sobre las temperaturas de emisión superficial en el área metropolitana de Valparaíso, Chile. Arquitectura, Ciudad y Entorno [en línea]. 2010, Año V, núm. 14. P. 79-96. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/117841/Sarricolea-Romero.pdf?sequence=1>

Sarricolea Espinoza, P., & Martín-Vide, J. (2014). El estudio de la isla de calor urbana de superficie del área metropolitana de Santiago de Chile con imágenes terra-MODIS y análisis de componentes principales. *Revista de Geografía Norte Grande*, (57), 123-141.

Sarricolea, P., Herrera-Ossandon, M. & Meseguer-Ruiz, Ó. (2016) Climatic regionalisation of continental Chile. *Journal of Maps*. N°13. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17445647.2016.1259592>

Smith, P. & Romero, H. (2016) Factores explicativos de la distribución espacial de la temperatura del aire de verano en Santiago de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*. N° 63. Disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34022016000100004](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34022016000100004)

Tejedor, E., Cuadrat, J. M., Saz-Sánchez, M. Á., Serrano Notivoli, R., López, N., & Aladrén, M. (2016). Isla de calor y confort térmico en Zaragoza durante la ola de calor de julio de 2015.

Thun, E., Bjorvatn, B., Flo, E., Harris, A., & Pallesen, S. (2015). Sleep, circadian rhythms, and athletic performance. *Sleep medicine reviews*, 23, 1-9.

Vázquez, A. (2017) Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Revista geográfica del Norte Grande*. no.63. Santiago. Recuperado en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-34022016000100005&script=sci\\_arttext](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-34022016000100005&script=sci_arttext)

Vilches, A., Gil, D., Toscano, J. & Macías, O. (2014) Urbanización y Sostenibilidad. OEI. Disponible en: <https://www.oei.es/historico/decada/accion.php?accion=15>

Vieyra, L. (13 de Septiembre 2021) Conozca cuáles son las comunas 100% urbanas y 100% rurales del país. Instituto Nacional de Estadísticas. Disponible en: [https://www.ine.gob.cl/estadisticas/sociales/demografia-y-vitales/demografia-y-migracion/2021/09/13/conozca-cu%C3%A1les-son-las-comunas-100-urbanas-y-100-rurales-del-pa%C3%ADs#:~:text=Respecto%20a%20la%20evoluci%C3%B3n%20a,\(18.831.623%20habitantes](https://www.ine.gob.cl/estadisticas/sociales/demografia-y-vitales/demografia-y-migracion/2021/09/13/conozca-cu%C3%A1les-son-las-comunas-100-urbanas-y-100-rurales-del-pa%C3%ADs#:~:text=Respecto%20a%20la%20evoluci%C3%B3n%20a,(18.831.623%20habitantes)

Hu, X. M., Klein, P. M., Xue, M., Lundquist, J. K., Zhang, F., & Qi, Y. (2013). Impact of low-level jets on the nocturnal urban heat island intensity in Oklahoma City. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52(8), 1779-1802.

