

Universitat de Barcelona
Máster en Planificación Territorial y Gestión Ambiental
Trabajo Final de Máster

Evaluación de la vulnerabilidad de la población al calor extremo en el área metropolitana de Barcelona.

Guía técnica para calcular la vulnerabilidad de la población al calor extremo y recomendaciones para futuras líneas de acción.

Realizado por:
Julia Isabella Cannata Pechs

Tutor de la Universitat de Barcelona:
Dr. Joan Albert López Bustins
Supervisores del Área Metropolitana de Barcelona (AMB):
Ana Romero Calix y Ernest Ruiz Almar

Septiembre 2018

Resumen

Este trabajo proporciona una evaluación de vulnerabilidad al calor extremo para el área metropolitana de Barcelona (Sección 3), recomendaciones para futuras investigaciones y líneas de acción (Sección 4) y una guía técnica para calcular la vulnerabilidad de la población al calor extremo (Apéndice 7.5).

La vulnerabilidad al calor extremo para el escenario de RCP 4.5 (2011-2040) se calcula utilizando una metodología de vulnerabilidad simplificada y justificada, que utiliza un análisis de componentes principales (PCA) y la normalización de puntuaciones z para obtener puntuaciones de vulnerabilidad. Las puntuaciones de vulnerabilidad para días cálidos (DC), días tórridos (DT), noches tropicales (TR) y noches tórridas (TO) se cartografían con un Sistema de Información Geográfica (SIG). Las zonas más vulnerables se dispersan en el territorio metropolitano y cambia dependiendo de la agregación sinérgica del escenario de calor extremo, la sensibilidad de la población y la capacidad adaptiva de la zona en cuestión. De forma general, los resultados demuestran más vulnerabilidad en el noreste para los días cálidos/tórridos y en el sureste del territorio metropolitano para las noches tropicales/tórridas. Se pueden ver los resultados con más detalle en la Sección 3, el Apéndice 7.4 y el visor <https://arcg.is/1OiPLz>.

Palabras claves: cambio climático, calor extremo, riesgos naturales, sensibilidad, NDVI, vulnerabilidad social, Área Metropolitana de Barcelona, índices y cartografía de vulnerabilidad, guía técnica, salud pública, adaptación al cambio climático, estrategias de implementación.

Abstract

This final master's project includes a vulnerability assessment to extreme heat for the metropolitan area of Barcelona (Section 3), recommendations for future research and climate action (Section 4), and a technical guide to calculate vulnerability to extreme heat (Appendix 7.5).

Extreme heat vulnerability for the RCP 4.5 (2011-2040) scenario is calculated using a justified and simplified vulnerability methodology that uses a principal component analysis (PCA) and z -score normalization to obtain vulnerability scores. Vulnerability scores for hot days (HD), torrid days (TD), tropical nights (TR) and torrid nights (TO) are mapped with a Geographic Information System (GIS). The highly vulnerable zones are dispersed throughout the metropolitan area and change depending on the synergistic aggregation of which extreme heat scenario is used, the sensitivity of the population, and the adaptive capacity of the area in question. In general, the results demonstrate more vulnerability in the northeast for hot/torrid days and the southeast of the metropolitan territory for tropical/torrid nights. The results are shown in more detail in Section 3, Appendix 7.4, and the following map viewer <https://arcg.is/1frKKn>.

Key words: climate change, natural hazards, sensitivity, NDVI, social vulnerability, metropolitan area of Barcelona, index and vulnerability map, technical guide, public health, environmental health, climate action planning, climate adaptation, resource allocation, implementation strategies.

ÍNDICE

Resumen.....	2
Abstract	2
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. Presentación del trabajo final de máster	5
1.2. Acrónimos y términos	6
1.3. Revisión bibliográfica	7
Exposición: calor extremo	7
Sensibilidad y vulnerabilidad social	8
Capacidad adaptativa	10
Vulnerabilidad al calor extremo	10
1.4. Proyectos relevantes y área de estudio	11
Figura 1.4. Área de estudio.....	12
1.5. Objetivos	12
2. METODOLOGÍA.....	13
2.1. Revisión bibliográfica	13
2.2. Selección de los indicadores y variables de vulnerabilidad	13
Tabla 2.2. Indicadores y variables de vulnerabilidad	14
2.3. Agregación de las variables de vulnerabilidad.....	15
Tabla 2.3c. Las componentes y sus respectivas varianzas explicadas obtenidas	15
Tabla 2.3d. Ejemplo de cómo obtener puntuaciones de vulnerabilidad	16
2.4. Localización de la vulnerabilidad mediante técnicas SIG	16
3. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD AL CALOR EXTREMO	16
3.1. Días cálidos (2011-2040)	17
Tabla 3.1. Las 10 agrupaciones censales más vulnerables (DC).....	17
Figura 3.1. Vulnerabilidad a los días cálidos	17
3.2. Días tórridos (2011-2040)	18
Tabla 3.2. Las 10 agrupaciones censales más vulnerables (DT)	18
Figura 3.2. Vulnerabilidad a los días tórridos.....	18
3.3. Noches tropicales (2011-2040)	19
Tabla 3.3. Las 10 agrupaciones censales más vulnerables (TR)	19
Figura 3.3. Vulnerabilidad a las noches tropicales.....	19

3.4. Noches tórridas (2011-2040)	20
Tabla 3.4. Las 10 agrupaciones censales más vulnerables (TO).....	20
Figura 3.4. Vulnerabilidad a las noches tórridas	20
3.5. Discusión de los resultados	21
4. RECOMENDACIONES	23
4.1. Líneas de acción	23
4.2. Investigación futura.....	26
5. CONCLUSIONES	30
6. BIBLIOGRAFÍA	31
7. APÉNDICES	35
7.1. Esfuerzos relevantes al calor extremo	35
7.2. Variables de exposición al calor extremo	37
7.3. Variables de sensibilidad y capacidad adaptativa.....	41
7.4. Resultados de vulnerabilidad al calor extremo	53
Vulnerabilidad a los días cálidos	53
Tabla 7.4a. Puntuaciones de vulnerabilidad (DC)	54
Vulnerabilidad a los días tórridos	61
Tabla 7.4b. Puntuaciones de vulnerabilidad (DT)	62
Vulnerabilidad a las noches tropicales	69
Tabla 7.4c. Puntuaciones de vulnerabilidad (TR).....	70
Vulnerabilidad a las noches tórridas.....	78
Tabla 7.4d. Puntuaciones de vulnerabilidad (TO)	79
7.5. Guía técnica para evaluar la vulnerabilidad de la población al calor extremo	86

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Presentación del trabajo final de máster

Motivación personal

Cuando tenía trece años vi un documental de la BBC sobre el estado de los problemas sociales y ambientales del mundo. El documental profundizaba en la gravedad de la pobreza mundial, el hambre, la escasez de agua, las desigualdades de salud, la energía de los combustibles fósiles, el consumo excesivo, los ecosistemas degradados, el cambio climático, el racismo, la opresión, el sexismo y la injusticia. Cuando el documental terminó, me senté en silencio, devastada. Poco después, comencé la búsqueda de una carrera en la que yo pudiera hacer aportaciones tangibles con respecto a estos problemas mundiales. Me decidí por planificación urbana, y es lo que me lleva a formalizar mi educación aquí en Barcelona hoy. Es un esfuerzo desafiante intentar efectivamente resolver los problemas mundiales, ya que se basan en sistemas y, por lo tanto, son intrínsecamente complejos. Si tengo dudas, o me siento frustrada con las deficiencias e injusticias de estos sistemas, o simplemente triste por los resultados negativos, me recuerdo a mí misma la importancia de hacer algo y la cita de ex alcalde del Curitiba, Jaime Lerner:

“No hay tarea más noble que el intento de alcanzar un sueño colectivo. Cuando una ciudad acepta como un mandato mejorar su calidad de vida; cuando respeta a las personas que viven en ella y respeta su entorno; cuando se prepara para las futuras generaciones, las personas comparten la responsabilidad de ese mandato, y esto permite lograr ese sueño colectivo”.

El sueño colectivo me ha inspirado para aprovechar al máximo mis oportunidades, pensar de forma creativa, participar con empatía y trabajar de manera significativa a lo largo de mis estudios. Estas ambiciones continúan moviéndome y me han motivado a lo largo de este proyecto.

Agradecimientos

Primero, agradezco a Ana Romero Calix de la Dirección de Servicios Ambientales del Área Metropolitana de Barcelona (AMB) por la oportunidad brindada de hacer prácticas y este trabajo final de máster (TFM) con dicha institución. Me facilitaron datos de escenarios futuros de calor extremo, imágenes satelitales de Sentinel y proporcionaron comentarios contextuales sobre los resultados. La Sección de Estudios Territoriales, dirigido por Ernest Ruiz Almar, me proporcionó datos de sensibilidad, dio a conocer cuál de las variables disponibles eran mejor para usar, explicó la metodología técnica de cómo convertir todas las variables espaciales a la misma escala y contribuyeron con su apoyo al proyecto. Mi tutor, el Dr. Joan Albert López-Bustins, y mi cotutor no oficial, Dr. Javier Martín-Vide, dieron su asesoramiento experto sobre los procesos complejos de la metodología y la redacción del documento, aportando un ambiente de aprendizaje acogedor y constructivo. Han sido una fuente de inspiración y estoy agradecida de haber tenido la oportunidad de trabajar con ellos. Finalmente, agradezco a mi familia y amigos por su cariño y ánimo, especialmente por parte de mi pareja Mihnea.

1.2. Acrónimos y términos

Esta lista puede servir como una referencia rápida para el lector. Contiene acrónimos y términos de uso frecuente en el documento, los cuales también están explicados en las secciones que siguen.

ACRÓNIMO Y TÉRMINO	DEFINICIÓN
AMB	La administración pública Área Metropolitana de Barcelona. Cuando se hace referencia al área metropolitana como zona geográfica de estudio no se utiliza el acrónimo.
Calor extremo	Temperaturas ambientales extremadamente altas en relación con el lugar y temporada en cuestión (Kravchenko <i>et al.</i> , 2013 ⁴⁵). El umbral moderado y alto en este estudio son días superando 30°C y 35°C, y noches con temperaturas superiores a 20°C y 25°C, respectivamente.
Capacidad adaptativa	Capacidad de hacer frente al impacto y las repercusiones de un evento peligroso (Wolf y McGregor 2013 ⁶⁰ ; Chuang & Gober, 2015 ²¹).
DC	Días cálidos, temperatura máxima diaria > 30°C. Umbral moderado para el calor extremo diurno del proyecto.
DT	Días tórridos, temperatura máxima diaria > 35°C. Umbral máximo para el calor extremo diurno del proyecto.
Ecuación de vulnerabilidad	Vulnerabilidad = exposición al peligro + (sensibilidad - capacidad adaptativa)
Exposición	Frecuencia y duración en que las poblaciones están expuestas a un riesgo natural (Bao <i>et al.</i> 2015 ¹⁶).
IDESCAT	Instituto de Estadística de Cataluña. Fuente de datos locales para este TFM.
INE	Instituto Nacional de Estadística. Fuente de datos locales para este TFM.
La isla de calor urbana	Un aumento de la temperatura en las áreas centrales de las ciudades, donde las superficies urbanas (edificios, pavimentos, etc.) absorben radiación solar, se genera calor por múltiples combustiones y se transmite al aire urbano durante la noche (Chow <i>et al.</i> , 2012 ²⁰ ; Kravchenko <i>et al.</i> , 2013 ⁴⁵ ; Martín-Vide, 2015 ²⁹). Las islas de calor producen una temperatura más alta en las áreas urbanas respecto a entornos naturales, que tienen un aumento de los efectos de enfriamiento de sombra natural, evapotranspiración y de otros procesos naturales (SFPHD, 2013 ⁵⁶).
PCA	Análisis de componentes principales. Obtiene correlaciones estadísticamente significativas entre las variables originales para agruparlas como puntuaciones en el cálculo de vulnerabilidad. Permite agregar y representar las variables de sensibilidad y capacidad adaptativa mediante sus efectos sinérgicos (Wolf y McGregor, 2013 ⁶⁰).
RCP	Significa “Trayectorias de Concentración Representativas” y refiere al efecto radiativo de una determinada concentración de gases de efecto invernadero. RCP 4.5 es el escenario moderado donde la tasa de emisiones cumpliría los objetivos del Acuerdo de París, para limitar el aumento máximo de la temperatura global del planeta de 1,5 a 2°C a finales de este siglo.
s	Desviación estándar de la muestra de datos. Medida de dispersión utilizado en los mapas de exposición, sensibilidad y vulnerabilidad del proyecto.
Sensibilidad	El grado de impacto de un riesgo natural debido a las características de la población (Rinner <i>et al.</i> , 2010 ⁵³ ; Chuang y Gober, 2015 ²¹ ; Weber <i>et al.</i> , 2015 ⁵⁹).
SIG	Sistema de información geográfica. Utilizado para cartografiar la vulnerabilidad.
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences. Programa estadístico utilizado para el PCA.
TFM	Trabajo final de máster
TO	Noches tórridas, temperatura mínima diaria >25°C. Umbral máximo para el calor extremo nocturno del proyecto.
TR	Noches tropicales, temperatura mínima diaria >20°C. Umbral moderado para el calor extremo nocturno del proyecto.
Vulnerabilidad	Grado en que es probable que un sistema experimente daño debido a la exposición a un peligro (Bao <i>et al.</i> , 2015 ¹⁶ ; Weber <i>et al.</i> , 2015 ⁵⁹).

1.3. Revisión bibliográfica

Exposición: calor extremo

El calor extremo es un peligro natural que está aumentando en frecuencia, intensidad y duración debido al cambio climático. En general, se define por la ocurrencia de temperaturas ambientales extremadamente altas en relación con el lugar y la temporada en cuestión (Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵). Los impactos de estas temperaturas extremadamente altas se empeoran con procesos naturales y antropogénicos como el estancamiento del aire, la contaminación del aire y la isla de calor urbano (Reid *et al.*, 2009⁵²; Rinner *et al.*, 2010⁵³; Hondula *et al.*, 2012⁴²; SFPHD, 2013⁵⁶; Wolf y McGregor, 2013⁶⁰; Bao *et al.*, 2015¹⁷; Martín-Vide *et al.*, 2015²⁹; Weber *et al.*, 2015⁵⁹; Generalitat de Catalunya, 2016³⁹).

La extensión (frecuencia y duración) en que las poblaciones están expuestas al calor es el factor más estudiado que impacta directamente la vulnerabilidad de la población (Bao *et al.* 2015¹⁷). Además de la muerte por golpe de calor, el calor extremo puede causar otros daños en la salud como insolación, agotamiento por calor, calambres por calor, trastornos de deshidratación y electrolitos e hipertermia materna en mujeres embarazadas (Reid *et al.*, 2009⁵²; Rinner *et al.*, 2010⁵⁴; SA Health, 2016⁴⁰). También puede complicar enfermedades como diabetes, enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares, trastornos respiratorios, insuficiencia renal aguda, afecciones neurológicas y enfermedades mentales (Martínez-Navarro *et al.*, 2004⁴⁷; Aubrecht & Özceylan, 2013¹⁴; Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵; Bao *et al.*, 2015¹⁷; Generalitat de Catalunya, 2016³⁹; SA Health, 2016⁴⁰).

Aunque las temperaturas tienden a reducirse por la noche, en verano muchas veces las temperaturas nocturnas superan los 20°C en el área metropolitana de Barcelona. Cuando esto sucede, en climatología se le denomina noche tropical. Este fenómeno está aumentando con el cambio climático y se ve agravado por el efecto de la isla de calor urbano (Martín-Vide, 2015²⁹; Arellano Ramos y Roca Cladera¹³, 2016). La isla de calor se caracteriza por el aumento de la temperatura en las áreas centrales de las ciudades, donde las superficies urbanas (edificios, pavimentos, etc.) absorben radiación solar, se genera calor por múltiples combustiones y se transmite calor al aire urbano durante la noche (Chow *et al.*, 2012²⁰; Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵; Martín-Vide *et al.*, 2015⁴⁷). Las islas de calor producen una temperatura más alta en las áreas urbanas respecto a entornos naturales, que tienen un aumento de los efectos de enfriamiento de sombra natural, evapotranspiración y otros procesos naturales (SFPHD, 2013⁵⁶). Las noches tropicales interrumpen el sueño, que a su vez debilita y aumenta la morbilidad y la mortalidad relacionadas con el calor. Este es especialmente el caso para los ancianos y aquellas personas con afecciones médicas preexistentes, quienes dependen especialmente de un sueño reparador para mantener las funciones corporales (Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵; Martín-Vide *et al.*, 2015²⁹; Tecnia Research & Innovation, 2015⁵⁷; Weber *et al.*, 2015⁵⁷).

Los umbrales de calor extremo son conceptos subjetivos que dependen del contexto del estudio y el impacto en cuestión. Para esta evaluación, el calor extremo se define como días con temperaturas superiores a 30°C y 35°C y noches superiores a 20°C y 25°C para la proyección 4.5 RCP 2011-2040. Estas variables consideran el contexto de calor extremo del territorio metropolitano y el impacto en la salud humana en el área (Ballester, 2008¹⁶; AMB, 2015²⁵). RCP 4.5 es un escenario desarrollado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). RCP significa “trayectorias de concentración

representativas” y refiere al efecto radiativo de una determinada concentración de gases de efecto invernadero. RCP 4.5 es el escenario moderado donde la tasa de emisiones cumpliría los objetivos del Acuerdo de París, para limitar el aumento máximo de la temperatura global del planeta de 1,5 a 2°C a finales de este siglo.

Sensibilidad y vulnerabilidad social

No todas las poblaciones tienen el mismo riesgo de salud por el calor extremo. Ciertas poblaciones, debido a factores socioeconómicos, son más sensibles o socialmente vulnerables a los efectos adversos de temperaturas extremadamente altas. En el contexto de los peligros naturales, la sensibilidad y la vulnerabilidad social se define como el grado de impacto debido a las características de la población (Rinner *et al.*, 2010⁵³; Chuang y Gober, 2015²¹; Weber *et al.*, 2015⁵⁹). En las últimas décadas, ha habido un movimiento en el ámbito académico y profesional para cuantificar el concepto de vulnerabilidad social a fin de asignar mejor los recursos para mitigar y adaptarse a los peligros ambientales (Wolf y McGregor, 2013⁶⁰; Bergstrand *et al.*, 2014¹⁸). Estos esfuerzos se han formalizado con el desarrollo de unos índices, llamados Índice de Vulnerabilidad Social (SVI). La base de estos índices proviene del trabajo innovador y considerablemente citado de Cutter *et al.* (2003)²⁴ quienes comenzaron a establecer las variables que cuantifican la vulnerabilidad social y una metodología para agregar esas variables en un índice llamado SoVI.

Para evaluar el peligro natural del calor excesivo, académicos y profesionales se han basado en el concepto de SVI / SoVI para crear un índice específico de vulnerabilidad al calor llamado Índice de Vulnerabilidad al Calor (HVI) o Índice de Vulnerabilidad al Calor Extremo (EHVI) (Johnson *et al.*, 2012⁴⁴; Bao *et al.*, 2015¹⁷). A lo largo de estos trabajos y proyectos de investigación de salud pública, se han encontrado algunas características de la población que aumentan la sensibilidad al calor extremo. Éstas incluyen:

Edad

Los niños menores de 5 años y los adultos mayores de 65 años han demostrado ser desproporcionadamente sensibles al calor extremo, en comparación con otros rangos de edad (Martínez-Navarro *et al.*, 2004⁴⁷; Ballester, 2008¹⁶; Aubrecht & Özceylan, 2013¹⁴; Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵; Wolf y McGregor, 2013⁶⁰; Bao *et al.*, 2015¹⁷). Esto se debe al hecho de que los niños pequeños y los ancianos son físicamente menos capaces de adaptarse a los cambios de temperatura y mantener los procesos de termorregulación (Martínez-Navarro *et al.*, 2004⁴⁷; Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵; Tecnalia Research & Innovation, 2015⁵⁷). Además, los ancianos pueden tener problemas de movilidad que dificultan la adaptación y el alivio durante un evento de calor extremo. En Cataluña, la muerte inducida por ola de calor es un 20% más probable para la población entre 60 y 70 años, y un 40% para aquella de 80 a 90 años (Generalitat de Catalunya, 2016³⁹).

Aislamiento social

Las personas que viven solas, especialmente los mayores de edad, tienden a estar más aislados socialmente en comparación con el resto de la población. Es más probable que estos grupos tengan menos contacto con parientes, vecinos y recursos sociales (Reid *et al.*, 2009⁵²; Aubrecht & Özceylan,

2013¹⁴; Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵). Por lo tanto, es probable que desconozcan, ignoren, o carezcan de apoyo social para adaptarse frente eventos de calor extremo (Chow *et al.*, 2012²⁰; Bao *et al.*, 2015¹⁷; SA Health, 2016⁴⁰). En un estudio previo de mortalidad en el territorio metropolitano, la población de 65 años o más que vive sola estuvo altamente correlacionada con el número de muertos durante el evento de ola de calor de 2003 (Santiago-Jiménez, 2011⁵⁴).

Nivel de instrucción

Las personas de bajo nivel educativo son vulnerables por falta de conocimiento de la severidad y las medidas preventivas de calor extremo. Además, la falta de instrucción puede ser una barrera para recibir y comprender avisos públicos, advertencias e información de aislamiento. Con estas barreras, las personas con educación deficiente suelen ser menos preparados y requerir más ayuda para tomar medidas de precaución ante eventos de DC, DT, TR y TO (Aubrecht & Özceylan, 2013¹⁴). El nivel educativo también es una variable indirecta del estado socioeconómico. Niveles educativos bajos normalmente indican bajos niveles de ingresos y menos recursos socioeconómicos para adaptarse a temperaturas altas.

Nivel socioeconómico

Los bajos niveles socioeconómicos está asociado con la morbilidad y mortalidad del calor en el área metropolitana de Barcelona y otras partes del mundo (Martínez-Navarro *et al.*, 2004⁴⁷; Ballester, 2008¹⁶; Xu *et al.*, 2013⁶²; Bao *et al.*, 2015¹⁷; SA Health, 2016⁴⁰). Esto representa una mayor sensibilidad y falta de recursos económicos, materiales e informativos para hacer frente a temperaturas extremadamente altas (Johnson *et al.*, 2012⁴⁴; Aubrecht y Özceylan, 2013¹⁴). Es probable que las poblaciones pobres también sufran de condiciones de vivienda inadecuadas (Aubrecht y Özceylan, 2013¹⁴). Por ejemplo, las poblaciones de bajos ingresos y los ancianos con ingresos fijos son más propensos a soportar el calor en lugar de pagar mejores del hogar, instalación de aire acondicionado y / o facturas de energía más altas.

Nacidos en el extranjero

Aunque la raza y el origen étnico pueden parecer más significativos en otras partes del mundo como en los Estados Unidos de América, el origen extranjero también juega un papel en el contexto europeo (Aubrecht & Özceylan, 2013¹⁴; Wolf y McGregor, 2013⁶⁰; Bao *et al.*, 2015¹⁷; Guillard-Gonçalves *et al.*, 2014⁴¹). Aunque hay excepciones notables en el territorio metropolitano, las personas nacidas en el extranjero en general tienen más probabilidades de ser discriminados, marginados y tener menos acceso a los recursos que los residentes locales ya establecidos (Guillard-Gonçalves *et al.*, 2014⁴¹). Esto se ve agravado por barreras lingüísticas y / o culturales que impiden que los residentes extranjeros accedan o comprendan las advertencias sobre el calor o que tomen las medidas de protección disponibles (Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵; SA Health, 2016⁴⁰).

Características de la vivienda

Las características deficientes de la vivienda indican aislamiento y capacidad adaptativa reducida para eventos extremos de calor (Ballester, 2008¹⁶; Wolf y McGregor, 2013⁶⁰; Bao *et al.*, 2015¹⁷). Las variables que indican las características de la vivienda en este estudio son (1) los hogares de alquiler y (2) los

edificios de cuatro pisos o más sin ascensor. Los inquilinos se han encontrado particularmente sensibles al calor, ya que tienen menos control sobre sus edificios y, por lo tanto, tienen más dificultad para aislar el hogar del calor extremo. La variable de edificios sin ascensor es una variable específica del AMB. La variable indica una capacidad reducida para movilizarse en caso de calor y, por lo tanto, indica una mayor sensibilidad al riesgo de calor, principalmente para las personas con movilidad reducida.

Otras variables de sensibilidad

Existen otras variables de sensibilidad que no están descritas en esta sección, porque los datos no existen o no están disponibles a la escala espacial necesaria para la evaluación de vulnerabilidad de este TFM. Se puede consultar la Sección 4.2 para obtener más información sobre estos indicadores potencialmente aplicables en futuras investigaciones.

Capacidad adaptativa

La capacidad adaptativa es la capacidad de hacer frente al impacto y las repercusiones ante un evento de peligro (Wolf y McGregor 2013⁶⁰; Chuang & Gober, 2015²¹). En esta evaluación, el indicador que incorpora la capacidad adaptativa es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). Este índice demuestra la densidad de la vegetación en un área determinada (Chow *et al.*, 2012²⁰; Johnson *et al.*, 2012⁴⁴; Chuang y Gober, 2015²¹). La capacidad que tiene la vegetación para disminuir el calor está respaldado con una cantidad media de evidencia y acuerdo entre los estudios de vulnerabilidad (Reid *et al.*, 2009⁵²; Xu *et al.*, 2013⁶²; Bao *et al.*, 2015¹⁷). La vegetación densa mitiga los efectos del calor extremo al enfriar un área con cobertura vegetal y los procesos biológicos de evapotranspiración (Rinner *et al.*, 2010⁵³; Aubrecht y Özceylan, 2013¹⁴). El aumento de vegetación, indicado con valores de NDVI más altos, disminuye la vulnerabilidad en el contexto de este estudio.

Vulnerabilidad al calor extremo

La vulnerabilidad generalmente se refiere al grado en que es probable que un sistema experimente daño debido a la exposición a un peligro (Bao *et al.*, 2015¹⁷; Weber *et al.*, 2015⁵⁹). En el contexto de este estudio, la vulnerabilidad es el grado en que las poblaciones en el área metropolitana de Barcelona pueden experimentar daños al calor extremo. Para calcular y cuantificar esta vulnerabilidad, se utiliza una definición adaptada y simplificada de varias evaluaciones de vulnerabilidad al calor extremo (Rinner *et al.* 2010⁵³; Chow *et al.*, 2012²⁰; Wolf y McGregor 2013⁶⁰; Chuang & Gober 2015²¹; Weber *et al.*, 2015⁵⁹; Eisenman *et al.*, 2016³⁵):

$$\text{Vulnerabilidad} = \text{exposición al peligro} + (\text{sensibilidad} - \text{capacidad adaptativa})$$

Por lo tanto, la vulnerabilidad se calcula como una función de la exposición a temperaturas anormalmente altas, que se intensifica por la sensibilidad de una población y se modera por su capacidad adaptativa (Weber *et al.*, 2015⁵⁹). Para simplificar el cálculo de la vulnerabilidad de esta evaluación y evitar el uso de dobles negativos confusos, todas las variables de sensibilidad utilizadas en esta evaluación aumentan (+) la vulnerabilidad. Por otro lado, el indicador de capacidad adaptativa utilizado en esta evaluación disminuye (-) la vulnerabilidad.

Las evaluaciones de vulnerabilidad son herramientas claves para ayudar con la toma de decisiones a priorizar recursos necesarios para la preparación y respuesta ante eventos de calor extremo (SFPHD, 2013⁵⁶; Wolf y McGregor, 2013⁶⁰; Bao *et al.*, 2015¹⁷). Al desarrollar estudios para comprender y cuantificar la vulnerabilidad, los programas de implementación pueden promover la salud urbana, la justicia social y la justicia ambiental (SFPHD, 2013⁵⁶). Al ubicar las áreas con mayor vulnerabilidad, se pueden diseñar mejores estrategias para minimizar el impacto de la muerte, la enfermedad u otras repercusiones interconectadas del calor extremo (Wolf y McGregor, 2013⁶⁰; Bao *et al.*, 2015¹⁷). Los estudios de vulnerabilidad también permiten encapsular la complejidad de la vulnerabilidad en una única construcción que de otro modo no se analizaría fácilmente (Aubrecht & Özceylan, 2013¹⁴).

1.4. Proyectos relevantes y área de estudio

Proyectos relevantes

El AMB tiene varios planes y proyectos que toman en cuenta la importancia del calor extremo y, en general, califica el concepto de vulnerabilidad. Por ejemplo, el *Pla Clima i Energia* del AMB (2018) indica el calor extremo como uno de los 5 riesgos climáticos principales del área metropolitana, marca los umbrales de calor de 30/35°C durante el día y 20/25°C por la noche y menciona la importancia de implementar medidas que se centran en las poblaciones vulnerables. Además, con la colaboración de Barcelona Regional, la ciudad de Barcelona ha completado una evaluación de vulnerabilidad al calor extremo a la que se hace referencia en el *Pla Clima: Onades de Calor* (2018)². Se muestra en un mapa de Barcelona distintos niveles de vulnerabilidad, considerando las variables 75 años y más, demanda de frío, vegetación y bajos niveles de educación. Estos son solo algunos de los esfuerzos en territorio metropolitano relacionados con la acción climática. Para obtener una lista más completa de proyectos y planes, se puede consultar el Apéndice 7.1.

Área de oportunidad para este TFM

Este proyecto añade a los esfuerzos actuales con el cálculo y la ubicación de áreas específicas que son potencialmente vulnerables al calor extremo. Este tipo de evaluación aún no se ha realizado para toda el área metropolitana de Barcelona y, por lo tanto, puede ayudar a los esfuerzos actuales y futuros para reducir el riesgo de calor. Este análisis también puede servir como una herramienta sustancial y justificada para una mejor implementación de los proyectos relacionados al cambio climático en el área.

Área de estudio

El área de estudio de esta evaluación es el área metropolitana de Barcelona. Esta área metropolitana consiste en 36 municipios, como se muestra en la Figura 1.4. La unidad de referencia espacial básica de las variables utilizadas para calcular la vulnerabilidad son las agrupaciones censales (AC), desarrolladas por la Sección de Estudios Territoriales de AMB. Como su nombre indica, las AC están compuestas por conjuntos de secciones censales completas, que se han agrupado con el objetivo de minimizar las deficiencias del censo de población del año 2011.

Las AC fueron construidas siguiendo dos criterios principales. En primer lugar, cada agrupación censal contiene una población de alrededor de 4.500 habitantes. En segundo lugar, las AC son espacialmente coherentes con las unidades estadísticas y administrativas de secciones censales, barrios y municipios.

El resultado es 411 AC para el territorio metropolitano de Barcelona que han sido identificadas mediante códigos alfanuméricos únicos y nombres coherentes con la toponimia de cada zona (Sección de Estudios Territoriales, 2015⁵⁵).

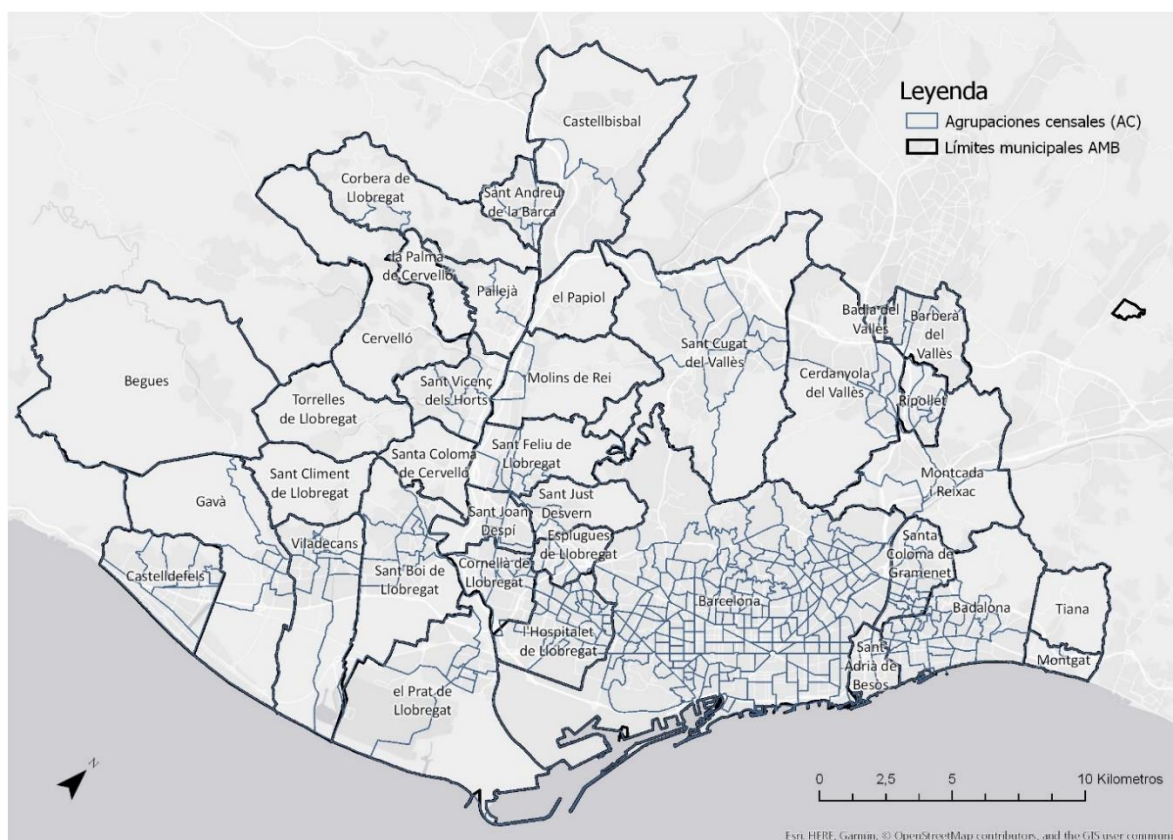


Figura 1.4. Área de estudio

La zona separada de Montcada i Reixac que se muestra al norte en la Figura 1.4 no está incluida en el área de estudio.

1.5. Objetivos

Objetivo principal

El objetivo principal de este proyecto es evaluar la vulnerabilidad al calor extremo en el área metropolitana de Barcelona, para el escenario RCP 4.5 durante el período 2011-2040.

Objetivos secundarios

De forma significativa y cuantitativa, este TFM puede ayudar a priorizar áreas donde es especialmente necesario asignar recursos para reducir la morbilidad y mortalidad al calor extremo. Las recomendaciones de este proyecto pueden ayudar a futuras evaluaciones de vulnerabilidad y mejorar los esfuerzos de implementación. La metodología (Sección 2) y la guía (en el Apéndice 7.5) pueden asistir a otros municipios y el AMB a desarrollar evaluaciones futuras con datos y recursos actualizados. La metodología descrita en este proyecto también puede ser útil para evaluar la vulnerabilidad a otros peligros naturales, ya que las evaluaciones de vulnerabilidad se están convirtiendo en una herramienta cada vez más común en la gestión de riesgos, los planes de emergencia y la planificación de acciones climáticas (Flanagan *et al.*, 2011³⁷).

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para calcular la vulnerabilidad al calor extremo, a grandes rasgos, sigue los siguientes pasos: (1) realizar una revisión bibliográfica, (2) seleccionar indicadores y variables de vulnerabilidad, (3) agregar variables para obtener puntuaciones de vulnerabilidad y (4) cartografiar puntuaciones de vulnerabilidad con Sistemas de Información Geográfica (SIG). Se puede consultar la guía en el Apéndice 7.5 para obtener más detalles sobre esta metodología. La numeración de los apartados de esta sección metodológica coincide con la de la guía para facilitar su uso.

2.1. Revisión bibliográfica

Se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica para desarrollar la evaluación de vulnerabilidad, la cual está presentada en la bibliografía (Sección 6). Se estudió una variedad de evaluaciones de vulnerabilidad en diferentes ciudades y áreas metropolitanas, particularmente en América del Norte, donde son más frecuentes estos trabajos. Las ubicaciones de estudio incluyen Madrid, Mallorca, Lisboa, Londres, Quebec, Toronto, el área metropolitana de Phoenix, el condado de Filadelfia, el área metropolitana de Washington D.C., el condado de San Luis Obispo (California) y el condado de San Francisco. Otros proyectos relevantes en área metropolitana de Barcelona también fueron revisados para especificar dónde encajar este TFM de acuerdo con los esfuerzos del área (Apéndice 7.1).

2.2. Selección de los indicadores y variables de vulnerabilidad

Después de revisar la literatura relevante para las evaluaciones de vulnerabilidad, se observó los indicadores más comunes y compatibles con la vulnerabilidad al calor extremo considerando el contexto geográfico y social del área metropolitana de Barcelona. Como se mencionó en la introducción, los indicadores de este estudio incluyen: exposición a altas temperaturas, edad, aislamiento social, educación, situación económica, población nacida en el extranjero, condiciones de vivienda e la presencia de vegetación. Para cuantificar estos indicadores respectivos, se eligieron variables en función de la disponibilidad de los datos de Instituto de Estadística de Cataluña (IDESCAT) e Instituto Nacional de Estadística (INE). La Tabla 2.1 contiene los indicadores de vulnerabilidad y las variables respectivas utilizadas en este proyecto.

Tabla 2.2. Indicadores y variables de vulnerabilidad

INDICADOR	FUENTE	VARIABLES / AÑO	ESCALA	FUENTE
MAGNITUD DEL PELIGRO (EXPOSICIÓN)	Vescovi <i>et al.</i> , 2005 ⁵⁸ ; Ballester, 2008 ¹⁶ ; Aubrecht & Özceylan, 2013 ¹⁴ ; AMB, 2015 ²⁵ ; Bao <i>et al.</i> , 2015 ¹⁷	RCP 4.5 (2011-2040) número anual de: días cálidos > 30°C, días tórridos > 35°C, noches tropicales > 20°C, y noches tórridas >25°C	Ráster 1x1km ² → AC	Servei Meteorològic de Catalunya
EDAD (SENSIBILIDAD)	Martínez-Navarro <i>et al.</i> , 2004 ⁴⁷ ; Vescovi <i>et al.</i> , 2005 ⁵⁸ ; Ballester, 2008 ¹⁶ ; Reid <i>et al.</i> , 2009 ⁵² ; Hondula <i>et al.</i> , 2012 ⁴² ; Johnson <i>et al.</i> , 2012 ⁴⁴ ; Aubrecht & Özceylan, 2013 ¹⁴ ; Kravchenko <i>et al.</i> , 2013 ⁴⁵ ; Wolf y McGregor, 2013 ⁶⁰ ; Bergstrand <i>et al.</i> , 2014 ¹⁸ ; Bao <i>et al.</i> , 2015 ¹⁷ ; Tecnalia Research & Innovation, 2015 ⁵⁷ ; Eisenman <i>et al.</i> , 2016 ³⁵ ; Generalitat de Catalunya, 2016 ³⁹	Población ≥ 65 años (2017)	AC	INE
AISLAMIENTO SOCIAL (SENSIBILIDAD)	Reid <i>et al.</i> , 2009 ⁵² ; Santiago-Jiménez, 2011 ⁵⁴ ; Johnson <i>et al.</i> , 2012 ⁴⁴ ; Aubrecht & Özceylan, 2013 ¹⁴ ; Kravchenko <i>et al.</i> , 2013 ⁴⁵ ; Bao <i>et al.</i> , 2015 ¹⁷ ; Chow <i>et al.</i> , 2012 ²⁰ ; SA Health, 2016 ⁴⁰	Mujeres ≥ 65 viviendo solas (2011) Hombres ≥ 65 viviendo solos (2011)	AC	IDESCAT
NIVEL DE EDUCACIÓN (SENSIBILIDAD)	Reid <i>et al.</i> , 2009 ⁵² ; Johnson <i>et al.</i> , 2012 ⁴⁴ ; Aubrecht & Özceylan, 2013 ¹⁴ ; Bergstrand <i>et al.</i> , 2014 ¹⁸ ; Bao <i>et al.</i> , 2015 ¹⁷ ; Chuang & Gober, 2015 ²¹ ; Hondula <i>et al.</i> , 2012 ⁴² ; Weber <i>et al.</i> , 2015 ⁵⁹	Población ≥ 25 analfabetos o estudios primarios incompletos (2011)	AC	IDESCAT
NIVEL SOCIOECONÓMICO (SENSIBILIDAD)	Martínez-Navarro <i>et al.</i> , 2004 ⁴⁷ ; Ballester, 2008 ¹⁶ ; Johnson <i>et al.</i> , 2012 ⁴⁴ ; Aubrecht & Özceylan, 2013 ¹⁴ ; Xu <i>et al.</i> , 2013 ⁶² ; Bao <i>et al.</i> , 2015 ¹⁷ ; Tecnalia Research & Innovation, 2015 ⁵⁷ ; SA Health, 2016 ⁴⁰	Población parada ≥ 16 años (2011) Población inactiva ≥ 16 años (2011)	AC	IDESCAT
POBLACIÓN EXTRANJERA (SENSIBILIDAD)	Kravchenko <i>et al.</i> , 2013 ⁴⁵ ; Aubrecht & Özceylan, 2013 ¹⁴ ; Wolf y McGregor, 2013 ⁶⁰ ; Bao <i>et al.</i> , 2015 ¹⁷ ; Eisenman <i>et al.</i> , 2016 ³⁵ ; Guillard-Gonçalves <i>et al.</i> , 2014 ⁴¹	Populación nacida en el extranjero (2017)	AC	INE
CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA (SENSIBILIDAD)	Ballester, 2008 ¹⁶ ; Hondula <i>et al.</i> , 2012 ⁴² ; Johnson <i>et al.</i> , 2012 ⁴⁴ ; Wolf y McGregor, 2013 ⁶⁰ ; Bergstrand <i>et al.</i> , 2014 ¹⁸ ; Bao <i>et al.</i> , 2015 ¹⁷ ; Chuang & Gober, 2015 ²¹ ; Tecnalia Research & Innovation, 2015 ⁵⁷ ; Weber <i>et al.</i> , 2015 ⁵⁹ ; Eisenman <i>et al.</i> , 2016 ³⁵	Régimen de tenencia: alquiler (2011) Edificios ≥ 4 plantas sin ascensor (2011)	AC	IDESCAT
AISLAMIENTO AL CALOR (CAPACIDAD ADAPTATIVA)	Reid <i>et al.</i> , 2009 ⁵² ; Rinner <i>et al.</i> , 2010 ⁵³ ; Chow <i>et al.</i> , 2012 ²⁰ ; Johnson <i>et al.</i> , 2012 ⁴⁴ ; Aubrecht & Özceylan, 2013 ¹⁴ ; Wolf y McGregor 2013 ⁶⁰ ; Xu <i>et al.</i> , 2013 ⁶² ; Bao <i>et al.</i> , 2015 ¹⁷ ; Chuang y Gober, 2015 ²¹ ; Tecnalia Research & Innovation, 2015 ⁵⁷ ; Weber <i>et al.</i> , 2015 ⁵⁹	Media NDVI	Ráster → AC	Foto satélite Sentinel 03-08-2017

2.3. Agregación de las variables de vulnerabilidad

2.3a. Cálculo del NDVI

El NDVI para el área metropolitana de Barcelona se calculó mediante ArcGIS Pro utilizando la herramienta NDVI y una imagen satélite Sentinel de 8 bits tomada el 3 de agosto de 2017.

2.3b. Conversión de los datos a la misma escala

El NDVI y los datos de exposición al calor extremo se convirtieron a la misma escala espacial de agrupaciones censales. ArcGIS Pro se usó para obtener los valores medios de NDVI y los valores medios de DC, DT, TR, y TO para las 411 agrupaciones censales estudiadas. Los cinco mapas resultantes se pueden ver en el Apéndice 7.2 y 7.3.

2.3c. Análisis estadístico de los datos de sensibilidad y capacidad adaptativa

Un análisis de componentes principales (PCA) se llevó a cabo en IBM Statistical Package for Social Sciences (SPSS) con las diez variables de sensibilidad y capacidad adaptativa (mencionadas en la Tabla 2.1). El PCA permitió agregar y representar las variables de sensibilidad y capacidad adaptativa mediante sus efectos sinérgicos, al obtener correlaciones estadísticamente significativas entre las variables y agruparlas en componentes como puntuaciones.

Los componentes, las correlaciones entre variables y el total de la varianza explicada por cada componente está presentado en la Tabla 2.3d. En su conjunto, los componentes representan el 70,3% de la varianza de los datos. Demostrado en negrita, el primer componente se relaciona con la población ≥ 65 años, mujeres/hombres ≥ 65 años viviendo solos y la población inactiva de trabajo. El segundo componente representa la población parada, la población ≥ 25 años sin estudios y las viviendas de cuatro pisos o más sin ascensor. El último componente contiene residentes nacidos en el extranjero y viviendas de alquiler. Todos los componentes mostraron una correlación inversa con el NDVI.

Tabla 2.3c. Las componentes y sus respectivas varianzas explicadas obtenidas

VARIABLE	COMPONENTE		
	1	2	3
Población ≥ 65	0,878	-0,177	-0,088
Mujer unipersonal ≥ 65	0,774	-0,143	0,349
Hombre unipersonal ≥ 65	0,466	-0,008	0,378
Población Inactiva	0,912	0,067	0,042
Población Parada	-0,228	0,856	0,028
Población ≥ 25 sin estudios	0,229	0,891	-0,209
Edificios ≥ 4 plantas sin ascensor	-0,160	0,664	0,293
Nacida en extranjero	0,081	0,248	0,881
Hogares en alquiler	0,032	-0,306	0,881
Media NDVI	-0,317	-0,208	-0,440
% de varianza total explicada	26,571	22,225	21,494

En el mismo programa SPSS, se sumaron de forma ponderada las puntuaciones de cada componente según su varianza explicada y el resultado se normalizaron por puntuaciones z (“z-scores”). Al sumar las puntuaciones de forma ponderada según su varianza explicada, se observa que los diferentes

componentes contribuyen en una proporción diferente al esquema espacial de vulnerabilidad (Wolf y McGregor 2013⁶⁰). Además, como se muestra en la Tabla 2.3d a continuación, el primer componente con mayor varianza explicada (26,6%), también corresponde a las poblaciones más vulnerables (mayores de edad). Por lo tanto, la metodología ponderada, aunque es diferente del método sin ponderar utilizado comúnmente en las evaluaciones de vulnerabilidad, es un método estadístico y científicamente coherente para evaluar la vulnerabilidad extrema al calor en este proyecto. La varianza explicada para cada una de las componentes tampoco difiere dramáticamente (26,6%, 22,3% y 21,5%), por lo que los resultados serían similares al método sin ponderar para agregar los componentes.

2.3d. Cálculo de las puntuaciones de vulnerabilidad

En el mismo programa de SPSS, se normalizaron los cuatro conjuntos de datos de exposición (DC, DT, TR, TO) a puntuaciones z. Seguidamente, se suma los datos normalizados de exposición con las puntuaciones normalizadas del PCA y las sumas se normalizan de nuevo para obtener los cuatro conjuntos de puntuaciones de vulnerabilidad. A modo de ejemplo se presenta la Tabla 2.3b

Tabla 2.3d. Ejemplo de cómo obtener puntuaciones de vulnerabilidad

CÁLCULO DE VULNERABILIDAD			PUNTUACIONES DE VULNERABILIDAD PARA CARTOGRAFIAR EN SIG	
EXPOSICIÓN (datos normalizados de DC, DT, TR, o TO)	SENSIBILIDAD - CAPACIDAD ADAPTIVA (resultado normalizado del PCA)	Suma	PUNTUACIÓN DE VULNERABILIDAD (suma normalizada)	AC ID (identificador geográfico para SIG)
-2,10	0,196	-1,9	-1,5	015001
-1,35	-0,514	-1,9	-1,4	015002
-1,70	0,049	-1,6	-1,3	015003
-1,71	0,305	-1,4	-1,1	015004
-2,01	-0,802	-2,8	-2,2	015005
-1,38	1,837	0,5	0,4	015006
-1,88	0,760	-1,1	-0,9	015007

2.4. Localización de la vulnerabilidad mediante técnicas SIG

Las tablas de los cuatro conjuntos de puntuaciones de vulnerabilidad normalizadas se importaron a ArcGIS Pro y cada uno se unió a un *shapefile* de agrupaciones censales, para generar cuatro mapas de vulnerabilidad para días cálidos, días tórridos, noches tropicales y noches tórridas. Al estandarizar los valores a puntuaciones z, los mapas se clasificaron manualmente por 6 desviaciones estándar, que corresponde a vulnerabilidad muy baja a muy alta. Debido a que todos los mapas se clasifican de esta misma manera, los resultados se pueden comparar bajo los mismos parámetros.

3. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD AL CALOR EXTREMO

Los resultados que se presentan a continuación contienen una breve descripción de las zonas potencialmente vulnerables para cada escenario de exposición al calor extremo, tablas con las diez AC que puntuaron más vulnerables y mapas que localizan la vulnerabilidad. Como mencionado, los valores de vulnerabilidad están en unidades de desviación estándar (*s*).

Para ver mapas más grandes y sus respectivas tablas que muestran todos los AC que puntuaron una vulnerabilidad muy alta, alta y moderadamente alta, se puede consultar el Apéndice 7.4.

3.1. Días cálidos (2011-2040)

Resultados

Como se muestra en la Figura 3.1, la vulnerabilidad moderadamente alta a muy alta para los días cálidos ($T_{máx} > 30^{\circ}\text{C}$), generalmente, se concentra en la parte noreste y sudeste del área metropolitana de Barcelona. La Tabla 3.1 a continuación presenta las diez agrupaciones censales más vulnerables.