# Anexos

## Anexo N° 1: Horas útiles para interpolación, puntos de muestreo SINCA

Fuente: Elaboración propia 2023

AÑO	HORAS MAYOR QUE 20CELSIUS POR ESTACIONES														
	CERRILLOS	TOTAL CERR	% cerrillos	CERRO NAVI	TOTAL CN	% cerronavia	EL BOSQUE	TOTAL EB	%el bosque	INDEPENDEN	TOTAL INDE	% indepe	LA FLORIDA	TOTAL LF	% la florida
2.010	180	1.151	16	80	1.139	7	159	1.148	14	212	1.153	18	86	1.167	7
2.011	182	1.153	16	86	1.183	7	138	1.183	12	246	1.176	21	95	1.183	8
2.012	240	1.212	20	130	1.220	11	85	1.220	7	318	1.202	26	122	1.202	10
2.013	209	1.188	18	105	1.210	9	69	1.210	6	325	1.199	27	113	1.210	9
2.014	185	1.210	15	79	1.210	7	51	1.210	4	238	1.052	23	77	1.210	6
2.015	247	993	25	121	1.206	10	82	1.209	7	391	1.209	32	128	913	14
2.016	235	1.041	23	88	1.173	8	64	1.141	6	306	1.173	26	115	1.173	10
2.017	51	117	44	227	1.210	19	154	1.180	13	504	1.210	42	183	986	19
2.018				62	1.200	5	51	1.204	4	260	1.200	22	85	920	9
2.019				134	1.203	11	29	1.170	2	209	1.180	18	168	1.190	14
2.020				120	910	13	26	1.210	2	226	1.218	19	180	1.220	15
2.021				36	743	5	5	1.123	0	87	870	10	103	1.183	9
LAS CONDES	TOTAL LC	% las condes	OHIGGINS	TOTAL OH	% ohiggins	PUDAHUEL	TOTAL PUDA	% pudahuel	PTE ALTO	TOTAL PTEA	% pte alto	QUILICURA	TOTAL QUIL	% quillicura	
2.010	80	1.160	7	86	1.162	7	186	1.155	16	53	1.124	5	112	942	12
2.011	74	1.183	6	68	1.153	6	178	1.157	15	42	1.183	4	137	1.183	12
2.012	44	840	5	96	1.203	8	256	1.220	21	62	1.220	5	185	1.209	15
2.013	72	1.210	6	79	1.210	7	208	863	24	69	1.210	6	164	1.210	14
2.014	33	1.210	3	54	1.210	4	149	900	17	47	1.220	4	134	1.210	11
2.015	75	947	8	98	1.209	8	102	516	20	88	1.209	7	195	1.198	16
2.016	37	793	5	73	1.173	6	139	734	19	60	1.173	5	126	886	14
2.017	153	1.066	14	198	1.202	16	428	1.200	36	159	1.210	13			
2.018	46	1.210	4	69	1.210	6	198	876	23	51	1.200	4			
2.019	19	1.199	2	166	1.210	14	132	1.210	11	120	1.210	10			
2.020	21	1.193	2	174	1.201	14	124	1.220	10	106	1.218	9			
2.021	9	1.200	1	82	1.190	7	54	1.210	4	30	894	3			

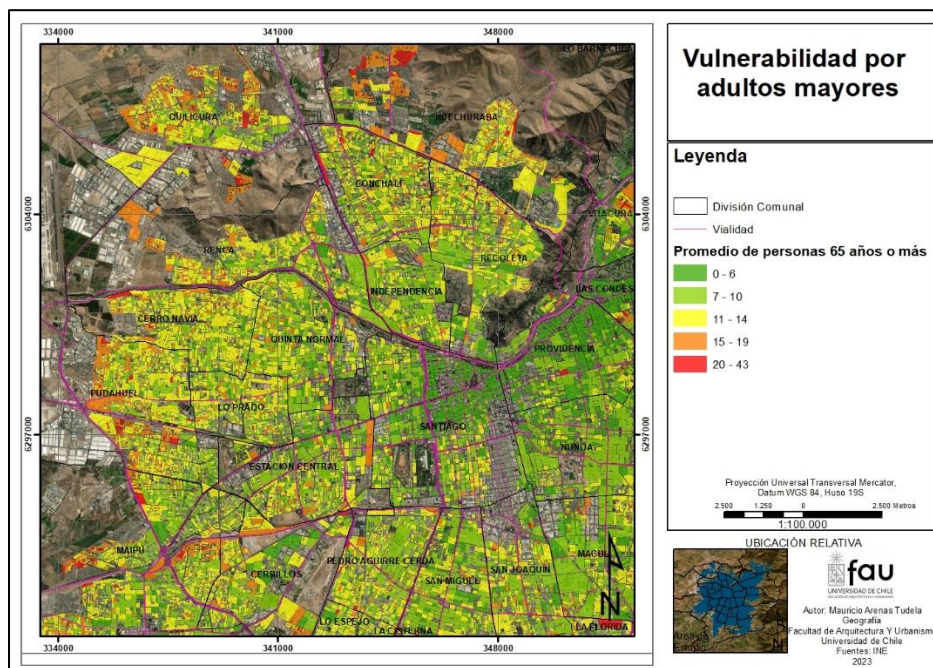
## Anexo N° 2: Extracto del anexo de NCh 853 2007, Cálculo de transmitancia,