Tabla 3.1. Las 10 agrupaciones censales más vulnerables (DC)

AC ID	MUNICIPIO	AGRUPACIÓN CENSAL	PUNTUACIÓN	VULNERABILIDAD
266002	Cerdanyola del Vallès	les Fontetes	2,585	Muy Alta
019141	Barcelona	Can Borràs	2,340	Muy Alta
904001	Badia del Vallès	Badia vora Riu Sec	2,171	Muy Alta
180004	Ripollet	Can Mas	2,146	Muy Alta
904002	Badia del Vallès	Badia vora Barberà	2,018	Muy Alta
245014	Santa Coloma de Gramenet	Santa Rosa - Pirineus	1,997	Alta
245012	Santa Coloma de Gramenet	Rambla del Fondo	1,960	Alta
019132	Barcelona	el Mercat de la Mercè	1,937	Alta
101018	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - Plaça Pirineus	1,894	Alta
019147	Barcelona	la Trinitat Vella	1,806	Alta

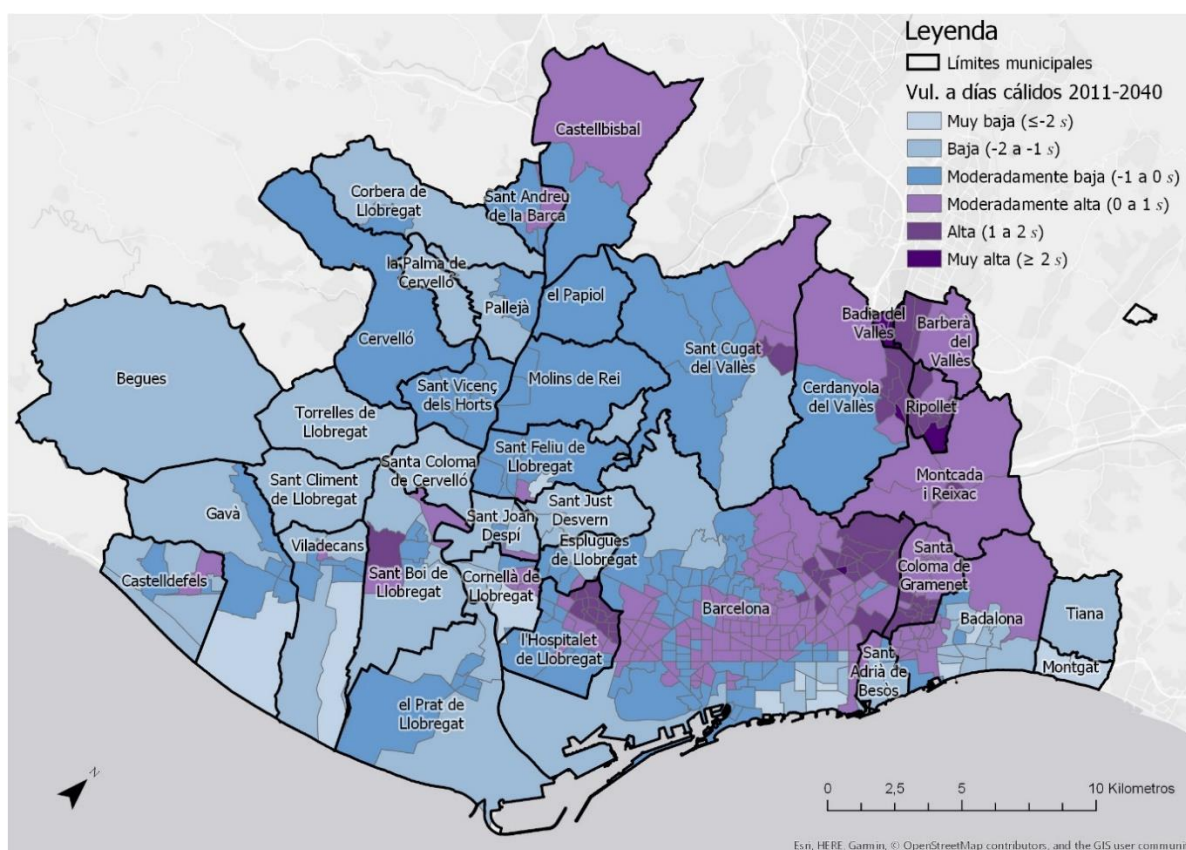


Figura 3.1. Vulnerabilidad a los días cálidos

3.2. Días tórridos (2011-2040)

Resultados

La vulnerabilidad a días tórridos ($T_{\text{máx}} > 35^{\circ}\text{C}$) se concentran, generalmente, en las mismas áreas que los días cálidos. Sin embargo, existe una mayor vulnerabilidad entre los municipios de Castellbisbal y Sant Vicenç del Horts. Las diez principales AC vulnerables se presentan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Las 10 agrupaciones censales más vulnerables (DT)

AC ID	MUNICIPIO	AGRUPACIÓN CENSAL	PUNTUACIÓN	VULNERABILIDAD
196001	Sant Andreu de la Barca	Centre	5,070	Muy Alta
054001	Castellbisbal	Centre i Eixample Sud - Santa Teresita - Canyet	3,905	Muy Alta
054002	Castellbisbal	Centre i Eixample Nord - Costablanca - Santeugini - Nicolau - Can Costa - Compte Sert	3,739	Muy Alta
196004	Sant Andreu de la Barca	el Palau	3,715	Muy Alta
196002	Sant Andreu de la Barca	la Solana	3,359	Muy Alta
196003	Sant Andreu de la Barca	Estació - Raval de Corbera - la Creu de Susalba	2,566	Muy Alta
205001	Sant Cugat del Vallès	Nucli Antic	2,419	Muy Alta
266002	Cerdanyola del Vallès	les Fontetes	2,221	Muy Alta
904001	Badia del Vallès	Badia vora Riu Sec	2,084	Muy Alta
904002	Badia del Vallès	Badia vora Barberà	1,862	Alta

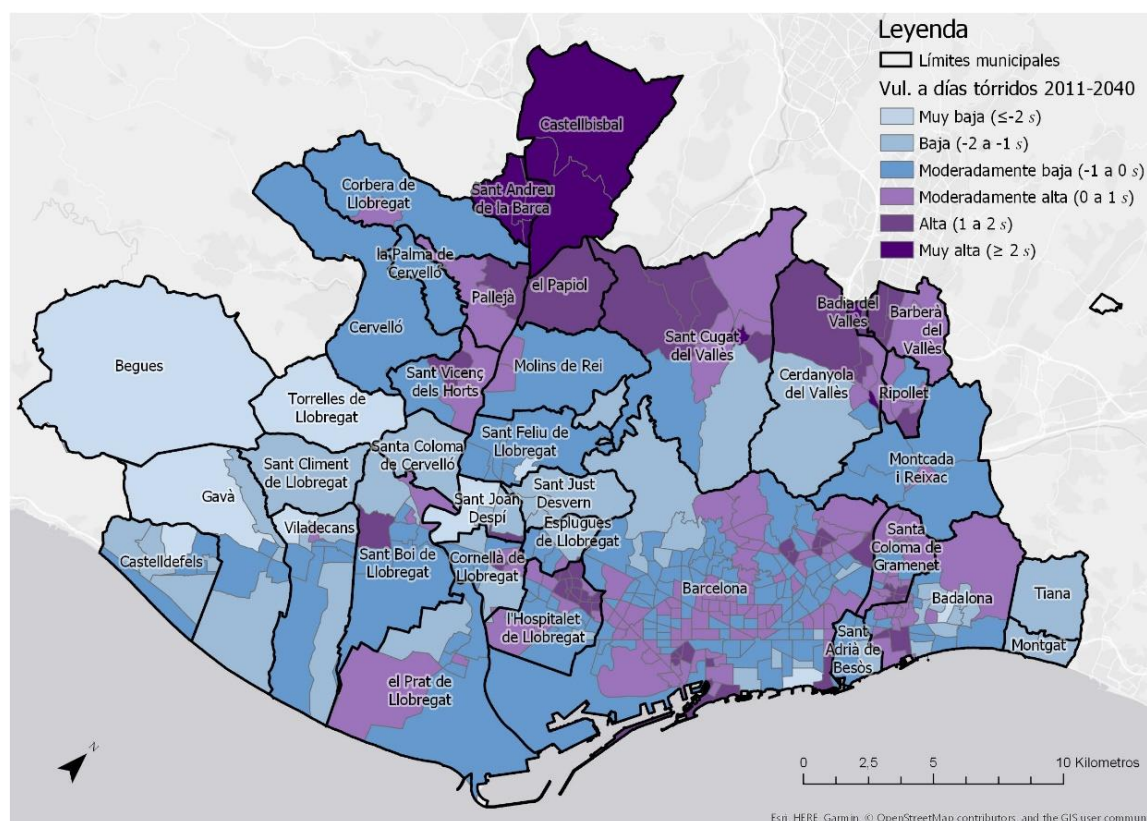


Figura 3.2. Vulnerabilidad a los días tórridos

3.3. Noches tropicales (2011-2040)

Resultados

Como se muestra en la Figura 3.3, la vulnerabilidad moderadamente alta a muy alta para las noches tropicales ($T_{mín} > 20^{\circ}\text{C}$), generalmente, se concentra en la parte sur y sureste del territorio metropolitano. Las diez agrupaciones censales más vulnerables se presentan en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Las 10 agrupaciones censales más vulnerables (TR)

AC ID	MUNICIPIO	NOMBRE AGRUPACIÓN CENSAL	PUNTUACIÓN	VULNERABILIDAD
019178	Barcelona	el Besòs Mar	2,810	Muy Alta
015008	Badalona	Sant Roc - Plaça Roja	1,805	Alta
019009	Barcelona	l'Escullera i l'Hospital del Mar	1,740	Alta
015006	Badalona	Gorg - Congrés	1,734	Alta
019141	Barcelona	Can Borràs	1,734	Alta
019179	Barcelona	el Besòs	1,706	Alta
019012	Barcelona	Santa Caterina	1,670	Alta
245012	Santa Coloma de Gramenet	Rambla del Fondo	1,567	Alta
019010	Barcelona	Sant Miquel del Port	1,563	Alta
019011	Barcelona	la Ribera	1,490	Alta

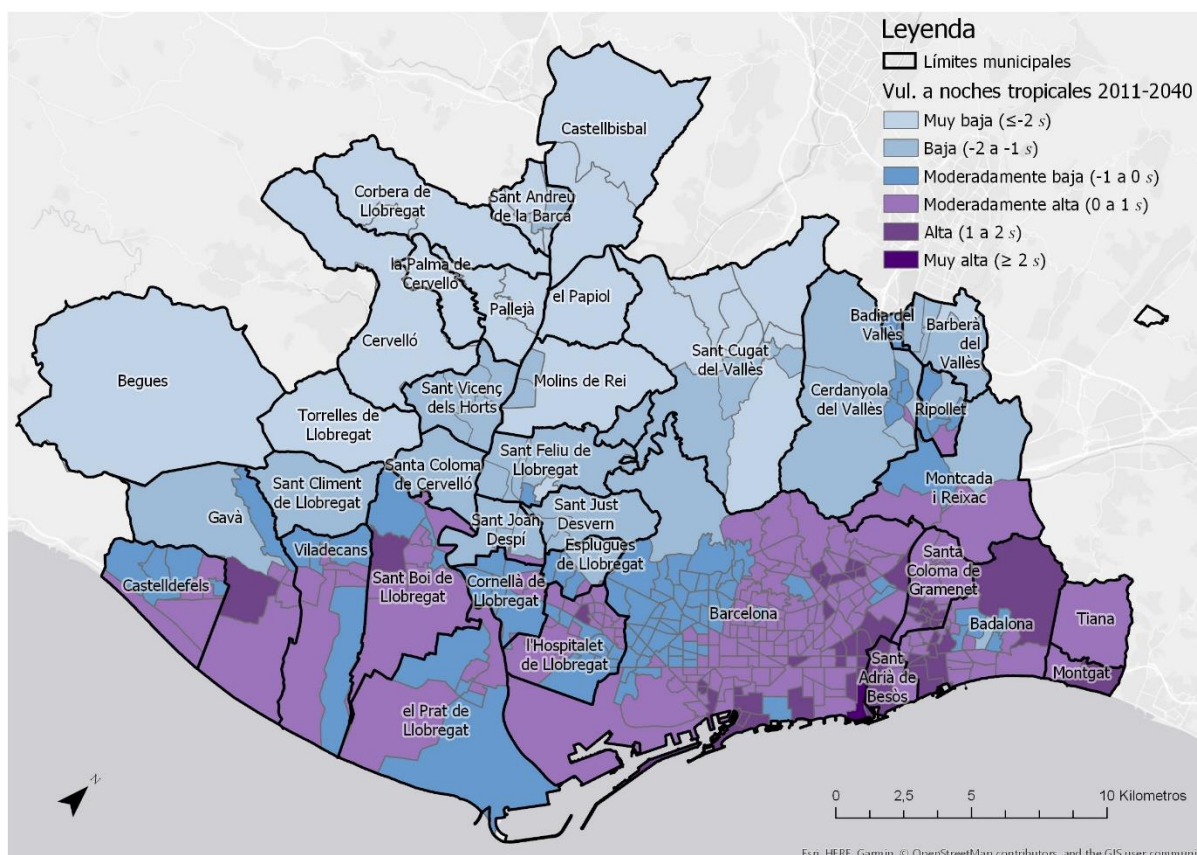


Figura 3.3. Vulnerabilidad a las noches tropicales

3.4. Noches tórridas (2011-2040)

Resultados

La vulnerabilidad a las noches tórridas ($T_{mín} > 25^{\circ}C$) difiere ligeramente de las TR. Como se ve en la Tabla 3.4 y la Figura 3.4, hay más agrupaciones censales de muy alta vulnerabilidad, ubicadas en Barcelona. La Tabla 3.4 a continuación presenta las diez agrupaciones censales más vulnerables.

Tabla 3.4. Las 10 agrupaciones censales más vulnerables (TO)

AC ID	MUNICIPIO	NOMBRE DE AGRUPACIÓN CENSAL	PUNTUACIÓN	VULNERABILIDAD
019178	Barcelona	el Besòs Mar	3,415	Muy Alta
019012	Barcelona	Santa Caterina	3,219	Muy Alta
019009	Barcelona	l'Escullera i l'Hospital del Mar	3,080	Muy Alta
019010	Barcelona	Sant Miquel del Port	2,997	Muy Alta
019001	Barcelona	el Liceu i les Drassanes	2,921	Muy Alta
019011	Barcelona	la Ribera	2,633	Muy Alta
019003	Barcelona	la Riereta	2,598	Muy Alta
019008	Barcelona	la Ciutat Romana i la Mercè	2,480	Muy Alta
019005	Barcelona	Ponent	2,367	Muy Alta
019004	Barcelona	el Pedró	2,282	Muy Alta

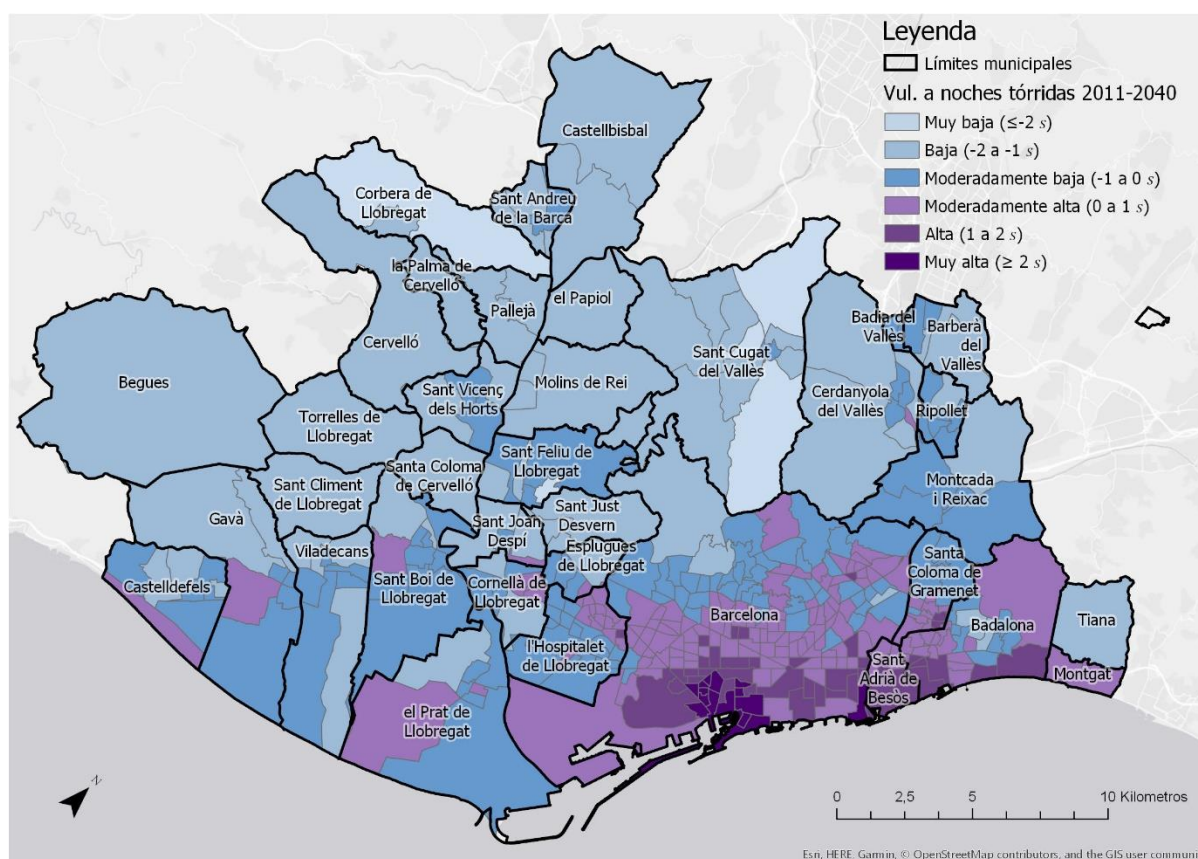


Figura 3.4. Vulnerabilidad a las noches tórridas

3.5. Discusión de los resultados

Los resultados de vulnerabilidad exponen una coherente combinación de las variables sinérgicas utilizadas en este análisis. Para facilitar una comprensión visual, el cálculo de la vulnerabilidad se puede ver siguiendo los Apéndices 7.2-7.4 uno por uno. Es decir, se logra visualizar cómo las variables de exposición (Apéndice 7.2) se combinan con la suma de las variables de sensibilidad y capacidad adaptativa (mapa final de Apéndice 7.3) para obtener los cuatro escenarios de vulnerabilidad (Apéndice 7.4).

Como se menciona en el apartado anterior, los DC y DT tienen la mayor exposición al calor extremo en la parte noroeste de territorio metropolitano. Para los resultados de vulnerabilidad correspondientes, hay algunas zonas con mayor puntuación vulnerable en esas áreas. Para las noches tropicales y noches tórridas, la exposición más alta existe en la parte sur y suroeste del territorio metropolitano. Nuevamente, existe una mayor vulnerabilidad en esas áreas respectivas. Sin embargo, debido a las variables de sensibilidad y capacidad adaptativa agregadas a la ecuación, hay otras áreas vulnerables que aparecen para los cuatro escenarios de calor extremo, especialmente para los días cálidos y tórridos, que no corresponden necesariamente a su exposición.

Los resultados de vulnerabilidad a noches tropicales y tórridas parecen ser particularmente preocupantes para esta evaluación. Dado que tanto la alta exposición al calor y la sensibilidad se concentra en la parte sureste de territorio metropolitano, la vulnerabilidad resulta especialmente significativa en estas zonas. Como se mencionó en la introducción, estas noches anormalmente calurosas son especialmente debilitantes para las personas mayores y aquellos con afecciones médicas preexistentes. La variable población ≥ 65 años en el Apéndice 7.3 confirma que la mayor parte de las personas de edad avanzada existe generalmente en estas áreas con un aumento de TR y TO. Por lo tanto, estos grupos deberían ser específicamente incluidos en los próximos esfuerzos de aislamiento al calor extremo.

Otra variable de sensibilidad importante que se eliminó de este estudio fue los niños menores de 5 años (su mapa correspondiente se puede consultar en el Apéndice 7.3). Esta variable en teoría aumenta la sensibilidad, porque los niños pequeños físicamente no soportan bien el calor extremo. Sin embargo, al procesar la variable en el PCA, la variable demuestra una correlación negativa en la matriz de componentes rotados en el primer componente con personas mayores. Esto significa que en las AC con más personas mayores hay menos niños pequeños y viceversa. Cuando se trata de usar este componente en el cálculo de vulnerabilidad, la correlación negativa modifica los resultados de vulnerabilidad. Debido a que el componente contiene un variable negativo, pero en teoría aumenta la sensibilidad, uno puede decidir agregar un valor absoluto al componente para agregarlo a la ecuación de vulnerabilidad. Sin embargo, al agregar el valor absoluto al componente, ciertas áreas del territorio metropolitano que tienen mayores recursos económicos demuestran una vulnerabilidad muy alta (como Sant Cugat). Por lo tanto, la variable de niños < 5 años también parece indicar un mayor nivel económico en el contexto del territorio metropolitano. Como tal, la sensibilidad al calor extremo disminuiría, porque con mayores recursos económicos, es más probable que dicha población viva en un hogar con aislamiento térmico, tenga suficientes recursos económicos para tener aire acondicionado y reducir el impacto del calor.

Como se muestra en la matriz de componentes rotado en la Tabla 2.3c, las mujeres mayores que viven solas tienen una carga mayor que los hombres que viven solos. Esto significa que las mujeres mayores que viven solas tienen una mayor significancia estadística (y posiblemente mayor sensibilidad) en el análisis que los hombres. Esta diferencia de género está algo apoyada en la investigación académica (Ballester, 2008¹⁶). Sin embargo, algunos estudios afirman que la mayor esperanza de vida también podría explicar la diferencia de género (Xu *et al.*, 2013⁶²). De todos modos, según un estudio de salud pública realizado en España basado en datos de morbilidad y mortalidad, las diferencias comunes del impacto que ocurren entre género establecen la importancia de analizar la función del género en futuros estudios de calor extremo (Linares *et al.*, 2017⁴⁶)

Por último, es fundamental recordar que la vulnerabilidad al calor extremo que se asigna en este proyecto es la vulnerabilidad relativa, no la vulnerabilidad absoluta. Por tanto, las áreas que muestran baja vulnerabilidad, por ejemplo, significan que estas agrupaciones censales experimentan baja vulnerabilidad al calor extremo en comparación con otras ACs del área metropolitana de Barcelona. Como tal, la vulnerabilidad que se presenta en esta evaluación es relativa a la escala de estudio, y la vulnerabilidad "baja" puede ser mayor o menor en otras áreas de estudio.

4. RECOMENDACIONES

4.1. Líneas de acción

El territorio metropolitano está experimentando una transición a un clima más cálido, y para reducir los efectos negativos, se debe realizar esfuerzos eficientes y tangibles. Al igual que muchos esfuerzos de planificación, esto implicará la colaboración de diferentes partes interesadas, profesionales y académicos.

Esta sección proporciona una descripción general de las estrategias de mejores prácticas para abordar el calor extremo, teniendo en cuenta el análisis de vulnerabilidad presentado en este proyecto. Estas recomendaciones pueden usarse para revisar o mejorar los esfuerzos actuales de implementación en el área metropolitana de Barcelona. Las medidas presentadas están organizadas generalmente en orden de acciones implementables a corto, medio y largo plazo.

Sistemas de advertencia al calor extremo

Los sistemas de advertencia al calor extremo son herramientas de respuesta de emergencia para eventos extremos de calor que han sido altamente promocionados en estudios de calor extremo en España (Martínez-Navarro *et al.*, 2004⁴⁷; Wolf & McGregor, 2013⁶⁰; Eisenman *et al.*, 2016³⁵). Las advertencias deben abarcar particularmente a las poblaciones vulnerables, teniendo en cuenta los resultados de este estudio y estudios futuros. Es vital que se activen en los umbrales altamente extremos de 35°C durante el día y 25°C durante la noche. En algunos casos, las advertencias podrían activarse para poblaciones particularmente vulnerables donde los umbrales conservadores son más apropiados (30°C y 20°C, respectivamente). Los sistemas de alerta deben incluir métodos de educación fáciles de usar y adecuados para los grupos vulnerables en cuestión (Aubrecht & Özceylan, 2013¹⁴; Chuang & Gober, 2015²¹; Weber *et al.*, 2015⁵⁹; SA Health, 2016⁴⁰). Por ejemplo, es más probable que las personas mayores vean programas de televisión o lean el periódico que consultar sitios web o fuentes de redes sociales. Otra posible opción de publicidad es una llamada automática a poblaciones potencialmente vulnerables, de un registro de atención médica de pacientes que cumplen con los perfiles de vulnerabilidad. Además de comunicar estrategias básicas para reducir el estrés por calor, estas advertencias de calor también deberían incluir información específica de áreas frescas donde las personas puedan obtener alivio, como bibliotecas, centros comunitarios o centros comerciales (Aubrecht & Özceylan, 2013¹⁴).

Plan de respuesta para olas de calor

Los planes de respuesta para olas de calor son planes de acción para el suceso de una ola de calor. Estos planes contemplan la preparación de médicos locales, proveedores de servicios médicos de emergencia, personal hospitalario y otros miembros de la comunidad que ayudan a las personas especialmente afectadas durante una ola de calor. Estas atenciones médicas se han destacado en numerosos estudios de calor extremo que analizan los datos de morbilidad y mortalidad en España, lo que demuestra la necesidad de una mejor preparación médica para las olas de calor (Martínez-Navarro *et al.*, 2004⁴⁷; Reid *et al.*, 2009⁵³). Para enfocar eficazmente los recursos y minimizar los resultados

negativos del estrés térmico, los planes de respuesta de ola de calor deben considerar poblaciones vulnerables y programas de seguimiento para reducir el impacto desproporcionado que estos grupos enfrentan (Johnson et al, 2012⁴⁴; SA Health, 2016⁴⁰). Además, se pueden realizar evaluaciones de vulnerabilidad específicas a diferentes escalas para aumentar la capacidad local de hacer frente al calor. Por ejemplo, si un barrio o ciudad desea hacer su propio plan de respuesta de ola de calor, puede desarrollar una evaluación de vulnerabilidad que determine la vulnerabilidad relativa de esa población específica. Es posible que también deban implementarse respuestas de advertencia nocturnas especiales y / o programas voluntarios para monitorizar a los ancianos y aquellos con condiciones médicas preexistentes, que pueden dudar o tener dificultades para obtener ayuda durante la noche (Martínez -Navarro et al, 2004⁴⁷; Aubrecht & Özceylan, 2013¹⁴; SA Health, 2013⁴⁰; SFPHD, 2013⁵⁶).

Educación comunitaria

Los sistemas de advertencia al calor, los planes de respuesta a las olas de calor y otros recursos disponibles para reducir el impacto de calor no son útiles si la población no los conoce. Los esfuerzos de educación comunitaria deben ser priorizados y financiados de manera integral para garantizar que la población y los grupos vulnerables conozcan las medidas preventivas y los recursos disponibles para obtener ayuda. Mejores prácticas incluyen la utilización de varias fuentes de transmisión adaptadas para la mejor y máxima recepción de los grupos vulnerables. Por ejemplo, en el verano, a través de centros de salud y atención primaria, se podría repartir panfletos con información preventiva para el calor extremo y posible recursos que existen. Estos panfletos podrían estar dirigidos a poblaciones sensibles y las zonas específicamente vulnerables. Otra posible oportunidad para la educación comunitaria podría ser en los eventos municipales del verano, como las fiestas mayores y las santas. Es probable que estos eventos reciban mucha participación comunitaria y que dichos participantes retransmitan información a familiares, vecinos y conocidos. Programas podrían incluir anuncios breves, cabinas de información y eventos interactivos para aumentar la conciencia pública del riesgo del calor extremo y cómo disminuir sus impactos.

Infraestructura aislante

Mejorar y añadir infraestructura aislante al calor es una acción de adaptación clave para reducir el impacto creciente del calor extremo a largo plazo. Los proyectos nuevos y reconstructivos deberán considerar la adaptación al cambio climático y la salud de la comunidad. Para enfrentar el calor extremo, los proyectos de desarrollo e infraestructura deberán considerar soluciones naturales y adaptativas para reducir el calor, como centros de frescor, infraestructura verde densa (p. ej. parques, muros y cubiertas) y cuerpos de agua a través de todo el tejido urbano posible (Reid *et al.*, 2009⁵²; SFPHD, 2013⁵⁶; Hondula *et al.*, 2015⁴²). Los parques densos han demostrado tener un efecto refrescante en su ubicación y entorno inmediato en el caso de Barcelona (Martín-Vide *et al.*, 2015²⁹). Láminas de agua como piscinas y fuentes también pueden mitigar el calentamiento durante el día, por lo que resulta en menos calor sensible liberado en la atmósfera por la noche (Martín-Vide *et al.*, 2015²⁹).

Otro aspecto aislante para destacar es el albedo. Albedo se refiere a superficies urbanas, como techos y pavimentos que reflejan un porcentaje importante de la radiación solar directa¹, que disminuyen la temperatura de la superficie y el calentamiento del aire circundante (Oleson et al, 2010⁴⁹). A través de diferentes estudios, el albedo ha resultado ser una forma efectiva de mitigar el efecto de la isla de calor, y de mejorar la calidad del aire exterior y el confort térmico (Oleson et al., 2010⁴⁹; Akbari et al., 2012⁶). El uso de un albedo elevado en las construcciones está recibiendo cada vez una mayor atención debido a sus bajos costos, ahorro de energía y mínimo conflicto estético (Akbari et al., 2012⁶; Chow et al., 2012²⁰). Las mayores concentraciones urbanas del territorio metropolitano muestran tonos oscuros (albedo reducido) en las edificaciones, las cuales absorben un mayor porcentaje de radiación solar directa, derivando en un calentamiento del sustrato. Con su alto nivel de radiación solar, el área metropolitana de Barcelona es un candidato ideal para utilizar el albedo para reducir el exceso de calor.

Los esfuerzos para utilizar un albedo elevado han recaído tradicionalmente en los techos y las aceras. No obstante, los pavimentos "frescos" para las calles han sido poco populares debido a la falta de productos comercializables. La ciudad de Los Ángeles, sin embargo, está experimentando un proyecto innovador para pintar calles con pinturas blancas y reflectantes, como una medida simple para reducir el calor. Esto es una solución de bajo costo para una infraestructura fija que no es probable que cambie a un uso más natural. Como tal, el albedo debe ser especialmente priorizado en áreas donde la infraestructura natural o cuerpos de agua no son soluciones factibles. Sin embargo, es importante evaluar donde las calles con albedo son prácticos y seguros, considerando que la reflexión solar podría impactar la vista de conductores negativamente (López-Bustins, 2018).

Mejoras en las leyes y reglamentos

Con el aumento de las temperaturas en el futuro, las reglamentaciones regionales y de las ciudades deben ser revisadas continuamente para garantizar las consideraciones de salud pública se actualicen con el contexto cambiante de vulnerabilidad en el área. Por ejemplo, las leyes laborales deberían existir para los trabajadores vulnerables al aire libre, de modo que solo trabajan ciertas horas del día, tienen suficientes descansos, posean acceso a áreas frías para aliviar el calor y llevan ropa protectora (Kravchenko *et al.*, 2015⁴⁵). Además, las ordenanzas, estándares y políticas locales deben adaptarse para promover e implementar fácilmente los proyectos de infraestructura urbana sostenible. Si no existe una regulación propicia, es difícil estimular programas voluntarios de empresas y grupos vecinales.

¹ La radiación solar directa es la que se recibe directamente del disco solar cuando éste es totalmente visible y no hay nubosidad que interfiera.

4.2. Investigación futura

Las siguientes secciones proporcionan recomendaciones y perspectivas para futuras investigaciones. Estas sugerencias toman en cuenta las deficiencias y limitaciones de la evaluación de este TFM y proporciona orientación sobre cómo abordar estos desafíos en el futuro.

Datos de exposición

Nuevos proyectos de vulnerabilidad podrían considerar el uso de la variable olas de calor en lugar de utilizar los días/noches de calor extremo como se presentó en este TFM (Rinner *et al.*, 2010⁵³; Aubrecht y Özceylan, 2013¹⁴; Xu *et al.* 2015⁶²). Las olas de calor han demostrado tener un mayor impacto en la salud, debido a que el cuerpo humano se debilita intensamente al experimentar altas temperaturas para días y noches consecutivos. Sin embargo, como se cita en Kravchenko *et al.*, en muchos casos, más de la mitad de la morbilidad y mortalidad ocurre fuera de los episodios de las olas de calor durante el verano. Por lo tanto, se necesitan medidas preventivas durante todo el verano para reducir la morbilidad y mortalidad general relacionadas con el calor. Las temperaturas extremas, como las utilizadas en este estudio, parecen ser unas variables válidas para indicar la exposición al calor. Además, han mostrado ser las variables de exposición más utilizadas para analizar la vulnerabilidad y los riesgos relacionados con el calor (Aubrecht & Özceylan, 2013¹⁴; Bao *et al.*, 2015¹⁷).

La humedad puede ser otra variable importante para agregar en el factor de exposición de la ecuación de vulnerabilidad en futuros estudios (Martínez-Navarro *et al.*, 2004⁴⁷). Por ejemplo, en el Observatorio Fabra de Barcelona, la humedad relativa media registrada para junio, julio y agosto fue del 65% para los años 2012-2016 (Ayuntamiento de Barcelona, 2016¹⁵). Esta alta humedad relativa da como resultado un aumento del estrés por calor, debido a la reducción del enfriamiento por evaporación (pérdida de calor latente²), que reduce la termorregulación general del cuerpo humano (Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵; Bao *et al.*, 2015¹⁷; Hondula *et al.*, 2015⁴²). Por lo tanto, con una humedad relativa del 65%, un DC de 30°C se sentiría como 34°C y un DT de 35°C se sentiría como 48°C (National Weather Service, 2018⁴⁸).

En ciertos estudios de calor extremo donde la humedad se considera significativo, se utiliza un índice de calor con la humedad (Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵; Bao *et al.*, 2015¹⁷). Para el área metropolitana de Barcelona se podría considerar el uso de un índice como éste. Sin embargo, aunque es importante incluir la humedad en la ecuación de vulnerabilidad, los resultados presentados en este estudio también podrían analizarse teniendo en cuenta la humedad. Por ejemplo, sabiendo que la humedad es generalmente alta en el AMB, se puede enfocar en los umbrales conservadores del estudio, 30°C para los DC y 20°C para las TR, para diseñar mejor un plan que minimice el impacto en el área. Es mejor ser conservativo a los umbrales para la investigación e implementación, debido a que la mayoría de la morbilidad y mortalidad ocurren en cualquier día de la estación cálida, no solamente en aquellos días con calor más extremo (Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵).

² El calor latente es aquel calor absorbido o liberado cuando se produce un cambio de estado del agua (Lopez-Bustins, 2018)

El efecto de la isla de calor también podría estudiarse más a fondo en futuras investigaciones. La evaluación de vulnerabilidad en este proyecto presenta temperaturas nocturnas extremas que también, generalmente, reflejan el efecto de la isla de calor en el territorio metropolitano. Sin embargo, los estudios futuros podrían incluir un mapa con las distintas configuraciones más frecuentes de la isla de calor del territorio metropolitano para los meses de verano, y así poder extraer los datos térmicos por AC y recalcular la ecuación de vulnerabilidad. Este trabajo podría basarse en los estudios previos de Martín-Vide *et al.* (2015)²⁹ y Arellano Ramos y Roca Cladera (2016)¹³, junto con otro proyecto completado en el área.

La calidad o contaminación del aire también puede ser otro factor interesante para considerar en las evaluaciones de vulnerabilidad de la población al calor extremo. Como se menciona en la introducción, el aire estancado común con las olas de calor concentra la contaminación y el riesgo para la salud respiratoria (Hondula *et al.*, 2015⁴²; Generalitat de Catalunya, 2016³⁹). Los efectos interactivos del calor extremo y las altas concentraciones de contaminantes atmosféricos también contribuyen a la morbilidad y la mortalidad. Como tal, la combinación de los dos riesgos es un objeto de estudio creciente entre los científicos, y tiene un importante potencial para futuras evaluaciones de vulnerabilidad (Hondula *et al.*, 2015⁴²).

Datos de sensibilidad

Los indicadores de sensibilidad presentados en este trabajo estuvieron limitados por la calidad y disponibilidad de los datos en el área de estudio. En general, parece haber una clara necesidad de mejorar la disposición de los datos con esfuerzos complementarios. Por ejemplo, para complementar los datos proporcionados por IDESCAT e INE, puede ser extremadamente beneficioso para los municipios, AMB y otros interesados, la realización de encuestas propias. Un ejemplo de una encuesta podría ser una evaluación de la relación entre clima y salud pública, que podría ir más allá del impacto específico del calor extremo. Esta recomendación es clave y fundamental para las evaluaciones de vulnerabilidad. Con datos altamente significativos y actualizados, se pueden desarrollar evaluaciones valiosas que son más propensas a predecir con precisión la vulnerabilidad, lo que a su vez permite estrategias efectivas para reducir la morbilidad y mortalidad por calor.

Datos con información sobre condiciones médicas preexistentes también serían sustanciales para agregar al factor de sensibilidad de futuros índices de vulnerabilidad. Estos grupos de personas se encuentran entre los grupos más vulnerables, junto con los ancianos (Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵; SFDPH, 2013⁵⁶; Wolf y McGregor, 2013⁶⁰; Bao *et al.*, 2015¹⁷). Por ejemplo, en un estudio específico de España sobre el calor extremo, se encontró que aquellos con enfermedades neurodegenerativas como Parkinson, Demencia y Alzheimer tienen un mayor riesgo de morbilidad y muerte por temperaturas excesivas (Johnson *et al.*, 2012⁴⁴; Linares *et al.*, 2017⁴⁶). Por cada grado que pasa el umbral de temperatura extrema, su mortalidad aumenta 12%, 16% y 18%, respectivamente (Linares *et al.*, 2017⁴⁶).

Como se menciona en la introducción, la población menor de 5 años es un variable importante debido a la capacidad termorreguladora reducida de la población (Tecnalia Research & Innovation, 2015⁵⁷). La población menor de 5 años se consideró en esta evaluación, pero a causa de los resultados confusos que conllevaba fue eliminada. El AMB podría considerarla por separado al referirse a un mapa separado

de población menor de 5 años (como se presenta en el Apéndice 7.3) o puede integrarse en la ecuación de vulnerabilidad juntamente con otras variables nuevas en el futuro. Los esfuerzos de salud pública y los estudios de vulnerabilidad también deberían considerar las áreas donde los niños realizan deportes o actividades al aire libre como zonas potenciales de vulnerabilidad (Kravchenko *et al.*, 2015⁴⁵).

Los trabajadores al aire libre y los participantes en los deportes pueden ser particularmente vulnerables al calor extremo debido al aumento del esfuerzo físico y la exposición durante el horario diurno (SA Health, 2016⁴⁰). Efectivamente, para los atletas, el golpe de calor es una de las principales causas de muerte (Kravchenko *et al.*, 2015⁴⁵). Además del calor en sí mismo, los trabajadores al aire libre están más expuestos a polen, polvo, gases de escape, asfalto caliente, pesticidas, herbicidas, insecticidas y aumento de la humedad de las condiciones de trabajo externas. Estos factores pueden exacerbar los efectos del calor y poner a los trabajadores en un mayor riesgo (Xu *et al.*, 2013⁶²; Kravchenko *et al.*, 2015⁴⁵). En los esfuerzos de prevención y en futuros estudios de vulnerabilidad, los escenarios de calor diurnos deben ser especialmente considerados para esta población (opuesto a los escenarios de TR y TO). Al incluir esta variable en el análisis de vulnerabilidad, se debe tomar en cuenta que estos grupos participan en comportamientos de riesgo fuera de sus hogares. Por lo cual, la variable difiere de las variables que están obtenidas por hogar porque la exposición fuera del hogar puede resultar en efectos de morbilidad y mortalidad en el hogar posteriormente (Flanagan *et al.*, 2011³⁷).

Ciertos estudios en la región de Barcelona han indicado que un umbral de edad de ≥ 65 años no es lo suficientemente significativo para la mortalidad relacionada con el calor. En cambio, han encontrado que ≥ 70 años es el umbral de edad apropiado (Xu *et al.*, 2015⁶²). Sin embargo, dado que este estudio actual analiza el efecto sobre la morbilidad y la mortalidad, la variable de 65 años parece ser apropiada, como se demostró en otros estudios relacionados con el calor. Por lo tanto, los estudios futuros que deseen demostrar específicamente la vulnerabilidad a la mortalidad relacionada con el calor deberían considerar solamente el análisis de personas de 70 años o mayores; mientras que los estudios que deseen analizar tanto la morbilidad como la mortalidad deberían contener variables de 65 años o más.

Otras variables de sensibilidad estudiadas para analizar y considerar en futuros estudios de vulnerabilidad son: mujeres embarazadas (Linares *et al.*, 2016⁴⁶; SA Health, 2016⁴⁰), infravivienda y viviendas congestionadas (Bao *et al.*, 2015¹⁷; Tecnalia Research & Innovation, 2015⁵⁷; SA Health, 2016⁴⁰), vivir en edificios antiguos que no han sido remodelados o renovados (Johnson *et al.*, 2012⁴⁴; Xu *et al.*, 2013⁶²) y acceso a la atención primaria de la salud (Bao *et al.*, 2015¹⁷; Tecnalia Research & Innovation, 2015⁵⁷).

Datos de capacidad adaptativa

En varios estudios de calor extremo, se encontró que tener aire acondicionado es un factor importante para reducir el estrés por calor (Reid *et al.*, 2009⁵²; Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵; SFPD, 2013⁵⁶; Wolf y McGregor, 2013⁶⁰; Bao *et al.*, 2015¹⁷; Martín-Vide *et al.*, 2015²⁹; Eisenman *et al.*, 2016³⁵). Estos datos, generalmente, no están disponibles para el territorio metropolitano, tampoco a una escala útil de estudio como las AC. Sería muy valioso que grupos involucrados administrasen esfuerzos para obtener estos datos a pequeña escala, como las secciones censales, o en un nivel más pequeño si es posible. Esta variable en sí mismo puede ser muy indicativo de las poblaciones altamente vulnerables y las oportunidades potenciales de intervención. Al incluir esta variable de capacidad de adaptativa y otras

variables relevantes en el futuro, las puntuaciones de vulnerabilidad disminuirán en ciertas áreas del territorio metropolitano.

El acceso al espacio fresco es otro factor de capacidad adaptativa altamente significativo que se debería examinar en futuros estudios (Rinner *et al.*, 2010⁵³; Johnson *et al.*, 2012⁴⁴; Weber *et al.*, 2015⁵⁹; Eisenman *et al.*, 2016³⁵). Los espacios fríos accesibles incluyen bibliotecas, escuelas, centros comunitarios, piscinas, parques, etc., que proporcionan un alivio significativo del impacto al calor y se encuentran a una distancia accesible para la población necesitada. Estos espacios fríos deben ser cartografiados y asegurar el acceso durante un evento de calor extremo, reconociendo las limitaciones potenciales de movilidad y accesibilidad que las poblaciones vulnerables puedan tener. Con esta evaluación de vulnerabilidad y otro estudio de espacios fríos accesibles, el análisis cruzado podría ubicar áreas de alta vulnerabilidad con bajo acceso a espacios frescos. Con esta información, se puede priorizar el financiamiento para agregar espacios aislantes en áreas de necesidad.

Justificación del índice de vulnerabilidad propuesto

Para mejorar futuros estudios de vulnerabilidad y aplicar medidas de prevención, es esencial tener datos superiores de morbilidad y mortalidad debido al calor extremo. Muchos de los estudios actuales que estudian las asociaciones de morbilidad y mortalidad con el calor extremo concluyen que es imperativo tener datos de alta calidad y cantidad para hacer asociaciones más sólidas y planes de acciones dirigidas (Martínez-Navarro *et al.*, 2004⁴⁷). Incluso, con mejores datos, los índices de vulnerabilidad se pueden comparar con datos reales de morbilidad y mortalidad para determinar si los índices son predictores significativos de la vulnerabilidad real en el contexto geográfico en cuestión (Wolf y McGregor, 2013⁶⁰; Chuang y Gober, 2015²¹). Los resultados de estos estudios predictivos ayudan a afinar las variables utilizadas en el índice de vulnerabilidad, aumentar la validez de los resultados y mejorar las medidas basadas en el análisis. Algunos ejemplos de evaluaciones que justifican el índice de vulnerabilidad al calor se pueden hallar en Johnson *et al.* (2012)⁴⁴, Wolf *et al.* (2014)⁶¹ y Chuang & Gober (2015)²¹.

5. CONCLUSIONES

El calor extremo amenaza la salud y la calidad de vida del planeta y sus habitantes. Se deben realizar esfuerzos tangibles, eficientes y creativos para evitar daños adicionales. Las evaluaciones de vulnerabilidad proporcionan una herramienta respaldada por datos para mejorar la asignación de recursos e implementar soluciones sostenibles, que ayuden a las comunidades a prevenir el aumento de los impactos del cambio climático. Este trabajo final de máster aporta la primera evaluación cuantificada de vulnerabilidad de la población al calor extremo para toda el área metropolitana de Barcelona. De forma cuantitativa y estadísticamente significativa, los resultados de vulnerabilidad de esta evaluación permiten priorizar donde es especialmente necesario actuar para minimizar la morbilidad y mortalidad al calor extremo en el área de estudio. Las recomendaciones (Sección 4) que se presentan en este trabajo junto a la guía (Apéndice 7.5) pueden servir como pauta para orientar futuras acciones y estudios.

La vulnerabilidad se calcula utilizando una metodología simplificada y justificada, que agrega la exposición al calor extremo y los efectos sinérgicos de sensibilidad y capacidad adaptativa. Los datos de exposición utilizados para este trabajo son los días cálidos ($T_{\text{máx}} > 30^{\circ}\text{C}$), días tórridos ($T_{\text{máx}} > 35^{\circ}\text{C}$), noches tropicales ($T_{\text{mín}} > 20^{\circ}\text{C}$) y noches tórridas ($T_{\text{mín}} > 25^{\circ}\text{C}$) para la proyección RCP 4.5 2011-2040. Las variables de sensibilidad son la población ≥ 65 años, mujeres o hombres ≥ 65 años viviendo sola, población activa, población parada, población ≥ 25 años sin estudios, edificios 4 plantas o más sin ascensor, población nacida en el extranjero y hogares en alquiler. La variable de capacidad adaptativa fue la media del NDVI.

Los resultados de las zonas vulnerables se dispersan en el territorio metropolitano y cambia dependiendo de la agregación sinérgica de los escenarios de calor extremo y la sensibilidad / capacidad adaptativa de la población en cuestión. Para los días cálidos y tórridos, los resultados generalmente demuestran más vulnerabilidad en la parte noreste y sudeste del área. Cerdanyola del Vallès y Badia del Vallès son los dos municipios que puntuaron la mayor vulnerabilidad para ambos umbrales diurnos. Para las noches tropicales y noches tórridas, la vulnerabilidad alta se concentra en la parte sur y sureste del territorio metropolitano. Los municipios que muestran la mayor vulnerabilidad para estos escenarios son Barcelona y Santa Coloma de Gramenet. Se pueden ver los resultados con más detalle en la Sección 3, el Apéndice 7.4 y el visor online <https://arcg.is/1OiPLz>.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. (2017). *Ley 16/2017, de 1 de agosto, del cambio climático*. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2017/BOE-A-2017-11001-consolidado.pdf>
2. Ajuntament de Barcelona (2018). *Resum Executiu: Onades de Calor*. Disponible en: http://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/sites/default/files/PlaClima_RE_OnadesdeCalor.pdf
3. Ajuntament de Prat de Llobregat & Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB. (2015). *Pla Local D'adaptació al Canvi Climàtic a Prat de Llobregat*. Disponible en: <http://www.amb.cat/es/web/medi-ambient/sostenibilitat/canvi-climatic/adaptacio#>
4. Ajuntament de Santa Coloma de Gramenet & Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB. (2015). *Pla Local D'adaptació al Canvi Climàtic a Santa Coloma De Gramenet*. Disponible en: <http://www.amb.cat/es/web/medi-ambient/sostenibilitat/canvi-climatic/adaptacio#>
5. Ajuntament de Viladecans & Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB. (2015). *Pla Local D'adaptació al Canvi Climàtic a Viladecans*. Disponible en: <http://www.amb.cat/es/web/medi-ambient/sostenibilitat/canvi-climatic/adaptacio#>
6. Akbari, H., Matthews, H. D., & Seto, D. (2012). The long-term effect of increasing the albedo of urban areas. *Environmental Research Letters*, 7(2), 024004.
7. Àrea de Ecologia, Urbanismo y Movilidad: Ayuntamiento de Barcelona. (2017). *Concurso de cubiertas verdes*. Disponible en: <http://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/es/concurso-cubiertas-verdes>
8. Àrea de Ecologia, Urbanismo y Movilidad: Ayuntamiento de Barcelona. (2017). *Pla d'Impuls a la Infraestructura Verda. Programa d'impuls de la infraestructura verda urbana: mesura de govern*. Disponible en: <https://bcnroc.ajuntament.barcelona.cat/jsui/handle/11703/102316>
9. Àrea d'Ecologia, Urbanisme i Mobilitat & Comissió d'Ecologia, Urbanisme i Mobilitat: Ayuntamiento de Barcelona. (2017). *Programa d'impuls de la infraestructura verda urbana: mesura de govern*. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11703/102316>
10. Àrea d'Ecologia, Urbanisme i Mobilitat: Ayuntamiento de Barcelona. (2017). *Pla del Verd i de la Biodiversitat 2012-2020*. Disponible en <http://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/ca/que-fem-i-per-que/ciutat-verda-i-biodiversitat/pla-verd-i-la-biodiversitat>
11. Àrea d'Hàbitat Urbà: Ayuntamiento de Barcelona. (2014). *Mesura de govern per a impulsar terrats vius i cobertes verdes a Barcelona*. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11703/84720>
12. Area Metropolitana de Barcelona. (2015). *Declaració De L'Àrea Metropolitana De Barcelona pel Clima*. Disponible en: http://www.amb.cat/documents/11696/474543/20151127_Declaracio+AMB+Clima_DEF.pdf/0af95556-f520-4346-b993-c56d7ca42a6e
13. Arellano Ramos, B., & Roca Cladera, J. (2016). Identifying urban heat island: the Barcelona case. In *Back to the Sense of the City: International Monograph Book* (pp. 798-812). *Centre de Política de Sòl i Valoracions*. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/91015>
14. Aubrecht C. & Özceylan D. (2013). Identification of heat risk patterns in the US National Capital Region by integrating heat stress and related vulnerability. *Environment international*, 56, 65-77.
15. Ayuntamiento de Barcelona. (2016). *Nubosidad y humedad relativa*. Disponible en: <http://www.bcn.cat/estadistica/castella/dades/anuari/cap01/C0102030.htm>
16. Ballester, Ferran. (2008). El impacto del calor extremo en la salud: nuevos retos para la epidemiología y la salud pública. *Revista Española de Salud Pública*, 82(2), 147-151. Recuperado en 24 de julio de 2018, de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272008000200001&lng=es&tlng=es.

17. Bao, J., Li, X., & Yu, C. (2015). The construction and validation of the heat vulnerability index, a review. *International journal of environmental research and public health*, 12(7), 7220-7234.
18. Bergstrand, K., Mayer, B., Brumback, B., & Zhang, Y. (2015). Assessing the relationship between social vulnerability and community resilience to hazards. *Social Indicators Research*, 122(2), 391-409.
19. Cabezas Vegas, A. & Lluch Torrents, A. (2016). *El paper de la infraestructura verda urbana en l'adaptació al canvi climàtic*. Disponible en: <http://www.amb.cat/web/medi-ambient/actualitat/publicacions/detall/-/publicacio/el-paper-de-la-infraestructura-verda-urbana-en-l-adaptacio-al-canvi-climatic/6227649/11818>
20. Chow, W. T., Chuang, W. C., & Gober, P. (2012). Vulnerability to extreme heat in metropolitan Phoenix: spatial, temporal, and demographic dimensions. *The Professional Geographer*, 64(2), 286-302.
21. Chuang, W. C., & Gober, P. (2015). Predicting hospitalization for heat-related illness at the census-tract level: Accuracy of a generic heat vulnerability index in phoenix, Arizona (USA). *Environmental Health Perspectives (Online)*, 123(6), 606.
22. Consorci de l'Habitatge de Barcelona: Ayuntamiento de Barcelona. (2017). *Ajuts per a la rehabilitació d'habitatges i edificis 2017*. Disponible en: <http://www.bcn.cat/consorcihabitatge/ca/presentacio-rehabilitacio.html>
23. Contreras, E., Castillo, I., Àrea d'Ecologia, Urbanisme i Mobilitat. (2015). *Guia de terrats vius i cobertes verdes*. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11703/86542>
24. Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242-261. Disponible en: <http://www.jstor.org/stable/42955868>
25. Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB. (2015). *L'augment de la temperatura i la precipitació a l'àrea metropolitana: estacions menys marcades i índexs de calor diürns i nocturns més elevats*. Disponible en: http://www.amb.cat/documents/11818/276916/CC_AMB_1CLIMA.pdf/1828adef-74ec-4e0d-a713-7bf31b0ec3df
26. Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB. (2015). *Pla d' Adaptació al Canvi Climàtic de l'AMB*. Disponible en: <http://www.amb.cat/web/medi-ambient/actualitat/publicacions/detall/-/publicacio/pacc-2015-2020--document-complet-/1125562/11818>
27. Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB. (2015). *Pla de Sostenibilitat de l'AMB (PSAMB)*. Disponible en: <http://www.amb.cat/es/web/medi-ambient/actualitat/publicacions/detall/-/publicacio/memoria-del-psamb/1138518/11818>
28. Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB & Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA). (2015). *Valoració del verd urbà de l'Àrea Metropolitana de Barcelona per donar pautes de gestió agronòmica que possibilitin incrementar l'eficiència en l'ús de recursos i l'adaptació al canvi climàtic*. Disponible en: http://www3.amb.cat/repositori//CANVICLIMATIC/METROBS/METROBS_VerdUrb%C3%A0.pdf
29. Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB & Martín-Vide, J. (2015). *La isla de calor en el área metropolitana de Barcelona y la adaptación al cambio climático*. Disponible en: <http://www.amb.cat/es/web/medi-ambient/actualitat/publicacions/detall/-/publicacio/la-isla-de-calor-en-el-area-metropolitana-de-barcelona-y-la-adaptacion/5773152/11818>
30. Echave, C., Maté, C. & L'Agència d'Ecologia Urbana de Barcelona. (2009). *Estudi Cobertes i murs verds, existents, potencials i estratègies d'implantació a Barcelona*. Agència d'ecologia urbana de Barcelona. Disponible en: http://bcnecologia.net/sites/default/files/proyectos/resum_executiu.pdf
31. Ecología, Urbanismo, y Movilidad: Ayuntamiento de Barcelona. (2015). *Compromís de Barcelona pel Clima*. Disponible en: <http://lameva.barcelona.cat/barcelona-pel-clima/ca/compromisos-climaticos/compromis-ciutada-la-sostenibilitat>
32. Ecología, Urbanismo, y Movilidad: Ayuntamiento de Barcelona. (2016). *Presentación: Transición hacia la Soberanía Energética*. Disponible en:

http://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/sites/default/files/Presentacio_Sobirania_Energetica.pdf

33. Ecología, Urbanismo, y Movilidad: Ayuntamiento de Barcelona. (2016). *Medida de gobierno: Transición hacia la Soberanía Energética*. Disponible en: <http://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/es/que-hacemos-y-porque/energia-y-cambio-climatico/estrategia-transicion-energetica>
34. Ecología, Urbanismo, y Movilidad: Ayuntamiento de Barcelona. (s.f). Compromisos internacionales. Disponible en: <http://lameva.barcelona.cat/barcelona-pel-clima/es/compromisos-climaticos/compromisos-internacionales>
35. Eisenman, D. P., Wilhalme, H., Tseng, C. H., Chester, M., English, P., Pincetl, S., ... & Dhaliwal, S. K. (2016). Heat death associations with the built environment, social vulnerability and their interactions with rising temperature. *Health & place*, 41, 89-99.
36. ESRI. (2017). How To: Convert a floating type raster to a polygon feature class and retain the decimal values. Disponible en: <https://support.esri.com/en/technical-article/000012554>
37. Flanagan, B. E., Gregory, E. W., Hallisey, E. J., Heitgerd, J. L., & Lewis, B. (2011). A social vulnerability index for disaster management. *Journal of homeland security and emergency management*, 8(1). Disponible en: <https://svi.cdc.gov/Documents/Data/A%20Social%20Vulnerability%20Index%20for%20Disaster%20Management.pdf>
38. Garcia, A. & Sarroca, B. (2016). *Coberta experimental*. Disponible en: <http://www.amb.cat/documents/11818/6226417/Resum+Executiu.pdf/28a95339-aeb7-4a5a-9a1e-b15ac45d85a8>
39. Generalitat de Catalunya. (2016). *Resumen ejecutivo del Tercer Informe sobre el cambio climático en Cataluña*. Disponible en: http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/tercer-informe-sobre-canvi-climatic-catalunya/Resum_executiu_TICCC/RESUM_EXECUT_TICCC_web_ES.pdf
40. Government of Southern Australia. (2016). *SA Health Extreme Heat Strategy*. Disponible en: <https://www.sahealth.sa.gov.au/wps/wcm/connect/33e7f9004708784eb87ff822d29d99f6/SA+Health+Extreme+Heat+Strategy+V6.11.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-33e7f9004708784eb87ff822d29d99f6-IDYhlfA>
41. Guillard-Gonçalves, C., Cutter, S. L., Emrich, C. T., & Zêzere, J. L. (2015). Application of Social Vulnerability Index (SoVI) and delineation of natural risk zones in Greater Lisbon, Portugal. *Journal of Risk Research*, 18(5), 651-674.
42. Hondula, D. M., Davis, R. E., Leisten, M. J., Saha, M. V., Veazey, L. M., & Wegner, C. R. (2012). Fine-scale spatial variability of heat-related mortality in Philadelphia County, USA, from 1983-2008: a case-series analysis. *Environmental health*, 11(1), 16.
43. Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona. (2016). 1.1.3. *Elaboració del mapa de barris i de les àrees estadístiques de referència*. Disponible en: <https://iermb.uab.cat/wp-content/uploads/2017/01/16013.pdf>
44. Johnson, D. P., Stanforth, A., Lulla, V., & Luber, G. (2012). Developing an applied extreme heat vulnerability index utilizing socioeconomic and environmental data. *Applied Geography*, 35(1), 23-31.
45. Kravchenko, J., Abernethy, A. P., Fawzy, M., & Lyerly, H. K. (2013). Minimization of heatwave morbidity and mortality. *American journal of preventive medicine*, 44(3), 274-282.
46. Linares, C., Carmona, R., Ortiz, C., Mirón, I. J., & Díaz, J. (2017). Temperaturas extremas y salud en España en un contexto de cambio climático: Algunas líneas de investigación. *Revista de Salud Ambiental*, 17(1), 57-69.
47. 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(4), 250-258.