Fuente: SERVIU, s/a

Material	Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad térmica λ (W/mK)	Material	Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad térmica λ (W/mK)
Hormigón armado normal	2400	1,63	Tablero aglomerado de partículas de madera	400	0,095
Ladrillo macizo hecho a máquina	1000	0,46	Tablero aglomerado de partículas de madera	420	0,094
Ladrillo macizo hecho a máquina	1200	0,52	Tablero aglomerado de partículas de madera	460	0,098
Ladrillo macizo hecho a máquina	1400	0,6	Tablero aglomerado de partículas de madera	560	0,102
Ladrillo macizo hecho a máquina	1800	0,79	Tablero aglomerado de partículas de madera	600	0,103
Ladrillo macizo hecho a máquina	2000	1	Tablero aglomerado de partículas de madera	620	0,105
Lana mineral, colchoneta libre	40	0,042	Tablero aglomerado de partículas de madera	650	0,106
Lana mineral, colchoneta libre	50	0,041	Tablero de fibra de madera	850	0,23
Lana mineral, colchoneta libre	70	0,038	Tablero de fibra de madera	930	0,26
Lana mineral, colchoneta libre	90	0,037	Tablero de fibra de madera	1030	0,28
Lana mineral, colchoneta libre	110	0,04	Poliestireno expandido	10	0,043
Lana mineral, colchoneta libre	120	0,042	Poliestireno expandido	15	0,0413
Madera - álamo	380	0,091	Poliestireno expandido	20	0,0384
Madera - alerce	560	0,134	Poliestireno expandido	30	0,0361
Madera - coigüe	670	0,145	Poliuretano expandido	25	0,0272
Madera - Lingue	640	0,136	Yeso cartón	650	0,24
Madera - pino insigne	410	0,104	Yeso cartón	700	0,26
Madera - raulí	580	0,121	Yeso cartón	870	0,31
Madera - roble	800	0,157			

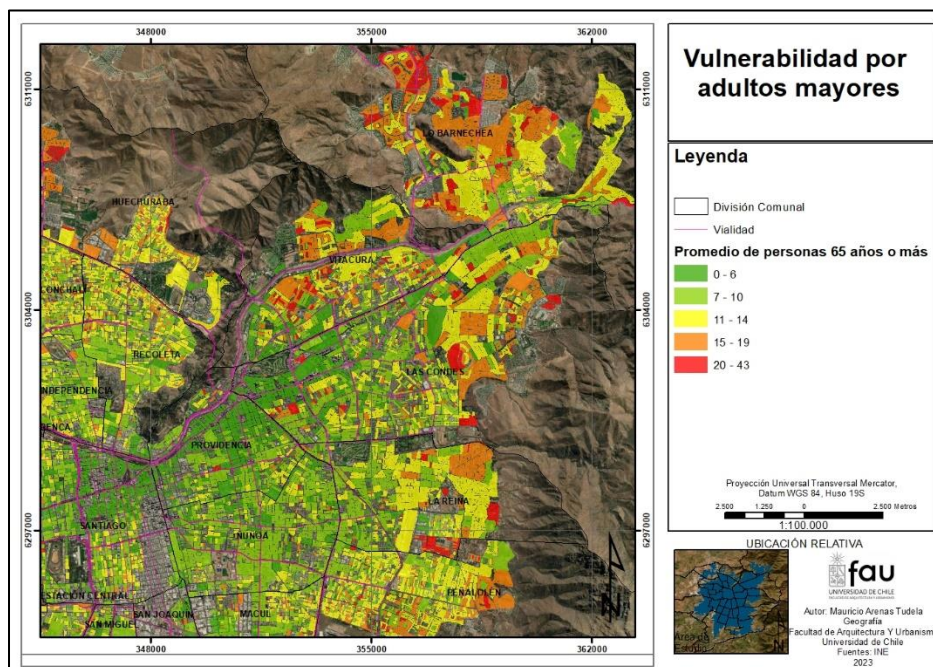
**Anexo N° 3: Vulnerabilidad por cantidad de adultos mayores por manzana, Sector norponiente del Gran Santiago**