48. National Weather Service. (2018). Heat Index Calculator. Disponible en: <http://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex.shtml>
49. Oleson, K. W., Bonan, G. B., & Feddema, J. (2010). Effects of white roofs on urban temperature in a global climate model. *Geophysical Research Letters*, 37(3).
50. Ramos Garcia, E., & Gironès Pous, J. (2015). *Estudi mediambiental dels murs verds i anàlisi dels sistemes constructius aplicats a un projecte d'implantació a Barcelona* (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya). Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/76700>
51. Red Española de Ciudades por el Clima. (n.f). Quines somos. Disponible en: <http://www.redciudadesclima.es/contenido/quienes-somos>
52. Reid, C. E., O'Neill, M. S., Gronlund, C. J., Brines, S. J., Brown, D. G., Diez-Roux, A. V., & Schwartz, J. (2009). Mapping community determinants of heat vulnerability. *Environmental health perspectives*, 117(11), 1730.
53. Rinner, C., Patychuk, D., Bassil, K., Nasr, S., Gower, S., & Campbell, M. (2010). The role of maps in neighborhood-level heat vulnerability assessment for the city of Toronto. *Cartography and Geographic Information Science*, 37(1), 31-44.
54. Santiago Jiménez, M., & Saurí i Pujol, D. (2011). *La repercussió de l'onada de calor de 2003 en la població major de 65 anys de Barcelona i l'àrea metropolitana*. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2011/hdl_2072_151969/PFC_MartaSantiagoJimenez.pdf
55. Sección de Estudios Territoriales, AMB. (2015). *Indicadors per a la determinació d'àrees urbanes d'atenció especial*. Disponible: http://www3.amb.cat/repositori/Estudis%20territorials/Barris/Indicadors_Arees_Atencio_2015.pdf
56. SFDPH. (2013). *Understanding the Risk: An Assessment of San Francisco's Vulnerability to Extreme Heat Events*. Disponible en: <http://www.adaptationclearinghouse.org/resources/climate-and-health-understanding-the-risk-an-assessment-of-san-francisco-eyes-vulnerability-to-extreme-heat-events.html>
57. Tecnia Research & Innovation. (2015). *Análisis de Vulnerabilidad Ante el Cambio Climático en el Municipio de Madrid*. Disponible en: <http://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Sostenibilidad/EspInf/EnergiaCC/04CambioClimatico/4b2Vulnera/Ficheros/InfVulneraCC2015VerWeb.pdf>
58. Vescovi, L., Rebetez, M., & Rong, F. (2005). Assessing public health risk due to extremely high temperature events: climate and social parameters. *Climate Research*, 30(1), 71-78.
59. Weber, S., Sadoff, N., Zell, E., & de Sherbinin, A. (2015). Policy-relevant indicators for mapping the vulnerability of urban populations to extreme heat events: A case study of Philadelphia. *Applied Geography*, 63, 231-243
60. Wolf, T., & McGregor, G. (2013). The development of a heat wave vulnerability index for London, United Kingdom. *Weather and Climate Extremes*, 1, 59-68.
61. Wolf, T., McGregor, G., & Analitis, A. (2014). Performance assessment of a heat wave vulnerability index for greater London, United Kingdom. *Weather, climate, and society*, 6(1), 32-46.
62. Xu, Y., Dadvand, P., Barrera-Gómez, J., Sartini, C., Marí-Dell'Olmo, M., Borrell, C., & Basagaña, X. (2013). Differences on the effect of heat waves on mortality by sociodemographic and urban landscape characteristics. *J Epidemiol Community Health*, 67(6), 519-525.

7. APÉNDICES

7.1. Esfuerzos relevantes al calor extremo

Tabla 7.1a. Algunos marcos y compromisos relevantes sobre el cambio climático

MARCO O COMPROMISO	JURISDICCIÓN	INFORMACIÓN PERTINENTE
Covenant of Mayors for Sustainable Energy (2008)	Europa, Barcelona,	Pacto de reducir un 20% las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para el 2020.
Mayors Adapt (2014)	Europa, Barcelona,	Compromiso a la adaptación al cambio climático; prevé la elaboración de un plan de adaptación al cambio climático.
Covenant of Mayors for Climate & Energy (2017)	Europa	Continuación de anteriores iniciativas europeas de mitigación y adaptación al cambio climático. Pacto de reducir las emisiones de GEI un 40% para el 2030 y aumentar la resiliencia de las ciudades.
Declaración de París. La 21ª Cumbre de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21) (2015)	Mundial	Pacto de mantener el calentamiento global por debajo de los 2°C para finales del siglo, con estrategias de resiliencia, planes de acción para la adaptación, la transición completa a energía renovable y metas de reducir un 80% la emisión de los GEI para 2050.
Red Española de Ciudades por el Clima ⁵¹	España, Barcelona	Coordinación de políticas de mitigación y adaptación al cambio climático entre Ayuntamientos de España. Se reclama enfrentar el cambio climático de forma inmediata.
Ley de Cambio Climático de Cataluña (27 de julio de 2017) ¹	Cataluña	Objeto de “regulación de las medidas encaminadas a la mitigación y la adaptación al cambio climático, la definición del modelo de gobernanza de la administración pública con relación al cambio climático y el establecimiento de impuestos como instrumento para actuar contra el cambio climático”.
Declaració De L'Àrea Metropolitana De Barcelona pel Clima (2015) ¹²	AMB	Declaración de ampliar “compromisos relacionados con la mitigación y adaptación al cambio climático para contribuir a una sociedad más resiliente, mediante la reducción del 40% de las emisiones de CO ₂ en 2030”.
Compromís de Barcelona pel Clima (2014)	Barcelona	Compromiso con ciudadanía y otras entidades de reducir emisiones de CO ₂ un 50% respecto a los valores de 2005, y aumentar el verde urbano a una cantidad de 1m ² por habitante.

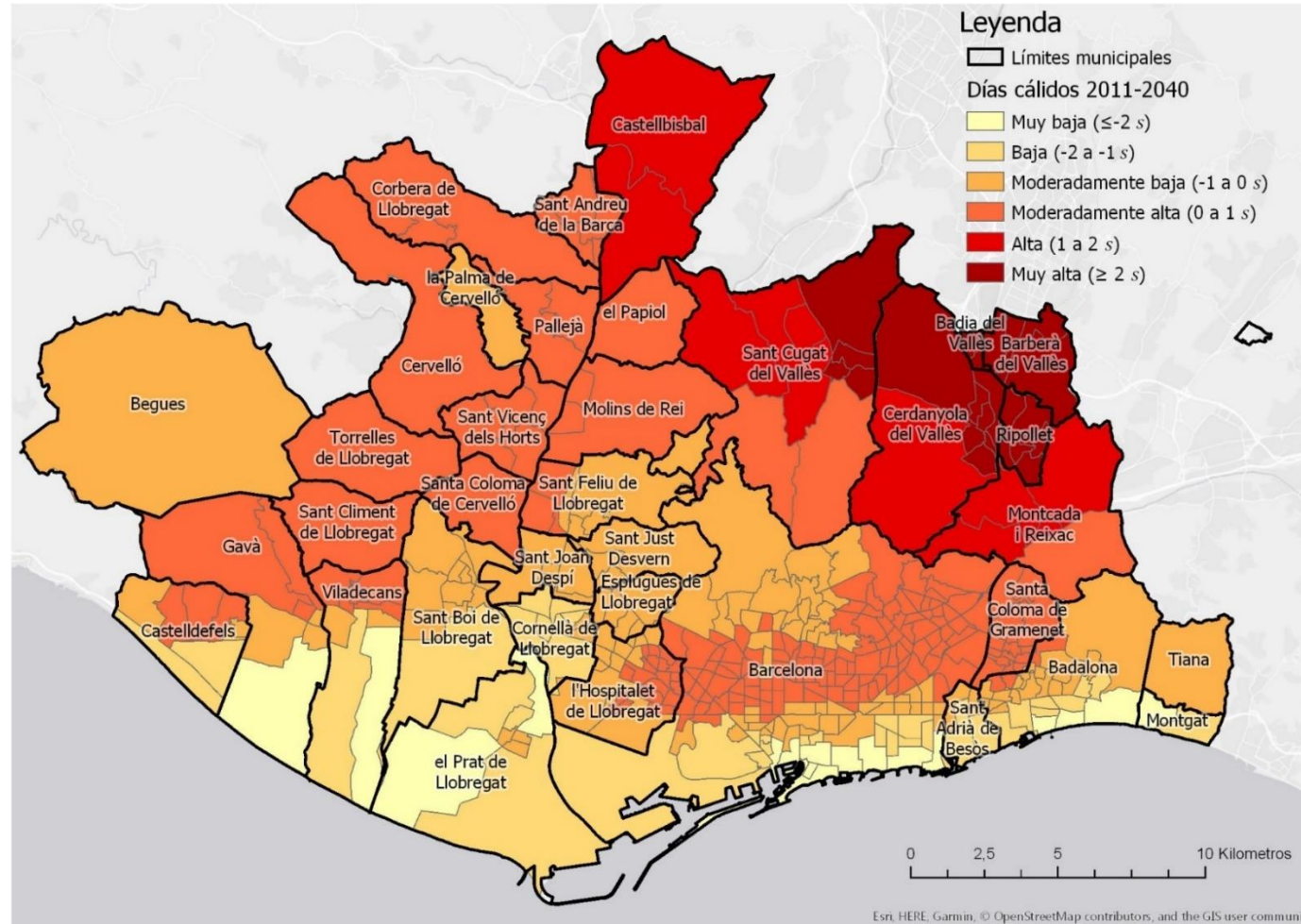
Tabla 7.1b. *Proyectos relevantes para enfrentar el calor extremo de los últimos años*

PROYECTO, PLAN O ESTUDIO	JURISDICCIÓN
Pla Clima i Energia (2018)	AMB
Pla Clima: Ondas de Calor (2018) ²	Barcelona
Coberta Experimental (2016). ³⁸	AMB
Ajuts per a la rehabilitació d'habitatges i edificis (2017) ²²	Barcelona
Programa d'impuls de la infraestructura verda urbana: mesura de govern (2017) ⁹	Barcelona
Concurso de Cubiertas Verdes (2017) ⁷	Barcelona
Resumen ejecutivo del Tercer Informe sobre el cambio climático en Cataluña (2017) ³⁹	Cataluña
El paper de la infraestructura verda urbana en l'adaptació al canvi climàtic (2016) ¹⁹	AMB
La isla de calor en el área metropolitana de Barcelona y la adaptación al cambio climático (2015) ²⁹	AMB
Pla d'Adaptació al Canvi Climàtic de l'AMB (2015) ²⁶	AMB
Pla Local d'adaptació al Canvi Climàtic a Prat de Llobregat (2015) ³	Prat de Llobregat
Pla Local d'adaptació al Canvi Climàtic a Santa Coloma de Gramenet (2015) ⁴	Santa Coloma de Gramenet
Pla Local d'adaptació al Canvi Climàtic a Viladecans (2015) ⁵	Viladecans
Valoració del verd urbà de l'Àrea Metropolitana de Barcelona per donar pautes de gestió agronòmica que possibilitin incrementar l'eficiència en l'ús de recursos i l'adaptació al canvi climàtic (2015) ²⁸	AMB
Guia de terrats vius i cobertes verdes (2015) ²³	Barcelona
Estudi mediambiental dels murs verds i anàlisi dels sistemes constructius aplicats a un projecte d'implantació a Barcelona (2015) ⁵⁰	Barcelona
Plan de Sostenibilidad de la AMB (PSAMB) (2014) ²⁷	AMB
Mesura de govern per a impulsar terrats vius i cobertes verdes a Barcelona (2014) ¹¹	Barcelona
Pla del Verd i de la Biodiversitat 2020 (2011) ¹⁰	Barcelona
Estudi de Cobertes i murs verds, existents, potencials i estratègies d'implantació a Barcelona (2009) ³⁰	Barcelona

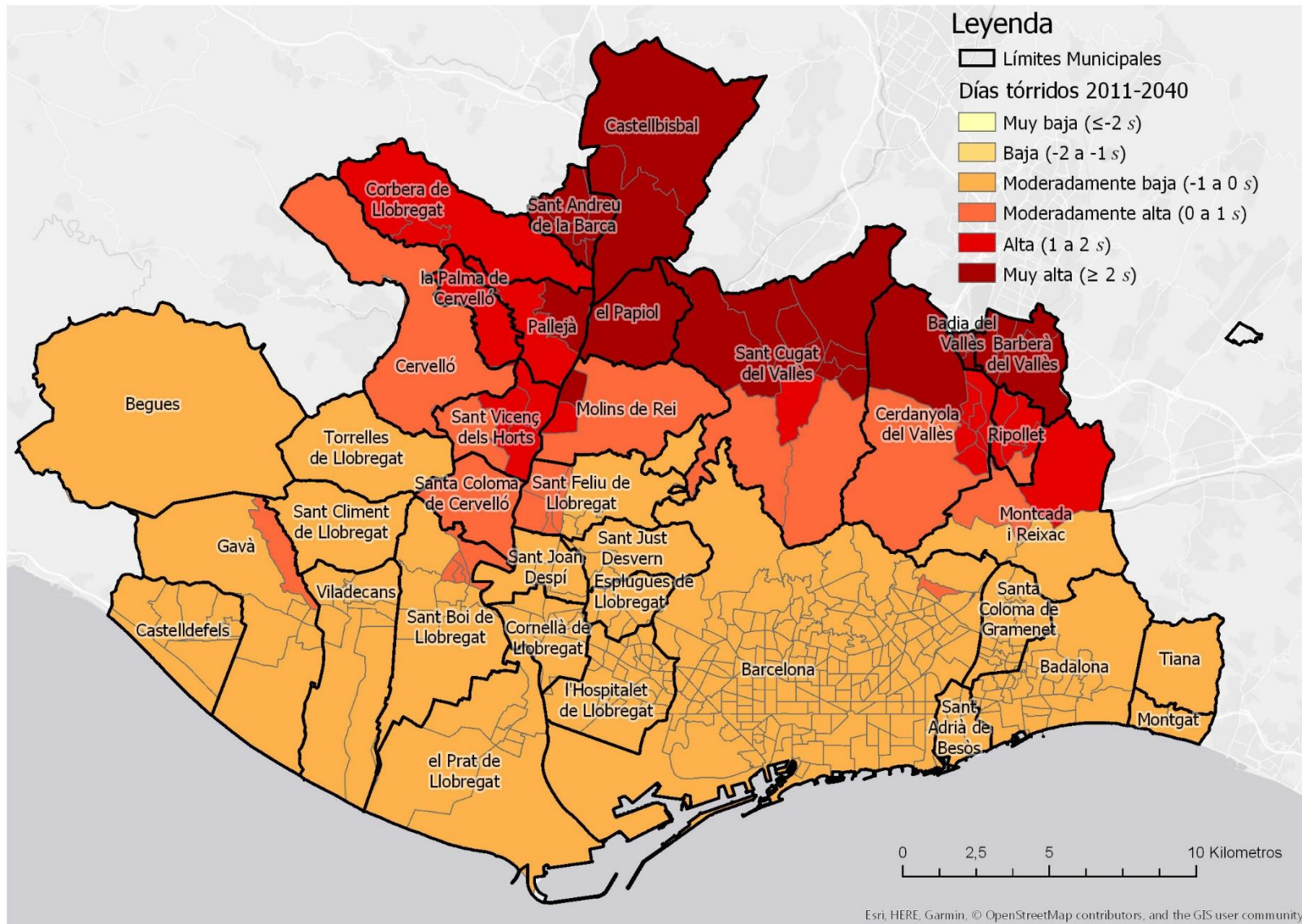
7.2. Variables de exposición al calor extremo

Los siguientes mapas muestran las variables de calor extremo utilizadas en esta evaluación de vulnerabilidad de la población al calor extremo. Para obtener más información sobre los datos y las unidades representadas se puede acudir a la Sección 2.

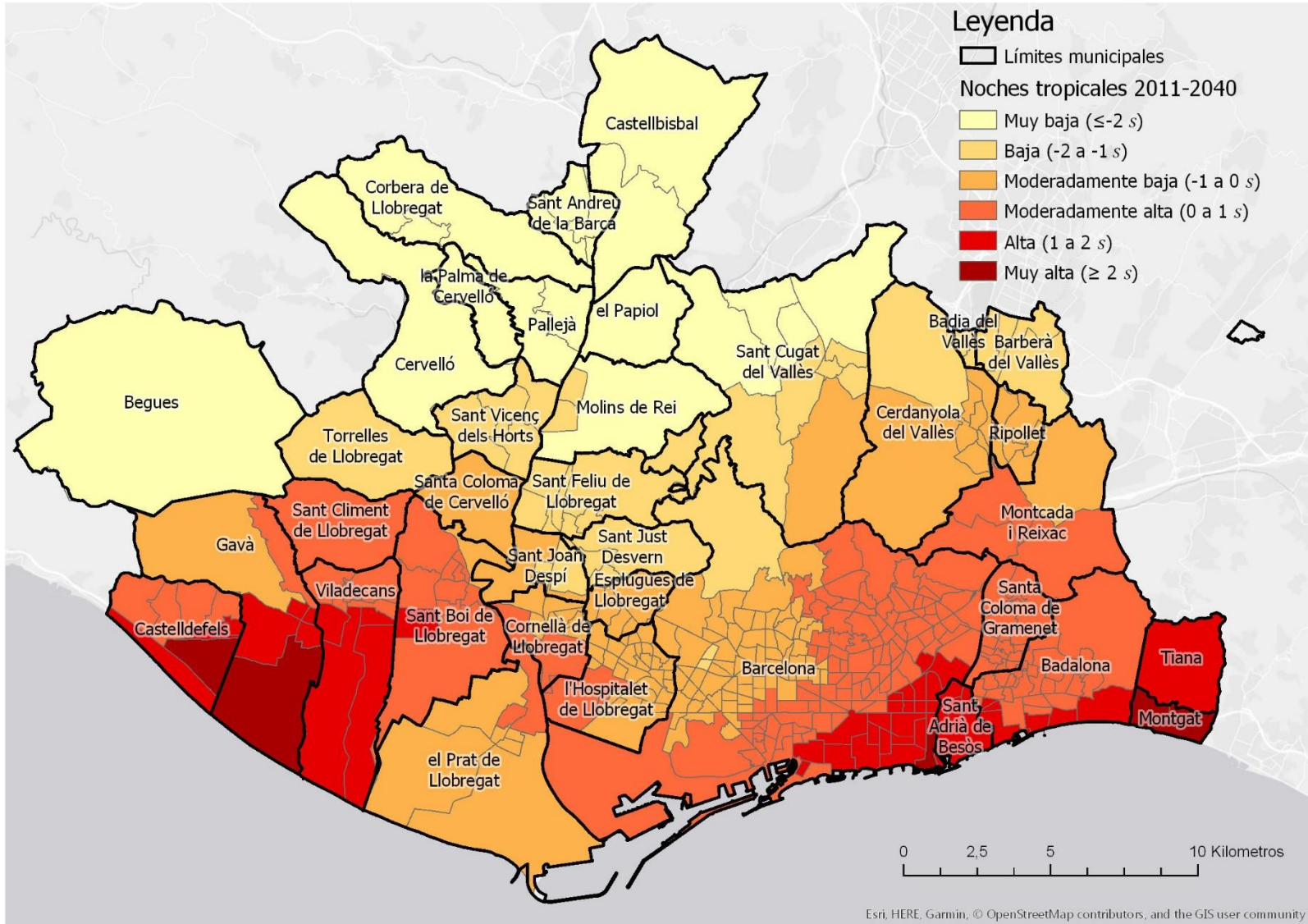
Días cálidos (2011-2040)



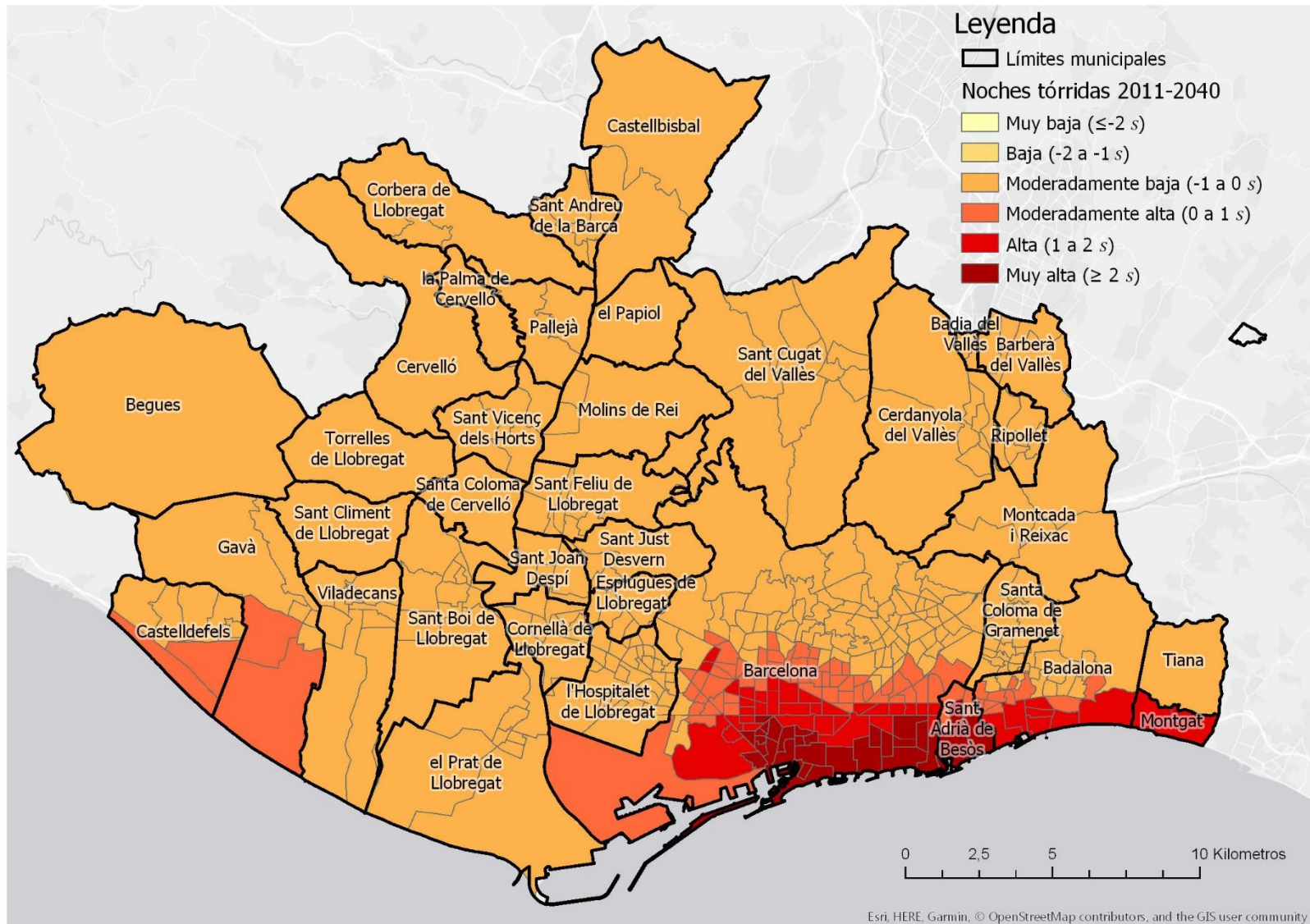
Días tórridos (2011-2040)



Noches tropicales (2011-2040)



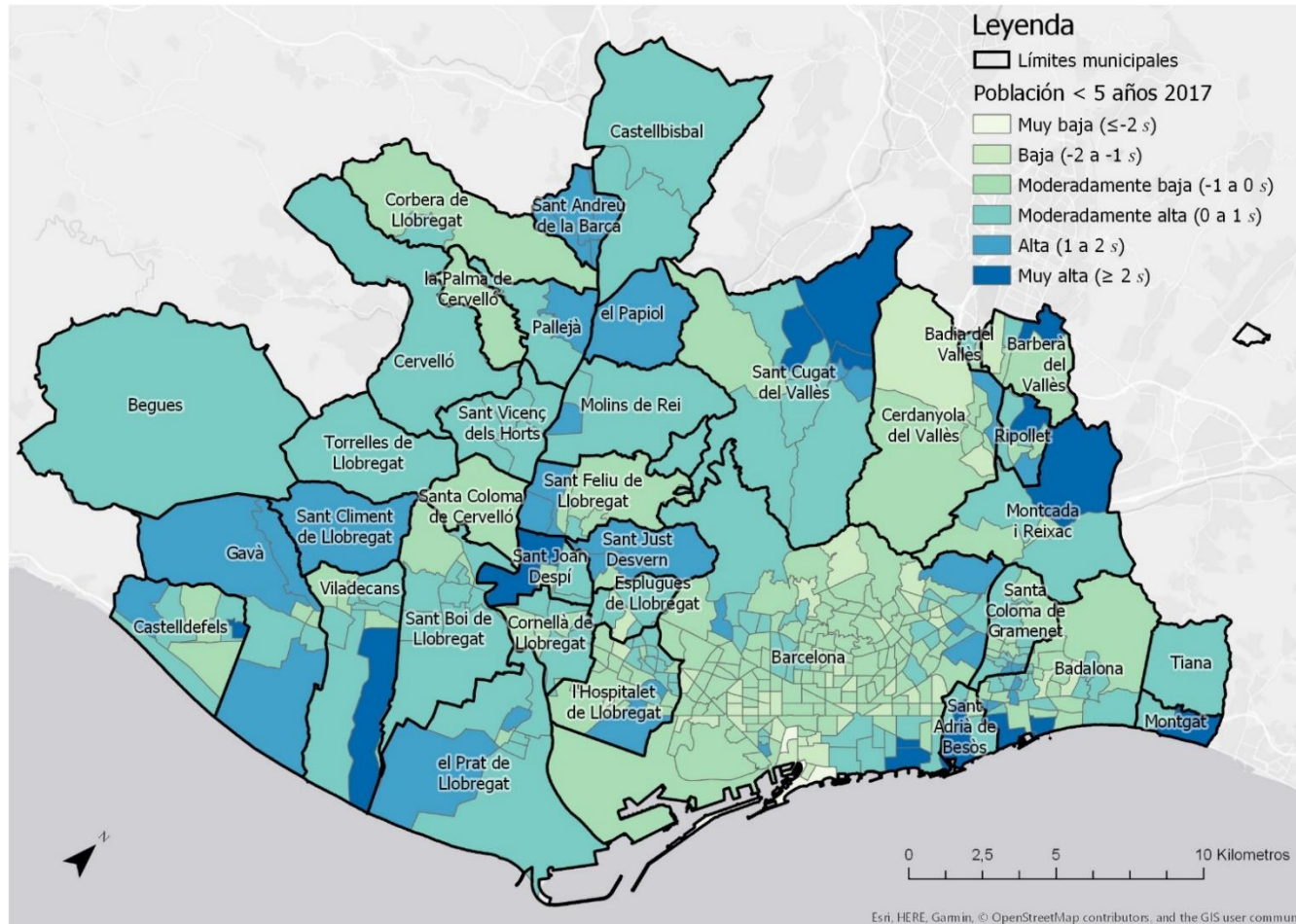
Noches tórridas (2011-2040)



7.3. Variables de sensibilidad y capacidad adaptativa

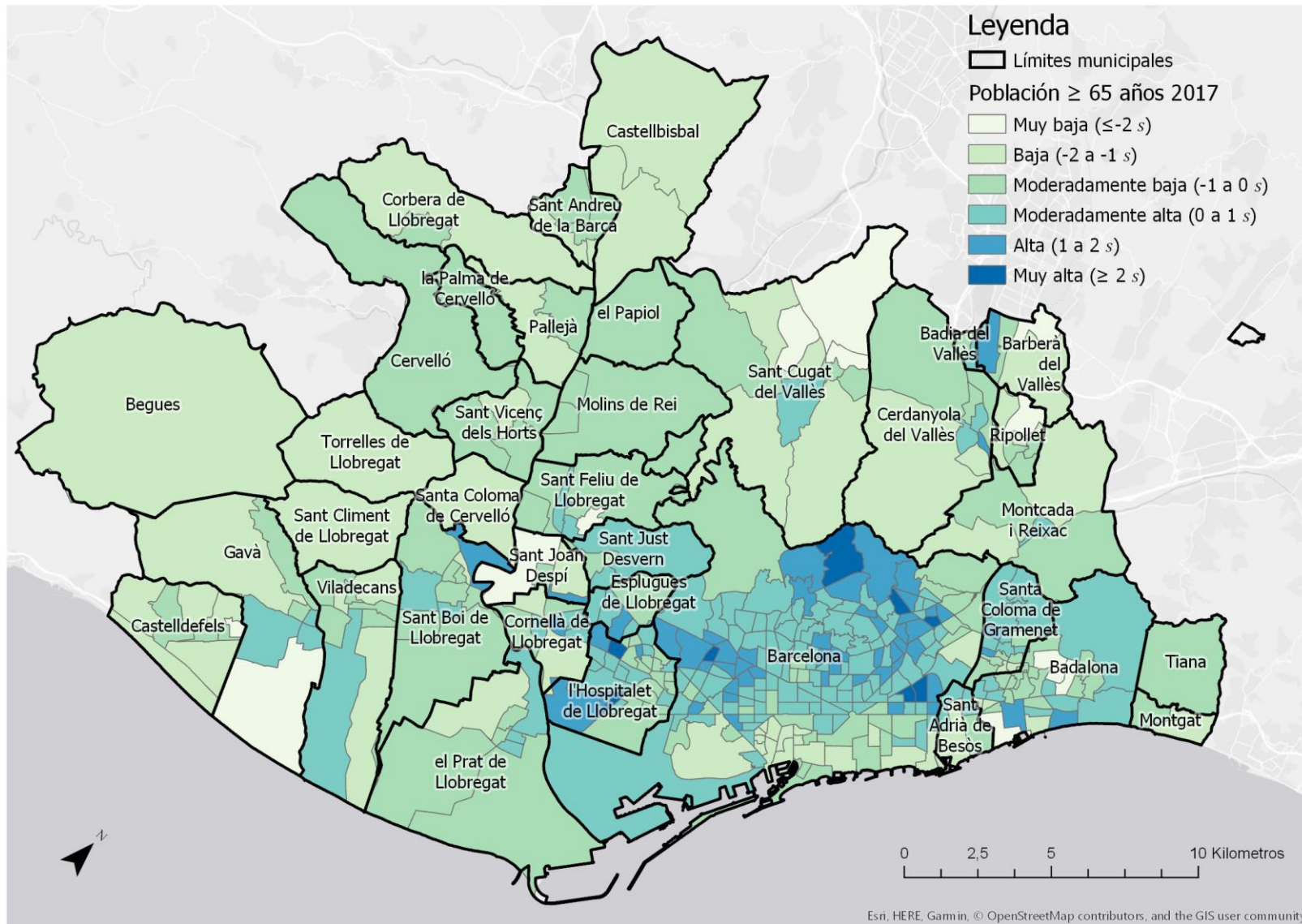
Los siguientes mapas muestran las variables de sensibilidad y capacidad adaptativa utilizadas en esta evaluación de vulnerabilidad de la población al calor extremo. Para obtener más información sobre los datos y las unidades representadas se puede acudir a la Sección 2.

Población < 5 años (2017) *

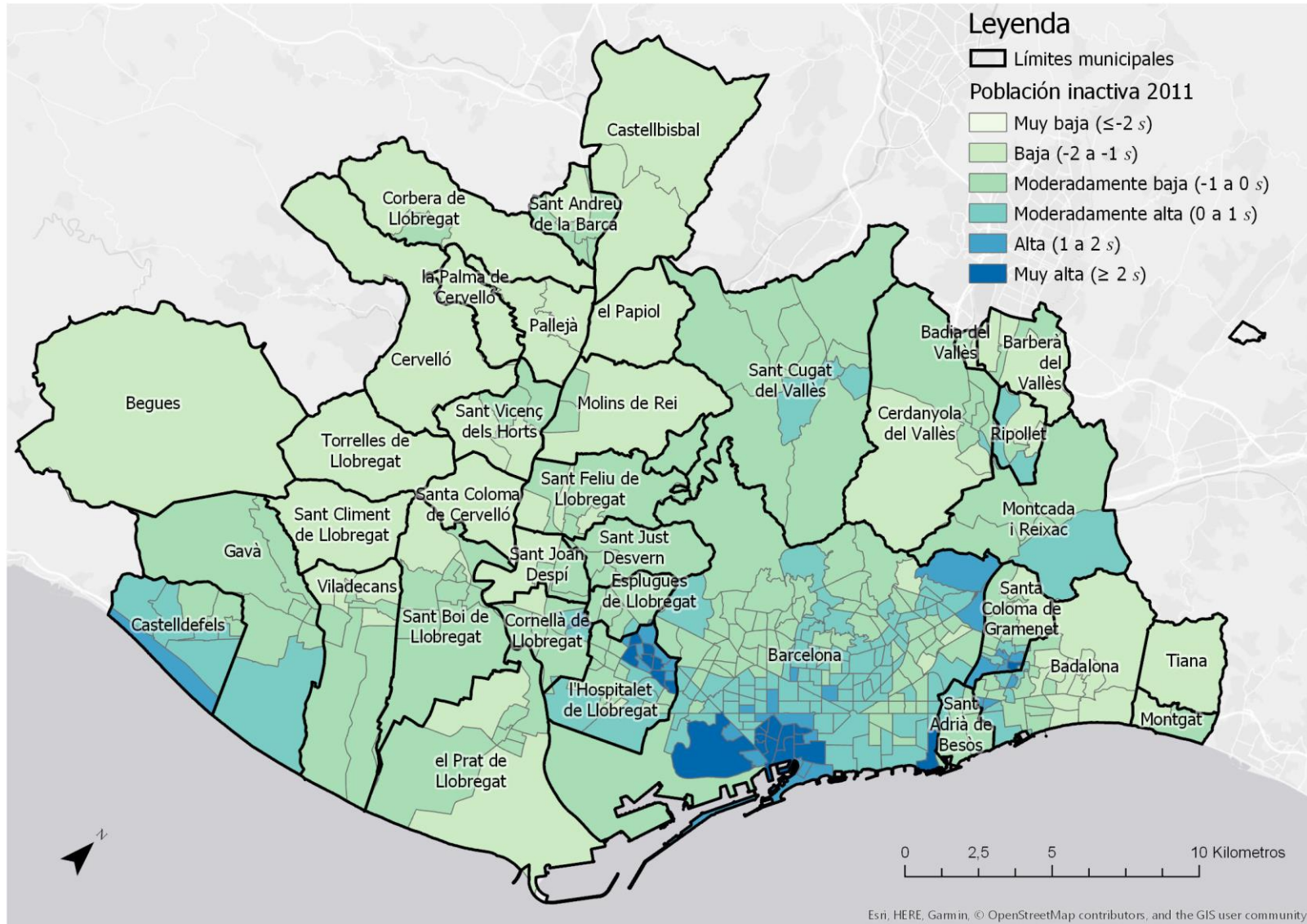


*Esta variable no se utilizó en los resultados finales. Se puede referir a la Sección 3.5 para la discusión sobre este asunto.

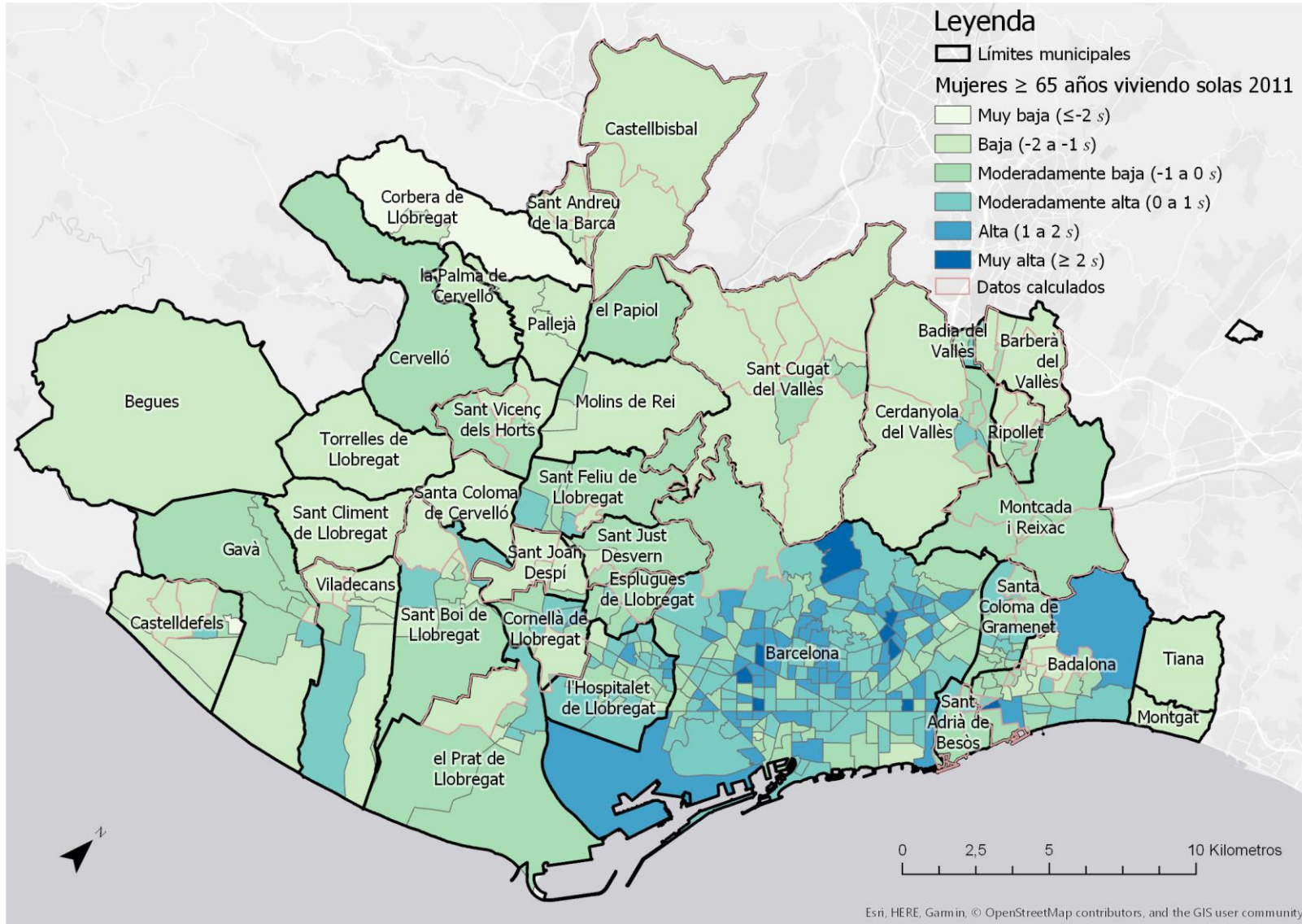
Población ≥ 65 años (2017)



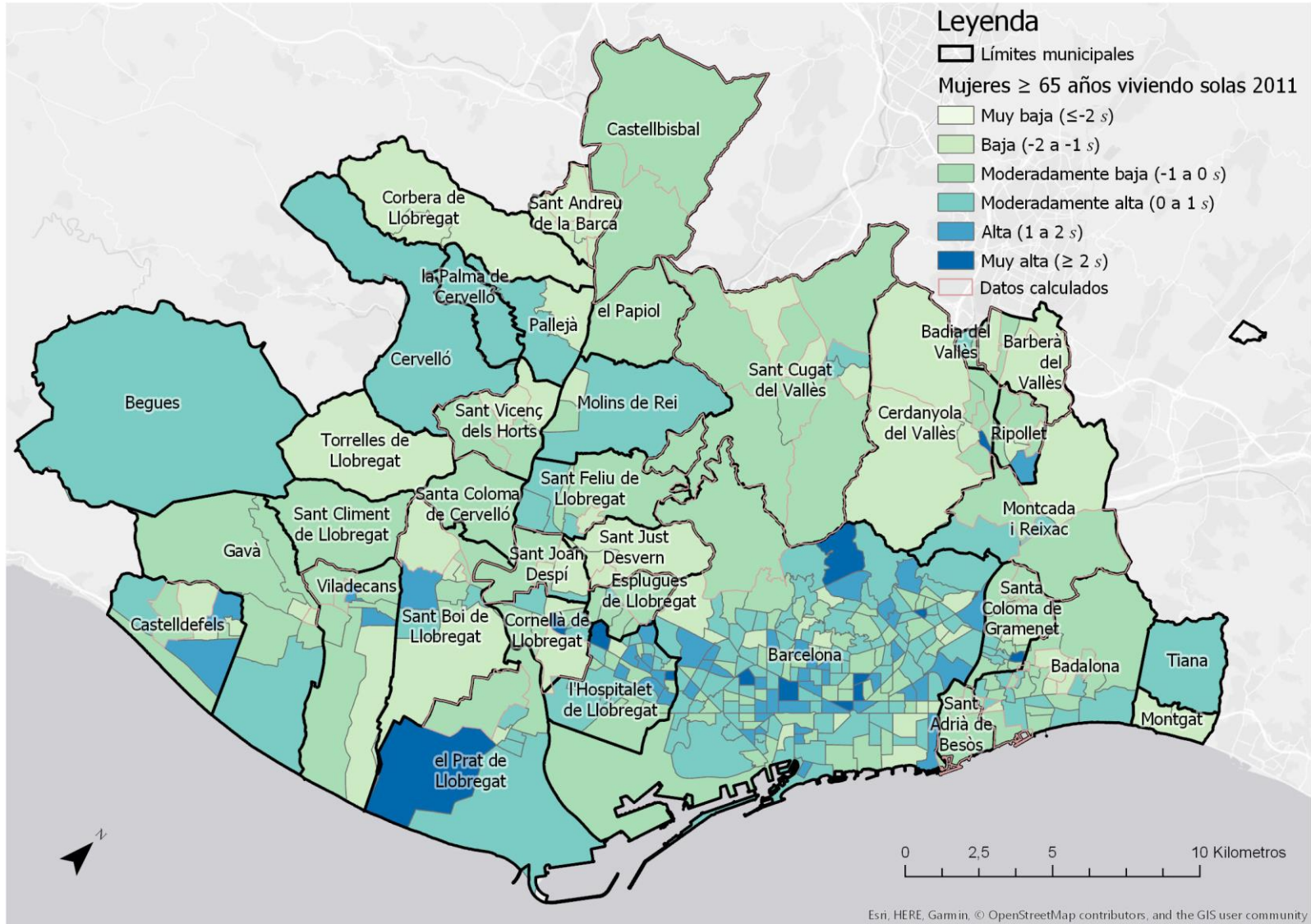
Población inactiva (2011)



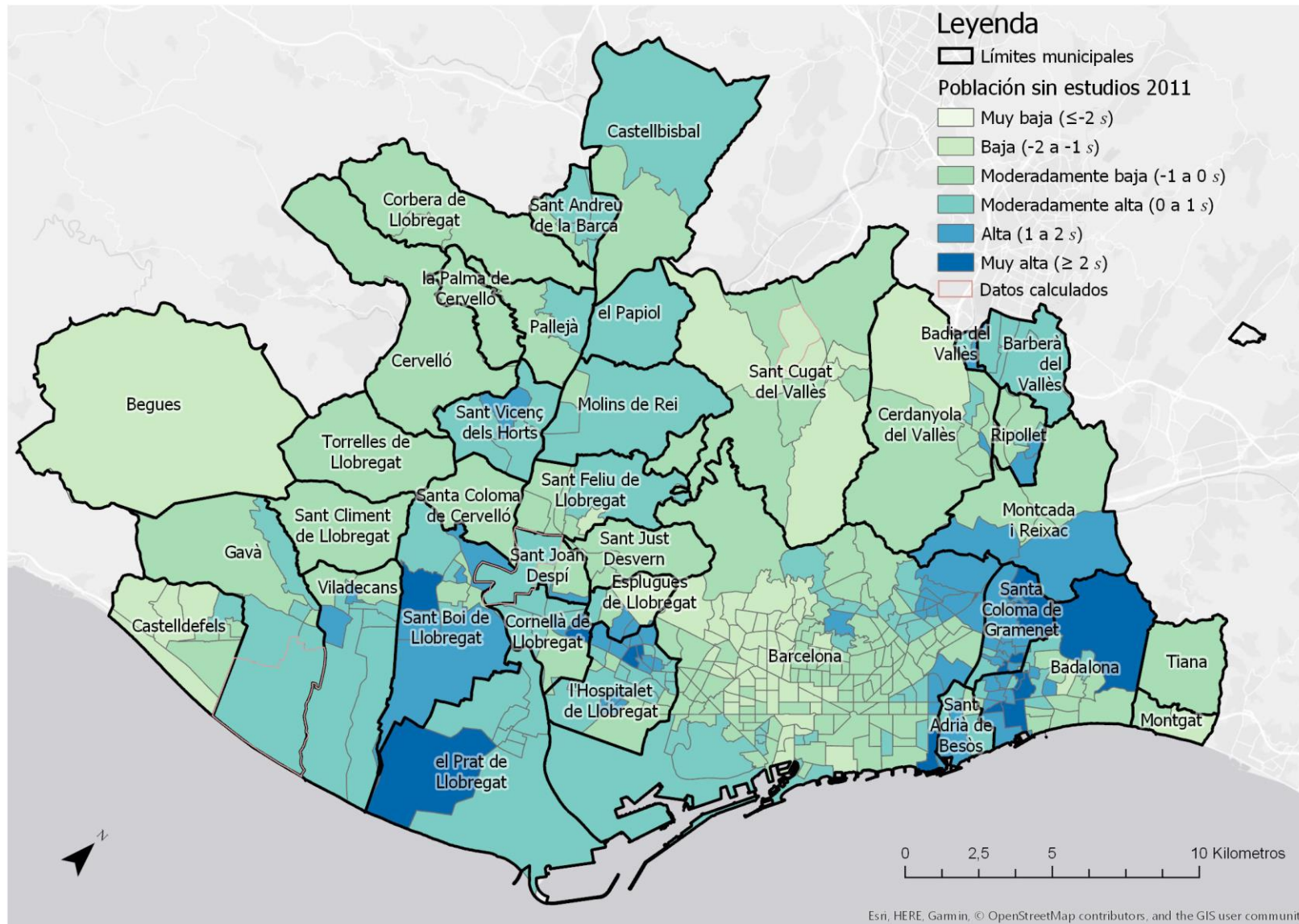
Mujeres ≥ 65 años viviendo solas (2011)



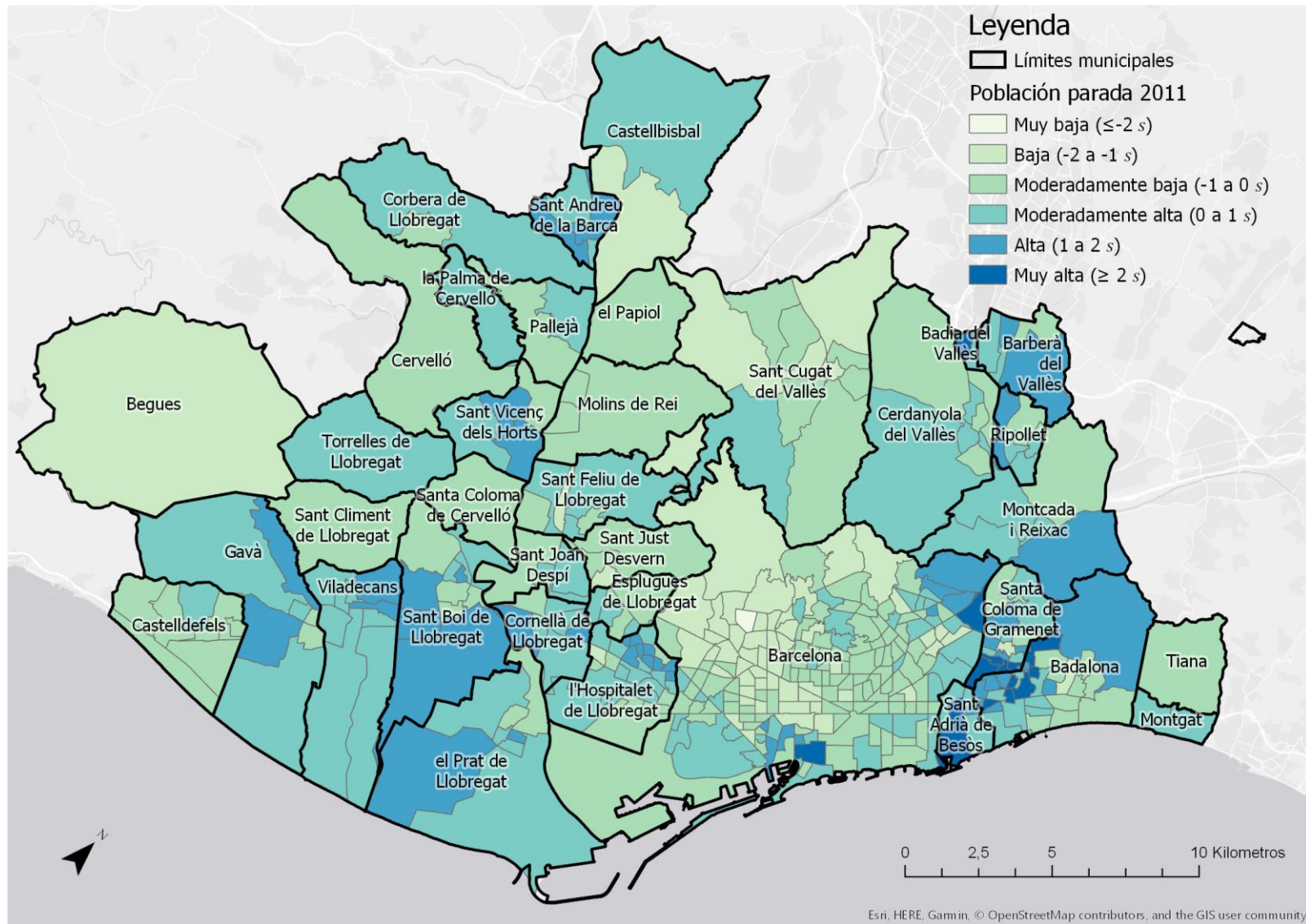
Hombres ≥ 65 años viviendo solos (2011)



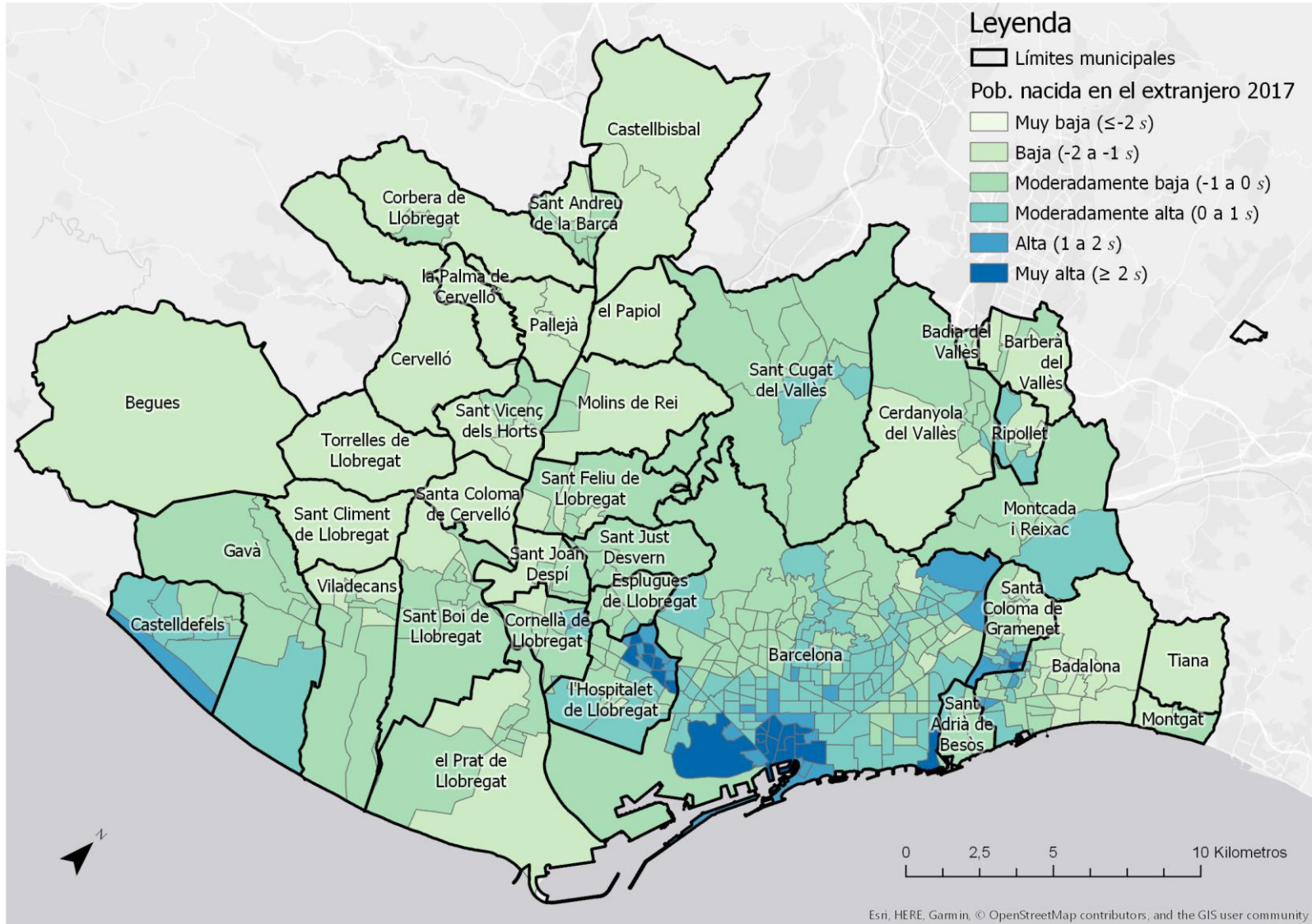
Población sin estudios (2011)



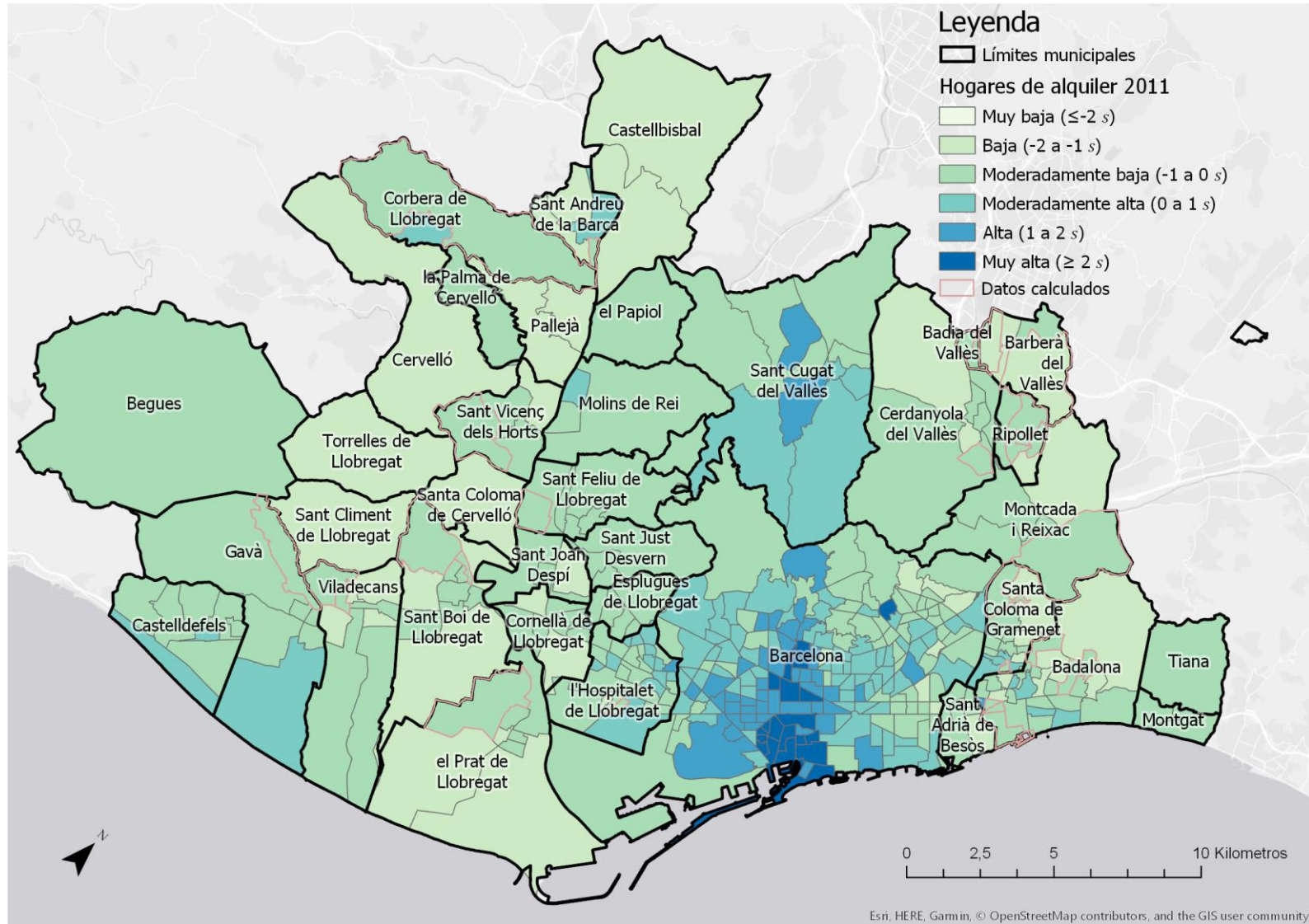
Población parada (2011)



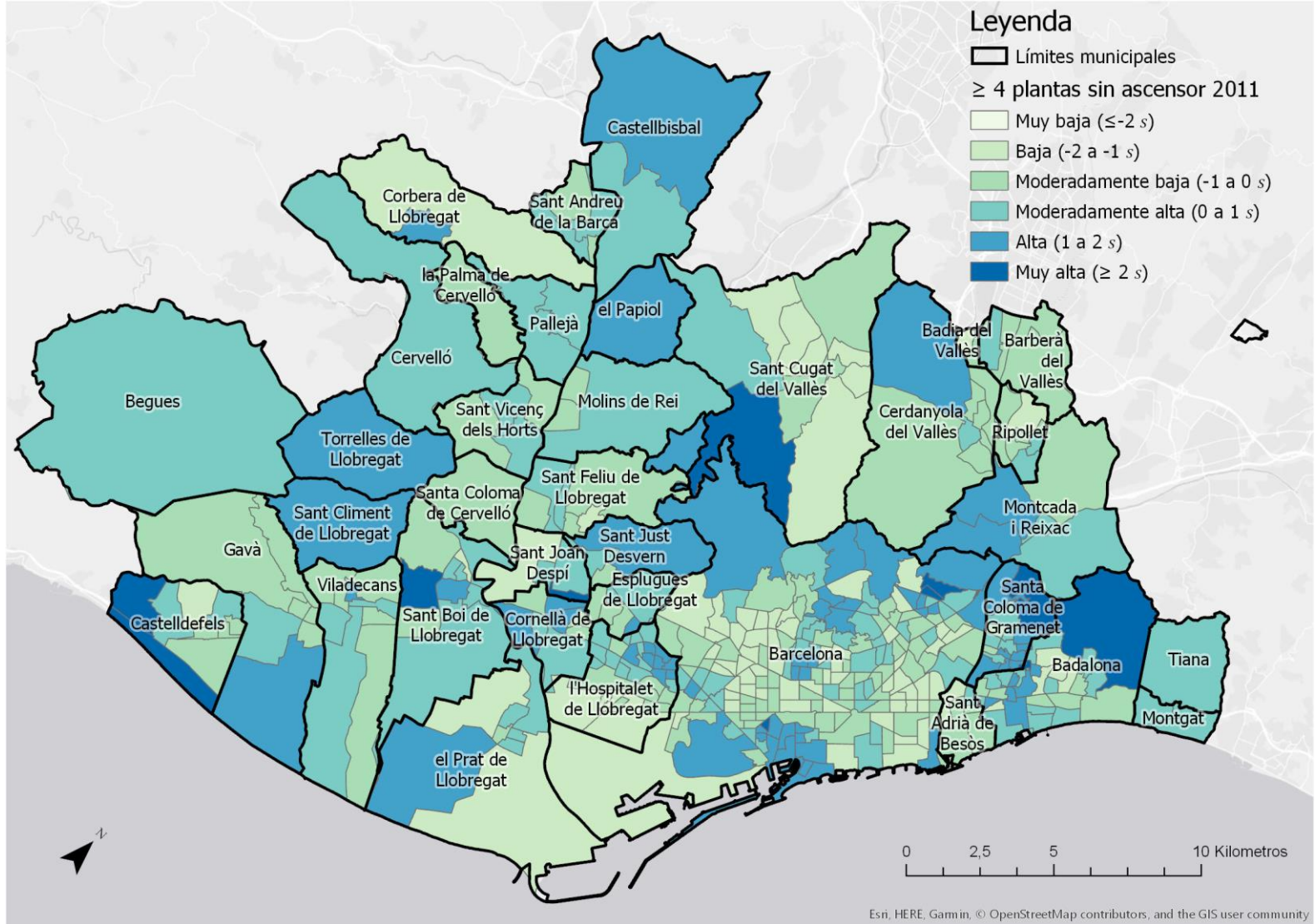
Población nacida en el extranjero (2017)



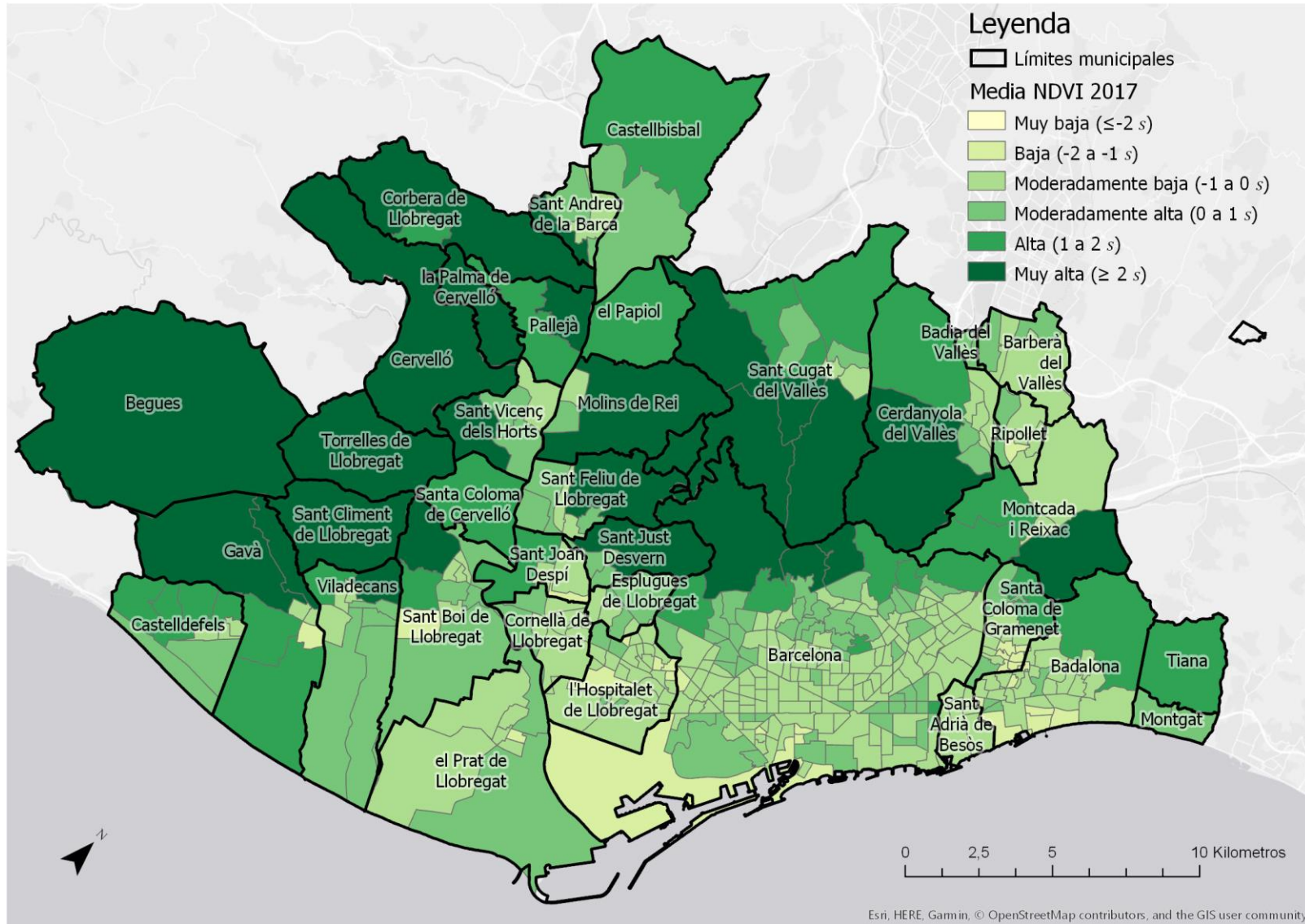
Hogares de alquiler (2011)



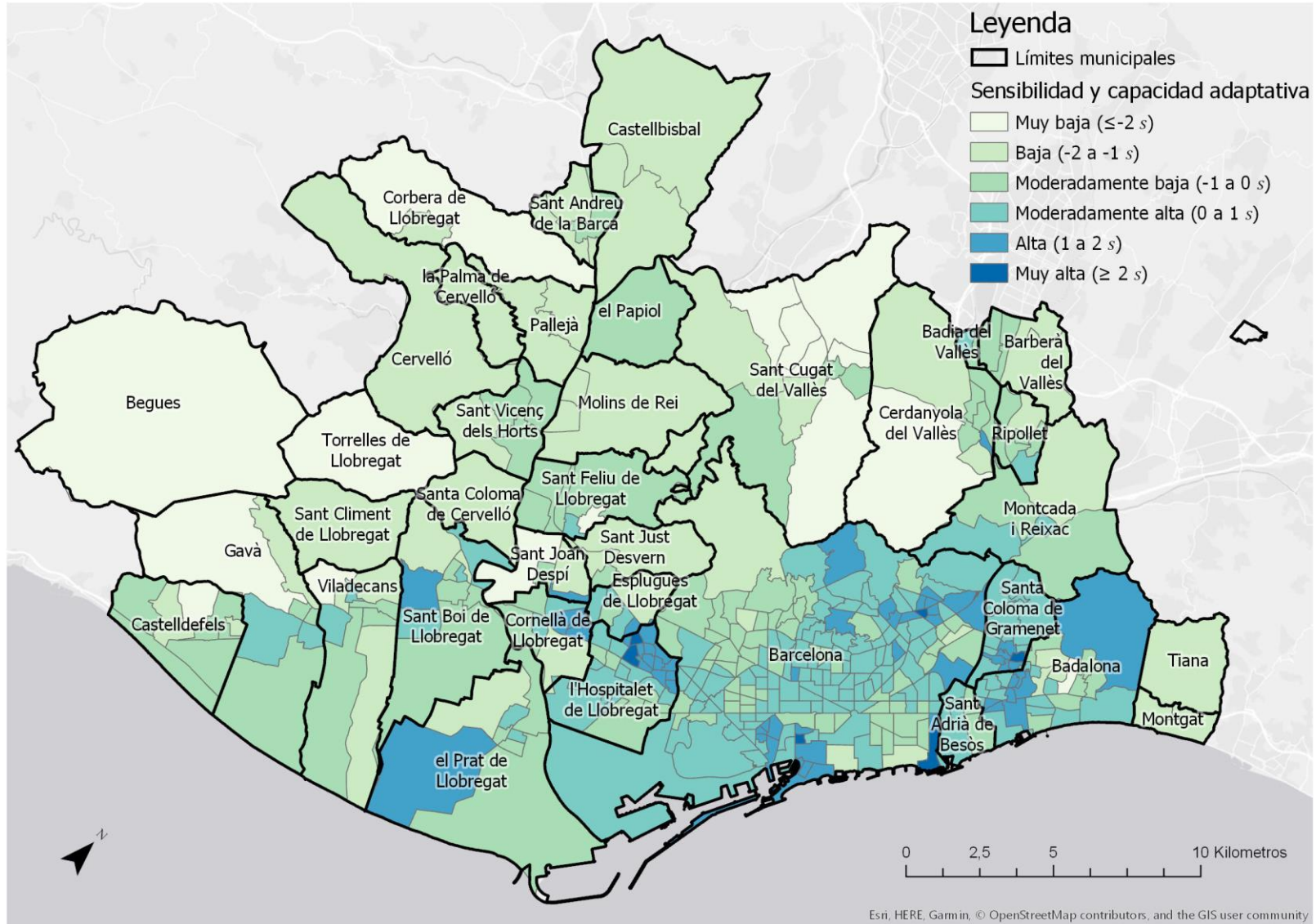
Hogares de 4 plantas o más sin ascensor (2011)



Media del NDVI (2017)



Agregación de las variables de sensibilidad y capacidad adaptativa



7.4. Resultados de vulnerabilidad al calor extremo

Los siguientes mapas muestran los resultados de vulnerabilidad de la población al calor extremo en el área metropolitana de Barcelona. Para obtener más información sobre los resultados y las unidades representadas se puede acudir a la Sección 3.

Vulnerabilidad a los días cálidos

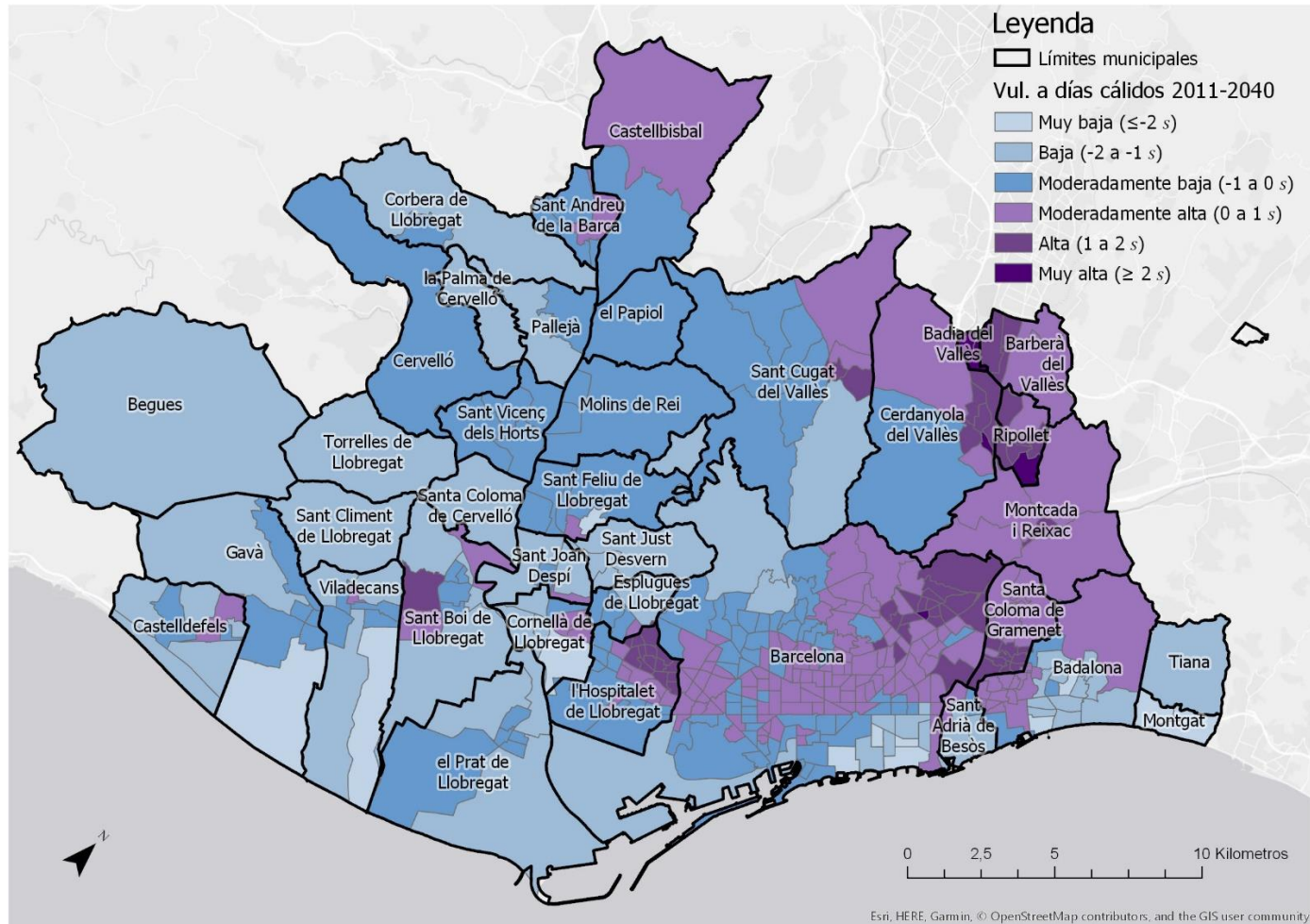


Tabla 7.4a. Puntuaciones de vulnerabilidad (DC)

AC	MUNICIPIO	NOMBRE DE AGRUPACIÓN CENSAL	PUNTUACIÓN	VULNERABILIDAD
266002	Cerdanyola del Vallès	les Fontetes	2,585	Muy Alta
019141	Barcelona	Can Borràs	2,340	Muy Alta
904001	Badia del Vallès	Badia vora Riu Sec	2,171	Muy Alta
180004	Ripollet	Can Mas	2,146	Muy Alta
904002	Badia del Vallès	Badia vora Barberà	2,018	Muy Alta
245014	Santa Coloma de Gramenet	Santa Rosa - Pirineus	1,997	Alta
245012	Santa Coloma de Gramenet	Rambla del Fondo	1,960	Alta
019132	Barcelona	el Mercat de la Mercè	1,937	Alta
101018	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - Plaça Pirineus	1,894	Alta
019147	Barcelona	la Trinitat Vella	1,806	Alta
019133	Barcelona	el Turó de la Peira i Can Peguera	1,776	Alta
252005	Barberà del Vallès	Can Gorgs - Ca n'Esteper	1,774	Alta
019140	Barcelona	les Cases de Charlot	1,750	Alta
101011	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Parc dels Ocellets	1,747	Alta
245003	Santa Coloma de Gramenet	Can Mariner	1,744	Alta
101015	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Centre - Vallparda	1,729	Alta
266006	Cerdanyola del Vallès	la Clota - Cerdanyola 2000 - Banús	1,713	Alta
019139	Barcelona	la Plaça de Verdun	1,712	Alta
019145	Barcelona	la Trinitat Nova	1,665	Alta
101020	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - el Parc	1,653	Alta
245013	Santa Coloma de Gramenet	el Fondo Alt	1,648	Alta
019142	Barcelona	Santa Engràcia	1,645	Alta
245015	Santa Coloma de Gramenet	Santa Rosa - Pont de Potosí	1,618	Alta
101013	Hospitalet de Llobregat, l'	les Planes - el Parc	1,605	Alta
180003	Ripollet	Sant Andreu - Can Vargas	1,585	Alta
245002	Santa Coloma de Gramenet	Sagarra - Rambla de Sant Sebastià	1,582	Alta
019131	Barcelona	els Jardins d'Alfàbia	1,556	Alta
019160	Barcelona	el Congrés	1,537	Alta
019143	Barcelona	la Plaça Verda	1,514	Alta
101017	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Mercat	1,505	Alta

101008	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - la Bóbila	1,490	Alta
019144	Barcelona	la Flor de Neu	1,485	Alta
019138	Barcelona	les Roquetes	1,482	Alta
266007	Cerdanyola del Vallès	Cordelles - Can Xarau	1,455	Alta
101019	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - Plaça del Vidre	1,452	Alta
019137	Barcelona	la Mina de la Ciutat	1,434	Alta
019129	Barcelona	la Plaça de Sóller	1,392	Alta
101012	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Avinguda Primavera	1,366	Alta
180001	Ripollet	Centre - Maragall	1,364	Alta
252001	Barberà del Vallès	Centre Nord - Can Llobet - Parc Central	1,362	Alta
266001	Cerdanyola del Vallès	Centre - Sant Ramon - Parcercs - Guiera	1,362	Alta
180005	Ripollet	Can Tiana-Pont Vell	1,330	Alta
245011	Santa Coloma de Gramenet	Llatí	1,324	Alta
101014	Hospitalet de Llobregat, l'	les Planes - Avinguda Catalunya	1,307	Alta
101010	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Plaça Llibertat	1,287	Alta
252004	Barberà del Vallès	Centre Sud - Can Serra	1,280	Alta
019146	Barcelona	Torre Baró, Ciutat Meridiana i Vallbona	1,275	Alta
101007	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - Can Vidalet	1,255	Alta
180002	Ripollet	Can Clos - els Pinetons	1,250	Alta
245005	Santa Coloma de Gramenet	Riu Sud - Pont de Santa Coloma	1,231	Alta
101009	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - Can Rigalt	1,223	Alta
266008	Cerdanyola del Vallès	la Sínia - Catalunya - Carretera de Barcelona	1,189	Alta
019135	Barcelona	la Guineueta	1,183	Alta
205001	Sant Cugat del Vallès	Nucli Antic	1,178	Alta
125001	Montcada i Reixac	Montcada Centre	1,168	Alta
200006	Sant Boi de Llobregat	Camps Blancs	1,168	Alta
019115	Barcelona	els Quinze	1,141	Alta
019149	Barcelona	el Bon Pastor	1,119	Alta
101016	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Cementiri - Carretera	1,092	Alta
245016	Santa Coloma de Gramenet	el Raval - Safaretjos	1,048	Alta
205011	Sant Cugat del Vallès	Sant Francesc - Can Magí - el Coll	1,048	Alta
245001	Santa Coloma de Gramenet	Centre	0,979	Moderadamente Alta

125004	Montcada i Reixac	Terra Nostra - la Font Pudenta	0,970	Moderadamente Alta
252003	Barberà del Vallès	Barri Antic - Polígons Ronda Santa Maria, Santiga i Salvatella	0,961	Moderadamente Alta
019128	Barcelona	Can Garrigó	0,954	Moderadamente Alta
266005	Cerdanyola del Vallès	Serraparera - Bellaterra	0,947	Moderadamente Alta
019005	Barcelona	Ponent	0,940	Moderadamente Alta
019100	Barcelona	Rius i Taulet	0,913	Moderadamente Alta
019125	Barcelona	Sant Marcel i les Franceses	0,907	Moderadamente Alta
019117	Barcelona	l'Alt Carmel i el Turó de la Rovira	0,906	Moderadamente Alta
019118	Barcelona	el Baix Carmel	0,892	Moderadamente Alta
019004	Barcelona	el Pedró	0,870	Moderadamente Alta
019127	Barcelona	Virrei Amat i la Torre Llobeta	0,858	Moderadamente Alta
019061	Barcelona	el Mercat Nou	0,856	Moderadamente Alta
019166	Barcelona	Xifré	0,853	Moderadamente Alta
125003	Montcada i Reixac	Can Sant Joan - Can Cuyàs	0,825	Moderadamente Alta
019156	Barcelona	la Rambla de Sant Andreu	0,789	Moderadamente Alta
019161	Barcelona	els Indians	0,786	Moderadamente Alta
019058	Barcelona	l'Olivereta	0,762	Moderadamente Alta
245008	Santa Coloma de Gramenet	les Oliveres - Can Franquesa	0,752	Moderadamente Alta
019006	Barcelona	Tallers i els Àngels	0,735	Moderadamente Alta
019126	Barcelona	Can Cartellà	0,734	Moderadamente Alta
019062	Barcelona	Santa Maria de Sants	0,729	Moderadamente Alta
019060	Barcelona	Can Mantega	0,722	Moderadamente Alta
245009	Santa Coloma de Gramenet	la Guinardera - Singuerlin Est - Torribera	0,722	Moderadamente Alta
015013	Badalona	Sant Antoni de Llefià	0,709	Moderadamente Alta
019155	Barcelona	el Mercadal	0,702	Moderadamente Alta
019031	Barcelona	Sant Josep Oriol	0,702	Moderadamente Alta
073006	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons Oest	0,697	Moderadamente Alta
019159	Barcelona	la Sagrera Alta	0,684	Moderadamente Alta
019102	Barcelona	l'Abaceria i la Plaça del Raspall	0,683	Moderadamente Alta
019121	Barcelona	Montbau	0,681	Moderadamente Alta
019055	Barcelona	l'Àngel Custodi	0,676	Moderadamente Alta
019044	Barcelona	el Price	0,676	Moderadamente Alta

019134	Barcelona	el Parc Central de Nou Barris	0,662	Moderadamente Alta
015015	Badalona	la Salut Nord - Verge de la Salut	0,659	Moderadamente Alta
019114	Barcelona	Maragall	0,659	Moderadamente Alta
015008	Badalona	Sant Roc - Plaça Roja	0,658	Moderadamente Alta
019130	Barcelona	Can Dragó	0,657	Moderadamente Alta
019018	Barcelona	els Enamorats	0,650	Moderadamente Alta
245007	Santa Coloma de Gramenet	Singuerlin - Can Zam	0,646	Moderadamente Alta
245004	Santa Coloma de Gramenet	Riu Sud - Torre Balldovina	0,644	Moderadamente Alta
245010	Santa Coloma de Gramenet	Cementiri Vell - la Riera Alta - Llatí Nord	0,634	Moderadamente Alta
245006	Santa Coloma de Gramenet	Riu Nord	0,633	Moderadamente Alta
019071	Barcelona	Can Bacardí, Collblanc, la Maternitat i Bederrida	0,627	Moderadamente Alta
019012	Barcelona	Santa Caterina	0,625	Moderadamente Alta
019106	Barcelona	Can Romans	0,623	Moderadamente Alta
077002	Esplugues de Llobregat	Can Vidalet	0,622	Moderadamente Alta
015009	Badalona	Sant Roc - Camarón de la Isla	0,622	Moderadamente Alta
019063	Barcelona	l'Olivera Rodona i l'Espanya Industrial	0,619	Moderadamente Alta
196001	Sant Andreu de la Barca	Centre	0,609	Moderadamente Alta
019189	Barcelona	la Verneda Baixa	0,608	Moderadamente Alta
019162	Barcelona	Sant Joan Bosco	0,599	Moderadamente Alta
101029	Hospitalet de Llobregat, l'	Bellvitge - Estació	0,594	Moderadamente Alta
019033	Barcelona	el Clínic	0,590	Moderadamente Alta
019098	Barcelona	la Plaça del Nord i Can Trilla	0,584	Moderadamente Alta
217005	Sant Joan Despí	les Planes	0,583	Moderadamente Alta
301005	Viladecans	Montserratina - Mas Rates	0,580	Moderadamente Alta
101023	Hospitalet de Llobregat, l'	Santa Eulàlia - Església	0,557	Moderadamente Alta
211002	Sant Feliu de Llobregat	la Salut	0,539	Moderadamente Alta
019164	Barcelona	Trinxant	0,526	Moderadamente Alta
019103	Barcelona	Joanic	0,526	Moderadamente Alta
019056	Barcelona	Sant Medir	0,525	Moderadamente Alta
019157	Barcelona	Can Masadas i el Camp del Ferro	0,514	Moderadamente Alta
019165	Barcelona	Can Miralletes	0,510	Moderadamente Alta
019167	Barcelona	Can Robacols	0,506	Moderadamente Alta

101024	Hospitalet de Llobregat, l'	Santa Eulàlia - Mercat	0,488	Moderadamente Alta
252002	Barberà del Vallès	la Romànica - Can Rabella - Molí d'en Santo - Parc d'Europa	0,474	Moderadamente Alta
015014	Badalona	Sant Joan de Llefià	0,463	Moderadamente Alta
019059	Barcelona	Badal	0,462	Moderadamente Alta
019021	Barcelona	els Jardins de la Indústria	0,462	Moderadamente Alta
019003	Barcelona	la Riereta	0,461	Moderadamente Alta
019035	Barcelona	l'Escola Industrial	0,460	Moderadamente Alta
015017	Badalona	la Salut Sud - Mercat	0,450	Moderadamente Alta
015016	Badalona	la Salut Centre	0,445	Moderadamente Alta
266003	Cerdanyola del Vallès	Altamira - Turonet - Canaletes	0,442	Moderadamente Alta
019113	Barcelona	el Guinardó i l'Hospital de Sant Pau	0,435	Moderadamente Alta
019111	Barcelona	Can Baró	0,435	Moderadamente Alta
019124	Barcelona	Sant Joan d'Horta	0,432	Moderadamente Alta
015029	Badalona	Canyet - Mas Ram - Pomar de Dalt - Pomar	0,421	Moderadamente Alta
019101	Barcelona	el Sol, el Diamant, la Virreina i la Revolució	0,419	Moderadamente Alta
019122	Barcelona	la Vall d'Hebron i la Clota	0,414	Moderadamente Alta
019112	Barcelona	el Parc del Guinardó	0,402	Moderadamente Alta
180006	Ripollet	Sant Lluís	0,401	Moderadamente Alta
101022	Hospitalet de Llobregat, l'	Sant Josep - Tecla Sala	0,372	Moderadamente Alta
125002	Montcada i Reixac	Reixac - Vallençana - la Ribera	0,371	Moderadamente Alta
200011	Sant Boi de Llobregat	Ciutat Cooperativa	0,365	Moderadamente Alta
019030	Barcelona	Letamendi i la Universitat	0,354	Moderadamente Alta
015006	Badalona	Gorg - Congrés	0,353	Moderadamente Alta
019020	Barcelona	la Damm	0,350	Moderadamente Alta
019104	Barcelona	el Camp d'en Grassot	0,349	Moderadamente Alta
019105	Barcelona	la Sedeta	0,346	Moderadamente Alta
019028	Barcelona	els Camps Elisis i el cinc d'Oros	0,344	Moderadamente Alta
073007	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons Est	0,343	Moderadamente Alta
019188	Barcelona	la Verneda Alta	0,337	Moderadamente Alta
101025	Hospitalet de Llobregat, l'	Santa Eulàlia - Centre Nord	0,335	Moderadamente Alta
019170	Barcelona	el Mercat del Clot	0,324	Moderadamente Alta
015019	Badalona	la Pau	0,321	Moderadamente Alta

019119	Barcelona	la Teixonera	0,303	Moderadamente Alta
019136	Barcelona	Canyelles	0,303	Moderadamente Alta
019109	Barcelona	el Mas Casanovas	0,302	Moderadamente Alta
019154	Barcelona	Casa Bloc	0,294	Moderadamente Alta
019017	Barcelona	la Monumental	0,290	Moderadamente Alta
125005	Montcada i Reixac	Mas Rampinyo - Can Pomada - Carrerada - Pla d'en Coll	0,287	Moderadamente Alta
019023	Barcelona	Verdaguer	0,278	Moderadamente Alta
101021	Hospitalet de Llobregat, l'	Sant Josep - Centre	0,274	Moderadamente Alta
194005	Sant Adrià de Besòs	el Besòs - la Verneda	0,267	Moderadamente Alta
019110	Barcelona	el Parc de les Aigües	0,265	Moderadamente Alta
019068	Barcelona	les Corts Velles	0,263	Moderadamente Alta
019123	Barcelona	l'Eixample d'Horta	0,261	Moderadamente Alta
073004	Cornellà de Llobregat	Bonavista	0,255	Moderadamente Alta
019054	Barcelona	l'Alcaldia d'Hostafrancs	0,254	Moderadamente Alta
019047	Barcelona	la França Xica	0,239	Moderadamente Alta
019064	Barcelona	Can Novell - Plaça del Centre	0,230	Moderadamente Alta
015018	Badalona	Sistrells	0,220	Moderadamente Alta
019069	Barcelona	el Sòl de Baix	0,215	Moderadamente Alta
019185	Barcelona	Sant Martí Vell	0,214	Moderadamente Alta
019024	Barcelona	la Concepció	0,205	Moderadamente Alta
019099	Barcelona	la Llibertat i la Riera de Sant Miquel	0,203	Moderadamente Alta
015010	Badalona	Artigas	0,192	Moderadamente Alta
019057	Barcelona	Can Batlló	0,188	Moderadamente Alta
019019	Barcelona	el Poblet	0,184	Moderadamente Alta
019084	Barcelona	Galvany	0,183	Moderadamente Alta
019042	Barcelona	Mistral	0,183	Moderadamente Alta
019034	Barcelona	el Pilar	0,175	Moderadamente Alta
019013	Barcelona	Sant Pere	0,168	Moderadamente Alta
019179	Barcelona	el Besòs	0,164	Moderadamente Alta
019153	Barcelona	les Casernes	0,144	Moderadamente Alta
019088	Barcelona	el Farró	0,125	Moderadamente Alta
019022	Barcelona	la Sagrada Família	0,124	Moderadamente Alta

019087	Barcelona	Monterols	0,116	Moderadamente Alta
019027	Barcelona	el Quadrat d'Or i la Torre de les Aigües	0,115	Moderadamente Alta
101006	Hospitalet de Llobregat, l'	Can Serra	0,107	Moderadamente Alta
073008	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons - Torre la Miranda	0,104	Moderadamente Alta
019052	Barcelona	Can Sabater	0,103	Moderadamente Alta
056001	Castelldefels	Centre	0,102	Moderadamente Alta
019178	Barcelona	el Besòs Mar	0,090	Moderadamente Alta
019094	Barcelona	el Coll	0,089	Moderadamente Alta
019025	Barcelona	el Carlit	0,086	Moderadamente Alta
015022	Badalona	Lloreda	0,079	Moderadamente Alta
019148	Barcelona	Baró de Viver i la Maquinista	0,073	Moderadamente Alta
019029	Barcelona	Sant Miquel	0,068	Moderadamente Alta
205010	Sant Cugat del Vallès	Roquetes - Coll Favà - Sant Domènec	0,064	Moderadamente Alta
073005	Cornellà de Llobregat	Gavarrà	0,061	Moderadamente Alta
019150	Barcelona	Can Portabella	0,055	Moderadamente Alta
015012	Badalona	Sant Mori de Llefià - Carretera Antiga de València	0,048	Moderadamente Alta
019158	Barcelona	el Pont del Treball	0,048	Moderadamente Alta
019108	Barcelona	els Jardins del Príncep de Girona	0,043	Moderadamente Alta
200005	Sant Boi de Llobregat	Casablanca	0,043	Moderadamente Alta
019190	Barcelona	la Pau	0,039	Moderadamente Alta
019151	Barcelona	Sant Andreu Vell	0,036	Moderadamente Alta
054002	Castellbisbal	Centre i Eixample Nord - Costablanca - Santeugini - Nicolau - Can Costa - Compte Sert	0,027	Moderadamente Alta
205009	Sant Cugat del Vallès	Can Sant Joan - Sant Mamet - Vullpalleres - Can Barata - Sector Nord - Can Graells	0,015	Moderadamente Alta
019163	Barcelona	el Torrent de la Guineu	0,012	Moderadamente Alta
056002	Castelldefels	Vista Alegre - el Castell	0,007	Moderadamente Alta
019097	Barcelona	la Plaça Rovira	0,005	Moderadamente Alta
019072	Barcelona	la Font dels Ocellets i Santa Gemma	0,002	Moderadamente Alta
211005	Sant Feliu de Llobregat	Roses - Castellbell	0,002	Moderadamente Alta
015011	Badalona	Sant Mori de Llefià - Guasch	0,001	Moderadamente Alta
019036	Barcelona	les Editorials	0,001	Moderadamente Alta

Vulnerabilidad a los días tórridos

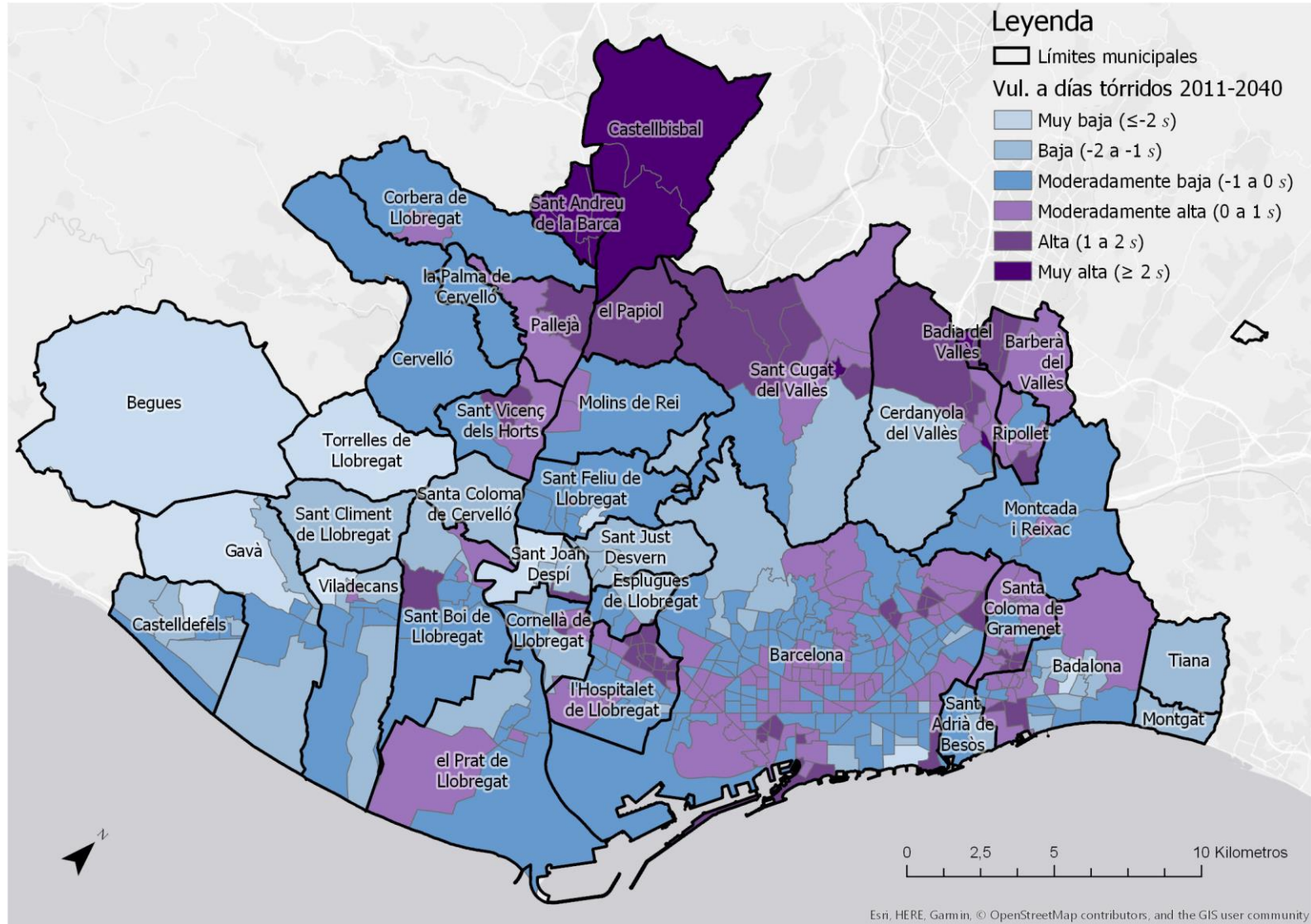


Tabla 7.4b. Puntuaciones de vulnerabilidad (DT)

AC	MUNICIPIO	NOMBRE AC	PUNTUACIÓN	VULNERABILIDAD
196001	Sant Andreu de la Barca	Centre	5,070	Muy Alta
054001	Castellbisbal	Centre i Eixample Sud - Santa Teresita - Canyet	3,905	Muy Alta
054002	Castellbisbal	Centre i Eixample Nord - Costablanca - Santeugini - Nicolau - Can Costa - Compte Sert	3,739	Muy Alta
196004	Sant Andreu de la Barca	el Palau	3,715	Muy Alta
196002	Sant Andreu de la Barca	la Solana	3,359	Muy Alta
196003	Sant Andreu de la Barca	Estació - Raval de Corbera - la Creu de Susalba	2,566	Muy Alta
205001	Sant Cugat del Vallès	Nucli Antic	2,419	Muy Alta
266002	Cerdanyola del Vallès	les Fontetes	2,221	Muy Alta
904001	Badia del Vallès	Badia vora Riu Sec	2,084	Muy Alta
904002	Badia del Vallès	Badia vora Barberà	1,862	Alta
019178	Barcelona	el Besòs Mar	1,796	Alta
101013	Hospitalet de Llobregat, l'	les Planes - el Parc	1,764	Alta
019012	Barcelona	Santa Caterina	1,748	Alta
158001	Papiol, el	el Papiol	1,687	Alta
205011	Sant Cugat del Vallès	Sant Francesc - Can Magí - el Coll	1,647	Alta
101011	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Parc dels Ocellets	1,637	Alta
101015	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Centre - Vallparda	1,615	Alta
252005	Barberà del Vallès	Can Gorgs - Ca n'Esteper	1,609	Alta
101008	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - la Bóbila	1,582	Alta
019141	Barcelona	Can Borràs	1,572	Alta
245012	Santa Coloma de Gramenet	Rambla del Fondo	1,559	Alta
180004	Ripollet	Can Mas	1,538	Alta
101018	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - Plaça Pirineus	1,459	Alta
101007	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - Can Vidalet	1,441	Alta
073006	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons Oest	1,356	Alta
101009	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - Can Rigalt	1,336	Alta
245014	Santa Coloma de Gramenet	Santa Rosa - Pirineus	1,331	Alta

157001	Pallejà	Centre	1,331	Alta
245013	Santa Coloma de Gramenet	el Fondo Alt	1,307	Alta
101012	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Avinguda Primavera	1,295	Alta
205006	Sant Cugat del Vallès	Mirasol - Mas Gener - Can Cabassa - Can Fontanals - Les Casetes de Can Ravella	1,276	Alta
266006	Cerdanyola del Vallès	la Clota - Cerdanyola 2000 - Banús	1,268	Alta
252001	Barberà del Vallès	Centre Nord - Can Llobet - Parc Central	1,268	Alta
019005	Barcelona	Ponent	1,255	Alta
263003	Sant Vicenç dels Horts	la Guàrdia - Sant Josep	1,252	Alta
019004	Barcelona	el Pedró	1,248	Alta
019140	Barcelona	les Cases de Charlot	1,242	Alta
073004	Cornellà de Llobregat	Bonavista	1,237	Alta
101017	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Mercat	1,234	Alta
015008	Badalona	Sant Roc - Plaça Roja	1,216	Alta
200006	Sant Boi de Llobregat	Camps Blancs	1,215	Alta
019003	Barcelona	la Riereta	1,208	Alta
101010	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Plaça Llibertat	1,201	Alta
252004	Barberà del Vallès	Centre Sud - Can Serra	1,185	Alta
101020	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - el Parc	1,184	Alta
019009	Barcelona	l'Escullera i l'Hospital del Mar	1,182	Alta
019147	Barcelona	la Trinitat Vella	1,155	Alta
019139	Barcelona	la Plaça de Verdun	1,151	Alta
101014	Hospitalet de Llobregat, l'	les Planes - Avinguda Catalunya	1,120	Alta
217005	Sant Joan Despí	les Planes	1,116	Alta
019132	Barcelona	el Mercat de la Mercè	1,082	Alta
015006	Badalona	Gorg - Congrés	1,081	Alta
205005	Sant Cugat del Vallès	Valldoreix - Colònia Montserrat - Can Galopa	1,064	Alta
019133	Barcelona	el Turó de la Peira i Can Peguera	1,044	Alta
266005	Cerdanyola del Vallès	Serraparera - Bellaterra	1,029	Alta
245003	Santa Coloma de Gramenet	Can Mariner	1,029	Alta
205007	Sant Cugat del Vallès	Turo de Can Mates - Bell Indret - Colonia Oller - Can Gatxet	1,017	Alta

019006	Barcelona	Tallers i els Àngels	1,010	Alta
019138	Barcelona	les Roquetes	1,005	Alta
123002	Molins de Rei	Centre Nord - la Granja	0,989	Moderadamente Alta
252003	Barberà del Vallès	Barri Antic - Polígons Ronda Santa Maria, Santiga i Salvatella	0,987	Moderadamente Alta
019142	Barcelona	Santa Engràcia	0,971	Moderadamente Alta
019145	Barcelona	la Trinitat Nova	0,967	Moderadamente Alta
263004	Sant Vicenç dels Horts	la Vailet - Can Ros - Molí dels Frares	0,963	Moderadamente Alta
205010	Sant Cugat del Vallès	Roquetes - Coll Favà - Sant Domènec	0,955	Moderadamente Alta
245015	Santa Coloma de Gramenet	Santa Rosa - Pont de Potosí	0,946	Moderadamente Alta
019137	Barcelona	la Mina de la Ciutat	0,941	Moderadamente Alta
073007	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons Est	0,932	Moderadamente Alta
180005	Ripollet	Can Tiana-Pont Vell	0,925	Moderadamente Alta
266007	Cerdanyola del Vallès	Cordelles - Can Xarau	0,918	Moderadamente Alta
101019	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - Plaça del Vidre	0,895	Moderadamente Alta
245002	Santa Coloma de Gramenet	Sagarra - Rambla de Sant Sebastià	0,890	Moderadamente Alta
019100	Barcelona	Rius i Taulet	0,884	Moderadamente Alta
101016	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Cementiri - Carretera	0,854	Moderadamente Alta
180003	Ripollet	Sant Andreu - Can Vargas	0,850	Moderadamente Alta
205009	Sant Cugat del Vallès	Can Sant Joan - Sant Mamet - Vullpalleres - Can Barata - Sector Nord - Can Graells	0,810	Moderadamente Alta
019144	Barcelona	la Flor de Neu	0,786	Moderadamente Alta
019010	Barcelona	Sant Miquel del Port	0,781	Moderadamente Alta
266008	Cerdanyola del Vallès	la Sínia - Catalunya - Carretera de Barcelona	0,777	Moderadamente Alta
200011	Sant Boi de Llobregat	Ciutat Cooperativa	0,765	Moderadamente Alta
180001	Ripollet	Centre - Maragall	0,739	Moderadamente Alta
019121	Barcelona	Montbau	0,737	Moderadamente Alta
019044	Barcelona	el Price	0,702	Moderadamente Alta
019117	Barcelona	l'Alt Carmel i el Turó de la Rovira	0,689	Moderadamente Alta
077002	Esplugues de Llobregat	Can Vidalet	0,684	Moderadamente Alta
211002	Sant Feliu de Llobregat	la Salut	0,683	Moderadamente Alta
019031	Barcelona	Sant Josep Oriol	0,681	Moderadamente Alta

015009	Badalona	Sant Roc - Camarón de la Isla	0,678	Moderadamente Alta
180002	Ripollet	Can Clos - els Pinetons	0,677	Moderadamente Alta
073005	Cornellà de Llobregat	Gavarra	0,674	Moderadamente Alta
019143	Barcelona	la Plaça Verda	0,668	Moderadamente Alta
019013	Barcelona	Sant Pere	0,666	Moderadamente Alta
019179	Barcelona	el Besòs	0,652	Moderadamente Alta
019146	Barcelona	Torre Baró, Ciutat Meridiana i Vallbona	0,651	Moderadamente Alta
073008	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons - Torre la Miranda	0,647	Moderadamente Alta
019118	Barcelona	el Baix Carmel	0,641	Moderadamente Alta
019102	Barcelona	l'Abaceria i la Plaça del Raspall	0,640	Moderadamente Alta
015029	Badalona	Canyet - Mas Ram - Pomar de Dalt - Pomar	0,639	Moderadamente Alta
019131	Barcelona	els Jardins d'Alfàbia	0,636	Moderadamente Alta
123001	Molins de Rei	Centre Sud - Canal - Mariona	0,614	Moderadamente Alta
169008	Prat de Llobregat, el	Sant Cosme - la Granja	0,612	Moderadamente Alta
019001	Barcelona	el Liceu i les Drassanes	0,602	Moderadamente Alta
019011	Barcelona	la Ribera	0,601	Moderadamente Alta
019160	Barcelona	el Congrés	0,592	Moderadamente Alta
263001	Sant Vicenç dels Horts	Nucli Antic - la Vinyala - el Poble Nou	0,563	Moderadamente Alta
101029	Hospitalet de Llobregat, l'	Bellvitge - Estació	0,561	Moderadamente Alta
019055	Barcelona	l'Àngel Custodi	0,554	Moderadamente Alta
245005	Santa Coloma de Gramenet	Riu Sud - Pont de Santa Coloma	0,551	Moderadamente Alta
019166	Barcelona	Xifré	0,547	Moderadamente Alta
245011	Santa Coloma de Gramenet	Llatí	0,541	Moderadamente Alta
015015	Badalona	la Salut Nord - Verge de la Salut	0,519	Moderadamente Alta
019149	Barcelona	el Bon Pastor	0,512	Moderadamente Alta
015017	Badalona	la Salut Sud - Mercat	0,511	Moderadamente Alta
019135	Barcelona	la Guineueta	0,510	Moderadamente Alta
015016	Badalona	la Salut Centre	0,506	Moderadamente Alta
019033	Barcelona	el Clínic	0,486	Moderadamente Alta
019098	Barcelona	la Plaça del Nord i Can Trilla	0,465	Moderadamente Alta