Fuente: Elaboración propia, 2023; basado en INE 2017



**Anexo N° 4: Vulnerabilidad por cantidad de adultos mayores por manzana, Sector nororiental del Gran Santiago**

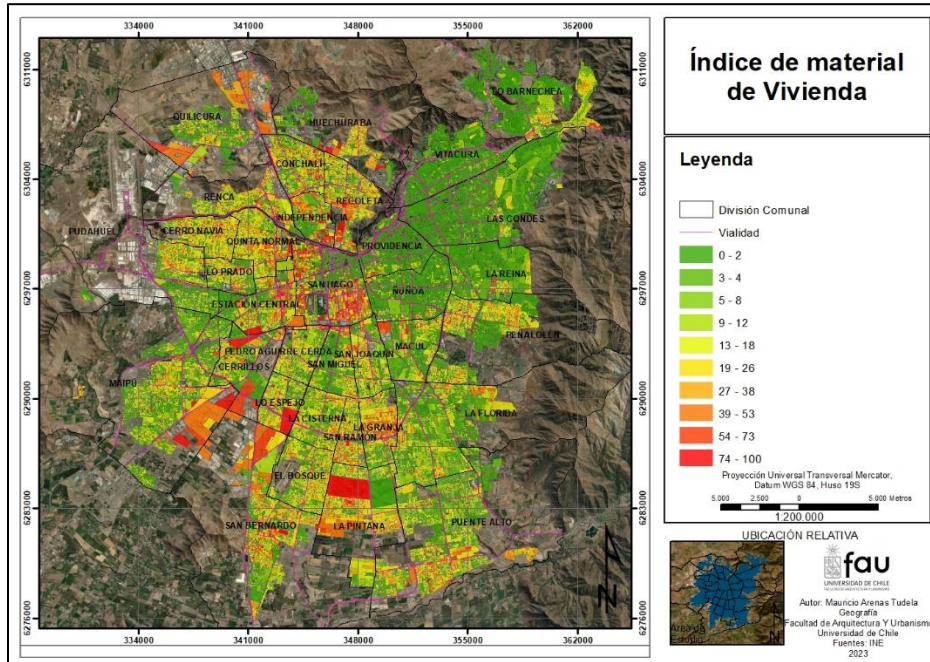
Fuente: Elaboración propia, 2023; basado en INE 2017





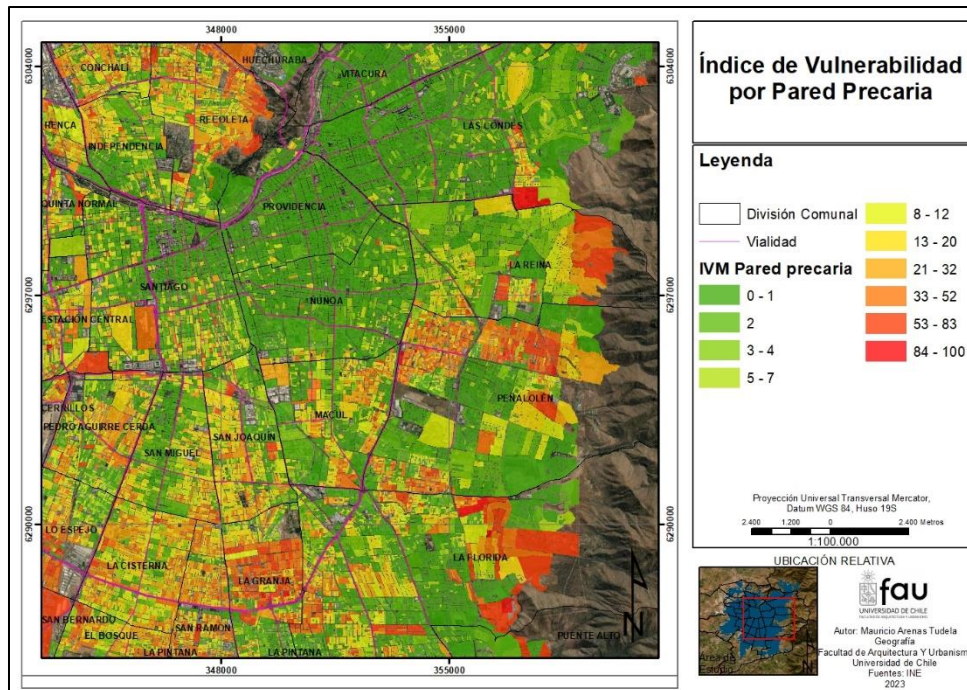
### Anexo N° 5: Índice de Vulnerabilidad por Material de Vivienda, Gran Santiago.

Fuente: Elaboración propia, 2023; basado en INE 2017



### Anexo N° 6: Índice de Vulnerabilidad por Pared Precaria, sector oriente del Gran Santiago.

Fuente: Elaboración propia, 2023; basado en INE 2017



**Anexo N° 7: Índice de Vulnerabilidad por Pared Precaria, sector poniente del Gran Santiago.**

Fuente: Elaboración propia, 2023; basado en INE 2017