019047	Barcelona	la França Xica	0,452	Moderadamente Alta
019129	Barcelona	la Plaça de Sóller	0,429	Moderadamente Alta
019106	Barcelona	Can Romans	0,417	Moderadamente Alta
019048	Barcelona	Santa Madrona, la Satàlia i Montjuïc	0,416	Moderadamente Alta
266001	Cerdanyola del Vallès	Centre - Sant Ramon - Parcercs - Guiera	0,413	Moderadamente Alta
019111	Barcelona	Can Baró	0,411	Moderadamente Alta
019062	Barcelona	Santa Maria de Sants	0,393	Moderadamente Alta
019042	Barcelona	Mistral	0,384	Moderadamente Alta
019103	Barcelona	Joanic	0,379	Moderadamente Alta
205003	Sant Cugat del Vallès	Vila del Prat - Eixample Sud - Can Trabal	0,376	Moderadamente Alta
019035	Barcelona	l'Escola Industrial	0,373	Moderadamente Alta
252002	Barberà del Vallès	la Romànica - Can Rabella - Molí d'en Santo - Parc d'Europa	0,369	Moderadamente Alta
019018	Barcelona	els Enamorats	0,367	Moderadamente Alta
205008	Sant Cugat del Vallès	Parc Central - el Colomer - Pla de la Pagesa - Can Majó	0,364	Moderadamente Alta
015018	Badalona	Sistrells	0,353	Moderadamente Alta
019002	Barcelona	Sant Pau	0,311	Moderadamente Alta
245016	Santa Coloma de Gramenet	el Raval - Safaretjos	0,281	Moderadamente Alta
019190	Barcelona	la Pau	0,278	Moderadamente Alta
200009	Sant Boi de Llobregat	Marianao - Salesians	0,276	Moderadamente Alta
101030	Hospitalet de Llobregat, l'	Bellvitge - Mercat	0,274	Moderadamente Alta
019007	Barcelona	Santa Anna, el Pi i la Plaça Reial	0,272	Moderadamente Alta
019101	Barcelona	el Sol, el Diamant, la Virreina i la Revolució	0,270	Moderadamente Alta
019170	Barcelona	el Mercat del Clot	0,267	Moderadamente Alta
019061	Barcelona	el Mercat Nou	0,262	Moderadamente Alta
019030	Barcelona	Letamendi i la Universitat	0,261	Moderadamente Alta
169004	Prat de Llobregat, el	Eixample Nord	0,257	Moderadamente Alta
019046	Barcelona	els Tres Tombs	0,256	Moderadamente Alta
019125	Barcelona	Sant Marcel i les Franceses	0,254	Moderadamente Alta
101031	Hospitalet de Llobregat, l'	Bellvitge - Ermita i Hospital	0,247	Moderadamente Alta
019028	Barcelona	els Camps Elisis i el cinc d'Oros	0,246	Moderadamente Alta

019188	Barcelona	la Verneda Alta	0,243	Moderadamente Alta
015013	Badalona	Sant Antoni de Llefià	0,216	Moderadamente Alta
019021	Barcelona	els Jardins de la Indústria	0,215	Moderadamente Alta
245001	Santa Coloma de Gramenet	Centre	0,211	Moderadamente Alta
019120	Barcelona	Sant Genís dels Agudells	0,207	Moderadamente Alta
019165	Barcelona	Can Miralletes	0,205	Moderadamente Alta
019119	Barcelona	la Teixonera	0,187	Moderadamente Alta
019060	Barcelona	Can Mantega	0,176	Moderadamente Alta
101005	Hospitalet de Llobregat, l'	Sant Feliu	0,174	Moderadamente Alta
019063	Barcelona	l'Olivera Rodona i l'Espanya Industrial	0,171	Moderadamente Alta
019122	Barcelona	la Vall d'Hebron i la Clota	0,164	Moderadamente Alta
157002	Pallejà	la Magina - Fontpineda	0,156	Moderadamente Alta
019014	Barcelona	el Portal Nou	0,151	Moderadamente Alta
015007	Badalona	Sant Roc Sud - la Mora - el Remei	0,146	Moderadamente Alta
019167	Barcelona	Can Robacols	0,132	Moderadamente Alta
125001	Montcada i Reixac	Montcada Centre	0,129	Moderadamente Alta
245009	Santa Coloma de Gramenet	la Guinardera - Singuerlin Est - Torribera	0,121	Moderadamente Alta
015019	Badalona	la Pau	0,115	Moderadamente Alta
245008	Santa Coloma de Gramenet	les Oliveres - Can Franquesa	0,114	Moderadamente Alta
019027	Barcelona	el Quadrat d'Or i la Torre de les Aigües	0,111	Moderadamente Alta
019071	Barcelona	Can Bacardí, Collblanc, la Maternitat i Bederrida	0,108	Moderadamente Alta
019017	Barcelona	la Monumental	0,108	Moderadamente Alta
019058	Barcelona	l'Olivereta	0,107	Moderadamente Alta
019164	Barcelona	Trinxant	0,099	Moderadamente Alta
019104	Barcelona	el Camp d'en Grassot	0,090	Moderadamente Alta
301005	Viladecans	Montserratina - Mas Rates	0,089	Moderadamente Alta
019105	Barcelona	la Sedeta	0,087	Moderadamente Alta
019049	Barcelona	les Hortes de Sant Bertran	0,086	Moderadamente Alta
019189	Barcelona	la Verneda Baixa	0,083	Moderadamente Alta
072001	Corbera de Llobregat	Nucli Urbà	0,082	Moderadamente Alta

019056	Barcelona	Sant Medir	0,079	Moderadamente Alta
019084	Barcelona	Galvany	0,075	Moderadamente Alta
015024	Badalona	Sant Crist de Can Cabanyes	0,066	Moderadamente Alta
019034	Barcelona	el Pilar	0,065	Moderadamente Alta
019054	Barcelona	l'Alcaldia d'Hostafrancs	0,064	Moderadamente Alta
019185	Barcelona	Sant Martí Vell	0,064	Moderadamente Alta
019099	Barcelona	la Llibertat i la Riera de Sant Miquel	0,060	Moderadamente Alta
019020	Barcelona	la Damm	0,056	Moderadamente Alta
019115	Barcelona	els Quinze	0,052	Moderadamente Alta
019023	Barcelona	Verdaguer	0,048	Moderadamente Alta
019110	Barcelona	el Parc de les Aigües	0,044	Moderadamente Alta
101006	Hospitalet de Llobregat, l'	Can Serra	0,036	Moderadamente Alta
101022	Hospitalet de Llobregat, l'	Sant Josep - Tecla Sala	0,035	Moderadamente Alta
019109	Barcelona	el Mas Casanovas	0,024	Moderadamente Alta
015014	Badalona	Sant Joan de Llefia	0,012	Moderadamente Alta

Vulnerabilidad a las noches tropicales

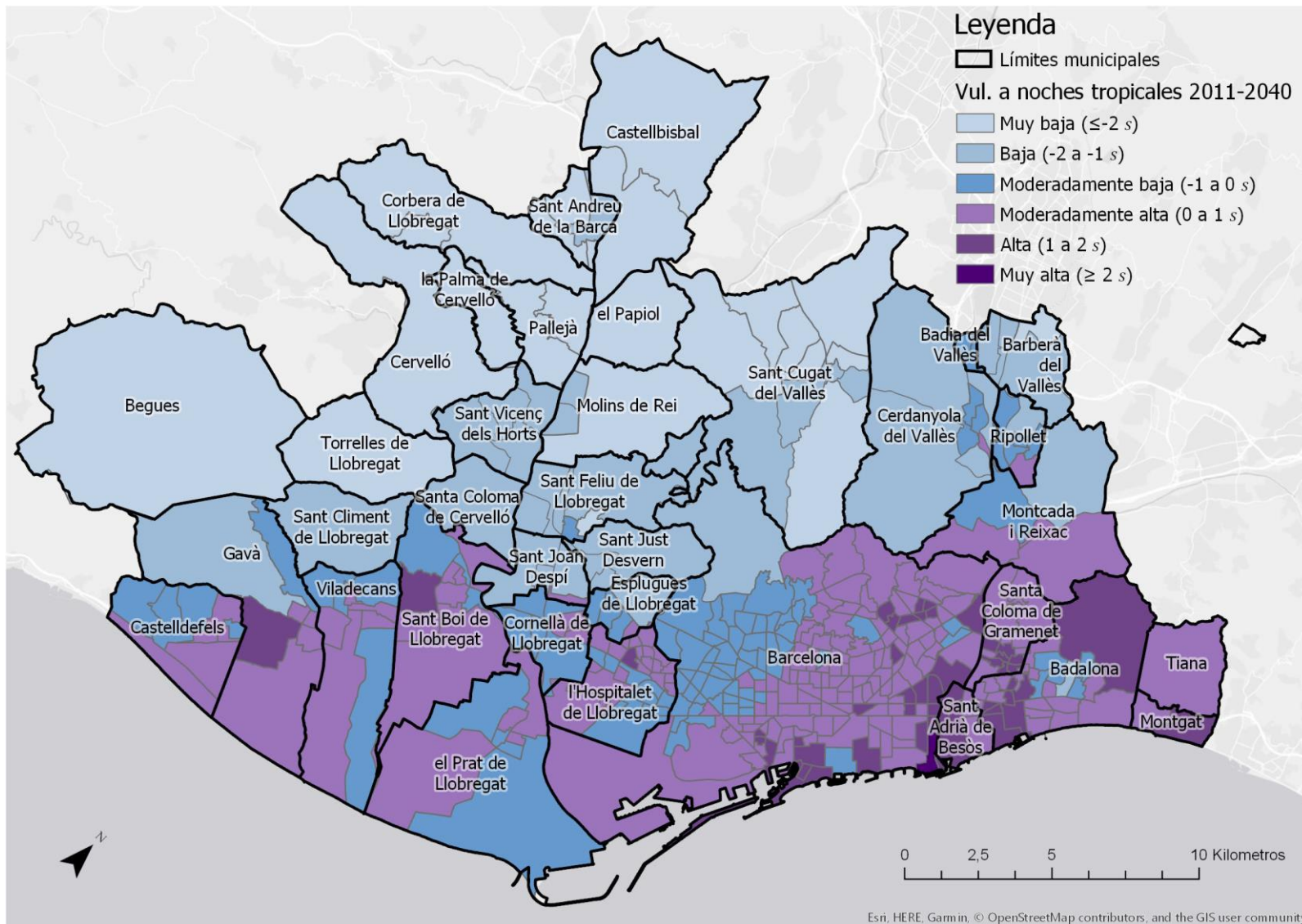


Tabla 7.4c. Puntuaciones de vulnerabilidad (TR)

AC	MUNICIPIO	NOMBRE AC	PUNTUACIÓN	VULNERABILIDAD
019178	Barcelona	el Besòs Mar	2,810	Muy Alta
015008	Badalona	Sant Roc - Plaça Roja	1,805	Alta
019009	Barcelona	l'Escullera i l'Hospital del Mar	1,740	Alta
015006	Badalona	Gorg - Congrés	1,734	Alta
019141	Barcelona	Can Borràs	1,734	Alta
019179	Barcelona	el Besòs	1,706	Alta
019012	Barcelona	Santa Caterina	1,670	Alta
245012	Santa Coloma de Gramenet	Rambla del Fondo	1,567	Alta
019010	Barcelona	Sant Miquel del Port	1,563	Alta
019011	Barcelona	la Ribera	1,490	Alta
015009	Badalona	Sant Roc - Camarón de la Isla	1,451	Alta
019190	Barcelona	la Pau	1,431	Alta
200006	Sant Boi de Llobregat	Camps Blancs	1,407	Alta
126001	Montgat	Montgat Barris de Llevant	1,407	Alta
245013	Santa Coloma de Gramenet	el Fondo Alt	1,380	Alta
019149	Barcelona	el Bon Pastor	1,365	Alta
019132	Barcelona	el Mercat de la Mercè	1,365	Alta
019188	Barcelona	la Verneda Alta	1,344	Alta
015007	Badalona	Sant Roc Sud - la Mora - el Remei	1,330	Alta
019133	Barcelona	el Turó de la Peira i Can Peguera	1,262	Alta
019140	Barcelona	les Cases de Charlot	1,260	Alta
194004	Sant Adrià de Besòs	la Mina - la Catalana	1,246	Alta
245014	Santa Coloma de Gramenet	Santa Rosa - Pirineus	1,246	Alta
019003	Barcelona	la Riereta	1,179	Alta
019185	Barcelona	Sant Martí Vell	1,173	Alta
019189	Barcelona	la Verneda Baixa	1,166	Alta
101013	Hospitalet de Llobregat, l'	les Planes - el Parc	1,166	Alta
019139	Barcelona	la Plaça de Verdun	1,161	Alta
089004	Gavà	les Panes	1,156	Alta
245015	Santa Coloma de Gramenet	Santa Rosa - Pont de Potosí	1,137	Alta

019142	Barcelona	Santa Engràcia	1,130	Alta
019147	Barcelona	la Trinitat Vella	1,129	Alta
019001	Barcelona	el Liceu i les Drassanes	1,125	Alta
015017	Badalona	la Salut Sud - Mercat	1,118	Alta
245002	Santa Coloma de Gramenet	Sagarra - Rambla de Sant Sebastià	1,117	Alta
194005	Sant Adrià de Besòs	el Besòs - la Verneda	1,116	Alta
015016	Badalona	la Salut Centre	1,114	Alta
015029	Badalona	Canyet - Mas Ram - Pomar de Dalt - Pomar	1,107	Alta
019131	Barcelona	els Jardins d'Alfàbia	1,104	Alta
019180	Barcelona	el Maresme i el Maresme Vell	1,094	Alta
019160	Barcelona	el Congrés	1,094	Alta
019173	Barcelona	el Taulat i la Plata	1,069	Alta
019170	Barcelona	el Mercat del Clot	1,061	Alta
019186	Barcelona	Júpiter	1,055	Alta
245003	Santa Coloma de Gramenet	Can Mariner	1,042	Alta
015018	Badalona	Sistrells	1,036	Alta
019004	Barcelona	el Pedró	1,034	Alta
245005	Santa Coloma de Gramenet	Riu Sud - Pont de Santa Coloma	1,022	Alta
015015	Badalona	la Salut Nord - Verge de la Salut	1,000	Moderadamente Alta
019005	Barcelona	Ponent	0,984	Moderadamente Alta
101007	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - Can Vidalet	0,983	Moderadamente Alta
015030	Badalona	Casagemes - Canyadó - Manresà - Guixeres	0,980	Moderadamente Alta
019143	Barcelona	la Plaça Verda	0,978	Moderadamente Alta
089002	Gavà	Nucli Antic - Carretera Santa Creu	0,976	Moderadamente Alta
019175	Barcelona	els Ciutadans	0,975	Moderadamente Alta
019129	Barcelona	la Plaça de Sóller	0,974	Moderadamente Alta
101008	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - la Bóbila	0,974	Moderadamente Alta
019166	Barcelona	Xifré	0,958	Moderadamente Alta
245016	Santa Coloma de Gramenet	el Raval - Safaretjos	0,954	Moderadamente Alta
019138	Barcelona	les Roquetes	0,953	Moderadamente Alta
056006	Castelldefels	Baixador - Lluminetes - La Pineda	0,936	Moderadamente Alta
019013	Barcelona	Sant Pere	0,930	Moderadamente Alta

019145	Barcelona	la Trinitat Nova	0,927	Moderadamente Alta
089003	Gavà	Gavà Mar	0,915	Moderadamente Alta
015013	Badalona	Sant Antoni de Llefià	0,898	Moderadamente Alta
301001	Viladecans	Barri Antic - Centre Sud	0,865	Moderadamente Alta
015001	Badalona	Centre	0,860	Moderadamente Alta
019181	Barcelona	Provençals i Ca l'Isidret	0,850	Moderadamente Alta
101011	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Parc dels Ocellets	0,841	Moderadamente Alta
019144	Barcelona	la Flor de Neu	0,841	Moderadamente Alta
101015	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Centre - Vallparda	0,827	Moderadamente Alta
015010	Badalona	Artigas	0,827	Moderadamente Alta
101009	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - Can Rigalt	0,824	Moderadamente Alta
019006	Barcelona	Tallers i els Àngels	0,819	Moderadamente Alta
245011	Santa Coloma de Gramenet	Llatí	0,815	Moderadamente Alta
019014	Barcelona	el Portal Nou	0,814	Moderadamente Alta
019117	Barcelona	l'Alt Carmel i el Turó de la Rovira	0,811	Moderadamente Alta
019002	Barcelona	Sant Pau	0,803	Moderadamente Alta
200005	Sant Boi de Llobregat	Casablanca	0,793	Moderadamente Alta
019176	Barcelona	l'Antiga Diagonal Mar	0,779	Moderadamente Alta
019137	Barcelona	la Mina de la Ciutat	0,772	Moderadamente Alta
301002	Viladecans	Can Sellarès - Pobllats Roca i Hospital - Can Palmer - Can Batllori - Can Xic	0,771	Moderadamente Alta
019135	Barcelona	la Guineueta	0,766	Moderadamente Alta
019184	Barcelona	el Pont de Bac de Roda	0,758	Moderadamente Alta
301005	Viladecans	Montserratina - Mas Rates	0,756	Moderadamente Alta
019156	Barcelona	la Rambla de Sant Andreu	0,756	Moderadamente Alta
126002	Montgat	Montgat Barris de Ponent	0,745	Moderadamente Alta
056001	Castelldefels	Centre	0,744	Moderadamente Alta
019118	Barcelona	el Baix Carmel	0,737	Moderadamente Alta
015014	Badalona	Sant Joan de Llefià	0,735	Moderadamente Alta
015019	Badalona	la Pau	0,728	Moderadamente Alta
019008	Barcelona	la Ciutat Romana i la Mercè	0,727	Moderadamente Alta
019125	Barcelona	Sant Marcel i les Franceses	0,715	Moderadamente Alta
194003	Sant Adrià de Besòs	Sant Joan Baptista - la Marina del Besòs	0,713	Moderadamente Alta

015004	Badalona	el Progrés - Pep Ventura	0,711	Moderadamente Alta
073006	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons Oest	0,711	Moderadamente Alta
015012	Badalona	Sant Mori de Llefià - Carretera Antiga de València	0,711	Moderadamente Alta
101018	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - Plaça Pirineus	0,709	Moderadamente Alta
015024	Badalona	Sant Crist de Can Cabanyes	0,708	Moderadamente Alta
019115	Barcelona	els Quinze	0,701	Moderadamente Alta
019018	Barcelona	els Enamorats	0,698	Moderadamente Alta
019121	Barcelona	Montbau	0,691	Moderadamente Alta
056005	Castelldefels	les Botigues - Can Bou - Mar i Sol	0,688	Moderadamente Alta
019048	Barcelona	Santa Madrona, la Satàlia i Montjuïc	0,685	Moderadamente Alta
019167	Barcelona	Can Robacols	0,679	Moderadamente Alta
101012	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Avinguda Primavera	0,676	Moderadamente Alta
194002	Sant Adrià de Besòs	Sant Adrià Nord - els Encants	0,674	Moderadamente Alta
019182	Barcelona	Can Ricart	0,673	Moderadamente Alta
015011	Badalona	Sant Mori de Llefià - Guasch	0,673	Moderadamente Alta
019183	Barcelona	els Porxos	0,661	Moderadamente Alta
019100	Barcelona	Rius i Taulet	0,657	Moderadamente Alta
245001	Santa Coloma de Gramenet	Centre	0,656	Moderadamente Alta
019171	Barcelona	el Parc de la Ciutadella, Ca l'Aranyó i Ratés	0,656	Moderadamente Alta
019049	Barcelona	les Hortes de Sant Bertran	0,651	Moderadamente Alta
073004	Cornellà de Llobregat	Bonavista	0,635	Moderadamente Alta
101020	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - el Parc	0,634	Moderadamente Alta
019146	Barcelona	Torre Baró, Ciutat Meridiana i Vallbona	0,631	Moderadamente Alta
101031	Hospitalet de Llobregat, l'	Bellvitge - Ermita i Hospital	0,626	Moderadamente Alta
019128	Barcelona	Can Garrigó	0,625	Moderadamente Alta
194001	Sant Adrià de Besòs	Sant Adrià Nord - Centre	0,624	Moderadamente Alta
019157	Barcelona	Can Masadas i el Camp del Ferro	0,618	Moderadamente Alta
101014	Hospitalet de Llobregat, l'	les Planes - Avinguda Catalunya	0,613	Moderadamente Alta
101010	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Plaça Llibertat	0,613	Moderadamente Alta
019046	Barcelona	els Tres Tombs	0,605	Moderadamente Alta
019155	Barcelona	el Mercadal	0,602	Moderadamente Alta
056004	Castelldefels	el Poble Vell	0,591	Moderadamente Alta

019159	Barcelona	la Sagrera Alta	0,587	Moderadamente Alta
019044	Barcelona	el Price	0,585	Moderadamente Alta
019161	Barcelona	els Indians	0,585	Moderadamente Alta
245009	Santa Coloma de Gramenet	la Guinardera - Singuerlin Est - Torribera	0,583	Moderadamente Alta
019164	Barcelona	Trinxant	0,565	Moderadamente Alta
019174	Barcelona	Can Felipa	0,562	Moderadamente Alta
019031	Barcelona	Sant Josep Oriol	0,560	Moderadamente Alta
089006	Gavà	Eixample - la Bòbila	0,555	Moderadamente Alta
019165	Barcelona	Can Miralletes	0,553	Moderadamente Alta
019017	Barcelona	la Monumental	0,533	Moderadamente Alta
019111	Barcelona	Can Baró	0,531	Moderadamente Alta
015003	Badalona	el Raval - Can Claris	0,521	Moderadamente Alta
019162	Barcelona	Sant Joan Bosco	0,518	Moderadamente Alta
019114	Barcelona	Maragall	0,514	Moderadamente Alta
101017	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Mercat	0,505	Moderadamente Alta
019122	Barcelona	la Vall d'Hebron i la Clota	0,497	Moderadamente Alta
245006	Santa Coloma de Gramenet	Riu Nord	0,496	Moderadamente Alta
019126	Barcelona	Can Cartellà	0,475	Moderadamente Alta
077002	Esplugues de Llobregat	Can Vidalet	0,474	Moderadamente Alta
019127	Barcelona	Virrei Amat i la Torre Llobeta	0,473	Moderadamente Alta
019163	Barcelona	el Torrent de la Guineu	0,473	Moderadamente Alta
019102	Barcelona	l'Abaceria i la Plaça del Raspall	0,465	Moderadamente Alta
019047	Barcelona	la França Xica	0,462	Moderadamente Alta
019168	Barcelona	la Parròquia del Clot	0,446	Moderadamente Alta
073007	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons Est	0,426	Moderadamente Alta
019020	Barcelona	la Damm	0,425	Moderadamente Alta
200009	Sant Boi de Llobregat	Marianao - Salesians	0,421	Moderadamente Alta
169004	Prat de Llobregat, el	Eixample Nord	0,420	Moderadamente Alta
019169	Barcelona	el Clot de la Mel	0,420	Moderadamente Alta
101029	Hospitalet de Llobregat, l'	Bellvitge - Estació	0,419	Moderadamente Alta
019042	Barcelona	Mistral	0,417	Moderadamente Alta
015022	Badalona	Lloreda	0,416	Moderadamente Alta

101030	Hospitalet de Llobregat, l'	Bellvitge - Mercat	0,411	Moderadamente Alta
019033	Barcelona	el Clínic	0,409	Moderadamente Alta
019130	Barcelona	Can Dragó	0,407	Moderadamente Alta
266002	Cerdanyola del Vallès	les Fontetes	0,406	Moderadamente Alta
089001	Gavà	Centre	0,389	Moderadamente Alta
019021	Barcelona	els Jardins de la Indústria	0,385	Moderadamente Alta
019150	Barcelona	Can Portabella	0,383	Moderadamente Alta
200004	Sant Boi de Llobregat	Vinyets Nord	0,382	Moderadamente Alta
101019	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - Plaça del Vidre	0,380	Moderadamente Alta
019119	Barcelona	la Teixonera	0,377	Moderadamente Alta
019106	Barcelona	Can Romans	0,376	Moderadamente Alta
019158	Barcelona	el Pont del Treball	0,373	Moderadamente Alta
169002	Prat de Llobregat, el	Casc Antic Est	0,368	Moderadamente Alta
217005	Sant Joan Despí	les Planes	0,358	Moderadamente Alta
245007	Santa Coloma de Gramenet	Singuerlin - Can Zam	0,355	Moderadamente Alta
245004	Santa Coloma de Gramenet	Riu Sud - Torre Balldovina	0,354	Moderadamente Alta
019112	Barcelona	el Parc del Guinardó	0,353	Moderadamente Alta
019113	Barcelona	el Guinardó i l'Hospital de Sant Pau	0,351	Moderadamente Alta
019007	Barcelona	Santa Anna, el Pi i la Plaça Reial	0,349	Moderadamente Alta
019098	Barcelona	la Plaça del Nord i Can Trilla	0,341	Moderadamente Alta
245008	Santa Coloma de Gramenet	les Oliveres - Can Franquesa	0,334	Moderadamente Alta
245010	Santa Coloma de Gramenet	Cementiri Vell - la Riera Alta - Llatí Nord	0,324	Moderadamente Alta
019019	Barcelona	el Poblet	0,324	Moderadamente Alta
169008	Prat de Llobregat, el	Sant Cosme - la Granja	0,321	Moderadamente Alta
019134	Barcelona	el Parc Central de Nou Barris	0,316	Moderadamente Alta
101016	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Cementiri - Carretera	0,314	Moderadamente Alta
019187	Barcelona	la Palmera	0,311	Moderadamente Alta
019124	Barcelona	Sant Joan d'Horta	0,278	Moderadamente Alta
019022	Barcelona	la Sagrada Família	0,275	Moderadamente Alta
019030	Barcelona	Letamendi i la Universitat	0,270	Moderadamente Alta
180004	Ripollet	Can Mas	0,268	Moderadamente Alta
019110	Barcelona	el Parc de les Aigües	0,264	Moderadamente Alta

019015	Barcelona	el Fort Pienc	0,261	Moderadamente Alta
056002	Castelldefels	Vista Alegre - el Castell	0,257	Moderadamente Alta
019109	Barcelona	el Mas Casanovas	0,256	Moderadamente Alta
019027	Barcelona	el Quadrat d'Or i la Torre de les Aigües	0,253	Moderadamente Alta
019028	Barcelona	els Camps Elisis i el cinc d'Oros	0,252	Moderadamente Alta
019050	Barcelona	Sant Cristòfol i la Marina del Prat Vermell	0,252	Moderadamente Alta
019016	Barcelona	els Encants, l'Auditori i el Teatre	0,247	Moderadamente Alta
200011	Sant Boi de Llobregat	Ciutat Cooperativa	0,247	Moderadamente Alta
019055	Barcelona	l'Àngel Custodi	0,245	Moderadamente Alta
073008	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons - Torre la Miranda	0,234	Moderadamente Alta
301008	Viladecans	Torre Roja - Levadura	0,233	Moderadamente Alta
019123	Barcelona	l'Eixample d'Horta	0,231	Moderadamente Alta
019151	Barcelona	Sant Andreu Vell	0,228	Moderadamente Alta
019025	Barcelona	el Carlit	0,228	Moderadamente Alta
019103	Barcelona	Joanic	0,225	Moderadamente Alta
019101	Barcelona	el Sol, el Diamant, la Virreina i la Revolució	0,224	Moderadamente Alta
019136	Barcelona	Canyelles	0,224	Moderadamente Alta
301007	Viladecans	Centre Nord	0,217	Moderadamente Alta
019120	Barcelona	Sant Genís dels Agudells	0,215	Moderadamente Alta
019024	Barcelona	la Concepció	0,211	Moderadamente Alta
019023	Barcelona	Verdaguer	0,208	Moderadamente Alta
019094	Barcelona	el Coll	0,205	Moderadamente Alta
125001	Montcada i Reixac	Montcada Centre	0,197	Moderadamente Alta
015005	Badalona	el Progrés - Pont del Petroli	0,196	Moderadamente Alta
169001	Prat de Llobregat, el	Casc Antic Oest	0,195	Moderadamente Alta
282001	Tiana	Tiana	0,189	Moderadamente Alta
125003	Montcada i Reixac	Can Sant Joan - Can Cuyàs	0,176	Moderadamente Alta
019148	Barcelona	Baró de Viver i la Maquinista	0,165	Moderadamente Alta
200001	Sant Boi de Llobregat	Centre	0,164	Moderadamente Alta
019177	Barcelona	la Nova Diagonal Mar i el Front Marítim del Poblenou	0,163	Moderadamente Alta
019104	Barcelona	el Camp d'en Grassot	0,156	Moderadamente Alta
019105	Barcelona	la Sedeta	0,153	Moderadamente Alta

019035	Barcelona	l'Escola Industrial	0,150	Moderadamente Alta
019154	Barcelona	Casa Bloc	0,143	Moderadamente Alta
101002	Hospitalet de Llobregat, l'	Centre - Carretera del Mig	0,136	Moderadamente Alta
019099	Barcelona	la Llibertat i la Riera de Sant Miquel	0,126	Moderadamente Alta
019043	Barcelona	els Salesians	0,114	Moderadamente Alta
200003	Sant Boi de Llobregat	Vinyets Sud - Molí Vell - Les Salines	0,110	Moderadamente Alta
019045	Barcelona	el Mercat de Sant Antoni	0,105	Moderadamente Alta
101001	Hospitalet de Llobregat, l'	Centre - Ajuntament	0,096	Moderadamente Alta
015028	Badalona	Morera	0,090	Moderadamente Alta
101005	Hospitalet de Llobregat, l'	Sant Feliu	0,074	Moderadamente Alta
073005	Cornellà de Llobregat	Gavarra	0,074	Moderadamente Alta
101006	Hospitalet de Llobregat, l'	Can Serra	0,060	Moderadamente Alta
019108	Barcelona	els Jardins del Príncep de Girona	0,059	Moderadamente Alta
015002	Badalona	Coll i Pujol - Dalt de la Vila	0,051	Moderadamente Alta
200008	Sant Boi de Llobregat	Marianao -Centre	0,038	Moderadamente Alta
019096	Barcelona	Sant Josep de la Muntanya	0,032	Moderadamente Alta
019029	Barcelona	Sant Miquel	0,029	Moderadamente Alta
015020	Badalona	Puigfred	0,029	Moderadamente Alta
019093	Barcelona	Vallcarca - la Farigola	0,026	Moderadamente Alta
101021	Hospitalet de Llobregat, l'	Sant Josep - Centre	0,017	Moderadamente Alta
019026	Barcelona	Catalunya i els Dominics	0,013	Moderadamente Alta
125002	Montcada i Reixac	Reixac - Vallença - la Ribera	0,011	Moderadamente Alta
019097	Barcelona	la Plaça Rovira	0,008	Moderadamente Alta
019095	Barcelona	el Coll del Portell	0,001	Moderadamente Alta

Vulnerabilidad a las noches tórridas

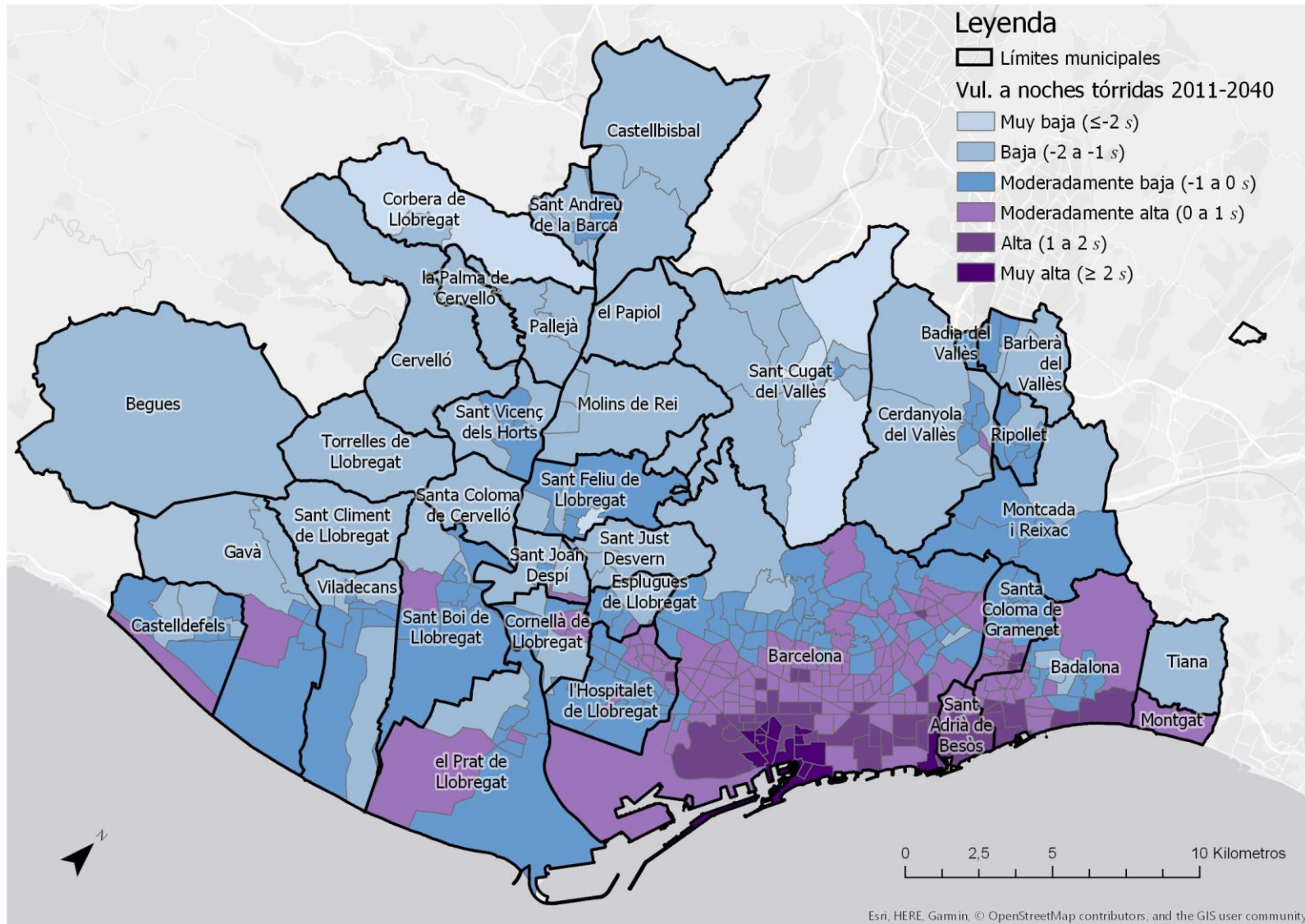


Tabla 7.4d. Puntuaciones de vulnerabilidad (TO)

AC	MUNICIPIO	NOMBRE AC	PUNTUACIÓN	VULNERABILIDAD
019178	Barcelona	el Besòs Mar	3,415	Muy Alta
019012	Barcelona	Santa Caterina	3,219	Muy Alta
019009	Barcelona	l'Escullera i l'Hospital del Mar	3,080	Muy Alta
019010	Barcelona	Sant Miquel del Port	2,997	Muy Alta
019001	Barcelona	el Liceu i les Drassanes	2,921	Muy Alta
019011	Barcelona	la Ribera	2,633	Muy Alta
019003	Barcelona	la Riereta	2,598	Muy Alta
019008	Barcelona	la Ciutat Romana i la Mercè	2,480	Muy Alta
019005	Barcelona	Ponent	2,367	Muy Alta
019004	Barcelona	el Pedró	2,282	Muy Alta
019002	Barcelona	Sant Pau	2,245	Muy Alta
019006	Barcelona	Tallers i els Àngels	2,199	Muy Alta
019049	Barcelona	les Hortes de Sant Bertran	2,090	Muy Alta
019013	Barcelona	Sant Pere	2,013	Muy Alta
019046	Barcelona	els Tres Tombs	2,011	Muy Alta
019044	Barcelona	el Price	1,925	Alta
015006	Badalona	Gorg - Congrés	1,855	Alta
019014	Barcelona	el Portal Nou	1,854	Alta
019173	Barcelona	el Taulat i la Plata	1,844	Alta
019007	Barcelona	Santa Anna, el Pi i la Plaça Reial	1,754	Alta
015007	Badalona	Sant Roc Sud - la Mora - el Remei	1,716	Alta
019031	Barcelona	Sant Josep Oriol	1,618	Alta
019175	Barcelona	els Ciutadans	1,589	Alta
019048	Barcelona	Santa Madrona, la Satàlia i Montjuïc	1,588	Alta
015008	Badalona	Sant Roc - Plaça Roja	1,544	Alta
019179	Barcelona	el Besòs	1,534	Alta
194004	Sant Adrià de Besòs	la Mina - la Catalana	1,459	Alta
019027	Barcelona	el Quadrat d'Or i la Torre de les Aigües	1,343	Alta
015001	Badalona	Centre	1,298	Alta
019180	Barcelona	el Maresme i el Maresme Vell	1,270	Alta

019190	Barcelona	la Pau	1,253	Alta
019045	Barcelona	el Mercat de Sant Antoni	1,247	Alta
019047	Barcelona	la França Xica	1,234	Alta
019176	Barcelona	l'Antiga Diagonal Mar	1,222	Alta
019174	Barcelona	Can Felipa	1,195	Alta
019042	Barcelona	Mistral	1,187	Alta
019170	Barcelona	el Mercat del Clot	1,172	Alta
019171	Barcelona	el Parc de la Ciutadella, Ca l'Aranyó i Ratés	1,169	Alta
019030	Barcelona	Letamendi i la Universitat	1,132	Alta
019100	Barcelona	Rius i Taulet	1,131	Alta
019141	Barcelona	Can Borràs	1,128	Alta
245012	Santa Coloma de Gramenet	Rambla del Fondo	1,106	Alta
019188	Barcelona	la Verneda Alta	1,091	Alta
019181	Barcelona	Provençals i Ca l'Isidret	1,085	Alta
194003	Sant Adrià de Besòs	Sant Joan Baptista - la Marina del Besòs	1,079	Alta
019033	Barcelona	el Clínic	1,065	Alta
015009	Badalona	Sant Roc - Camarón de la Isla	1,060	Alta
019102	Barcelona	l'Abaceria i la Plaça del Raspall	1,044	Alta
019025	Barcelona	el Carlit	1,041	Alta
101018	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - Plaça Pirineus	1,026	Alta
015030	Badalona	Casagemes - Canyadó - Manresà - Guixerès	1,021	Alta
019043	Barcelona	els Salesians	1,020	Alta
245013	Santa Coloma de Gramenet	el Fondo Alt	1,015	Alta
019026	Barcelona	Catalunya i els Dominics	1,001	Alta
019017	Barcelona	la Monumental	0,982	Moderadament Alta
019186	Barcelona	Júpiter	0,981	Moderadament Alta
019018	Barcelona	els Enamorats	0,975	Moderadament Alta
019166	Barcelona	Xifré	0,933	Moderadament Alta
019028	Barcelona	els Camps Elisis i el cinc d'Oros	0,923	Moderadament Alta
019172	Barcelona	la Vila Olímpica i el Bogatell	0,921	Moderadament Alta
019185	Barcelona	Sant Martí Vell	0,921	Moderadament Alta
019182	Barcelona	Can Ricart	0,916	Moderadament Alta

101013	Hospitalet de Llobregat, l'	les Planes - el Parc	0,906	Moderadamente Alta
015004	Badalona	el Progrés - Pep Ventura	0,885	Moderadamente Alta
019015	Barcelona	el Fort Pienc	0,878	Moderadamente Alta
019055	Barcelona	l'Àngel Custodi	0,856	Moderadamente Alta
245014	Santa Coloma de Gramenet	Santa Rosa - Pirineus	0,831	Moderadamente Alta
019024	Barcelona	la Concepció	0,823	Moderadamente Alta
019132	Barcelona	el Mercat de la Mercè	0,818	Moderadamente Alta
019035	Barcelona	l'Escola Industrial	0,803	Moderadamente Alta
101011	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Parc dels Ocellets	0,797	Moderadamente Alta
101015	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Centre - Vallparada	0,782	Moderadamente Alta
019177	Barcelona	la Nova Diagonal Mar i el Front Marítim del Poblenou	0,780	Moderadamente Alta
019040	Barcelona	la Casa Golferics	0,779	Moderadamente Alta
015017	Badalona	la Salut Sud - Mercat	0,754	Moderadamente Alta
019032	Barcelona	el Ninot	0,753	Moderadamente Alta
019023	Barcelona	Verdaguer	0,752	Moderadamente Alta
015016	Badalona	la Salut Centre	0,750	Moderadamente Alta
019149	Barcelona	el Bon Pastor	0,746	Moderadamente Alta
019189	Barcelona	la Verneda Baixa	0,733	Moderadamente Alta
015018	Badalona	Sistrells	0,729	Moderadamente Alta
101008	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - la Bóbila	0,724	Moderadamente Alta
019133	Barcelona	el Turó de la Peira i Can Peguera	0,724	Moderadamente Alta
101020	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - el Parc	0,721	Moderadamente Alta
015003	Badalona	el Raval - Can Claris	0,719	Moderadamente Alta
101007	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - Can Vidalet	0,699	Moderadamente Alta
019029	Barcelona	Sant Miquel	0,696	Moderadamente Alta
019039	Barcelona	els Llorers	0,688	Moderadamente Alta
019050	Barcelona	Sant Cristòfol i la Marina del Prat Vermell	0,684	Moderadamente Alta
019140	Barcelona	les Cases de Charlot	0,679	Moderadamente Alta
019160	Barcelona	el Congrés	0,673	Moderadamente Alta
015015	Badalona	la Salut Nord - Verge de la Salut	0,672	Moderadamente Alta
073006	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons Oest	0,660	Moderadamente Alta
019106	Barcelona	Can Romans	0,658	Moderadamente Alta

019167	Barcelona	Can Robacols	0,648	Moderadamente Alta
194005	Sant Adrià de Besòs	el Besòs - la Verneda	0,646	Moderadamente Alta
015005	Badalona	el Progrés - Pont del Petroli	0,644	Moderadamente Alta
019068	Barcelona	les Corts Velles	0,638	Moderadamente Alta
019062	Barcelona	Santa Maria de Sants	0,635	Moderadamente Alta
019099	Barcelona	la Llibertat i la Riera de Sant Miquel	0,630	Moderadamente Alta
101017	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Mercat	0,627	Moderadamente Alta
245003	Santa Coloma de Gramenet	Can Mariner	0,623	Moderadamente Alta
019064	Barcelona	Can Novell - Plaça del Centre	0,623	Moderadamente Alta
019063	Barcelona	l'Olivera Rodona i l'Espanya Industrial	0,622	Moderadamente Alta
019016	Barcelona	els Encants, l'Auditori i el Teatre	0,616	Moderadamente Alta
019098	Barcelona	la Plaça del Nord i Can Trilla	0,602	Moderadamente Alta
019069	Barcelona	el Sòl de Baix	0,598	Moderadamente Alta
101019	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - Plaça del Vidre	0,597	Moderadamente Alta
019060	Barcelona	Can Mantega	0,596	Moderadamente Alta
019019	Barcelona	el Poblet	0,593	Moderadamente Alta
019036	Barcelona	les Editorials	0,580	Moderadamente Alta
019183	Barcelona	els Porxos	0,579	Moderadamente Alta
019101	Barcelona	el Sol, el Diamant, la Virreina i la Revolució	0,575	Moderadamente Alta
245015	Santa Coloma de Gramenet	Santa Rosa - Pont de Potosí	0,570	Moderadamente Alta
019139	Barcelona	la Plaça de Verdun	0,566	Moderadamente Alta
019103	Barcelona	Joanic	0,565	Moderadamente Alta
019054	Barcelona	l'Alcaldia d'Hostafrancs	0,557	Moderadamente Alta
019037	Barcelona	la Model	0,553	Moderadamente Alta
019165	Barcelona	Can Miralletes	0,551	Moderadamente Alta
019020	Barcelona	la Damm	0,551	Moderadamente Alta
019022	Barcelona	la Sagrada Família	0,544	Moderadamente Alta
101009	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - Can Rigalt	0,533	Moderadamente Alta
073004	Cornellà de Llobregat	Bonavista	0,532	Moderadamente Alta
019142	Barcelona	Santa Engràcia	0,532	Moderadamente Alta
200006	Sant Boi de Llobregat	Camps Blancs	0,530	Moderadamente Alta
015029	Badalona	Canyet - Mas Ram - Pomar de Dalt - Pomar	0,527	Moderadamente Alta

169008	Prat de Llobregat, el	Sant Cosme - la Granja	0,520	Moderadamente Alta
019169	Barcelona	el Clot de la Mel	0,517	Moderadamente Alta
245002	Santa Coloma de Gramenet	Sagarra - Rambla de Sant Sebastià	0,515	Moderadamente Alta
019184	Barcelona	el Pont de Bac de Roda	0,510	Moderadamente Alta
019147	Barcelona	la Trinitat Vella	0,509	Moderadamente Alta
019061	Barcelona	el Mercat Nou	0,497	Moderadamente Alta
019131	Barcelona	els Jardins d'Alfàbia	0,484	Moderadamente Alta
217005	Sant Joan Despí	les Planes	0,481	Moderadamente Alta
015024	Badalona	Sant Crist de Can Cabanyes	0,462	Moderadamente Alta
101012	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Avinguda Primavera	0,455	Moderadamente Alta
019129	Barcelona	la Plaça de Sóller	0,452	Moderadamente Alta
019041	Barcelona	l'Escorxador	0,435	Moderadamente Alta
019104	Barcelona	el Camp d'en Grassot	0,433	Moderadamente Alta
019105	Barcelona	la Sedeta	0,431	Moderadamente Alta
101014	Hospitalet de Llobregat, l'	les Planes - Avinguda Catalunya	0,425	Moderadamente Alta
019084	Barcelona	Galvany	0,421	Moderadamente Alta
019168	Barcelona	la Parròquia del Clot	0,421	Moderadamente Alta
019034	Barcelona	el Pilar	0,415	Moderadamente Alta
019021	Barcelona	els Jardins de la Indústria	0,411	Moderadamente Alta
015013	Badalona	Sant Antoni de Llefià	0,407	Moderadamente Alta
019117	Barcelona	l'Alt Carmel i el Turó de la Rovira	0,405	Moderadamente Alta
019085	Barcelona	Tuset	0,402	Moderadamente Alta
019038	Barcelona	Sant Llorenç	0,396	Moderadamente Alta
015019	Badalona	la Pau	0,394	Moderadamente Alta
101010	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Plaça Llibertat	0,389	Moderadamente Alta
019138	Barcelona	les Roquetes	0,372	Moderadamente Alta
073007	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons Est	0,368	Moderadamente Alta
019143	Barcelona	la Plaça Verda	0,363	Moderadamente Alta
019118	Barcelona	el Baix Carmel	0,357	Moderadamente Alta
194002	Sant Adrià de Besòs	Sant Adrià Nord - els Encants	0,353	Moderadamente Alta
019145	Barcelona	la Trinitat Nova	0,327	Moderadamente Alta
126001	Montgat	Montgat Barris de Llevant	0,312	Moderadamente Alta

245005	Santa Coloma de Gramenet	Riu Sud - Pont de Santa Coloma	0,302	Moderadamente Alta
015010	Badalona	Artigas	0,298	Moderadamente Alta
245016	Santa Coloma de Gramenet	el Raval - Safaretjos	0,288	Moderadamente Alta
019065	Barcelona	les Infantes i la Colònia Castells	0,287	Moderadamente Alta
015014	Badalona	Sant Joan de Llefià	0,281	Moderadamente Alta
019109	Barcelona	el Mas Casanovas	0,280	Moderadamente Alta
245011	Santa Coloma de Gramenet	Llatí	0,266	Moderadamente Alta
019056	Barcelona	Sant Medir	0,259	Moderadamente Alta
101016	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Cementiri - Carretera	0,258	Moderadamente Alta
019066	Barcelona	Loreto i el Camp de la Creu	0,254	Moderadamente Alta
019187	Barcelona	la Palmera	0,248	Moderadamente Alta
126002	Montgat	Montgat Barris de Ponent	0,232	Moderadamente Alta
019125	Barcelona	Sant Marcel i les Franceses	0,221	Moderadamente Alta
019115	Barcelona	els Quinze	0,220	Moderadamente Alta
194001	Sant Adrià de Besòs	Sant Adrià Nord - Centre	0,219	Moderadamente Alta
019144	Barcelona	la Flor de Neu	0,214	Moderadamente Alta
019135	Barcelona	la Guineueta	0,211	Moderadamente Alta
019111	Barcelona	Can Baró	0,202	Moderadamente Alta
019159	Barcelona	la Sagrera Alta	0,201	Moderadamente Alta
019128	Barcelona	Can Garrigó	0,194	Moderadamente Alta
019137	Barcelona	la Mina de la Ciutat	0,192	Moderadamente Alta
089004	Gavà	les Panes	0,191	Moderadamente Alta
019121	Barcelona	Montbau	0,186	Moderadamente Alta
266002	Cerdanyola del Vallès	les Fontetes	0,181	Moderadamente Alta
015012	Badalona	Sant Mori de Llefià - Carretera Antiga de València	0,180	Moderadamente Alta
077002	Esplugues de Llobregat	Can Vidalet	0,179	Moderadamente Alta
019164	Barcelona	Trinxant	0,173	Moderadamente Alta
073008	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons - Torre la Miranda	0,172	Moderadamente Alta
073005	Cornellà de Llobregat	Gavarra	0,171	Moderadamente Alta
019051	Barcelona	la Mare de Déu de Port, Can Clos i el Polvorí	0,169	Moderadamente Alta
019059	Barcelona	Badal	0,167	Moderadamente Alta
019161	Barcelona	els Indians	0,166	Moderadamente Alta

019114	Barcelona	Maragall	0,158	Moderadamente Alta
019067	Barcelona	les Corts Noves, Can Rosés, Can Feu i Can Batllori	0,155	Moderadamente Alta
019110	Barcelona	el Parc de les Aigües	0,154	Moderadamente Alta
019156	Barcelona	la Rambla de Sant Andreu	0,150	Moderadamente Alta
019163	Barcelona	el Torrent de la Guineu	0,149	Moderadamente Alta
015011	Badalona	Sant Mori de Llefià - Guasch	0,141	Moderadamente Alta
019162	Barcelona	Sant Joan Bosco	0,131	Moderadamente Alta
019071	Barcelona	Can Bacardí, Collblanc, la Maternitat i Bederrida	0,122	Moderadamente Alta
169004	Prat de Llobregat, el	Eixample Nord	0,107	Moderadamente Alta
019058	Barcelona	l'Olivereta	0,097	Moderadamente Alta
056006	Castelldefels	Baixador - Lluminetes - La Pineda	0,092	Moderadamente Alta
019157	Barcelona	Can Masadas i el Camp del Ferro	0,082	Moderadamente Alta
019087	Barcelona	Monterols	0,079	Moderadamente Alta
019053	Barcelona	la Font de la Guatlla	0,071	Moderadamente Alta
101029	Hospitalet de Llobregat, l'	Bellvitge - Estació	0,036	Moderadamente Alta
019088	Barcelona	el Farró	0,032	Moderadamente Alta
245001	Santa Coloma de Gramenet	Centre	0,029	Moderadamente Alta
019108	Barcelona	els Jardins del Príncep de Girona	0,027	Moderadamente Alta
019086	Barcelona	Laforja	0,024	Moderadamente Alta
019097	Barcelona	la Plaça Rovira	0,008	Moderadamente Alta

7.5. Guía técnica para evaluar la vulnerabilidad de la población al calor extremo

Esta sección contiene una guía para calcular la vulnerabilidad de la población al calor extremo, según los pasos que se usaron para este TFM. Su objetivo principal es ayudar a realizar evaluaciones de vulnerabilidad en el futuro y reducir los impactos adversos del cambio climático. Los pasos que se presentan aquí se pueden personalizar a la metodología particular de cada usuario. Para consolidar los conceptos presentados y ver cómo se aplican, se recomienda ver la Sección 2 de este TFM en conjunto con esta guía. La numeración de los apartados de la Sección 2 coincide con los pasos presentados a continuación.

1. Revisión bibliográfica

Para realizar una evaluación de vulnerabilidad de la población al calor extremo, se comienza con una revisión de la literatura relevante para comprender mejor el concepto de vulnerabilidad, esfuerzos previos y variables aplicables al contexto geográfico/social de estudio. Esta revisión puede incluir:

- Evaluaciones de vulnerabilidad previas para el área de estudio.
- Planes, proyectos, artículos académicos y estudios científicos enfocados en la magnitud del peligro natural.
- Poblaciones potencialmente sensibles y factores de capacidad adaptativa que puede disminuir dicho peligro en el área de estudio.
- Para complementar la bibliografía cuando no existe cierta información para el área de estudio, se puede revisar proyectos relevantes a la vulnerabilidad de otras zonas geográficas, especialmente territorios y poblaciones con circunstancias similares al área de estudio.

2. Selección de los indicadores de vulnerabilidad

Después de la revisión bibliográfica, se determina los indicadores y variables respectivos que han tenido la mayor apoyo y significancia bibliográfica para el contexto del estudio. Se determina cuáles de dichas variables están disponibles a partir de fuentes locales para la escala necesaria de estudio.³ Al decidir la escala de estudio y recolectar los datos de las variables para dicha escala, se consolida una lista final en una hoja de cálculo de los indicadores, variables y los totales de los variables para cada unidad de estudio. Se recomienda usar tablas para organizar mejor la información y garantizar que los datos estén justificados. A modo de ejemplo se presenta la Tabla 2a 2b.

Tabla 2a. Datos de vulnerabilidad

ESCALA DE ESTUDIO: AC ID	TOTALES DE LAS VARIABLES:		INDICADOR: EDAD		INDICADOR: HOGAR
	<i>Población Total</i> 2017	<i>Hogar Total</i> 2011	<i>Variable:</i> <i>< 5 años</i>	<i>Variable:</i> <i>≥ 65 años</i>	<i>Variable: Hogares</i> <i>en Alquiler</i>
015001	7653	3570	342	1865	1105
015002	7870	3301	355	1716	516
015003	10752	4458	502	1977	891
015004	5458	2429	252	1145	610
015005	8565	3125	578	1248	680
015006	7633	3102	342	1907	389

³ La escala espacial y cartográfica de estudio debe ser de alta resolución para poder localizar intervenciones según los resultados de vulnerabilidad. Por lo cual, variables a escala municipal no son adecuadas. Las variables tienen que ser de escala de barrios u otra escala similar.

Tabla 2b. Justificación y organización de los datos de vulnerabilidad

INDICADOR	FUENTE	VARIABLES / AÑO	ESCALA	FUENTE
MAGNITUD DEL PELIGRO (EXPOSICIÓN)	Artículos, planes o proyectos que justifica el indicador o variable	Número de olas de calor, días de calor extremo, etc.	Escala original → escala del proyecto	Fuente de la variable
EDAD (SENSIBILIDAD)		Población < 5 años, población ≥ 65 años		
POBLACIÓN EXTRANJERA (SENSIBILIDAD)		Población nacida en el extranjero y/o ciertas nacionalidades/etnicidades consideradas como sensibles		
NIVEL SOCIOECONÓMICO (SENSIBILIDAD)		Población parada, población inactiva, ingreso familiar		
NIVEL DE EDUCACIÓN (SENSIBILIDAD)		Población ≥ 25 años sin estudios, población sin estudios obligatorios, etc.		
CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA (SENSIBILIDAD)		Hogares en alquiler, hogares unipersonales (especialmente ≥ 65 años), infravivienda		
VEGETACIÓN O AISLAMIENTO AL CALOR (CAPACIDAD ADAPTATIVA)		Media NDVI por escala de estudio, hogares con aire acondicionado, acceso a espacios frescos		

3. Agregación de las variables de vulnerabilidad

3a. Calculo del NDVI

Después de elegir los indicadores y las variables de vulnerabilidad al calor extremo, se debe calcular el Índice de Diferencia de Vegetación Normalizada (NDVI) con Sistemas de Información Geográfica (SIG). En primer lugar, se obtiene una imagen de satélite para el área de estudio, asegurándose que sea de un día del verano del año anterior y contenga menos de 5% de interferencia nubosa. Una imagen de 8 bits del satélite Sentinel tomada el 3 de agosto de 2017 se utilizó en este TFM. Una imagen del satélite de Landsat 8 y una ortofoto de resolución alta pueden ser otras fuentes adecuadas.

Se abre la imagen de satélite en un SIG (o múltiples imágenes si desea comparar los resultados de NDVI y elegir el mejor para el área de estudio). Una vez cargados los archivos, se muestra que éstos están compuestos de bandas numeradas, que corresponden a diferentes longitudes de onda. Se determina qué bandas corresponden a las longitudes de onda roja e infrarroja. Seguidamente, se busca en el SIG la herramienta NDVI, y se escoge las bandas de onda roja e infrarroja para calcular el NDVI. El output será un ráster con los valores de NDVI. Se debe confirmar que el NDVI es correcto comparando el ráster con otros mapas de vegetación disponibles del área de estudio.



3b. Conversión de los datos a la misma escala

Con el NDVI calculado, se debe convertir todas las variables a la misma escala espacial para realizar el cálculo de la vulnerabilidad. En este TFM, los datos de NDVI y exposición están disponibles como archivos ráster, que son mapas compuestos por celdas que representan valores de variables continuas del medio físico como son, por ejemplo, la temperatura, la altitud, etc. Para convertir estos archivos ráster en agrupaciones censales (AC), hay que cargarlos en un SIG y completar los pasos a continuación. Para este TFM, seguir estos pasos resulta en la media del NDVI y los cuatro escenarios de exposición al calor extremo para las 411 agrupaciones censales del área metropolitana de Barcelona.

Eliminar valores decimales con la Calculadora Ráster

Primero, se tiene que convertir los ráster a polígonos. Para hacerlo, los ráster no pueden tener valores decimales. Se carga el ráster deseado en ArcGIS y se utiliza la herramienta “Calculadora Ráster” (en *Spatial Analyst*) para multiplicar el ráster con un número múltiplo de 10 para eliminar los valores decimales. En el TFM, se multiplica por 1.000.000, porque los ráster tienen valores flotantes con seis dígitos decimales.

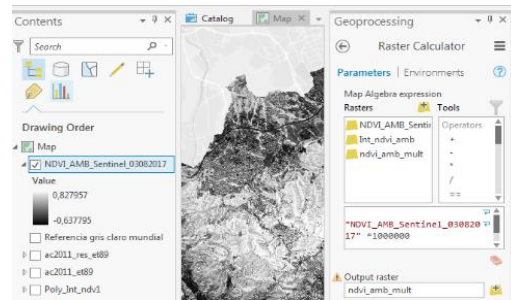


Ilustración 2. Calculadora ráster

Convertir a un tipo entero con Int

Se abre la herramienta “Int” (en *Spatial Analyst*) y se inserta el ráster creado en el paso anterior para convertirlo a un tipo entero.

Convertir el ráster a polígono

Para convertir el ráster a polígono, se abre la herramienta “Ráster a Polígono” (en *Herramientas de Conversión*) y se carga el ráster creado en el paso anterior. Se marca la caja “Simplificar Polígonos” en blanco, para que el borde de los polígonos se ajuste exactamente a los bordes de la celda del ráster de entrada.

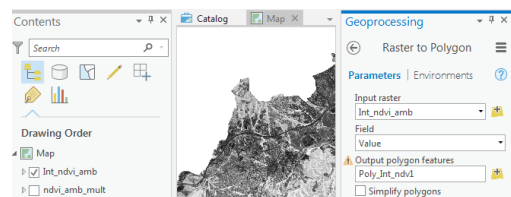


Ilustración 3: Ráster a polígono

Obtener los valores decimales originales

Se abre la tabla de atributos del nuevo polígono creado en el paso anterior. Se edita la tabla, se agrega un campo tipo flotante a la tabla, y se nombra la tabla. En el ejemplo de la Ilustración 5 que se muestra a la derecha, llamamos el campo MediaNDVI. Seguidamente, se usa la herramienta “calculadora de campo” para el campo creado. Se divide el mismo múltiplo de diez que se utilizó en el primer paso del campo “gridcode”.

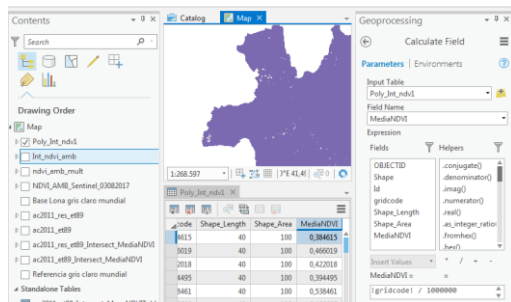


Ilustración 4. Calculadora de campo

Intersecar polígono con la escala de estudio

Ahora que el polígono tiene los valores de la cuadrícula original del ráster (p. ej. NDVI o exposición), se debe comenzar el proceso para obtener la media del NDVI (p. ej.) por la escala espacial interesada (el determinado para todas las variables del proyecto). Se utiliza la herramienta “Intersecar” para cruzar el polígono creado en los pasos anteriores con el *shapefile* de la escala espacial interesada (p. ej. agrupaciones censales).

Resumir datos a la escala espacial de estudio

Se abre la herramienta “resumir” y se selecciona la intersección creada en el paso anterior como la tabla de entrada. Se cree un nombre para la tabla de salida donde se guardarán los datos. Se ingresan los valores de estudio que se quiere resumir y se selecciona MEDIA en “campos estadísticos”. En “campo de caso”, se coloca la escala de estudio se desee resumir. En este TFM, la escala espacial es agrupaciones censales que se muestran como “ac2011”. Por tanto, el resultado es una tabla de los valores medios de NDVI para los 411 AC del AMB.

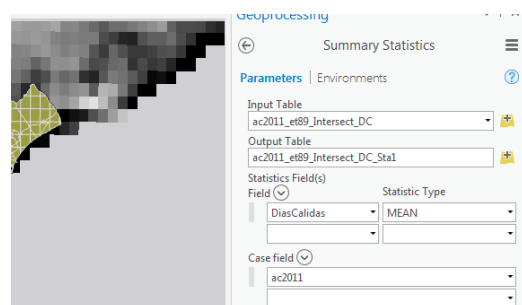


Ilustración 5. Resumir datos

Exportar tabla a Excel

En este punto, los datos NDVI (o exposición) están convertidos a agrupaciones censales. Se exporta la tabla del *shapefile* a Microsoft Excel con la herramienta “Tabla a Excel”, para poder usar los datos luego en el cálculo de vulnerabilidad.

3c. Análisis estadístico de los datos de sensibilidad y capacidad adaptativa

Preparar datos

Con todas las variables en la misma escala espacial, se lleva a cabo un análisis de componentes principales (PCA) con los variables de sensibilidad y capacidad adaptativa. El PCA permite agregar y representar las variables mediante sus efectos sinérgicos, al obtener correlaciones estadísticamente significativas entre las variables y agruparlas en componentes como puntuaciones. Para preparar estas variables para el programa estadístico SPSS, se hace lo siguiente:

- Se calcula el porcentaje de todos los datos en relación con su total respectivo para cada unidad de estudio (p. ej., se divide la población ≥ 65 años entre el valor total de la población para cada respectiva AC).
- Se eliminan los espacios de los nombres de las variables (p. ej. HogarAlquiler)
- Se rellenan y/o eliminan variables con valores perdidos; SPSS no puede procesar datos con huecos. Se toma en cuenta, sin embargo, que el relleno de huecos de los datos agrega más incertidumbre al proyecto. Por tanto, la aproximación solo se debería hacer si la variable es sumamente importante y si el cálculo es para menos del 10% del total de datos de la variable en cuestión. En la evaluación de este TFM, los valores perdidos cuentan un 4% del total de los datos.

El cálculo de rellenar huecos en los datos se puede hacer de varias maneras, según las deficiencias de los datos y su disponibilidad. Para este TFM, se siguió los siguientes pasos. Primero, se abrió una nueva hoja en Excel con las variables que contenían valores perdidos y se añadió los totales respectivos para cada variable. Se relleno en gris los datos perdidos para destacarlos y se añadió una columna llamada “Calc” al lado de cada columna de datos (para hacer el cálculo de los huecos). Se calculó los porcentajes de los datos reales para cada municipio donde existía algún dato perdido, dividiendo el dato real por su respectivo total de cada AC. Por último, se calculó el promedio de estos porcentajes por municipio y su resultado se multiplicó por el total del dato real perdido. Esta metodología permite rellenar huecos en los datos de manera sensible y relativa al total de la escala de estudio. En otras palabras, este cálculo no sobreestima los valores perdidos en relación con su total. Para una visualización de este proceso, se puede consultar la Tabla 3c a continuación como orientación.

Tabla 3c. Ejemplo de cómo estimar valores perdidos

AC ID	MUNICIPIO	TOTAL EDUCACIÓN	POB ≥ 25 SÍN ESTUDIOS	CALC
089001	Gavà	3536	333	0,09 (=3536/333)
089002	Gavà	5272	704	0,13 (=5272/704)
089003	Gavà	3951	446	446 (=mean of #1-6 multiplicado por 3951)
089004	Gavà	5154	788	0,15 (=5154/788)
089005	Gavà	3837	263	0,07 (=3837/263)
089006	Gavà	7370	896	0,12 (=3536/896)
089007	Gavà	4814	708	0,15 (=4814/708)

Importar datos y empezar análisis factorial

Se importan los datos a SPSS con todas las características preseleccionadas marcadas. Una vez que se importados, se comienza el Análisis de Componentes Principales (PCA). Se hace clic en Analizar > Reducción de dimensiones > Factor. Se debe seleccionar todas las variables con la flecha derecha.

Posteriormente, se selecciona extracción > y gráfico de sedimentación (con todas las características preseleccionadas marcadas), y el botón continuar. Se sale de la pestaña de extracción y se presiona la opción “aceptar” para realizar el PCA.⁴

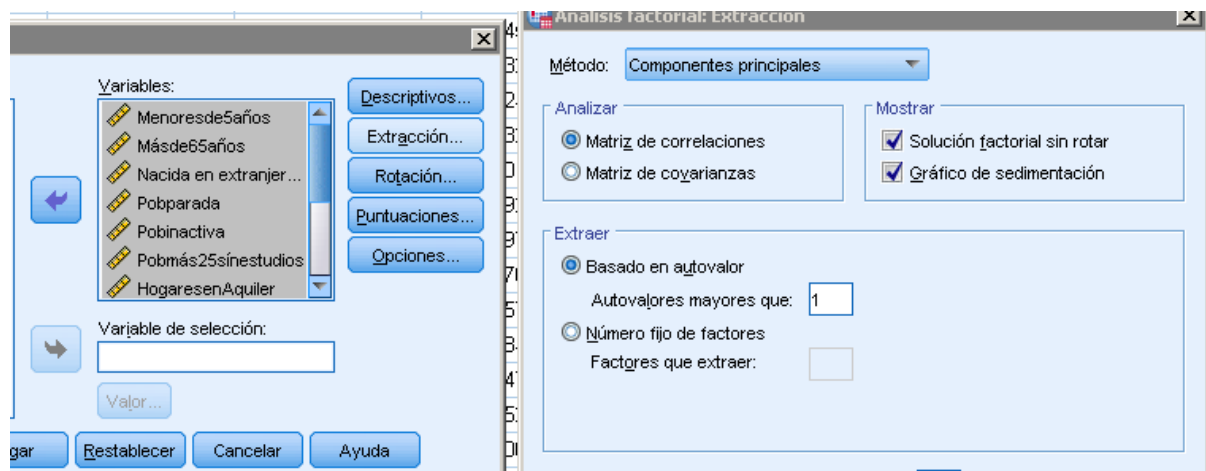


Ilustración 6. Cómo extraer el gráfico de sedimentación en el PCA

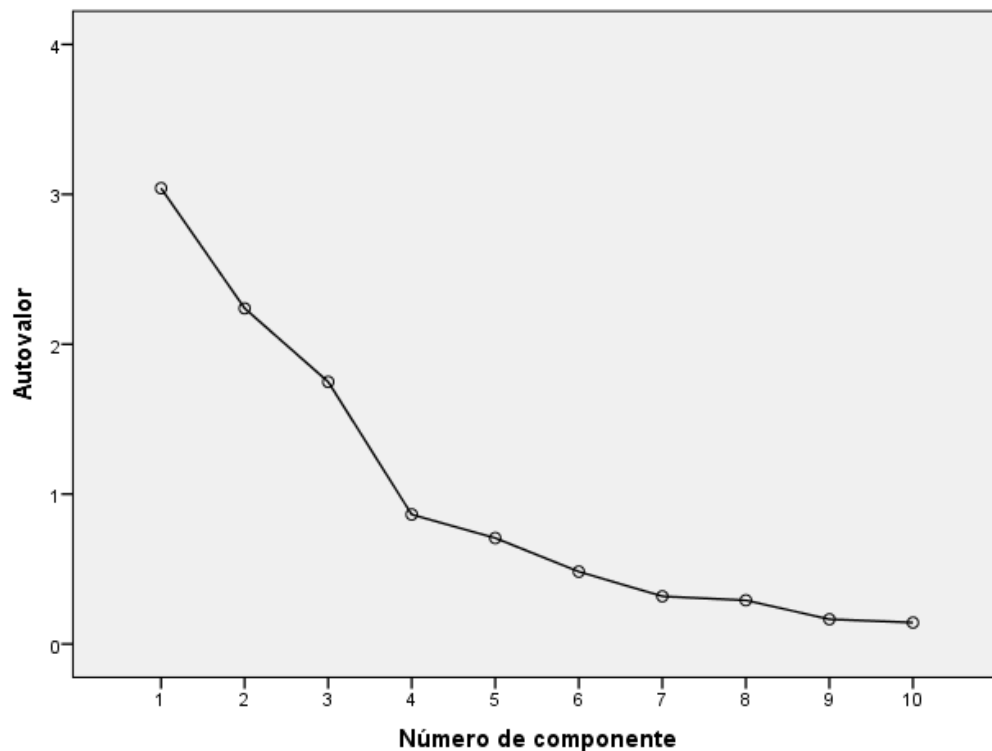


Ilustración 7. Gráfico de sedimentación utilizada en la evaluación del TFM

⁴ Nota: Aunque la mayoría de los estudios normalizan las variables con puntuaciones z antes de ingresarlas en SPSS, no se encontró una diferencia en los resultados en este estudio. Esto probablemente se deba a la normalización que ocurre cuando cada variable se convierte a un porcentaje de su universo y el uso de una matriz de correlaciones en el PCA.

Analizar matriz de componentes

Los resultados del análisis de componentes principales (PCA) aparecerán en una página diferente llamada resultados (*output*). Se debe analizar el gráfico de sedimentación, la tabla de varianza explicada total y la matriz de componentes. A partir del gráfico de sedimentación y la tabla de varianza total explicada, se verá cuántos componentes explican la mayor parte de la varianza de los datos. Se debe tener en cuenta este número. En la matriz de componentes, se puede ver cómo las variables originales se agrupan en componentes con valores fraccionarios (llamados cargas factoriales) correspondientes a los coeficientes de correlación entre las variables originales y cada nueva variable o *componente principal*. Se puede determinar qué variable original corresponde a qué componente por el valor de la carga. Las variables que tienen cargas con valores absolutos superiores a 0,5 corresponden a un componente y cargas con valores absolutos superiores a 0,7 se consideran estadísticamente significativos. Al analizar la matriz de componentes, se puede eliminar aquellas variables que se correlacionan de manera insignificante o que producen resultados confusos, como se describe en la Sección 3.5 de este TFM.

Repetir análisis factorial

Se debe repetir el análisis factorial (Analizar > Reducción de dimensiones > Factor), esta vez seleccionado:

- Extracción > Factores a extraer > (insertar la cantidad de componentes que se analizó como significativos en el paso anterior)
- Rotación > Varimax
- Puntuaciones > Guardar como variables

Repetir análisis de la matriz de componentes rotados

En la ventana de resultados, se verá una nueva sección de la PCA repetida. Se debe analizar la varianza explicada y la tabla de la matriz de componentes rotados. Se observa la diferencia de cómo la rotación de Varimax divide la varianza de forma más equitativa entre los componentes. Se debe tener en cuenta la varianza explicada para cada componente después de la rotación en el siguiente paso de sumar las puntuaciones.

Sumar puntuaciones PCA y exportar a Excel

Se regresa a la matriz de datos original con que se cargó las variables en SPSS. A la derecha aparecen las puntuaciones de componentes principales. Se suman las puntuaciones de cada componente según la varianza explicada determinada en el paso anterior, haciendo clic en Transformar > Calcular Variable. Se deben normalizar los resultados con puntuaciones Z haciendo clic en Analizar > Estadísticas descriptivas > Descriptivos > Guardar como variables. Se exportan estas puntuaciones normalizadas de la agregación de sensibilidad y capacidad adaptativa a Excel.

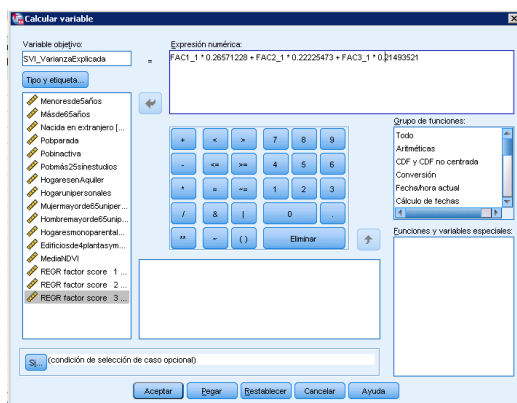


Ilustración 6. Sumar PCA puntuaciones

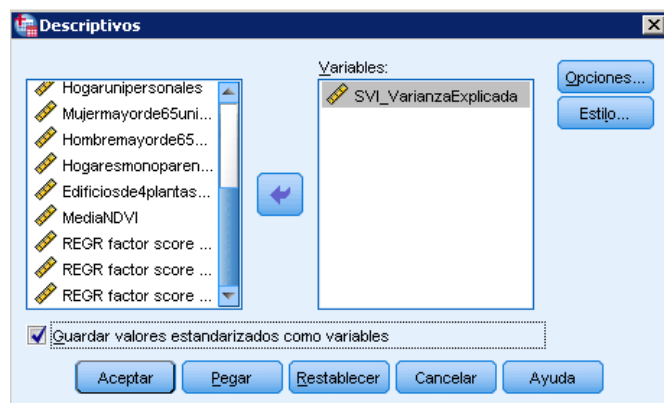


Ilustración 7. Normalizar puntuaciones del PCA

Normalizar variables de exposición y exportarlas a Excel

Se abren los cuatro conjuntos de datos de exposición en SPSS y se convierten en puntuaciones z (puntuaciones estándar). Se exportan las variables de exposición normalizadas a Excel.

3d. Cálculo de las puntuaciones de vulnerabilidad

Se suman los datos normalizados de exposición (p. ej. DC, DT, TR y TO) con las variables normalizadas de sensibilidad y capacidad adaptativa del PCA. Esta suma de nuevo se normaliza por puntuaciones z para obtener las puntuaciones de vulnerabilidad y poder cartografiarlas por desviaciones estándar, como se ve en la Tabla 3d. Seguidamente, se exporta a otra hoja de Excel las puntuaciones de vulnerabilidad con la columna de identificadores numéricos de la escala espacial del estudio.

Tabla 3d. Cómo obtener puntuaciones de vulnerabilidad

Cálculo de vulnerabilidad			Puntuaciones de vulnerabilidad para cartografiar en SIG	
EXPOSICIÓN (datos normalizados de DC, DT, TR, o TO)	SENSIBILIDAD - CAPACIDAD ADAPTIVA (resultado normalizado del PCA)	Suma	PUNTUACIÓN DE VULNERABILIDAD (suma normalizada)	AC ID (identificador geográfico para SIG)
-2,10	0,196	-1,9	-1,5	015001
-1,35	-0,514	-1,9	-1,4	015002
-1,70	0,049	-1,6	-1,3	015003
-1,71	0,305	-1,4	-1,1	015004
-2,01	-0,802	-2,8	-2,2	015005
-1,38	1,837	0,5	0,4	015006
-1,88	0,760	-1,1	-0,9	015007

Opcional: cartografiar datos de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa.

Si se desea cartografiar los datos de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptativa, como se muestra en el apéndice 7.2-7.3, se deben normalizar los datos en SPSS y exportar a Excel. Se debe añadir una columna en Excel de identificadores que correspondan con los datos y los *shapefiles* para el próximo paso.

4. Localización de la vulnerabilidad mediante técnicas SIG

Se deben importar las tablas de las puntuaciones de vulnerabilidad normalizadas en SIG y unir las a los *shapefiles* de la escala correspondiente del proyecto, mediante los identificadores numéricos (p. ej., AC ID). Esto genera mapas con puntuaciones de vulnerabilidad de la población al calor extremo. Como los datos se normalizaron por puntuaciones z, se deben clasificar estos mapas manualmente por desviaciones estándar (p. ej. 6 franjas) que corresponden a vulnerabilidad muy baja a muy alta. Se modifica la clasificación de valores en la opción “simbología” de forma manual para obtener las franjas por números enteros de desviaciones estándar.

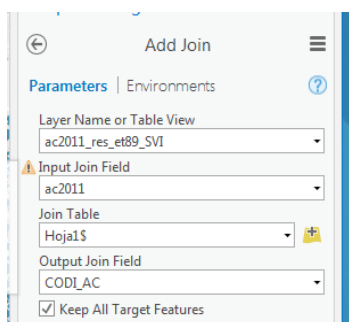


Ilustración 8. Unir puntuaciones

Symbol	Upper value	Label
	≤ -2.0	Muy baja (≤ -2 s)
	≤ -1.0	Baja (-2 a -1 s)
	≤ 0.0	Moderadamente baja (-1 a 0 s)
	≤ 1.0	Moderadamente Alta (0 a 1 s)
	≤ 2.0	Alta (1 a 2 s)
	≤ 3.0	Muy alta (≥ 2 s)

Ilustración 9. Modificar clasificaciones

University of Barcelona
Master in Territorial Planning and Environmental Management
Final Master's Project

An extreme heat vulnerability assessment for
the metropolitan area of Barcelona.

A technical guide to calculate vulnerability and
recommendations for future action and study.

By:

Julia Isabella Cannata Pechs

Advisor from University of Barcelona:

Dr. Joan Albert López Bustins

Supervisors from Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB):

Ana Romero Calix y Ernest Ruiz Almar

September 2018

Abstract

This final master's project includes a vulnerability assessment to extreme heat for the metropolitan area of Barcelona (Section 3), recommendations for future research and climate action (Section 4), and a technical guide to calculate vulnerability to extreme heat (Appendix 7.5).

Extreme heat vulnerability for the RCP 4.5 (2011-2040) scenario is calculated using a justified and simplified vulnerability methodology that uses a principal component analysis (PCA) and z-score normalization to obtain vulnerability scores. Vulnerability scores for hot days (HD), torrid days (TD), tropical nights (TR) and torrid nights (TO) are mapped with a Geographic Information System (GIS). The highly vulnerable zones are dispersed throughout the metropolitan area and change depending on the synergistic aggregation of which extreme heat scenario is used, the sensitivity of the population, and the adaptive capacity of the area in question. In general, the results show more vulnerability in the northeastern part for hot/torrid days and the southeastern part of the metropolitan territory for tropical/torrid nights. The results are shown in more detail in Section 3, Appendix 7.4, and the following map viewer <https://arcgis/1frKKn>.

Key words: climate change, natural hazards, sensitivity, NDVI, social vulnerability, metropolitan area of Barcelona, index and vulnerability map, technical guide, public health, environmental health, climate action planning, climate adaptation, resource allocation, implementation strategies.

Resumen

Este trabajo proporciona una evaluación de vulnerabilidad al calor extremo para el área metropolitana de Barcelona (Sección 3), recomendaciones para futuras investigaciones y líneas de acción (Sección 4) y una guía técnica para calcular la vulnerabilidad de la población al calor extremo (Apéndice 7.5).

La vulnerabilidad al calor extremo para el escenario de RCP 4.5 (2011-2040) se calcula utilizando una metodología de vulnerabilidad simplificada y justificada, que utiliza un análisis de componentes principales (PCA) y la normalización de puntuaciones z para obtener puntuaciones de vulnerabilidad. Las puntuaciones de vulnerabilidad para días cálidos (DC), días tórridos (DT), noches tropicales (TR) y noches tórridas (TO) se cartografían con un Sistema de Información Geográfica (SIG). Las zonas más vulnerables se dispersan en el territorio metropolitano y cambia dependiendo de la agregación sinérgica del escenario de calor extremo, la sensibilidad de la población y la capacidad adaptiva de la zona en cuestión. De forma general, los resultados demuestran más vulnerabilidad en el noreste para los días cálidos/tórridos y en el sureste del territorio metropolitano para las noches tropicales/tórridas. Se pueden ver los resultados con más detalle en la Sección 3, el Apéndice 7.4 y el visor <https://arcgis/10iPLz>.

Palabras claves: cambio climático, calor extremo, riesgos naturales, sensibilidad, NDVI, vulnerabilidad social, área metropolitana de Barcelona, índices y cartografía de vulnerabilidad, guía técnica, salud pública, adaptación al cambio climático, estrategias de implementación.

TABLE OF CONTENTS

Abstract	2
Resumen.....	2
1. INTRODUCTION	5
1.1. Motivation and acknowledgments.....	5
1.2. Acronyms and terms	6
1.3. Literature review.....	7
Exposure: extreme heat	7
Sensitivity and social vulnerability.....	8
Adaptive capacity	10
Vulnerability to extreme heat.....	10
1.4. Relevant projects and study area	11
Figure 1.4. Study area.....	12
1.5. Objectives.....	12
2. METHODOLOGY	13
2.1. Literature review.....	13
2.2. Selection of indicators and variables.....	13
Table 2.2. Indicators and vulnerability variables	14
2.3. Aggregation of variables to obtain vulnerability scores	15
Table 2.3c. PCA Component matrix and variance explained	15
Table 2.3d. Example of how to calculate vulnerability scores	16
2.4. Vulnerability mapping with GIS.....	16
3. EXTREME HEAT VULNERABILITY ASSESSMENT	16
3.1. Hot days (2011-2040).....	17
Table 3.1. Top 10 most vulnerable census groups (HD)	17
Figure 3.1. Vulnerability to hot days.....	17
3.2. Torrid days (2011-2040).....	18
Table 3.2. Top 10 most vulnerable census groups (TD).....	18
Figure 3.2. Vulnerability to torrid days	18
3.3. Tropical nights (2011-2040)	19
Table 3.3. Top 10 most vulnerable census groups (TR)	19
Figure 3.3. Vulnerability to tropical nights	19

3.4. Torrid nights (2011-2040)	20
Table 3.4. Top 10 most vulnerable census groups (TO).....	20
Figure 3.4. Vulnerability to torrid nights.....	20
3.5. Discussion.....	21
4. RECOMMENDATIONS	23
4.1. Mitigation and adaptation.....	23
4.2. Future research.....	25
5. CONCLUSIONS	29
6. BIBLIOGRAPHY	30
7. APPENDICES	34
7.1. Relevant efforts to address extreme heat.....	34
7.2. Extreme heat exposure variables	36
7.3. Sensitivity and adaptive capacity variables	40
7.4. Extreme heat vulnerability results	52
Vulnerability to hot days	52
Table 7.4a. Vulnerability scores (HD).....	53
Vulnerability to torrid days.....	60
Table 7.4b. Vulnerability scores (TD).....	61
Vulnerability to tropical nights	68
Table 7.4c. Vulnerability scores (TR).....	69
Vulnerability to torrid nights	77
Table 7.4d. Vulnerability scores (TO).....	78
7.5. Technical guide to calculate vulnerability to extreme heat.....	85

1. INTRODUCTION

1.1. Motivation and acknowledgments

Personal motivation

When I was thirteen years old, I watched a BBC documentary on the state of the world's social and environmental problems. The film delved into the seriousness of world poverty, hunger, water scarcity, health inequalities, fossil fuel energy, overconsumption, degraded ecosystems, climate change, racism, oppression, sexism, and injustice. When the documentary finished, I sat in silence, devastated.

Soon after, I started a quest to find a career that I could make tangible differences with these world problems. I decided in Urban Planning, and its path is what brings me to formalize my education here in Barcelona today. It is a challenging endeavor to effectively attempt to solve world issues, as they are system based and therefore intrinsically complex. When in doubt, frustrated with the inadequacies and injustice of the systems, or simply sad about the negative outcomes, I remind myself of the greater purpose to do something and the quote from former Curitiba mayor Jaime Lerner:

“There is no endeavor nobler than the attempt to achieve a collective dream. When a city accepts as a mandate its quality of life; when it respects the people who live in it; when it respects the environment; when it prepares for future generations, the people share the responsibility for that mandate, and this shared cause is the only way to achieve that collective dream.”

The collective dream has inspired me to make the most of my opportunities, think creatively, engage empathetically, and work meaningfully throughout my journey thus far. These ambitions continue to move me today and have motivated me throughout the development of this project.

Acknowledgments

To begin, I would like to thank Ana Romero Calix from the Directorate of Environmental Services from the Metropolitan Area of Barcelona (AMB) for the opportunity to pursue this final project with AMB. They provided data of future extreme heat scenarios, Sentinel satellite images, and gave contextual feedback on demographic variable results. The Department of Territorial Studies, directed by Ernest Ruiz Almar, provided sensitivity data, gave feedback on which of the available variables were best to use, explained the technical methodology of how to convert all variables to the same spatial scale, and provided support throughout the project. My tutor Dr. Joan Albert López-Bustins and my unofficial co-tutor Dr. Javier Martin-Vide gave their expert methodological and editorial advice and have shared a continuous, engaging, and constructive learning environment. They have been a guiding force and inspiration throughout this project and I am grateful to have had the opportunity to work with them. Finally, I'd like to thank my family and friends for their support and encouragement, especially from my partner Mihnea.

1.2. Acronyms and terms

This list can serve as a quick reference for the reader. It contains acronyms and frequently used terms in the document, which are also explained in the following sections.

TERM:	DEFINITION:
Adaptive capacity:	The ability to cope with the impact and repercussions of a hazardous event (Wolf y McGregor 2013 ⁶⁰ ; Chuang & Gober, 2015 ²¹).
AMB:	Government administration, Metropolitan Area of Barcelona. When the territorial area (metropolitan area of Barcelona) is referred to, the acronym is not used.
Exposure:	The extent (frequency and duration) at which populations are exposed to a natural hazard (Bao <i>et al.</i> 2015 ¹⁶).
Extreme heat:	Extremely high ambient temperatures that are abnormal relative to the season and location in question (Kravchenko <i>et al.</i> , 2013 ⁴⁵). The moderate and high extreme heat threshold in this study are days exceeding 30°C and 35°C and nights above 20°C and 25°C.
GIS:	Geographic Information System. Used for mapping vulnerability.
HD:	"Hot days" where the daily maximum temperatures exceed 30°C. Moderate threshold for daytime extreme heat.
IDESCAT	Statistical Institute of Catalonia. Local data source for this project.
INE:	National Statistics Institute (Spain). Data source for this project.
PCA:	Principal component analysis. Used in the vulnerability calculation to obtain statistically significant correlations between variables so they can be aggregated as scores. Permits aggregation and representation of the synergistic effects of the sensitivity and adaptive capacity variables studied (Wolf y McGregor, 2013 ⁶⁰).
RCP:	"Representative Concentration Pathways Scenarios" and refers to the radiative effect of a certain concentration of greenhouse gases. RCP 4.5 is the moderate scenario where the rate of emissions will meet the objectives of the Paris Agreement, to limit the maximum increase of the global temperature of the planet 1.5 to 2°C by the end of this century.
s	Population standard deviation. Dispersion measure used to map exposure, sensitivity, and vulnerability in this project.
Sensitivity:	The degree of impact to a natural hazard due to population characteristics (Rinner <i>et al.</i> , 2010 ⁵³ ; Chuang y Gober, 2015 ²¹ ; Weber <i>et al.</i> , 2015 ⁵⁹).
SPSS:	Statistical Package for the Social Sciences. Statistical program used for the PCA.
TD:	"Torridd days" where the daily maximum temperatures exceed 35°C. Maximum threshold for daytime extreme heat.
TO:	"Torridd nights" where the nighttime minimum temperatures exceed 25°C. Maximum threshold for nighttime extreme heat.
TR:	"Tropical nights" where the nighttime minimum temperature exceeds 20°C. Moderate threshold for nighttime extreme heat.
Urban heat island:	Increased heat in urban areas because of solar absorption by urban surfaces (buildings, pavements, etc.), heat generation by combustion processes, and heat radiation at night (Chow <i>et al.</i> , 2012 ²⁰ ; Kravchenko <i>et al.</i> , 2013 ⁴⁵ ; Martín-Vide, 2015 ²⁹). Urban areas are also warmer compared to natural surroundings due to the lack of vegetative shade, evapotranspiration, and other natural processes (SFPHD, 2013 ⁵⁶).
Vulnerability equation:	Vulnerability = hazard exposure + (sensitivity - adaptive capacity).
Vulnerability:	The extent a system is likely to experience harm due to exposure to a hazard (Bao <i>et al.</i> , 2015 ¹⁶ ; Weber <i>et al.</i> , 2015 ⁵⁹).

1.3. Literature review

Exposure: extreme heat

Extreme heat is a natural hazard that is increasing in frequency, intensity, and duration due to climate change. It is generally defined as extremely high ambient temperatures that are abnormal relative to prevailing temperatures during a specific season at a specific location (Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵). The impacts of these high prevailing temperatures are worsened by both natural and anthropogenic processes such as air stagnation, air pollution, and urban heat island (Reid *et al.*, 2009⁵²; Rinner *et al.*, 2010⁵³; Hondula *et al.*, 2012⁴²; SFPHD, 2013⁵⁶; Wolf y McGregor, 2013⁶⁰; Bao *et al.*, 2015¹⁷; Martín-Vide *et al.*, 2015²⁹; Weber *et al.*, 2015⁵⁹; Generalitat de Catalunya, 2016³⁹).

The extent (frequency and duration) at which populations are exposed to heat is the most supported factor that directly impacts a population's vulnerability (Bao *et al.* 2015¹⁷). Besides death, extreme heat can cause other health impairments including heat stroke, heat exhaustion, heat syncope, heat cramps, dehydration and electrolyte disorders, and maternal hyperthermia in pregnant woman (Reid *et al.*, 2009⁵²; Rinner *et al.*, 2010⁵⁴; SA Health, 2016⁴⁰). It can also complicate diabetes, cardiovascular and cerebrovascular diseases, respiratory disorders, acute renal failure, neurologic conditions, and mental illnesses (Martínez-Navarro *et al.*, 2004⁴⁷; Aubrecht & Özceylan, 2013¹⁴; Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵; Bao *et al.*, 2015¹⁷; Generalitat de Catalunya, 2016³⁹; SA Health, 2016⁴⁰).

Although temperatures tend to decrease at night, nighttime temperatures in the summer many times exceed 20°C in the metropolitan area of Barcelona. When hot nights like these occur, they are called tropical nights in climatology. Tropical nights are becoming more prevalent due to climate change and are intensified by the urban heat island (UHI) (Martín-Vide, 2015²⁹; Arellano Ramos y Roca Cladera¹³, 2016). UHI is characterized by increased heat in urban areas because of solar absorption by urban surfaces (buildings, pavements, etc.), heat generation by combustion processes, and heat radiation at night (Chow *et al.*, 2012²⁰; Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵; Martín-Vide, 2015²⁹). Urban areas are also warmer compared to natural surroundings due to lack of vegetative shade, evapotranspiration, and other natural processes (SFPHD, 2013⁵⁶). Tropical nights disrupt sleep, which in turn debilitates and increases heat-related morbidity and mortality. This is especially the case for the elderly and those with pre-existing medical conditions, whom especially depend on a restful sleep to maintain body functions (Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵; Martín-Vide *et al.*, 2015²⁹; Tecnalia Research & Innovation, 2015⁵⁷; Weber *et al.*, 2015⁵⁷).

Extreme heat thresholds are subjective and depend on the context of the study and the impact in question. For this assessment, extreme heat is defined as days above 30°C and 35°C and nights above 20°C and 25°C for the 4.5 RCP projection 2011-2040. These variables consider the extreme heat context of the metropolitan area of Barcelona and have been deemed appropriate for the impact on human health in the area (Ballester, 2008¹⁶; AMB, 2015²⁵). RCP 4.5 is a scenario developed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). RCP stands for "Representative Concentration Pathways Scenarios" and refers to the radiative effect of a certain concentration of greenhouse gases. RCP 4.5 is the moderate scenario where the rate of emissions will meet the objectives of the Paris

Agreement, to limit the increase of global temperature of the planet 1.5 to 2°C by the end of the century.

Sensitivity and social vulnerability

Not all populations are at equal health risk from extreme heat. Certain populations, because of socioeconomic aspects, are more sensitive or socially vulnerable to the adverse effects of extreme heat. In the context of natural hazards, sensitivity and socially vulnerability is generally defined as the degree of impact due to population characteristics (Rinner *et al.*, 2010⁵³; Chuang y Gober, 2015²¹; Weber *et al.*, 2015⁵⁹). Over the recent past decades, there has been a movement in the academic and professional realm to quantify the concept of social vulnerability to better allocate resources to mitigate and adapt to environmental hazards (Wolf y McGregor, 2013⁶⁰; Bergstrand *et al.*, 2014¹⁸). These efforts have been formalized with the development of an index, called the Socially Vulnerability Index (SVI). The basis of this index comes from the innovative and considerably cited work of Cutter *et al.* (2003)²⁴ who began to establish the variables that quantify social vulnerability and a methodology to aggregate those variables into an index called SoVI.

To address the natural hazard of extreme heat, academics and professionals have built upon the concept of the SVI / SoVI to create an index specific to heat vulnerability called Heat Vulnerability Index (HVI) or Extreme Heat Vulnerability Index (EHVI) (Johnson *et al.*, 2012⁴⁴; Bao *et al.*, 2015¹⁷). Throughout these works and the work of public health researchers, certain population characteristics have been found to increase a population's sensitivity to extreme heat. These include:

Age

Children under the age of five and elderly over the age of sixty-five have shown to be disproportionately sensitive to extreme heat, compared to other age ranges (Martínez-Navarro *et al.*, 2004⁴⁷; Ballester, 2008¹⁶; Aubrecht & Özceylan, 2013¹⁴; Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵; Wolf y McGregor, 2013⁶⁰; Bao *et al.*, 2015¹⁷). This is due to the fact that young children and the elderly are physically less able to adapt to climate changes and maintain thermoregulation (Martínez-Navarro *et al.*, 2004⁴⁷; Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵; Tecnalia Research & Innovation, 2015⁵⁷). In addition, the elderly may have mobility issues that make it difficult to adapt and find relief during an extreme heat event. In Cataluña, heat-wave induced death is 20% likelier for population between sixty to seventy years old, and 40% likelier from eighty to ninety years old (Generalitat de Catalunya, 2016³⁹).

Social isolation

Those who live alone, especially elderly people, tend to be more socially isolated in comparison to the general population. These groups are more likely to have less interaction with neighbors, relatives, and social resources (Reid *et al.*, 2009⁵²; Aubrecht & Özceylan, 2013¹⁴; Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵). Therefore, they are likely to misunderstand, lack social support, or be unable to adapt to extreme heat events (Chow *et al.*, 2012²⁰; Bao *et al.*, 2015¹⁷; SA Health, 2016⁴⁰). In a previous study of mortality in the metropolitan area of Barcelona, those 65 years old and over living alone were highly correlated with the number of deaths in the 2003 heat wave event (Santiago-Jiménez, 2011⁵⁴).

Education level

People with low education levels are more vulnerable to heat stress due to lack of understanding of the severity and preventive measures of extreme heat. In addition, low education can be a barrier to receive and comprehend public notices, warnings, and response information. With these barriers, poorly educated populations are likelier to be less prepared and require more assistance in taking precautionary measures during extreme heat events (Aubrecht & Özceylan, 2013¹⁴). In addition, education level is a proxy variable for socioeconomic status (lifetime gains). Those with lower education levels tend to be constrained to lower income levels and therefore have less socioeconomic resources to adapt to extreme heat.

Socioeconomic status

Low socioeconomic levels have been associated with heat risk in the metropolitan area of Barcelona and other parts of the world (Martínez-Navarro *et al.*, 2004⁴⁷; Ballester, 2008¹⁶; Xu *et al.*, 2013⁶¹; Bao *et al.*, 2015¹⁷; SA Health, 2016⁴⁰). It indicates greater sensitivity and lack of economic, material, and information resources to cope with extreme heat (Johnson *et al.*, 2012⁴⁴; Aubrecht y Özceylan, 2013¹⁴). Poor populations are also likely to suffer from inadequate housing conditions which increase heat risk (Aubrecht y Özceylan, 2013¹⁴). For example, low-income populations and the elderly with fixed incomes are likelier to decide to withstand excessive heat instead of paying for home insulation improvements, air conditioning installation and / or higher energy bills.

Foreign born

Although race and ethnicity may seem to be more significant in other parts of the world such as the United States, ethnicity and foreign-born status also play a role in the European context (Aubrecht & Özceylan, 2013¹⁴; Wolf y McGregor, 2013⁶⁰; Bao *et al.*, 2015¹⁷; Guillard-Gonçalves *et al.*, 2014⁴¹). Although there are notable exceptions in the metropolitan area of Barcelona, foreign born populations are more likely to be discriminated, marginalized, and have less access to resources than established locals (Guillard-Gonçalves *et al.*, 2014⁴¹). This barrier is heightened by linguistic and / or cultural barriers, which impede foreign people from accessing or understanding heat warnings or taking the protective measures made available to the general community (Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵; SA Health, 2016⁴⁰).

Housing characteristics

Poor housing characteristics indicates reduced insulation and adaptive capacity to extreme heat events (Ballester, 2008¹⁶; Wolf y McGregor, 2013⁶⁰; Bao *et al.*, 2015¹⁷). The variables that indicate housing characteristics in this study are (1) tenure households and (2) buildings four stories or more without an elevator. In extreme heat studies, tenants have been found particularly sensitive to heat, as they have less control over their buildings and therefore lack the ability to insulate their home from extreme heat. Buildings without an elevator is a variable specific to AMB. The variable indicates reduced ability to mobilize in a heat event and increased sensitivity to heat-risk as a result, especially for those with limited mobility (such as elderly or ill residents).

Other sensitivity variables

There are other sensitivity variables that are not described in this section, because the variables do not exist or are not available at the spatial scale necessary for this vulnerability assessment. See Section 4.2 for more information on these indicators and recommendations to include them in future research.

Adaptive capacity

Adaptive capacity is the ability to cope with the impact and repercussions of a hazardous event (Wolf y McGregor 2013⁶⁰; Chuang & Gober, 2015²¹). In this assessment, the indicator that represents adaptive capacity is the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). This index demonstrates the vegetative density of a determined area (Chow *et al.*, 2012²⁰; Johnson *et al.*, 2012⁴⁴; Chuang y Gober, 2015²¹). The capacity of vegetation to reduce heat stress has a significant, but medium amount of evidence and agreement amongst vulnerability studies (Reid *et al.*, 2009⁵²; Xu *et al.*, 2013⁶¹; Bao *et al.*, 2015¹⁷). Dense vegetation mitigates the effects of extreme heat by cooling an area with vegetative cover and the biological processes of evapotranspiration (Rinner *et al.*, 2010⁵³; Aubrecht y Özceylan, 2013¹⁴). Therefore, denser vegetation, indicated with higher NDVI values, decreases overall vulnerability in the context of this study.

Vulnerability to extreme heat

Vulnerability generally refers to the extent a system is likely to experience harm due to exposure to a hazard (Bao *et al.*, 2015¹⁷; Weber *et al.*, 2015⁵⁹). In the context of this study, vulnerability is the degree of which populations in the metropolitan area of Barcelona are likely to experience harm to extreme heat. To calculate and quantify this vulnerability, an adapted definition of vulnerability from multiple extreme heat vulnerability assessments is used (Rinner *et al.* 2010⁵³; Chow *et al.*, 2012²⁰; Wolf y McGregor 2013⁶⁰; Chuang & Gober 2015²¹; Weber *et al.*, 2015⁵⁹; Eisenman *et al.*, 2016³⁵):

$$\text{Vulnerability} = \text{exposure} + (\text{sensitivity} - \text{adaptive capacity})$$

Vulnerability is thus calculated as a function of exposure to abnormally high temperatures, which is intensified by the sensitivity a population and moderated by its adaptive capacity (Weber *et al.*, 2015⁵⁹). To simplify the vulnerability calculation of this assessment and avoid using confusing double negatives, all sensitivity variables used in this assessment *increases (+)* vulnerability. On the other hand, the adaptive capacity indicator used in this assessment *decreases (-)* the overall vulnerability.

Vulnerability assessments have become key and well-supported tools to help decision makers prioritize resources in the preparation and response to extreme heat events (SFPHD, 2013⁵⁶; Wolf y McGregor, 2013⁶⁰; Bao *et al.*, 2015¹⁷). In addition, by developing a comprehensive approach to understand and evaluate vulnerability, implementation programs can advance urban health, social justice, and environmental justice (SFPHD, 2013⁵⁶). By locating areas with increased vulnerability, strategies can be better designed to minimize the impact of death, illness, or other inter-connected repercussions of extreme heat (Wolf y McGregor, 2013⁶⁰; Bao *et al.*, 2015¹⁷). Lastly, vulnerability assessments notably

encapsulate the complexity of vulnerability into a single construct that would otherwise not be analyzed easily (Aubrecht & Özceylan, 2013¹⁴).

1.4. Relevant projects and study area

Relevant projects

AMB has several plans and projects that take into account the importance of extreme heat and generally qualifies the concept of vulnerability. For example, *Pla Clima i Energia AMB* (2018) identifies extreme heat as one of the top 5 climatic risks of the metropolitan area, marks the heat thresholds of 30/35°C during the daytime and 20/25°C at night, and mentions the importance of implementing measures that focus on vulnerable populations. In addition, with the collaboration of Barcelona Regional, the City of Barcelona has completed an extreme heat vulnerability assessment which is referred to in the climate action plan *Pla Clima: Onades de Calor* (2018)². Areas of low to high vulnerability are mapped, considering the variables: population 75 years and over, demand of cold energy, vegetation, and low education levels. These are just a few of the efforts in the metropolitan territory related to climate action planning, for a more complete list of projects and plans, refer to Appendix 7.1.

Area of opportunity for this final master's project

This project builds upon current efforts by quantifying and locating the specific areas that are potentially vulnerable to extreme heat. This type of assessment is yet to be done for the entire metropolitan area of Barcelona and can therefore aid current and future efforts to reduce heat risk. This analysis can also serve as a substantial and justified tool to better implement projects related to climate action planning in the area.

Study area

The study area of this assessment is the metropolitan area of Barcelona. This metropolitan area consists of 36 cities as demonstrated in Figure 1.4. The basic spatial reference unit of the variables used to calculate vulnerability are census groups (AC), developed by the Department of Territorial Studies of AMB. As its name indicates, the ACs are composed of sets of complete census sections, which have been grouped with the objective of minimizing the deficiencies of the 2011 population census.

The ACs were constructed following two main criteria. First, each census group contains a population of around 4,500 inhabitants. Second, ACs are spatially coherent with the statistical and administrative units of census sections, neighborhoods, and municipalities in AMB. The result is 411 ACs for the metropolitan area of Barcelona that have been identified by unique geographic identifiers and names consistent with the toponymy of each zone (Sección de Estudios Territoriales, 2015⁵⁵).

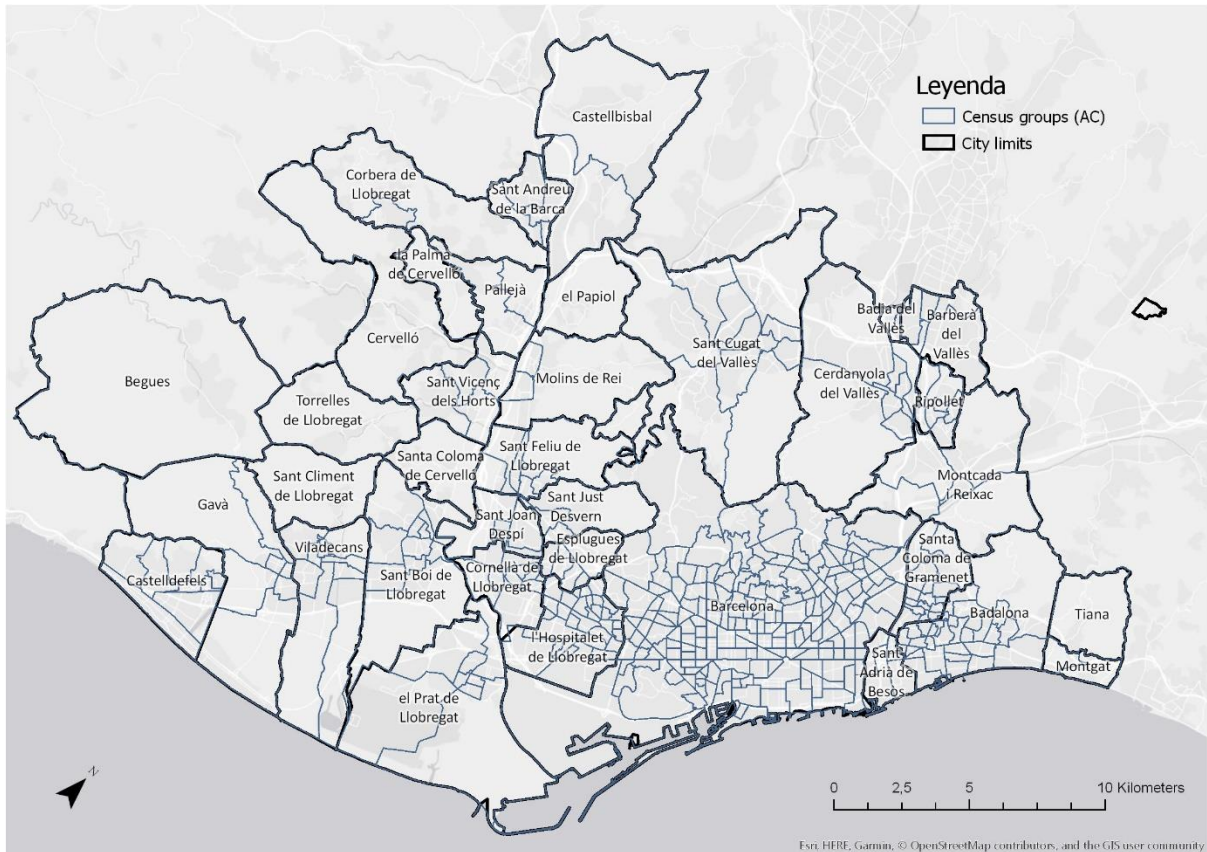


Figure 1.4. Study area

The separate area of Montcada i Reixac shown north on Figure 1.4 is not included in the study area of this assessment.

1.5. Objectives

Primary objective

The main objective of this project is to assess vulnerability to extreme heat in the metropolitan area of Barcelona for the 4.5 RCP scenario 2011-2040.

Secondary objectives

Significantly and quantitatively, this final master's project can help prioritize areas where it is especially necessary to allocate resources to reduce the morbidity and mortality of extreme heat. The recommendations of this project can aid future vulnerability assessments and improve implementation efforts. The methodology (Section 2) and guide (Appendix 7.5) can support other municipalities and the AMB develop future assessments with updated data and resources. Methodology described in this project can also be useful for assessing vulnerability to other natural hazards, as vulnerability assessments are becoming an increasingly common tool among hazard management, emergency preparation, and climate action planning (Flanagan *et al.*, 2011³⁷).

2. METHODOLOGY

The methodology used to calculate extreme heat vulnerability for the metropolitan area broadly follows these steps: (1) literature review, (2) selection of indicators and variables, (3) aggregation of variables to obtain vulnerability scores, and (4) vulnerability mapping with Geographic Information Systems (GIS). See the guide in Appendix 7.5 for more detail on this methodology. The numbering of this methodology section coincides with the numbering of the guide to facilitate its use.

2.1. Literature review

An extensive literature review was conducted to develop the vulnerability assessment, which is presented in the bibliography (Section 6). A variety of vulnerability assessments were studied in several cities, particularly in North America, where many of these assessments are taking place. These cities include Madrid, Mallorca, Lisbon, London, Quebec, Toronto, the Metropolitan area of Phoenix, the county of Philadelphia, the Metropolitan Area of Washington D.C., the County of San Luis Obispo (California), and the county of San Francisco. Other relevant projects completed in the metropolitan area of Barcelona were also reviewed to specify where to fit this master's project according to the pre-existing efforts in the area.

2.2. Selection of indicators and variables

After reviewing the literature relevant to extreme heat vulnerability, the most common and supported indicators were noted, considering the social and geographical context of the metropolitan area of Barcelona. As mentioned in the introduction, the indicators for this extreme heat vulnerability assessment include: exposure to high temperatures, age, social isolation, education, economic status, foreign born status, housing conditions, and vegetation. To quantify these respective indicators, variables were chosen based on data availability from the local sources: Statistical Institute of Catalonia (IDESCAT) and National Statistics Institute (INE). Table 2.1 contains the vulnerability indicators and the respective variables used in this project.

Table 2.2. Indicators and vulnerability variables

INDICATOR	SOURCE	VARIABLES / YEAR	SCALE	SOURCE
HAZARD MAGNITUDE (EXPOSURE)	Vescovi <i>et al.</i> , 2005 ⁴⁷ ^{Error! Reference source not found.} ; Ballester, 2008 ¹⁶ ; Aubrecht & Özceylan, 2013 ¹⁴ ; AMB, 2015 ²⁵ ; Bao <i>et al.</i> , 2015 ¹⁷	RCP 4.5 (2011-2040) annual number of: hot days > 30°C, torrid days > 35°C, tropical nights 25°C, and torrid nights 30°C	Raster 1x1km ² → AC	Servei Meteorològic de Catalunya
AGE (SENSIBILITY)	Martínez-Navarro <i>et al.</i> , 2004 ⁴⁷ ; Vescovi <i>et al.</i> , 2005 ⁴⁷ ^{Error! Reference source not found.} ; Ballester, 2008 ¹⁶ ; Reid <i>et al.</i> , 2009 ⁵² ; Hondula <i>et al.</i> , 2012 ⁴² ; Johnson <i>et al.</i> , 2012 ⁴⁴ ; Aubrecht & Özceylan, 2013 ¹⁴ ; Kravchenko <i>et al.</i> , 2013 ⁴⁵ ; Wolf y McGregor, 2013 ⁶⁰ ; Bergstrand <i>et al.</i> , 2014 ¹⁸ ; Bao <i>et al.</i> , 2015 ¹⁷ ; Tecnalia Research & Innovation, 2015 ⁵⁷ ; Eisenman <i>et al.</i> , 2016 ³⁵ ; Generalitat de Catalunya, 2016 ³⁹	Population ≥ 65 years (2017)	AC	INE
SOCIAL ISOLATION (SENSIBILITY)	Reid <i>et al.</i> , 2009 ⁵² ; Santiago-Jiménez, 2011 ⁵⁴ ; Johnson <i>et al.</i> , 2012 ⁴⁴ ; Aubrecht & Özceylan, 2013 ¹⁴ ; Kravchenko <i>et al.</i> , 2013 ⁴⁵ ; Bao <i>et al.</i> , 2015 ¹⁷ ; Chow <i>et al.</i> , 2012 ²⁰ ; SA Health, 2016 ⁴⁰	Women ≥ 65 living alone (2011) Men ≥ 65 living alone (2011)	AC	IDESCAT
EDUCATION LEVEL SENSIBILITY)	Reid <i>et al.</i> , 2009 ⁵² ; Johnson <i>et al.</i> , 2012 ⁴⁴ ; Aubrecht & Özceylan, 2013 ¹⁴ ; Bergstrand <i>et al.</i> , 2014 ¹⁸ ; Bao <i>et al.</i> , 2015 ¹⁷ ; Chuang & Gober, 2015 ²¹ ; Hondula <i>et al.</i> , 2012 ⁴² ; Weber <i>et al.</i> , 2015 ⁵⁹	Population ≥ 25 illiterate or without primary education completed (2011)	AC	IDESCAT
SOCIOECONOMIC STATUS SENSIBILITY)	Martínez-Navarro <i>et al.</i> , 2004 ⁴⁷ ; Ballester, 2008 ¹⁶ ; Johnson <i>et al.</i> , 2012 ⁴⁴ ; Aubrecht y Özceylan, 2013 ¹⁴ ; Xu <i>et al.</i> , 2013 ⁶¹ ; Bao <i>et al.</i> , 2015 ¹⁷ ; Tecnalia Research & Innovation, 2015 ⁵⁷ ; SA Health, 2016 ⁴⁰	Population ≥ 16 unemployed (2011) Inactive* population ≥ 16 (2011)	AC	IDESCAT
FOREIGN POPULATION SENSIBILITY)	Kravchenko <i>et al.</i> , 2013 ⁴⁵ ; Aubrecht & Özceylan, 2013 ¹⁴ ; Wolf y McGregor, 2013 ⁶⁰ ; Bao <i>et al.</i> , 2015 ¹⁷ ; Eisenman <i>et al.</i> , 2016 ³⁵ ; Guillard-Gonçalves <i>et al.</i> , 2014 ⁴¹	Foreign born (2017)	AC	INE
HOUSING CHARACTERISTICS (SENSIBILITY)	Ballester, 2008 ¹⁶ ; Hondula <i>et al.</i> , 2012 ⁴² ; Johnson <i>et al.</i> , 2012 ⁴⁴ ; Wolf y McGregor, 2013 ⁶⁰ ; Bergstrand <i>et al.</i> , 2014 ¹⁸ ; Bao <i>et al.</i> , 2015 ¹⁷ ; Chuang & Gober, 2015 ²¹ ; Tecnalia Research & Innovation, 2015 ⁵⁷ ; Weber <i>et al.</i> , 2015 ⁵⁹ ; Eisenman <i>et al.</i> , 2016 ³⁵	Rental housing (2011) Buildings ≥ four stories without an elevator (2011)	AC	IDESCAT
PROTECTION FROM HEAT (ADAPTIVE CAPACITY)	Reid <i>et al.</i> , 2009 ⁵² ; Rinner <i>et al.</i> , 2010 ⁵³ ; Chow <i>et al.</i> , 2012 ²⁰ ; Johnson <i>et al.</i> , 2012 ⁴⁴ ; Aubrecht y Özceylan, 2013 ¹⁴ ; Wolf y McGregor 2013 ⁶⁰ ; Xu <i>et al.</i> , 2013 ⁶¹ ; Bao <i>et al.</i> , 2015 ¹⁷ ; Chuang y Gober, 2015 ²¹ ; Tecnalia Research & Innovation, 2015 ⁵⁷ ; Weber <i>et al.</i> , 2015 ⁵⁹	Mean NDVI	Raster → AC	Sentinel August 03, 2017

*The “inactive” population includes those whom are neither employed nor unemployed: students, retired persons, and disabled groups who cannot work.

2.3. Aggregation of variables to obtain vulnerability scores

2.3a. NDVI calculation

The NDVI for the metropolitan area of Barcelona was calculated in ArcGIS Pro using the NDVI tool and a Sentinel 8-bit satellite image taken on August 03, 2017.

2.3b. Obtain data at the same scale

NDVI and the four extreme heat exposure scenarios were converted to the same spatial scale of census groups. ArcGIS Pro was used to obtain the mean NDVI and the mean for HD, TD, TR and TO for the 411 census groups studied. See Appendix 7.2 and 7.3 for these five resulting maps.

2.3c. Statistical analysis of sensitivity and adaptive capacity data

A principal component analysis (PCA) was carried out in Statistical Package for Social Sciences (SPSS) with the ten sensitivity and adaptive capacity variables studied (mentioned in Table 2.1). The PCA allows for the sensitivity and adaptive capacity variables to be aggregated and represented by their synergistic effects studied, by obtaining statistically significant correlations between variables so they can be grouped in components as scores.

The components, the correlations between variables, and the total variance explained by each component is demonstrated in Table 2.3d. Altogether, the three components account for a substantial 70.3% of the data's total variance. As shown in bold, the first component relates to the population ≥ 65 , men and women ≥ 65 living alone, and the inactive working population. The second component represents unemployed people, population ≥ 25 without studies, and housing conditions of four floors or more without an elevator. The last component loads highly for foreign born people and rental housing. All components demonstrated an inverse correlation to NDVI.

Table 2.3c. PCA Component matrix and variance explained

VARIABLE	COMPONENT		
	1	2	3
Population ≥ 65	0,878	-0,177	-0,088
Women living alone ≥ 65	0,774	-0,143	0,349
Men living alone ≥ 65	0,466	-0,008	0,378
Inactive population	0,912	0,067	0,042
Unemployed population	-0,228	0,856	0,028
Population ≥ 25 without education	0,229	0,891	-0,209
≥ 4 stories without elevator	-0,160	0,664	0,293
Foreign born	0,081	0,248	0,881
Rental housing	0,032	-0,306	0,881
Mean NDVI	-0,317	-0,208	-0,440
% de total variance explained	26,571	22,225	21,494

In SPSS, the PCA scores of each component were weighted and summed by their respective variance explained and the result was normalized by z-scores. This weighted approach acknowledges that the different components contribute a different proportion to the spatial pattern of vulnerability (Wolf y McGregor 2013⁶⁰). In addition, as shown in Table 2.3d, the first component with higher variance

explained (26.6%), also corresponds to the most vulnerable populations (elderly). Therefore, the weighted methodology, although different to the equal weight method used commonly in vulnerability assessments, is both a statistically and scientifically coherent method of evaluating extreme heat vulnerability in this project. The variance explained by each of the components do not differ dramatically either (26.6%, 22.3%, and 21.5%), so results would be similar to an equal weight method of adding the components anyway.

2.3d. Vulnerability score calculation

In the same SPSS program, the four extreme heat scenarios (HD, TD, TR, and TO) were normalized to z-scores. The normalized exposure data sets are then added to the normalized PCA scores, and the sums are again normalized to obtain the four sets of vulnerability scores. The following Table 2.3d provides a visual example of how these final vulnerability scores are obtained.

Table 2.3d. Example of how to calculate vulnerability scores

VULNERABILITY CALCULATION			VULNERABILITY SCORES TO MAP IN GIS	
EXPOSURE (normalized data of HD, TD, TR, or TO)	SENSITIVITY – ADAPTIVE CAPACITY (normalized PCA result)	Sum	VULNERABILITY SCORES (normalized sum)	AC ID (geographic identifier for GIS)
-2,10	0,196	-1,9	-1,5	015001
-1,35	-0,514	-1,9	-1,4	015002
-1,70	0,049	-1,6	-1,3	015003
-1,71	0,305	-1,4	-1,1	015004
-2,01	-0,802	-2,8	-2,2	015005
-1,38	1,837	0,5	0,4	015006
-1,88	0,760	-1,1	-0,9	015007

2.4. Vulnerability mapping with GIS

The tables of the four sets of vulnerability scores were then imported into GIS and each joined to a separate *shapefile* of census groups. This generates four vulnerability maps for hot days, torrid days, tropical nights, and torrid nights. Since all data was normalized by z-scores (which produces a mean of 0 and a standard deviation of 1) the maps were manually classified by 6 standard deviations, corresponding to very low to very high vulnerability. Since all maps in this project are classified in the same way, the results to be compared under the same parameters.

3. EXTREME HEAT VULNERABILITY ASSESSMENT

The following results presented contain a brief description of the vulnerable areas for each extreme heat scenario, tables describing the top ten ACs that scored most vulnerable, and maps that locate vulnerability. As mentioned, the values of vulnerability are in units of population standard deviation (*s*).

To see larger maps and their respective tables, which show all the ACs that scored very high, high, and moderately high vulnerability, see Appendix 7.4.

3.1. Hot days (2011-2040)

Results

As shown in Figure 3.1, the moderately high to very high vulnerability for hot days ($T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$) is generally concentrated in the northeastern and southeastern part of Barcelona. Table 3.1 presents the top ten census groups that scored most vulnerable.

Table 3.1. Top 10 most vulnerable census groups (HD)

AC ID	CITY	CENSUS GROUP NAME	SCORE	VULNERABILITY
266002	Cerdanyola del Vallès	les Fontetes	2.585	Very High
019141	Barcelona	Can Borràs	2.340	Very High
904001	Badia del Vallès	Badia vora Riu Sec	2.171	Very High
180004	Ripollet	Can Mas	2.146	Very High
904002	Badia del Vallès	Badia vora Barberà	2.018	Very High
245014	Santa Coloma de Gramenet	Santa Rosa - Pirineus	1.997	High
245012	Santa Coloma de Gramenet	Rambla del Fondo	1.960	High
019132	Barcelona	el Mercat de la Mercè	1.937	High
101018	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - Plaça Pirineus	1.894	High
019147	Barcelona	la Trinitat Vella	1.806	High

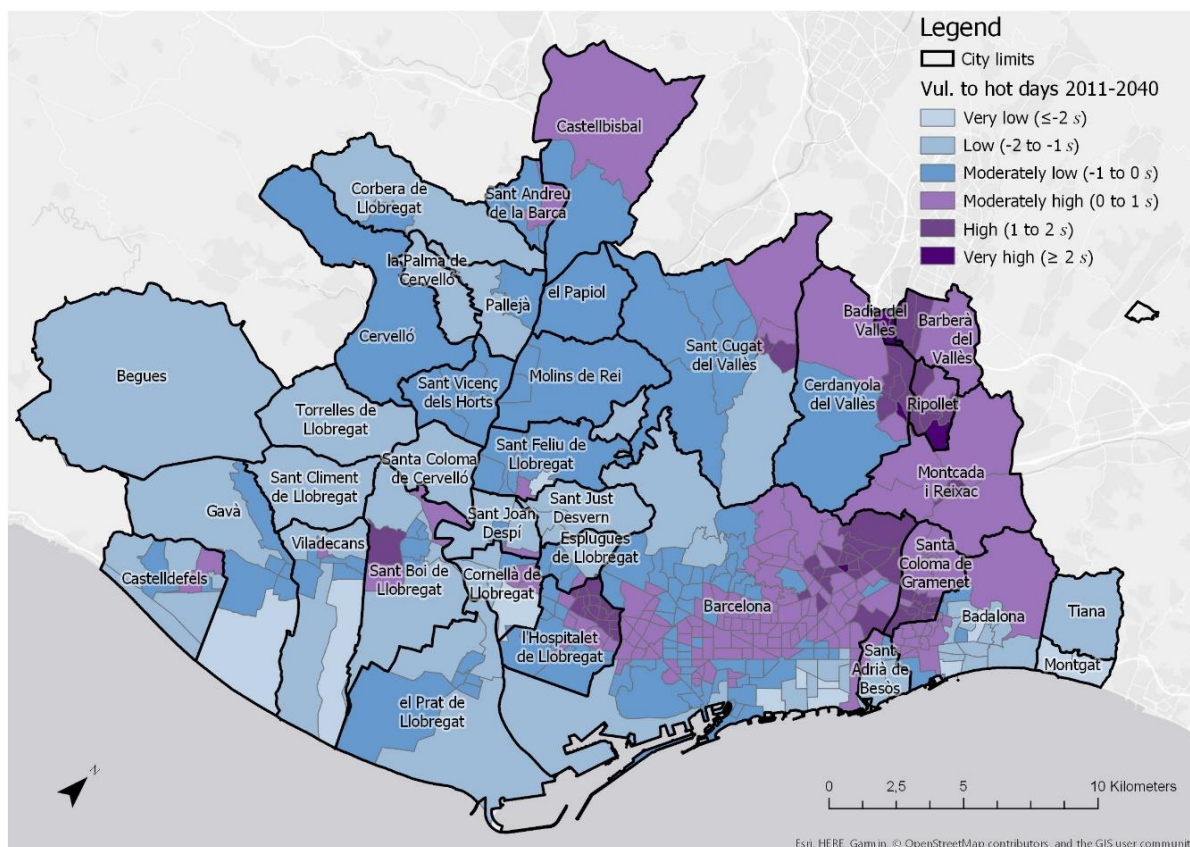


Figure 3.1. Vulnerability to hot days

3.2. Torrid days (2011-2040)

Results

The vulnerability results for torrid days ($T_{max} > 35^{\circ}\text{C}$) changes slightly compared to hot days. The vulnerable areas concentrate generally in the same areas, however, there is increased vulnerability between the cities Castellbisbal and Sants Vincenç del Horts. The top ten vulnerable census groups to torrid days are presented in Table 3.2 below.

Table 3.2. Top 10 most vulnerable census groups (TD)

AC ID	CITY	CENSUS GROUP NAME	SCORE	VULNERABILITY
196001	Sant Andreu de la Barca	Centre	5.070	Muy Alta
054001	Castellbisbal	Centre i Eixample Sud - Santa Teresita - Canyet	3.905	Muy Alta
054002	Castellbisbal	Centre i Eixample Nord - Costablanca - Santeugini - Nicolau - Can Costa - Compte Sert	3.739	Muy Alta
196004	Sant Andreu de la Barca	el Palau	3.715	Muy Alta
196002	Sant Andreu de la Barca	la Solana	3.359	Muy Alta
196003	Sant Andreu de la Barca	Estació - Raval de Corbera - la Creu de Susalba	2.566	Muy Alta
205001	Sant Cugat del Vallès	Nucli Antic	2.419	Muy Alta
266002	Cerdanyola del Vallès	les Fontetes	2.221	Muy Alta
904001	Badia del Vallès	Badia vora Riu Sec	2.084	Muy Alta
904002	Badia del Vallès	Badia vora Barberà	1.862	Alta

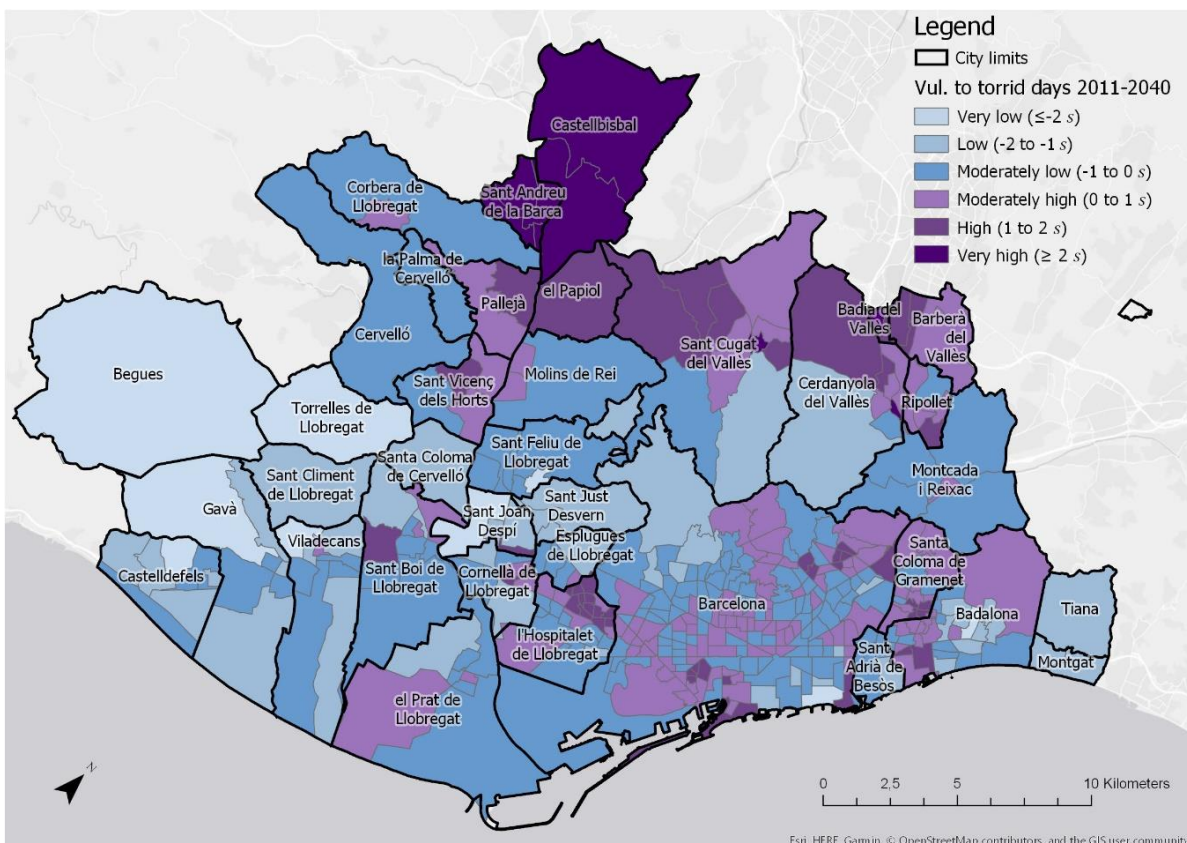


Figure 3.2. Vulnerability to torrid days

3.3. Tropical nights (2011-2040)

Results

As shown in Figure 3.3, the moderately high to very high vulnerability to tropical nights ($T_{min} > 20^{\circ}\text{C}$) is generally concentrated in the southeastern part of the metropolitan area of Barcelona. The top ten vulnerable census groups are presented in Table 3.3 below.

Table 3.3. Top 10 most vulnerable census groups (TR)

AC ID	CITY	CENSUS GROUP NAME	SCORE	VULNERABILITY
019178	Barcelona	el Besòs Mar	2.810	Muy Alta
015008	Badalona	Sant Roc - Plaça Roja	1.805	Alta
019009	Barcelona	l'Escullera i l'Hospital del Mar	1.740	Alta
015006	Badalona	Gorg - Congrés	1.734	Alta
019141	Barcelona	Can Borràs	1.734	Alta
019179	Barcelona	el Besòs	1.706	Alta
019012	Barcelona	Santa Caterina	1.670	Alta
245012	Santa Coloma de Gramenet	Rambla del Fondo	1.567	Alta
019010	Barcelona	Sant Miquel del Port	1.563	Alta
019011	Barcelona	la Ribera	1.490	Alta

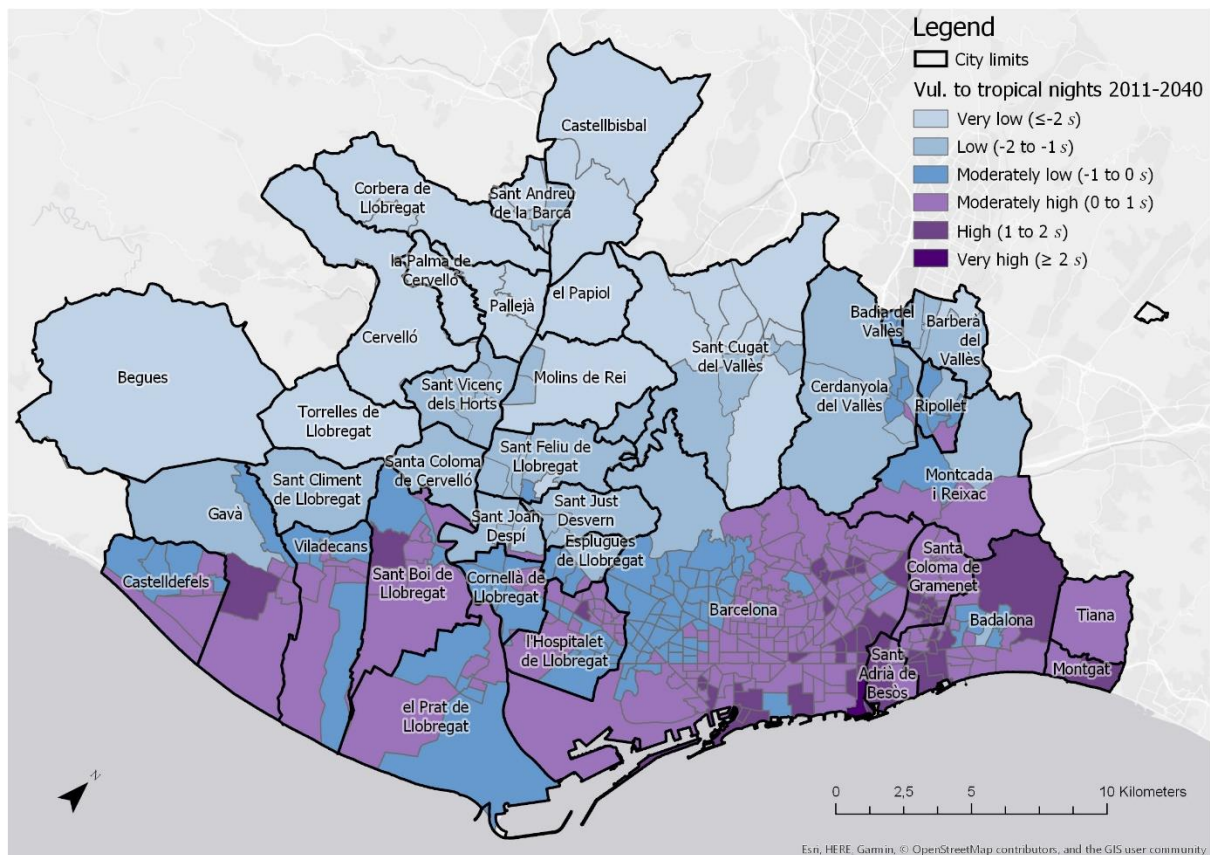


Figure 3.3. Vulnerability to tropical nights

3.4. Torrid nights (2011-2040)

Results

The vulnerability to torrid nights ($T_{min} > 25^{\circ}\text{C}$) differs slightly from tropical nights. As seen in Table 3.4 and Figure 3.4, there are more very high vulnerability census groups located in Barcelona. Refer to Table 3.4 to see the top ten census groups that scored most vulnerable.

Table 3.4. Top 10 most vulnerable census groups (TO)

AC ID	CITY	CENSUS GROUP NAME	SCORE	VULNERABILITY
019178	Barcelona	el Besòs Mar	3.415	Muy Alta
019012	Barcelona	Santa Caterina	3.219	Muy Alta
019009	Barcelona	l'Escullera i l'Hospital del Mar	3.080	Muy Alta
019010	Barcelona	Sant Miquel del Port	2.997	Muy Alta
019001	Barcelona	el Liceu i les Drassanes	2.921	Muy Alta
019011	Barcelona	la Ribera	2.633	Muy Alta
019003	Barcelona	la Riereta	2.598	Muy Alta
019008	Barcelona	la Ciutat Romana i la Mercè	2.480	Muy Alta
019005	Barcelona	Ponent	2.367	Muy Alta
019004	Barcelona	el Pedró	2.282	Muy Alta

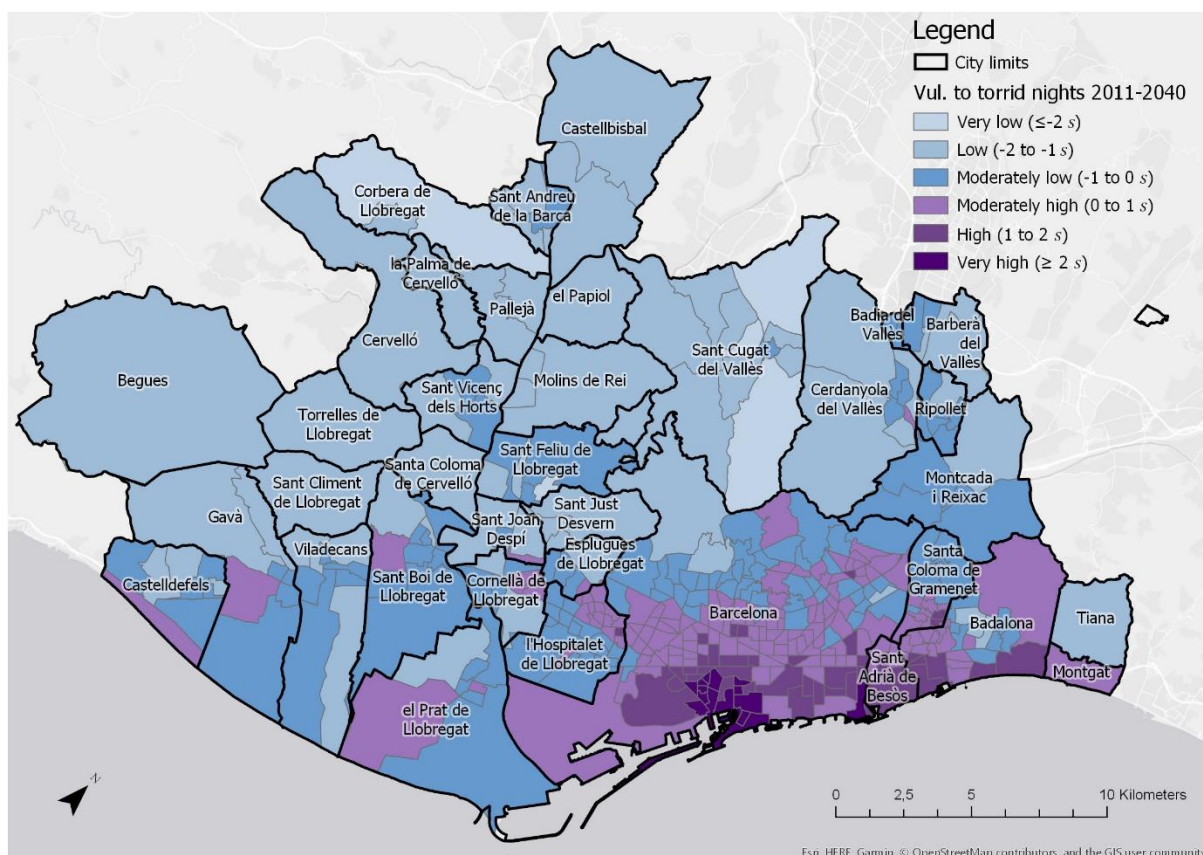


Figure 3.4. Vulnerability to torrid nights

3.5. Discussion

The vulnerability results demonstrate a coherent combination of the synergistic variables used in this analysis. To facilitate a visual understanding, the vulnerability calculation can be seen by following Appendices 7.2-7.4 one by one. Specifically, it is possible to visualize how the exposure variables (Appendix 7.2) are combined with the sum of the variables of sensitivity and adaptive capacity (final map of Appendix 7.3) to obtain the four vulnerability scenarios (Appendix 7.4).

As mentioned in the previous section, HD and TD have the highest exposure to extreme heat in the northeastern part of the metropolitan area of Barcelona. For their corresponding vulnerability results, there are higher vulnerability scores in those areas. For tropical nights and torrid nights, the highest exposure exists in the southeastern part of the metropolitan territory. So, again, higher vulnerability exists in those respective areas. However, due to the sensitivity and adaptive capacity variables added into the equation, there are other vulnerable areas that appear for the four extreme heat scenarios, especially for hot and torrid days, which do not necessarily correspond to their exposure.

The TO and TR vulnerability results seem to be particularly concerning for this assessment. Since both the extreme heat exposure and sensitivity risk areas are concentrated mainly in the southeastern part of the metropolitan area, the vulnerability is especially significant in these areas. As mentioned in the introduction, these abnormally hot nights are especially debilitating to elderly populations and those with pre-existing medical conditions. The variable for population ≥ 65 years old in Appendix 7.3 confirms that the largest portion of elderly exist generally in these areas with increased TR and TO exposure. Therefore, these groups should be specifically targeted in upcoming extreme heat implementation efforts.

Another important sensitivity variable that was removed from this study was children less than 5 years old (see Appendix 7.3). This variable in theory increases sensitivity, because young children physically do not support extreme heat well. However, when processing the variable in the PCA, the variable demonstrates a negative correlation in the rotated component matrix in the first component with elderly people. This negative correlation indicates the inverse relationship between elderly and young children, signifying the census groups that have more elderly people generally have fewer young children (and vice versa). When using this component for the vulnerability calculation, the negative correlation complicates the vulnerability results. Because the variable children < 5 appears as negative but in theory increases sensitivity, one can decide to add an absolute value to the component to add it in the vulnerability equation. However, when adding the absolute value to the component, certain areas of the metropolitan area of Barcelona that historically have higher socioeconomic status (such as Sant Cugat) demonstrate very high vulnerability results. Therefore, the variable also seems to indicate higher economic status in the context of the metropolitan territory. As such, the sensitivity to extreme heat would decrease, because with higher economic resources it is more likely that the population lives in a heat-insulating home, has enough economic resources to have air conditioning, or other resources to reduce heat impact.

As shown in the rotated component matrix of Table 2.3c, elderly women living alone have a higher loading than men living alone. This means that elderly women living alone have a higher significance

(and possibly higher vulnerability) in the analysis than men. This gender difference is somewhat supported in academic research (Ballester, 2008¹⁶). However, some studies claim that the longer lifespan of women could also explain the gender difference (Xu *et al.*, 2013⁶¹). In any case, according to a public health study done in Spain based on morbidity and mortality data, the common heat stress differences that occur between sexes emphasize the importance of evaluating the possible disproportionate gender impacts in future extreme heat studies (Linares *et al.*, 2017⁴⁶).

Lastly, it is imperative to remember that the vulnerability to extreme heat that is mapped in this project is *relative* vulnerability not *absolute* vulnerability. Therefore, areas that demonstrate low vulnerability signify low heat vulnerability in comparison to other census groups of the metropolitan area of Barcelona. As such, vulnerability presented here is relative to the geographic study areas themselves, and “low” vulnerability zones may be higher or lower in other regions elsewhere.

4. RECOMMENDATIONS

4.1. Mitigation and adaptation

The metropolitan area of Barcelona is undergoing a warming climate, and to reduce the negative effects, comprehensive planning efforts need to take place. Like many planning efforts, this will involve the challenging but necessary collaboration of different stakeholders, professionals, and academics.

This section provides an overview of best practice strategies to address extreme heat, considering the vulnerability analysis presented in this project. These recommendations can be used to review or improve upon current implementation efforts in the metropolitan territory. The strategies presented are generally organized in order of short to long term implementation timelines.

Heat health warning systems

Heat health warning systems have become prevalent emergency response tools for extreme heat events and have been highly promoted in extreme heat studies in Spain (Martínez-Navarro *et al.*, 2004⁴⁷; Wolf & McGregor, 2013⁶⁰; Eisenman *et al.*, 2016³⁵). Warnings should particularly encompass vulnerable populations, considering results from this study and enhanced results in the future. It is vital that they be triggered at the extreme thresholds of vulnerability 35°C during the daytime and 25°C at night. In some cases, warnings could be triggered for particularly vulnerable populations where the conservative thresholds are more appropriate (30°C and 20°C, respectively). Warning systems should involve user-friendly and suitable education and outreach methods for the targeted vulnerable groups in question (Aubrecht & Özceylan, 2013¹⁴; Chuang & Gober, 2015²¹; Weber *et al.*, 2015⁵⁹; SA Health, 2016⁴⁰). For example, elderly people may be more likely to watch television programs or read the newspaper than check websites or social media feeds. Another possible outreach option is an automated call to potentially vulnerable populations, from a health care registry of patients who fulfill vulnerability profiles. Besides communicating basic strategies to reduce heat stress, these heat warnings should also include specific information of cool areas where people can get relief like neighborhood libraries, community centers, and indoor shopping centers (Aubrecht & Özceylan, 2013¹⁴).

Heat wave response plan

Heat wave response plans are action plans that prepare local physicians, emergency medical providers, hospital staff, and other participating members of the community assist those especially affected during a heat wave. They have been particularly promoted in extreme heat studies that study morbidity and mortality data in Spain. These studies have demonstrated the necessity of superior medical preparation to heat waves (Martínez-Navarro *et al.*, 2004⁴⁷; Reid *et al.*, 2009⁵³). To effectively target resources and minimize negative outcomes of heat stress, heat wave response plans should consider vulnerable populations and have monitoring programs to reduce the disproportionate impact these groups face (Johnson *et al.*, 2012⁴⁴; SA Health, 2016⁴⁰). In addition, specific vulnerability assessments can be made at different scales to improve local response. For example, if a neighborhood or city would like to make their own heat wave response plan, they can develop a vulnerability assessment that determines the

relative vulnerability of that specific population. Special nighttime warning responses and/or voluntary monitoring programs may also need to be implemented to oversee the elderly and those with pre-existing medical conditions, whom may be hesitant or have difficulty to get help at night (Martinez - Navarro et al, 2004⁴⁷; Aubrecht & Özceylan, 2013¹⁴; SA Health, 2013⁴⁰; SFPHD, 2013⁵⁶).

Community outreach and education

Heat warning systems, heat wave response plans, and other available resources to reduce heat stress are not useful if the general population is unaware of them. Community outreach and education efforts should be prioritized, funded, and comprehensively promoted to ensure the general population and vulnerable groups are aware of the preventive measures and the resources available to get help. Best practices include the use of various communication methods adapted for the best and maximum response of vulnerable groups. For example, in the spring and summer, through health centers and primary care, pamphlets could be distributed with information describing preventive measures for extreme heat events and resources that exist to reduce heat stress. These pamphlets should be targeted to sensitive populations and areas assessed to be highly vulnerable. Community outreach at summer city events (like “fiesta mayor”) could be another effective opportunity to improve public awareness and preparation to extreme heat. These events are likely to attain a significant amount of participation from the community, whom may decide to pass on information learned to relatives, neighbors, and acquaintances. Programs could include brief announcements, information booths, and interactive events to increase public awareness of extreme heat risk and how to decrease its impacts.

Cool urban infrastructure

Improving and adding cool infrastructure to the metropolitan area of Barcelona is a key effort to reduce the increasing impact of extreme heat over the long term. New and reconstructive projects will need to consider adapting to climate change and the enduring health of the community. To address extreme heat, development and infrastructure projects will need to consider natural and adaptive solutions to reduce heat, such as cooling centers, dense green infrastructure (parks, walls, roofs, landscaping), and bodies of water throughout all possible urban fabric (Reid *et al.*, 2009⁵²; SFPHD, 2013⁵⁶; Hondula *et al.*, 2015⁴²). In a UHI study completed in the city of Barcelona, dense urban parks have shown to have a cooling effect in the park area and its immediate surroundings (Martín-Vide *et al.*, 2015²⁹). Bodies of water like pools and fountains can also mitigate daytime heating so there is less heat released into the atmosphere at night (Martín-Vide *et al.*, 2015²⁹).

Another notable cooling infrastructure is albedo. Albedo refers to urban surfaces such as roofs and pavements with high solar reflectance, which decrease surface temperature and heating of the surrounding air (Oleson et al, 2010⁴⁹). In different studies, albedo has been deemed an effective way to mitigate the heat island effect, improve outdoor air quality, and enhance thermic comfort (Oleson et al., 2010⁴⁹; Akbari et al., 2012⁶). Albedo use is receiving increasing traction due to its low premium costs, energy savings, and minimal aesthetic conflict (Akbari et al., 2012⁶; Chow et al., 2012²⁰). The greater urban concentrations of the metropolitan territory show dark tones (reduced albedo) on building surfaces, which absorb a greater percentage of direct solar radiation, resulting in increased urban heating. With its high solar radiance, the metropolitan area of Barcelona is a prime candidate to utilize albedo to reduce excess heat.

Albedo has been typically used for roofs and sidewalks. Innovative “cool” pavements for street surfaces have been less common due to the lack of marketable products. The City of Los Angeles, however, is initiating a project to paint streets with white reflective paint, as a simple measure to reduce heat in the summer. This is a low-cost solution to a fixed infrastructure that is not likely to change to a more natural use. As such, albedo should be prioritized in areas where natural features or bodies of water are not feasible solutions. At the same time, however, it is important to evaluate where albedo is practical and safe, considering that the solar reflection on streets could negatively impact the view of drivers (Lopez-Bustins, 2018).

Improved regulations

With increasing temperatures in the future, city and regional regulations need to be constantly monitored and improved to ensure public health considerations are updated with the changing context of vulnerability in the area. For example, labor laws should exist for vulnerable outdoor workers so that they work during off-peak hours, have sufficient breaks, possess access to cool areas, and wear protective clothing (Kravchenko *et al.*, 2015⁴⁵). In addition, local ordinances, standards and policies should be customized to promote and streamline cool urban infrastructure projects. If conducive regulation is not in place, it is difficult to stimulate voluntary programs from businesses and neighborhood groups.

4.2. Future research

The following sections provide recommendations and insight for future research in the metropolitan area of Barcelona. These suggestions bear in mind the shortcomings and limitations of the assessment from this final master's project and provides guidance on how to address these challenges in the future.

Exposure data

Future vulnerability assessments could consider using the exposure variable of heat waves instead of the extreme temperature thresholds used in this final master's project (Rinner *et al.*, 2010⁵³; Aubrecht y Özceylan, 2013¹⁴; Xu *et al.* 2015⁶¹). Heat waves have been shown to pose a heightened impact on health, because the human body is severely weakened from experiencing high temperatures for consecutive days and nights. However, as cited in Kravchenko *et al.*, in multiple cases, less than half of heat related deaths occur during a heat wave, the rest occur during the hot season. Therefore, preventive measures are needed during the entire summer to reduce overall heat-related morbidity and mortality. Extreme heat temperatures, like the ones used in this present study, are therefore valid variables to indicate heat exposure. In addition, they are found to be the most frequently used exposure variables to analyze heat-related vulnerability and risks (Aubrecht & Özceylan, 2013¹⁴; Bao *et al.*, 2015¹⁷).

Humidity may also be an important variable to add in the exposure component of the vulnerability equation of future studies (Martínez-Navarro *et al.*, 2004⁴⁷). In the Fabra Observatory of Barcelona, the recorded relative humidity for June, July, and August was 65% for the years 2012-2016 (Ayuntamiento de Barcelona, 2016¹⁵). This high relative humidity results in increased heat stress, due to reduced evaporative cooling which reduces overall thermoregulation of the human body (Kravchenko *et al.*,

2013⁴⁵; Bao *et al.*, 2015¹⁷; Hondula *et al.*, 2015⁴²). Therefore, with a 65% relative humidity, 30°C would feel like 34°C and 35°C would feel like 48°C (National Weather Service, 2018⁴⁸).

In certain studies of extreme heat where humidity is a significant factor, a heat index with a humidity component is used (Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵; Bao *et al.*, 2015¹⁷). The metropolitan area of Barcelona could consider using an index like this. However, although humidity is an influential factor to include in the vulnerability equation, the results presented in this study could also be analyzed with humidity in mind. For example, knowing that humidity is generally high in the metropolitan area, decision makers can focus on the conservative thresholds of the study, 30°C for hot days and 20°C for tropical nights, to best strategize a comprehensive plan that minimizes impact to the area. As previously mentioned, this conservative approach is also supported by the fact that most of the morbidity and mortality occur in any day of the hot season, not just the days are most extreme (Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵).

The Urban Heat Island (UHI) effect could also be more thoroughly studied in future research. The vulnerability assessment in this project presents extreme night scenarios that also generally reflect the heat island effect in the metropolitan territory. However, future studies could include a well-established heat island map for summer months, where UHI data could be extracted by census groups to recalculate the vulnerability equation. This work could build upon the previous UHI studies by Martin-Vide (2015)²⁹, and Arellano Ramos & Roca Caldera (2016)¹³, along with any other projects completed in the area.

Air quality and air pollution may also be another interesting factor to consider in extreme heat vulnerability assessments. As mentioned in the introduction, stagnant air common with heat waves concentrates pollution and respiratory health risk (Hondula *et al.*, 2015⁴²; Generalitat de Catalunya, 2016³⁹). The interactive effects of extreme heat and high concentrations of atmospheric pollutants is also a contributor to morbidity and mortality. As such, the convergence of the two hazards is an increasing area of study amongst academics and has potential for future vulnerability assessments (Hondula *et al.*, 2015⁴²).

Sensitivity data

The sensitivity indicators presented in this study were limited by data quality and availability in the area. In general, there seems to be a clear need to enhance data capacity with complementary initiatives. For example, to complement the data provided by IDESCAT and INE, it may be extremely beneficial for municipalities, AMB, and other interested stakeholders to administer their own surveys in more frequent intervals than the census (which is administered every ten years). This survey could be a public health climate survey that could go beyond the specific impact of extreme heat. This recommendation is key and fundamental to vulnerability assessments. With highly significant and updated data, valuable assessments can be developed that are more prone to accurately predict vulnerability, which in turn allows for effective strategies to reduce heat morbidity and mortality.

Data of disability status and pre-existing medical conditions would be substantial to the sensitivity factor of future vulnerability indexes. These groups of people are found of highest risk of heat-related mortality, alongside the elderly (Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵; SFDPH, 2013⁵⁶; Wolf y McGregor, 2013⁶⁰; Bao *et al.*, 2015¹⁷). For example, a specific study in Spain found that those with neurodegenerative

diseases like Parkinson, Dementia, and Alzheimer are at increased risk of morbidity and death from extreme heat (Johnson *et al.*, 2012⁴⁴; Linares *et al.*, 2017⁴⁶). For each degree that passed the extreme temperature threshold, their mortality increased 12%, 16%, and 18% for each of these groups, respectively (Linares *et al.*, 2017⁴⁶).

As mentioned in the introduction, population under 5 years old is a pertinent variable to assess due to infants' physical sensitivity and reduced thermoregulatory capacity (Tecnalia Research & Innovation, 2015⁵⁷). Population under 5 was considered in this assessment, but due to confounding results with the methodology it was removed. AMB could consider the variable separately by referring to a separate map of population under 5, (like presented in Appendix 7.3) or it can be integrated in the vulnerability equation with other new variables once they become available. Public health efforts and vulnerability studies should also consider the areas where children participate in outdoor sports and activities as higher-risk zones (Kravchenko *et al.*, 2015⁴⁵).

Outdoor workers and sports participants may be particularly vulnerable to extreme heat due to increased physical exertion and exposure during daytime hours (SA Health, 2016⁴⁰). In fact, heat stroke is a top leading cause of death for athletes (Kravchenko *et al.*, 2015⁴⁵). Besides heat itself, outdoor laborers are likely more exposed to pollen, dust, exhaust fumes, hot asphalt, pesticides, herbicides, insecticides, and increased humidity from outside working conditions. These factors can exacerbate the effects of heat and put laborers at increased risk (Xu *et al.*, 2013⁶¹; Kravchenko *et al.*, 2015⁴⁵). In prevention efforts and future vulnerability studies, the daytime extreme heat scenarios should be particularly contemplated for these sensitivity profiles (opposed to hot night scenarios). Understanding that these groups participate in risk-behavior away from their home should also be considered when including this variable into vulnerability indexes (Flanagan *et al.*, 2011³⁷).

Certain studies in the Barcelona region have indicated that the ≥ 65 years old cut off is not significant enough for heat-related mortality. They have instead found that ≥ 70 years is the appropriate threshold (Xu *et al.*, 2015⁶¹). However, since this present study analyzes the effect on both morbidity and mortality the ≥ 65 years old variable seems to still be appropriate as demonstrated in other heat-related studies. Therefore, future studies that wish to demonstrate vulnerability to heat related mortality specifically should consider analyzing elderly 70 years and older, while studies that wish to analyze both morbidity and mortality should contain the population 65 year and older variable.

Other studied sensitivity variables to be analyzed and considered in future vulnerability studies are: pregnant women (Linares *et al.*, 2016⁴⁶; SA Health, 2016⁴⁰), crowded living conditions (Bao *et al.*, 2015¹⁷; Tecnalia Research & Innovation, 2015⁵⁷; SA Health, 2016⁴⁰), living in old buildings which have not been remodeled or renovated (Johnson *et al.*, 2012⁴⁴; Xu *et al.*, 2013⁶¹), and access to health care (Bao *et al.*, 2015¹⁷; Tecnalia Research & Innovation, 2015⁵⁷).

Adaptative capacity data

In various studies of extreme heat, having air conditioning was found to be a substantial factor in reducing heat stress (Reid *et al.*, 2009⁵²; Kravchenko *et al.*, 2013⁴⁵; SFPD, 2013⁵⁶; Wolf y McGregor, 2013⁶⁰; Bao *et al.*, 2015¹⁷; Martín-Vide *et al.*, 2015²⁹; Eisenman *et al.*, 2016³⁵). This data is unavailable for the metropolitan area of Barcelona, not to mention at a scale useful for study like census groups. It

would be greatly valuable that stakeholders administer efforts to attain this data at a small scale like census sections or at a smaller level if possible. This indicator on its own can be very indicative of highly vulnerable populations and potential intervention efforts. By including these adaptive capacity variables and other relevant variables in the future, vulnerability scores will decrease in certain areas of the metropolitan territory.

Access to cool space is another highly significant adaptive capacity factor to be examined in future studies (Rinner *et al.*, 2010⁵³; Johnson *et al.*, 2012⁴⁴; Weber *et al.*, 2015⁵⁹; Eisenman *et al.*, 2016³⁵). Accessible cool spaces include neighborhood libraries, schools, community centers, pools, parks, etc., that provide significant relief from heat stress and are within an accessible walking distance. These cool spaces should be mapped and ensured accessibility during an extreme heat event, recognizing the potential mobility and accessibility limitations that vulnerable groups may have. With this vulnerability assessment and another study of accessible cool spaces, cross analysis could locate areas of high vulnerability with low access to cool spaces. With this information, funding can be prioritized to add additional cool spaces in areas of need.

Justifying the vulnerability index

To advance future vulnerability studies and implement prevention measures, improved extreme heat morbidity and mortality data is essential. Many of the current studies that study the morbidity and mortality associations with extreme heat conclude that enhanced quality and quantity of data is required to make stronger associations and directed actions plans based on the data (Martínez-Navarro *et al.*, 2004⁴⁷). In addition, with better data, the vulnerability indexes can be compared with the real-world morbidity and mortality outcomes to determine if the indexes are realistic predictors of vulnerability in the geographical context in question (Wolf y McGregor, 2013⁶⁰; Chuang y Gober, 2015²¹). The results from these predictive studies help refine the variables used in the vulnerability index, increase the validity of the results, and improve measures taken based on the analysis. Some examples of performance assessments of heat vulnerability index include Johnson *et al.* (2012)⁴⁴, Wolf *et al.* (2014)⁶¹, and Chuang & Gober (2015)²¹.

5. CONCLUSIONS

Extreme heat threatens the health and quality of life of the planet and its inhabitants. Tangible, efficient, and creative efforts must be made to prevent further harm. Vulnerability assessments provide a data-backed tool to improve resource allocation and implement sustainable solutions that help communities prevent the increasing adverse effects of climate change. This final master's project provides the first quantified extreme heat vulnerability assessment for the metropolitan area of Barcelona. Quantitatively and significantly, the vulnerability results of this assessment help prioritize where it is especially necessary to act to minimize morbidity and mortality to extreme heat. The recommendations presented in Section 4 together with the guide in Appendix 7.5 are intended to serve as an insightful starting point for future actions and studies.

Vulnerability is calculated using a simplified and justified methodology, which aggregates exposure to extreme heat and the synergistic effects of sensitivity and adaptive capacity. The exposure data used for this project are hot days ($T_{max} > 30^{\circ}\text{C}$), torrid days ($T_{max} > 35^{\circ}\text{C}$), tropical nights ($T_{min} > 20^{\circ}\text{C}$), and torrid nights ($T_{min} > 25^{\circ}\text{C}$) for the RCP 4.5 2011-2040 projection period. The sensitivity variables are population ≥ 65 , women or men ≥ 65 living alone, inactive population, unemployed, population ≥ 25 years without studies, buildings 4 floors or more without an elevator, foreign born population, and rental housing. The adaptive capacity variable used was mean NDVI.

The vulnerability results are dispersed throughout the metropolitan territory and change depending on the synergistic aggregation of the extreme heat scenarios and the sensitivity / adaptive capacity of the population in question. For hot and torrid days, the results generally show more vulnerability in the northeast and southeast part of the metropolitan area. Cerdanyola del Vallès and Badia del Vallès are the two cities that obtained the highest vulnerability scores for both diurnal thresholds. For tropical nights and torrid nights, high vulnerability is concentrated in the southern and southeastern part of metropolitan territory. The municipalities that show the greatest vulnerability for these scenarios are Barcelona and Santa Coloma de Gramenet. To see the results in more detail, refer to Section 3, Appendix 7.4, and the online viewer <https://arcg.is/1frKKn>.

6. BIBLIOGRAPHY

1. Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. (2017). *Ley 16/2017, de 1 de agosto, del cambio climático*. Retrieved from: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2017/BOE-A-2017-11001-consolidado.pdf>
2. Ajuntament de Barcelona (2018). *Resum Executiu: Onades de Calor*. Retrieved from: http://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/sites/default/files/PlaClima_RE_OnadesdeCalor.pdf
3. Ajuntament de Prat de Llobregat & Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB. (2015). *Pla Local D'adaptació al Canvi Climàtic a Prat de Llobregat*. Retrieved from: <http://www.amb.cat/es/web/medi-ambient/sostenibilitat/canvi-climatic/adaptacio#>
4. Ajuntament de Santa Coloma de Gramenet & Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB. (2015). *Pla Local D'adaptació al Canvi Climàtic a Santa Coloma De Gramenet*. Retrieved from: <http://www.amb.cat/es/web/medi-ambient/sostenibilitat/canvi-climatic/adaptacio#>
5. Ajuntament de Viladecans & Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB. (2015). *Pla Local D'adaptació al Canvi Climàtic a Viladecans*. Retrieved from: <http://www.amb.cat/es/web/medi-ambient/sostenibilitat/canvi-climatic/adaptacio#>
6. Akbari, H., Matthews, H. D., & Seto, D. (2012). The long-term effect of increasing the albedo of urban areas. *Environmental Research Letters*, 7(2), 024004.
7. Àrea de Ecologia, Urbanisme i Mobilitat: Ayuntamiento de Barcelona. (2017). *Concurso de cubiertas verdes*. Retrieved from: <http://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/es/concurso-cubiertas-verdes>
8. Àrea de Ecologia, Urbanisme i Mobilitat: Ayuntamiento de Barcelona. (2017). *Pla d'Impuls a la Infraestructura Verda. Programa d'impuls de la infraestructura verda urbana: mesura de govern*. Retrieved from: <https://bcnroc.ajuntament.barcelona.cat/jspui/handle/11703/102316>
9. Àrea d'Ecologia, Urbanisme i Mobilitat & Comissió d'Ecologia, Urbanisme i Mobilitat: Ayuntamiento de Barcelona. (2017). *Programa d'impuls de la infraestructura verda urbana: mesura de govern*. Retrieved from: <http://hdl.handle.net/11703/102316>
10. Àrea d'Ecologia, Urbanisme i Mobilitat: Ayuntamiento de Barcelona. (2017). *Pla del Verd i de la Biodiversitat 2012-2020*. Retrieved from <http://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/ca/que-fem-i-per-que/ciutat-verda-i-biodiversitat/pla-verd-i-la-biodiversitat>
11. Àrea d'Hàbitat Urbà: Ayuntamiento de Barcelona. (2014). *Mesura de govern per a impulsar terrats vius i cobertes verdes a Barcelona*. Retrieved from: <http://hdl.handle.net/11703/84720>
12. Area Metropolitana de Barcelona. (2015). *Declaració De L'Àrea Metropolitana De Barcelona pel Clima*. Retrieved from: http://www.amb.cat/documents/11696/474543/20151127_Declaracio+AMB+Clima_DEF.pdf/0af95556-f520-4346-b993-c56d7ca42a6e
13. Arellano Ramos, B., & Roca Cladera, J. (2016). Identifying urban heat island: the Barcelona case. In *Back to the Sense of the City: International Monograph Book* (pp. 798-812). *Centre de Política de Sòl i Valoracions*. Retrieved from: <http://hdl.handle.net/2117/91015>
14. Aubrecht C. & Özceylan D. (2013). Identification of heat risk patterns in the US National Capital Region by integrating heat stress and related vulnerability. *Environment international*, 56, 65-77.
15. Ayuntamiento de Barcelona. (2016). *Nubosidad y humedad relativa*. Retrieved from: <http://www.bcn.cat/estadistica/castella/dades/anuari/cap01/C0102030.htm>
16. Ballester, Ferran. (2008). El impacto del calor extremo en la salud: nuevos retos para la epidemiología y la salud pública. *Revista Española de Salud Pública*, 82(2), 147-151. Recuperado en 24 de julio de 2018, de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272008000200001&lng=es&tlng=es.

17. Bao, J., Li, X., & Yu, C. (2015). The construction and validation of the heat vulnerability index, a review. *International journal of environmental research and public health*, 12(7), 7220-7234.
18. Bergstrand, K., Mayer, B., Brumback, B., & Zhang, Y. (2015). Assessing the relationship between social vulnerability and community resilience to hazards. *Social Indicators Research*, 122(2), 391-409.
19. Cabezas Vegas, A. & Lluch Torrents, A. (2016). *El paper de la infraestructura verda urbana en l'adaptació al canvi climàtic*. Retrieved from: <http://www.amb.cat/web/medi-ambient/actualitat/publicacions/detall/-/publicacio/el-paper-de-la-infraestructura-verda-urbana-en-l-adaptacio-al-canvi-climatic/6227649/11818>
20. Chow, W. T., Chuang, W. C., & Gober, P. (2012). Vulnerability to extreme heat in metropolitan Phoenix: spatial, temporal, and demographic dimensions. *The Professional Geographer*, 64(2), 286-302.
21. Chuang, W. C., & Gober, P. (2015). Predicting hospitalization for heat-related illness at the census-tract level: Accuracy of a generic heat vulnerability index in phoenix, Arizona (USA). *Environmental Health Perspectives (Online)*, 123(6), 606.
22. Consorci de l'Habitatge de Barcelona: Ayuntamiento de Barcelona. (2017). *Ajuts per a la rehabilitació d'habitatges i edificis 2017*. Retrieved from: <http://www.bcn.cat/consorcihabitatge/ca/presentacio-rehabilitacio.html>
23. Contreras, E., Castillo, I., Àrea d'Ecologia, Urbanisme i Mobilitat. (2015). *Guia de terrats vius i cobertes verdes*. Retrieved from: <http://hdl.handle.net/11703/86542>
24. Cutter, S. L., Boruff, B. J., & Shirley, W. L. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly*, 84(2), 242-261. Retrieved from: <http://www.jstor.org/stable/42955868>
25. Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB. (2015). *L'augment de la temperatura i la precipitació a l'àrea metropolitana: estacions menys marcades i índexs de calor diürns i nocturns més elevats*. Retrieved from: http://www.amb.cat/documents/11818/276916/CC_AMB_1CLIMA.pdf/1828adef-74ec-4e0d-a713-7bf31b0ec3df
26. Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB. (2015). *Pla d' Adaptació al Canvi Climàtic de l'AMB*. Retrieved from: <http://www.amb.cat/web/medi-ambient/actualitat/publicacions/detall/-/publicacio/pacc-2015-2020--document-complet-/1125562/11818>
27. Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB. (2015). *Pla de Sostenibilitat de l'AMB (PSAMB)*. Retrieved from: <http://www.amb.cat/es/web/medi-ambient/actualitat/publicacions/detall/-/publicacio/memoria-del-psamb/1138518/11818>
28. Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB & Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA). (2015). *Valoració del verd urbà de l'Àrea Metropolitana de Barcelona per donar pautes de gestió agronòmica que possibilitin incrementar l'eficiència en l'ús de recursos i l'adaptació al canvi climàtic*. Retrieved from: http://www3.amb.cat/repositori//CANVICLIMATIC/METROBS/METROBS_VerdUrb%C3%A0.pdf
29. Direcció de Serveis Ambientals de l'AMB & Martín-Vide, J. (2015). *La isla de calor en el área metropolitana de Barcelona y la adaptación al cambio climático*. Retrieved from: <http://www.amb.cat/es/web/medi-ambient/actualitat/publicacions/detall/-/publicacio/la-isla-de-calor-en-el-area-metropolitana-de-barcelona-y-la-adaptacion/5773152/11818>
30. Echave, C., Maté, C. & L'Agència d'Ecologia Urbana de Barcelona. (2009). *Estudi Cobertes i murs verds, existents, potencials i estratègies d'implantació a Barcelona. Agència d'ecologia urbana de Barcelona*. Retrieved from: http://bcnecologia.net/sites/default/files/proyectos/resum_executiu.pdf
31. Ecología, Urbanismo, y Movilidad: Ayuntamiento de Barcelona. (2015). *Compromís de Barcelona pel Clima*. Retrieved from: <http://lameva.barcelona.cat/barcelona-pel-clima/ca/compromisos-climaticos/compromis-ciutada-la-sostenibilitat>
32. Ecología, Urbanismo, y Movilidad: Ayuntamiento de Barcelona. (2016). *Presentación: Transición hacia la Soberanía Energética*. Retrieved from:

http://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/sites/default/files/Presentacio_Sobirania_Energetica.pdf

33. Ecología, Urbanismo, y Movilidad: Ayuntamiento de Barcelona. (2016). *Medida de gobierno: Transición hacia la Soberanía Energética*. Retrieved from: <http://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/es/que-hacemos-y-porque/energia-y-cambio-climatico/estrategia-transicion-energetica>
34. Ecología, Urbanismo, y Movilidad: Ayuntamiento de Barcelona. (s.f). Compromisos internacionales. Retrieved from: <http://lameva.barcelona.cat/barcelona-pel-clima/es/compromisos-climaticos/compromisos-internacionales>
35. Eisenman, D. P., Wilhalme, H., Tseng, C. H., Chester, M., English, P., Pincetl, S., ... & Dhaliwal, S. K. (2016). Heat death associations with the built environment, social vulnerability and their interactions with rising temperature. *Health & place*, 41, 89-99.
36. ESRI. (2017). How To: Convert a floating type raster to a polygon feature class and retain the decimal values. Retrieved from: <https://support.esri.com/en/technical-article/000012554>
37. Flanagan, B. E., Gregory, E. W., Hallisey, E. J., Heitgerd, J. L., & Lewis, B. (2011). A social vulnerability index for disaster management. *Journal of homeland security and emergency management*, 8(1). Retrieved from: <https://svi.cdc.gov/Documents/Data/A%20Social%20Vulnerability%20Index%20for%20Disaster%20Management.pdf>
38. Garcia, A. & Sarroca, B. (2016). *Coberta experimental*. Retrieved from: <http://www.amb.cat/documents/11818/6226417/Resum+Executiu.pdf/28a95339-aeb7-4a5a-9a1e-b15ac45d85a8>
39. Generalitat de Catalunya. (2016). *Resumen ejecutivo del Tercer Informe sobre el cambio climático en Cataluña*. Retrieved from: http://cads.gencat.cat/web/.content/Documents/Publicacions/tercer-informe-sobre-canvi-climatic-catalunya/Resum_executiu_TICCC/RESUM_EXECUT_TICCC_web_ES.pdf
40. Government of Southern Australia. (2016). *SA Health Extreme Heat Strategy*. Retrieved from: <https://www.sahealth.sa.gov.au/wps/wcm/connect/33e7f9004708784eb87ff822d29d99f6/SA+Health+Extreme+Heat+Strategy+V6.11.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=ROOTWORKSPACE-33e7f9004708784eb87ff822d29d99f6-IDYhlfA>
41. Guillard-Gonçalves, C., Cutter, S. L., Emrich, C. T., & Zêzere, J. L. (2015). Application of Social Vulnerability Index (SoVI) and delineation of natural risk zones in Greater Lisbon, Portugal. *Journal of Risk Research*, 18(5), 651-674.
42. Hondula, D. M., Davis, R. E., Leisten, M. J., Saha, M. V., Veazey, L. M., & Wegner, C. R. (2012). Fine-scale spatial variability of heat-related mortality in Philadelphia County, USA, from 1983-2008: a case-series analysis. *Environmental health*, 11(1), 16.
43. Institut d'Estudis Regionals i Metropolitans de Barcelona. (2016). 1.1.3. *Elaboració del mapa de barris i de les àrees estadístiques de referència*. Retrieved from: <https://iermb.uab.cat/wp-content/uploads/2017/01/16013.pdf>
44. Johnson, D. P., Stanforth, A., Lulla, V., & Lubber, G. (2012). Developing an applied extreme heat vulnerability index utilizing socioeconomic and environmental data. *Applied Geography*, 35(1), 23-31.
45. Kravchenko, J., Abernethy, A. P., Fawzy, M., & Lyerly, H. K. (2013). Minimization of heatwave morbidity and mortality. *American journal of preventive medicine*, 44(3), 274-282.
46. Linares, C., Carmona, R., Ortiz, C., Mirón, I. J., & Díaz, J. (2017). Temperaturas extremas y salud en España en un contexto de cambio climático: Algunas líneas de investigación. *Revista de Salud Ambiental*, 17(1), 57-69.
47. 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(4), 250-258.

48. National Weather Service. (2018). Heat Index Calculator. Retrieved from: <http://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex.shtml>
49. Oleson, K. W., Bonan, G. B., & Feddema, J. (2010). Effects of white roofs on urban temperature in a global climate model. *Geophysical Research Letters*, 37(3).
50. Ramos Garcia, E., & Gironès Pous, J. (2015). *Estudi mediambiental dels murs verds i anàlisi dels sistemes constructius aplicats a un projecte d'implantació a Barcelona* (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya). Retrieved from: <http://hdl.handle.net/2117/76700>
51. Red Española de Ciudades por el Clima. (n.f). Quines somos. Retrieved from: <http://www.redciudadesclima.es/contenido/quienes-somos>
52. Reid, C. E., O'Neill, M. S., Gronlund, C. J., Brines, S. J., Brown, D. G., Diez-Roux, A. V., & Schwartz, J. (2009). Mapping community determinants of heat vulnerability. *Environmental health perspectives*, 117(11), 1730.
53. Rinner, C., Patychuk, D., Bassil, K., Nasr, S., Gower, S., & Campbell, M. (2010). The role of maps in neighborhood-level heat vulnerability assessment for the city of Toronto. *Cartography and Geographic Information Science*, 37(1), 31-44.
54. Santiago Jiménez, M., & Saurí i Pujol, D. (2011). *La repercussió de l'onada de calor de 2003 en la població major de 65 anys de Barcelona i l'àrea metropolitana*. Retrieved from: https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2011/hdl_2072_151969/PFC_MartaSantiagoJimenez.pdf
55. Sección de Estudios Territoriales, AMB. (2015). *Indicadors per a la determinació d'àrees urbanes d'atenció especial*. Disponible: http://www3.amb.cat/repositori/Estudis%20territorials/Barris/Indicadors_Arees_Atencio_2015.pdf
56. SFDPH. (2013). *Understanding the Risk: An Assessment of San Francisco's Vulnerability to Extreme Heat Events*. Retrieved from: <http://www.adaptationclearinghouse.org/resources/climate-and-health-understanding-the-risk-an-assessment-of-san-francisco-eyes-vulnerability-to-extreme-heat-events.html>
57. Tecnalia Research & Innovation. (2015). *Análisis de Vulnerabilidad Ante el Cambio Climático en el Municipio de Madrid*. Retrieved from: <http://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/Sostenibilidad/EspInf/EnergiaCC/04CambioClimatico/4b2Vulnera/Ficheros/InfVulneraCC2015VerWeb.pdf>
58. Vescovi, L., Rebetez, M., & Rong, F. (2005). Assessing public health risk due to extremely high temperature events: climate and social parameters. *Climate Research*, 30(1), 71-78.
59. Weber, S., Sadoff, N., Zell, E., & de Sherbinin, A. (2015). Policy-relevant indicators for mapping the vulnerability of urban populations to extreme heat events: A case study of Philadelphia. *Applied Geography*, 63, 231-243
60. Wolf, T., & McGregor, G. (2013). The development of a heat wave vulnerability index for London, United Kingdom. *Weather and Climate Extremes*, 1, 59-68.
61. Wolf, T., McGregor, G., & Analitis, A. (2014). Performance assessment of a heat wave vulnerability index for greater London, United Kingdom. *Weather, climate, and society*, 6(1), 32-46.
62. Xu, Y., Dadvand, P., Barrera-Gómez, J., Sartini, C., Marí-Dell'Olmo, M., Borrell, C., & Basagaña, X. (2013). Differences on the effect of heat waves on mortality by sociodemographic and urban landscape characteristics. *J Epidemiol Community Health*, 67(6), 519-525.

7. APPENDICES

7.1. Relevant efforts to address extreme heat

Table 7.1a. Relevant climate change frameworks and commitments

COMMITMENT	JURISDICTION	RELEVANT INFORMATION
Covenant of Mayors for Sustainable Energy (2008)	Europe, Barcelona,	Commitment to reduce 20% of greenhouse gas (GHG) emissions by 2020.
Mayors Adapt (2014)	Europe, Barcelona,	Commitment for climate adaptation; calls for the preparation of climate action plans.
Covenant of Mayors for Climate & Energy (2017)	Europe, Barcelona	Continuation of previous European initiatives to mitigate and adapt to climate change. Calls for GHG emissions reduction of 40% by 2030 and an increase of the resilience of cities.
Paris Agreement. The 21st session of the Conference of the Parties (COP 21) (2015)	Global, Barcelona	Commitment to maintain global warming below 2°C. Includes resilience strategies, action plans for adaptation, the complete transition to renewable energy, and goals to reduce 80% of GHG by 2050.
Spanish Network of Cities for Climate ⁵¹	Spain, Barcelona	Coordination of policies to mitigate and adapt to climate change between municipalities of Spain. Calls the importance of facing climate change immediately.
Climate Change Law of Catalonia (July 27, 2017) ¹	Catalonia	Calls for the "regulation of measures aimed at mitigating and adapting to climate change, defining the governance of public administration in relation to climate change, and the establishment of taxes as an instrument to act against climate change".
Declaration of the Metropolitan Area of Barcelona for Climate (2015) ¹²	AMB	Declaration to expand "commitments related to climate change mitigation and adaptation, in order to contribute to a more resilient society, by reducing 40% of CO ₂ emissions in 2030."
Barcelona Climate Commitment (2014)	Barcelona	Commitment with citizens and other entities to reduce CO ₂ emissions by 50% compared to 2005 values and increase urban vegetation and parks to an amount of 1m ² per current inhabitant.

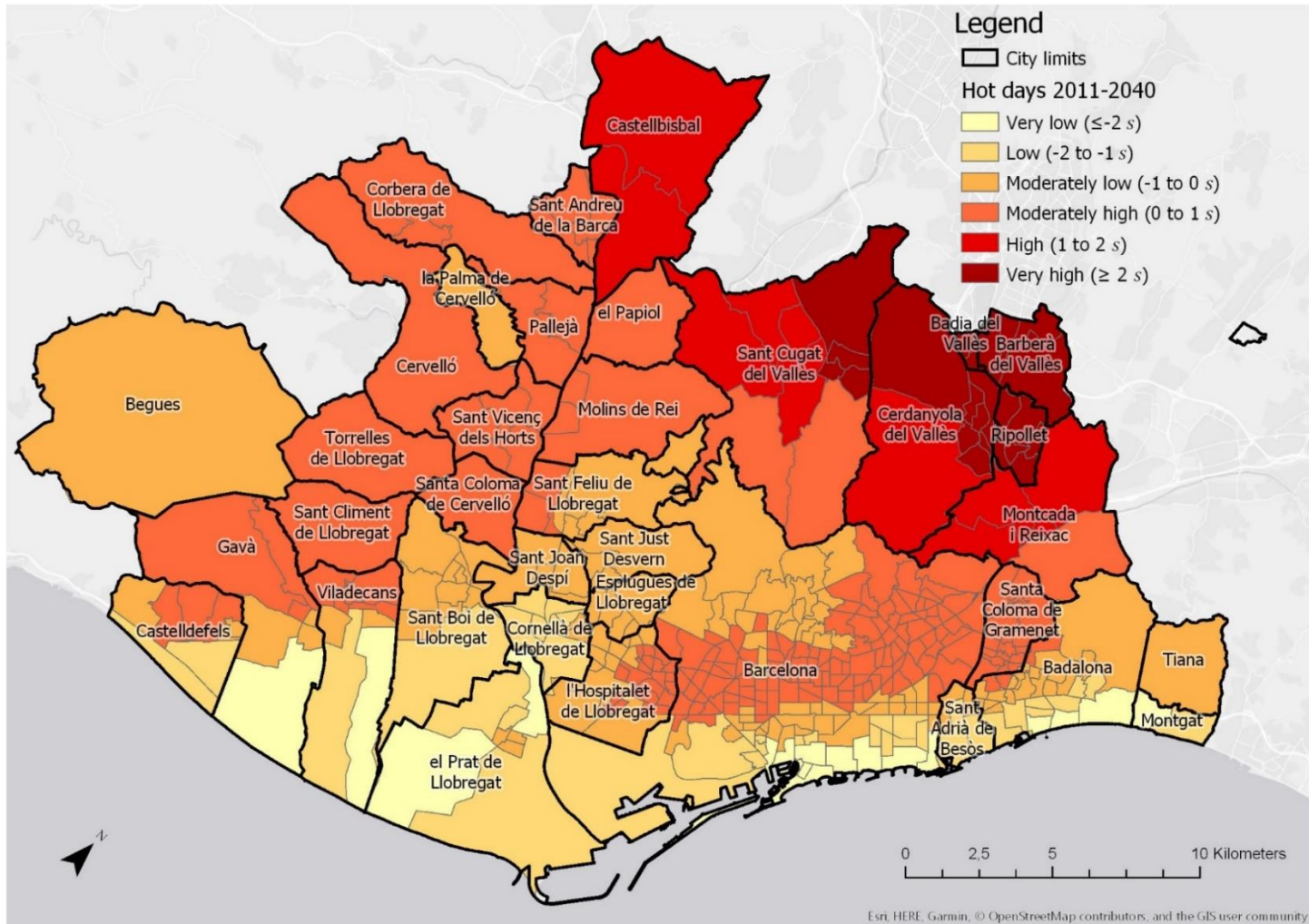
Table 7.1b. Relevant projects to face the extreme heat in AMB

PROJECT, PLAN OR STUDY	JURISDICTION
Pla Clima i Energia (2018)	AMB
Pla Clima: Ondas de Calor (2018) ²	Barcelona
Coberta Experimental (2016). ³⁸	AMB
Ajuts per a la rehabilitació d'habitatges i edificis (2017) ²²	Barcelona
Programa d'impuls de la infraestructura verda urbana: mesura de govern (2017) ⁹	Barcelona
Concurso de Cubiertas Verdes (2017) ⁷	Barcelona
Resumen ejecutivo del Tercer Informe sobre el cambio climático en Cataluña (2017) ³⁹	Cataluña
El paper de la infraestructura verda urbana en l'adaptació al canvi climàtic (2016) ¹⁹	AMB
La isla de calor en el área metropolitana de Barcelona y la adaptación al cambio climático (2015) ²⁹	AMB
Pla d'Adaptació al Canvi Climàtic de l'AMB (2015) ²⁶	AMB
Pla Local d'adaptació al Canvi Climàtic a Prat de Llobregat (2015) ³	Prat de Llobregat
Pla Local d'adaptació al Canvi Climàtic a Santa Coloma de Gramenet (2015) ⁴	Santa Coloma de Gramenet
Pla Local d'adaptació al Canvi Climàtic a Viladecans (2015) ⁵	Viladecans
Valoració del verd urbà de l'Àrea Metropolitana de Barcelona per donar pautes de gestió agronòmica que possibilitin incrementar l'eficiència en l'ús de recursos i l'adaptació al canvi climàtic (2015) ²⁸	AMB
Guia de terrats vius i cobertes verdes (2015) ²³	Barcelona
Estudi mediambiental dels murs verds i anàlisi dels sistemes constructius aplicats a un projecte d'implantació a Barcelona (2015) ⁵⁰	Barcelona
Plan de Sostenibilidad de la AMB (PSAMB) (2014) ²⁷	AMB
Mesura de govern per a impulsar terrats vius i cobertes verdes a Barcelona (2014) ¹¹	Barcelona
Pla del Verd i de la Biodiversitat 2020 (2011) ¹⁰	Barcelona
Estudi de Cobertes i murs verds, existents, potencials i estratègies d'implantació a Barcelona (2009) ³⁰	Barcelona

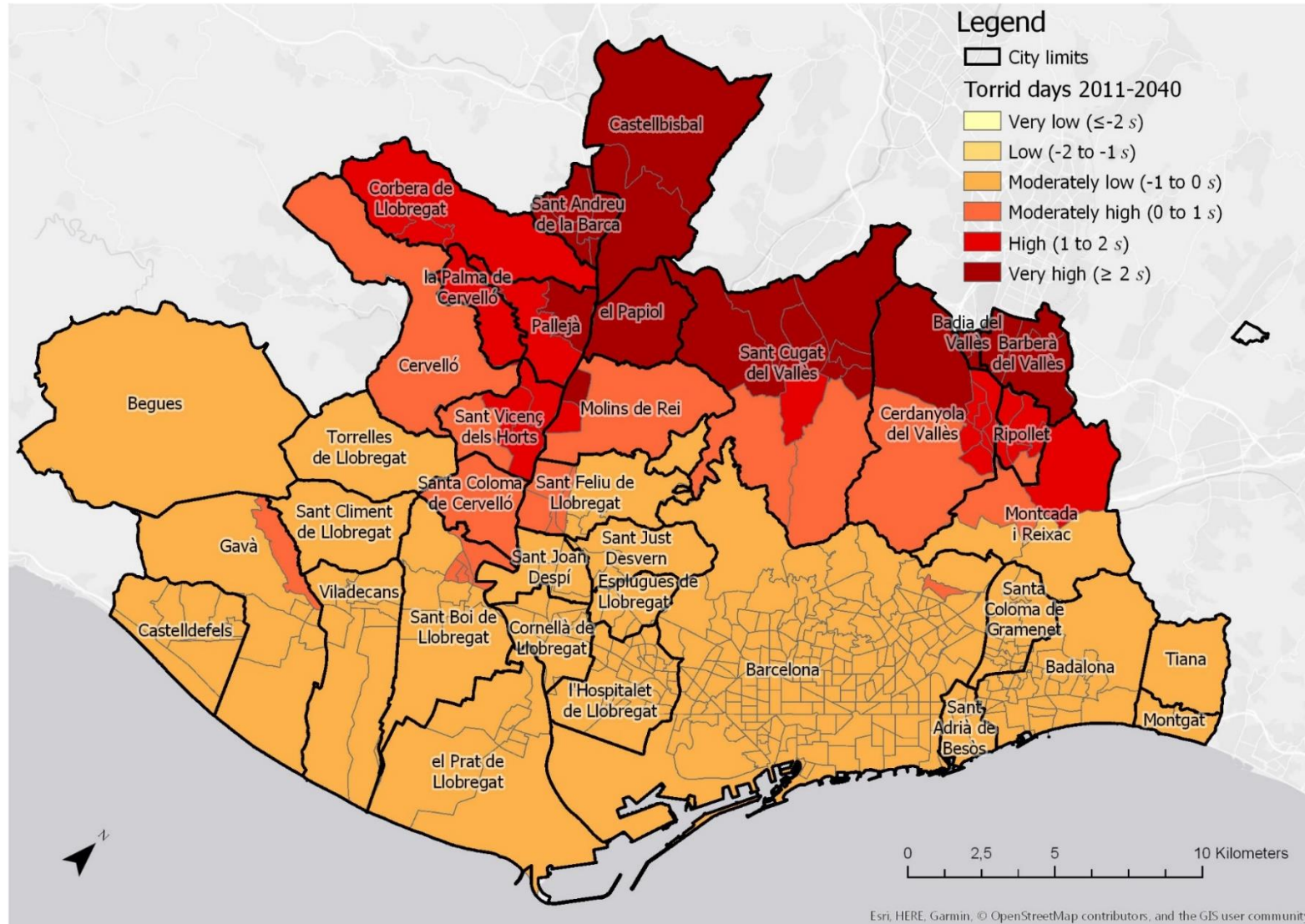
7.2. Extreme heat exposure variables

The following maps show the extreme heat variables used in this assessment. For more information about the data represented, see Section 2.

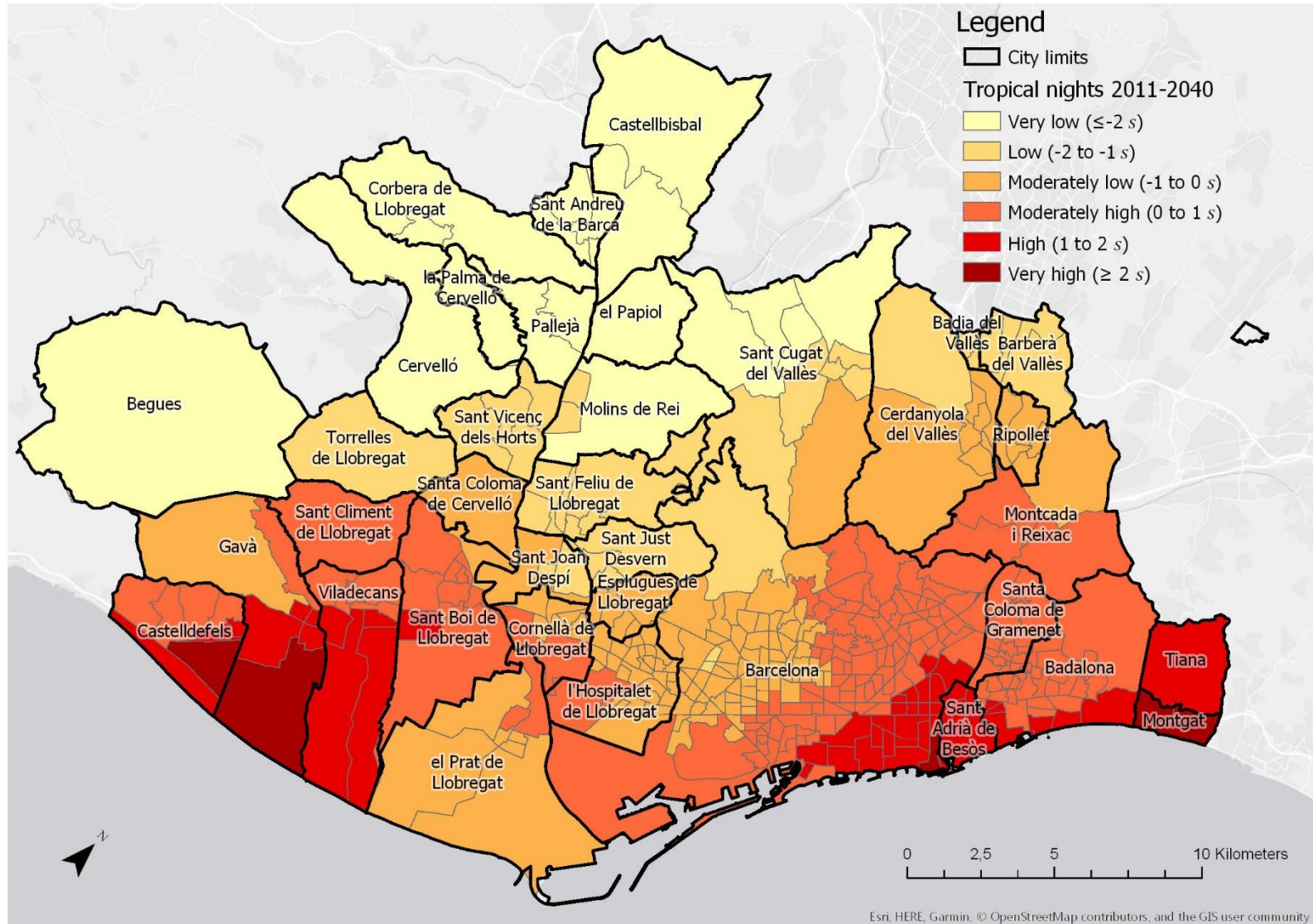
Hot days (2011-2040)



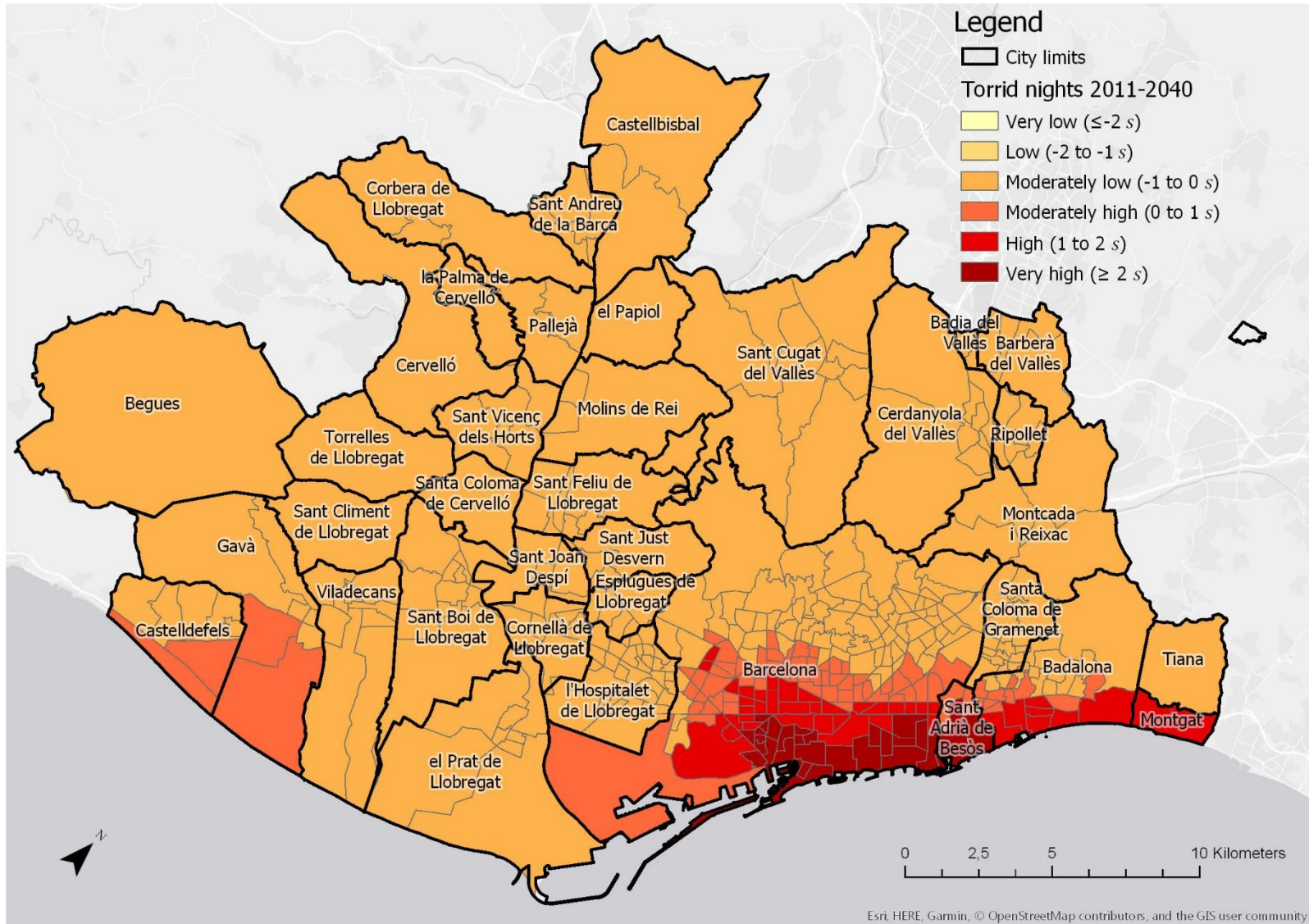
Torrid days (2011-2040)



Tropical nights (2011-2040)



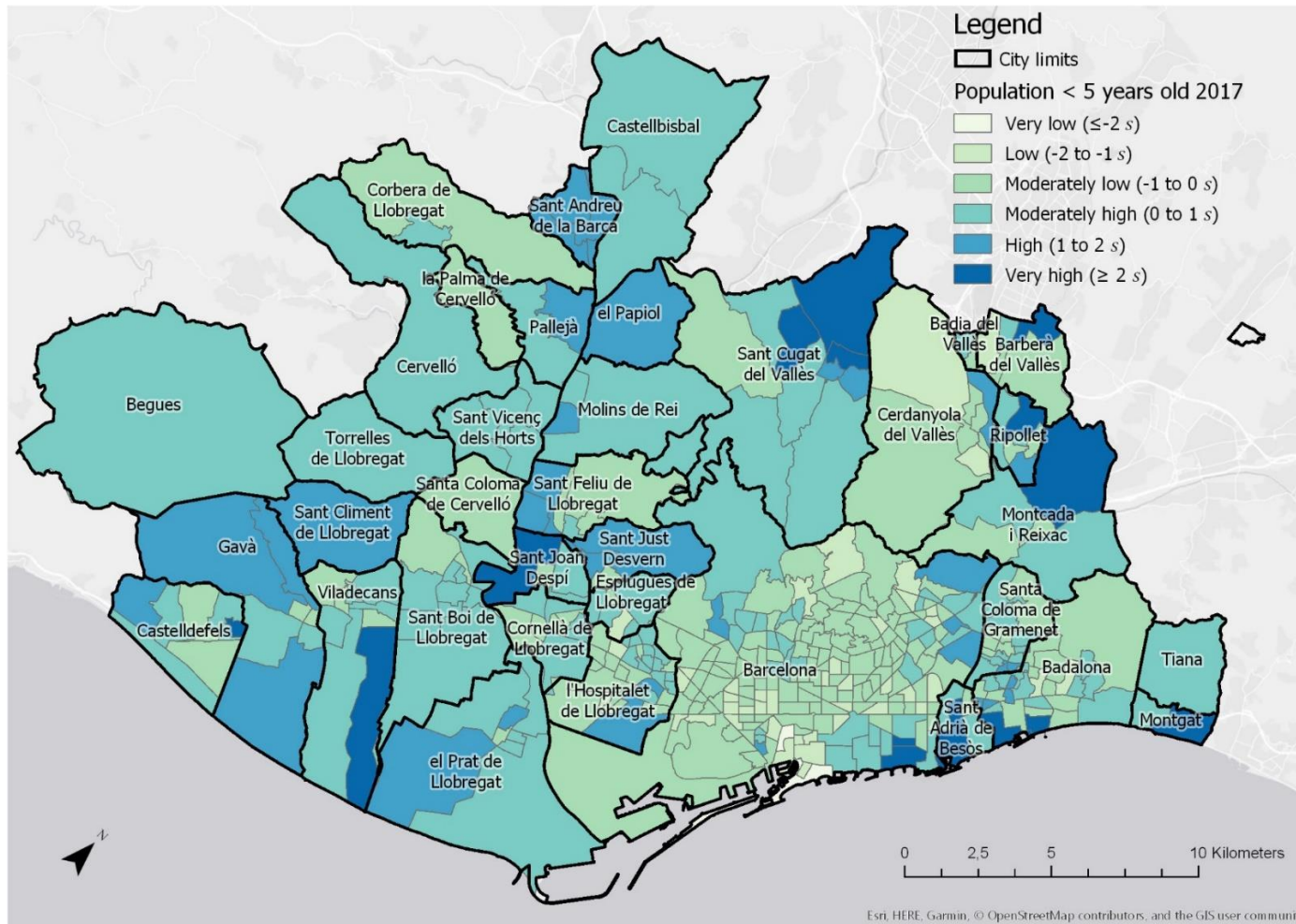
Torrid nights (2011-2040)



7.3. Sensitivity and adaptive capacity variables

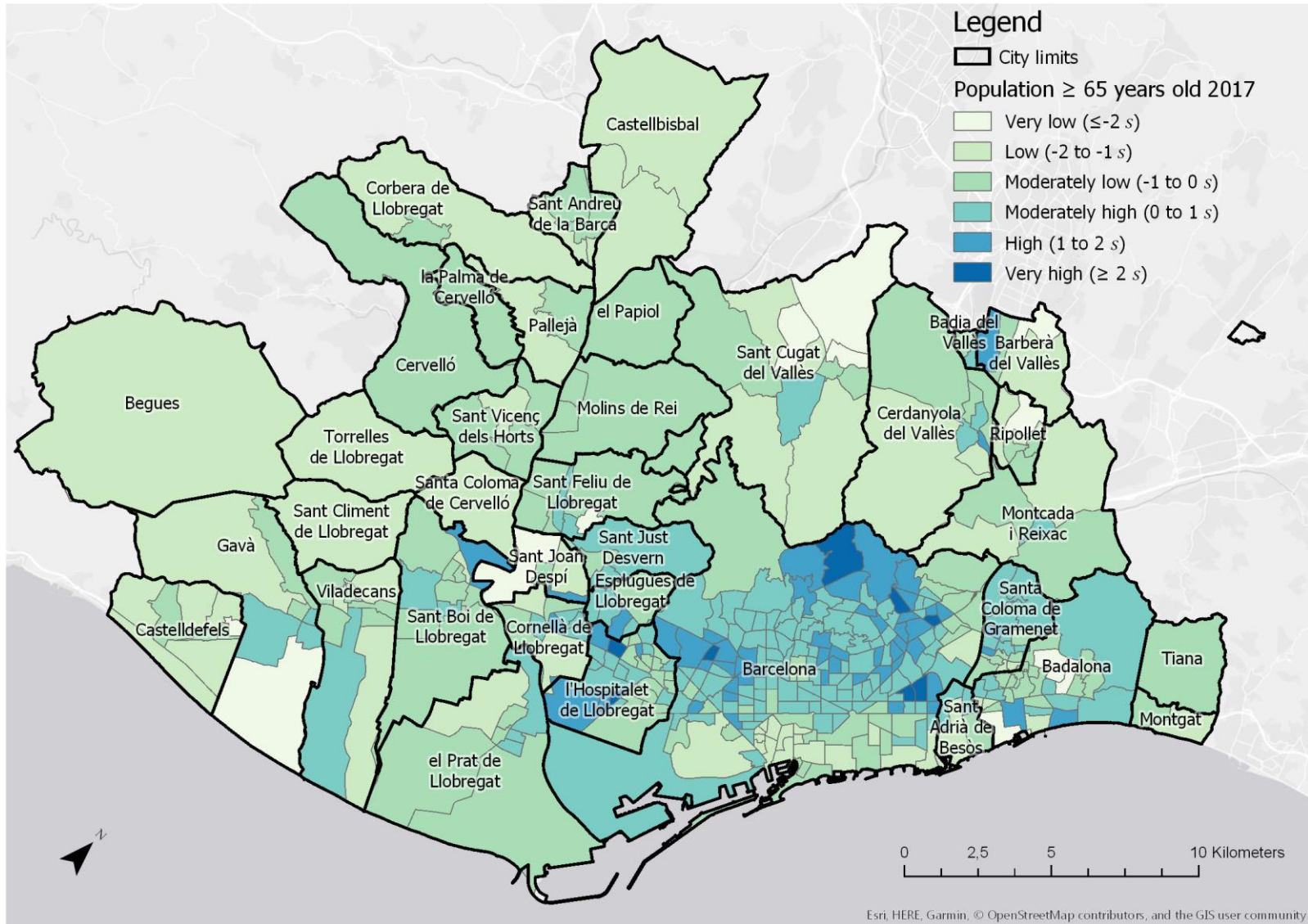
The following maps show the sensitivity and adaptive capacity variables used in this project. For more information about these maps, see Section 2.

Population < 5 years old (2017) *

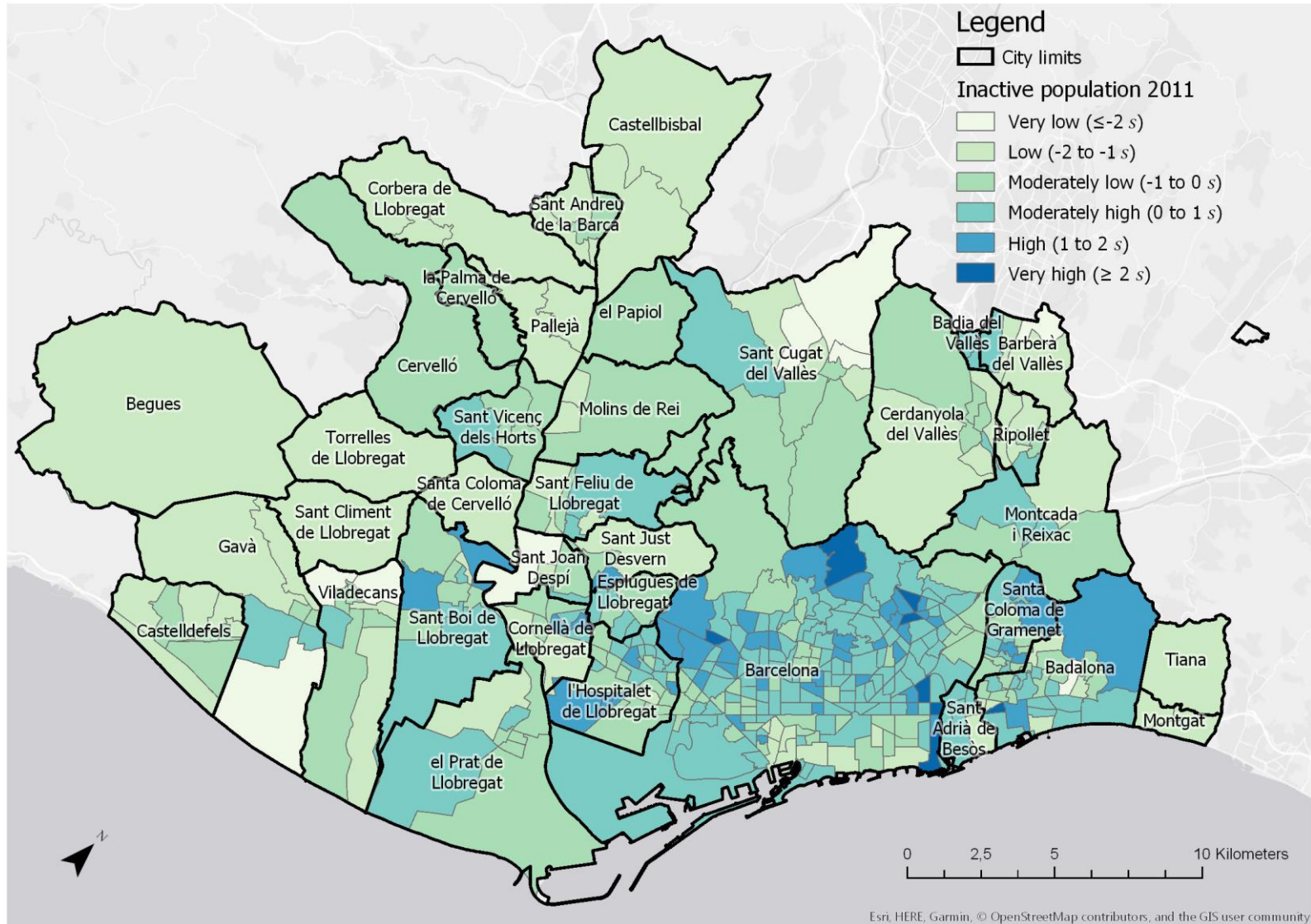


* This variable was not used in the results. Refer to Section 3.5 for discussion on this matter.

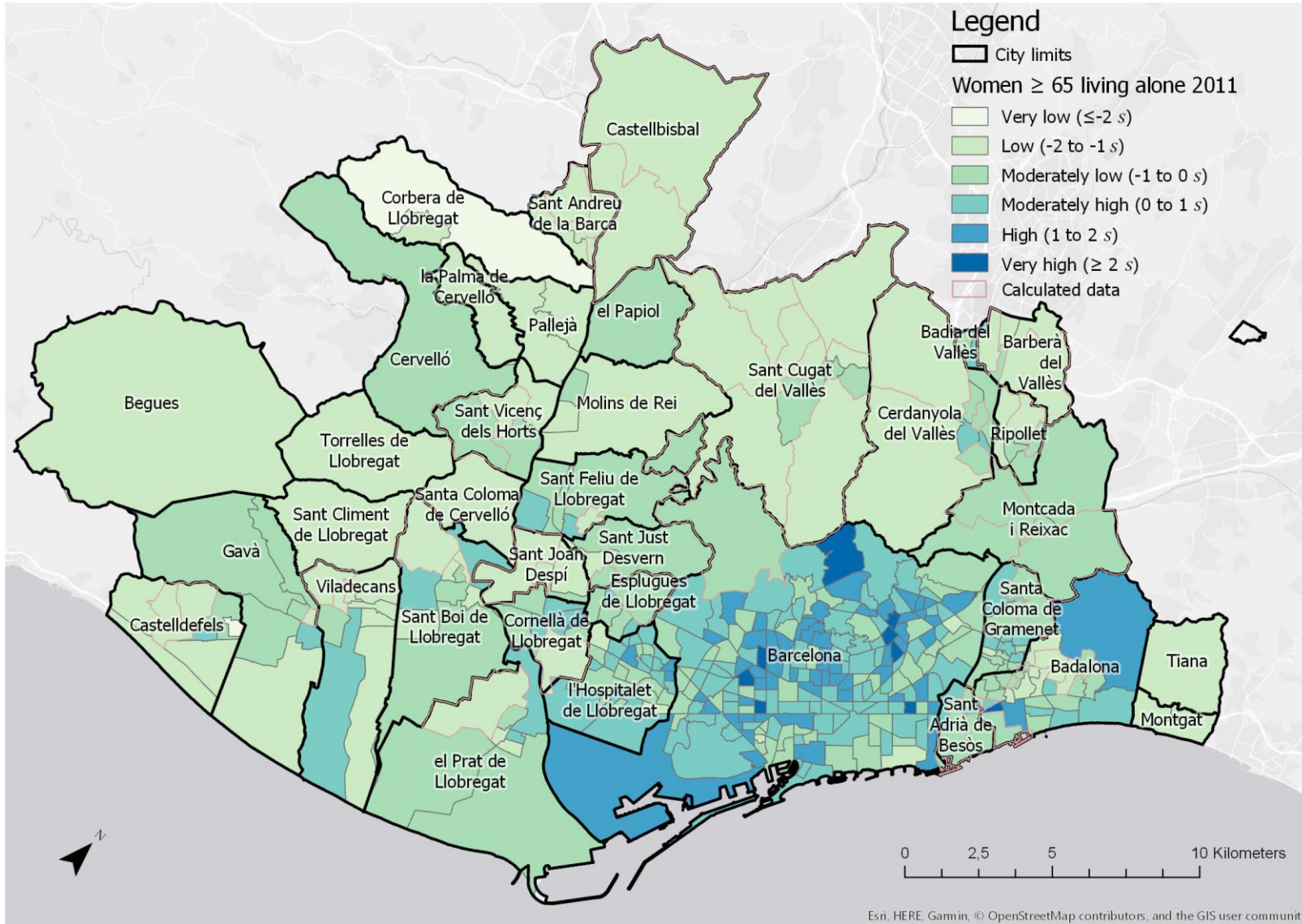
Population ≥ 65 years old (2017)



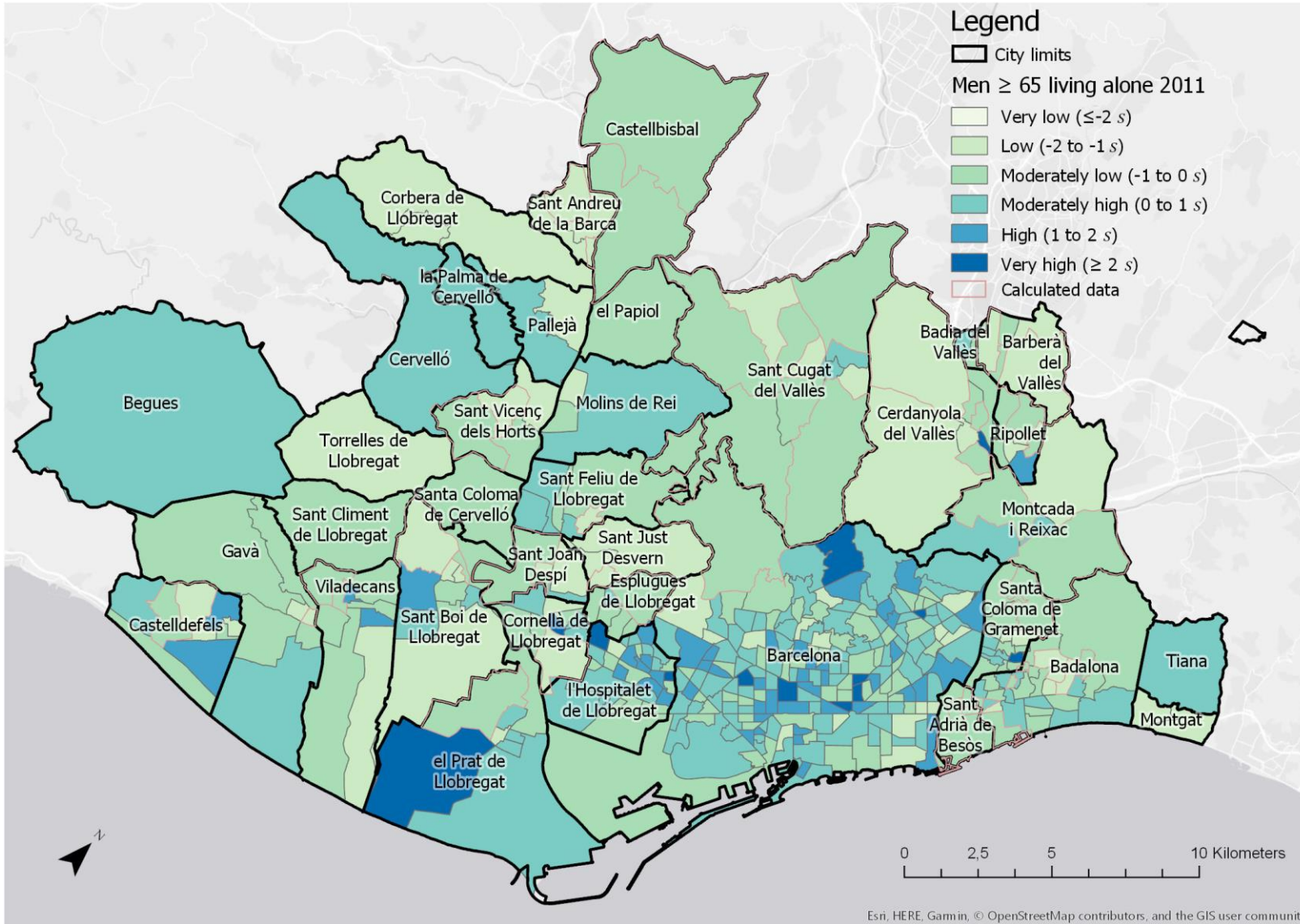
Inactive population (2011)



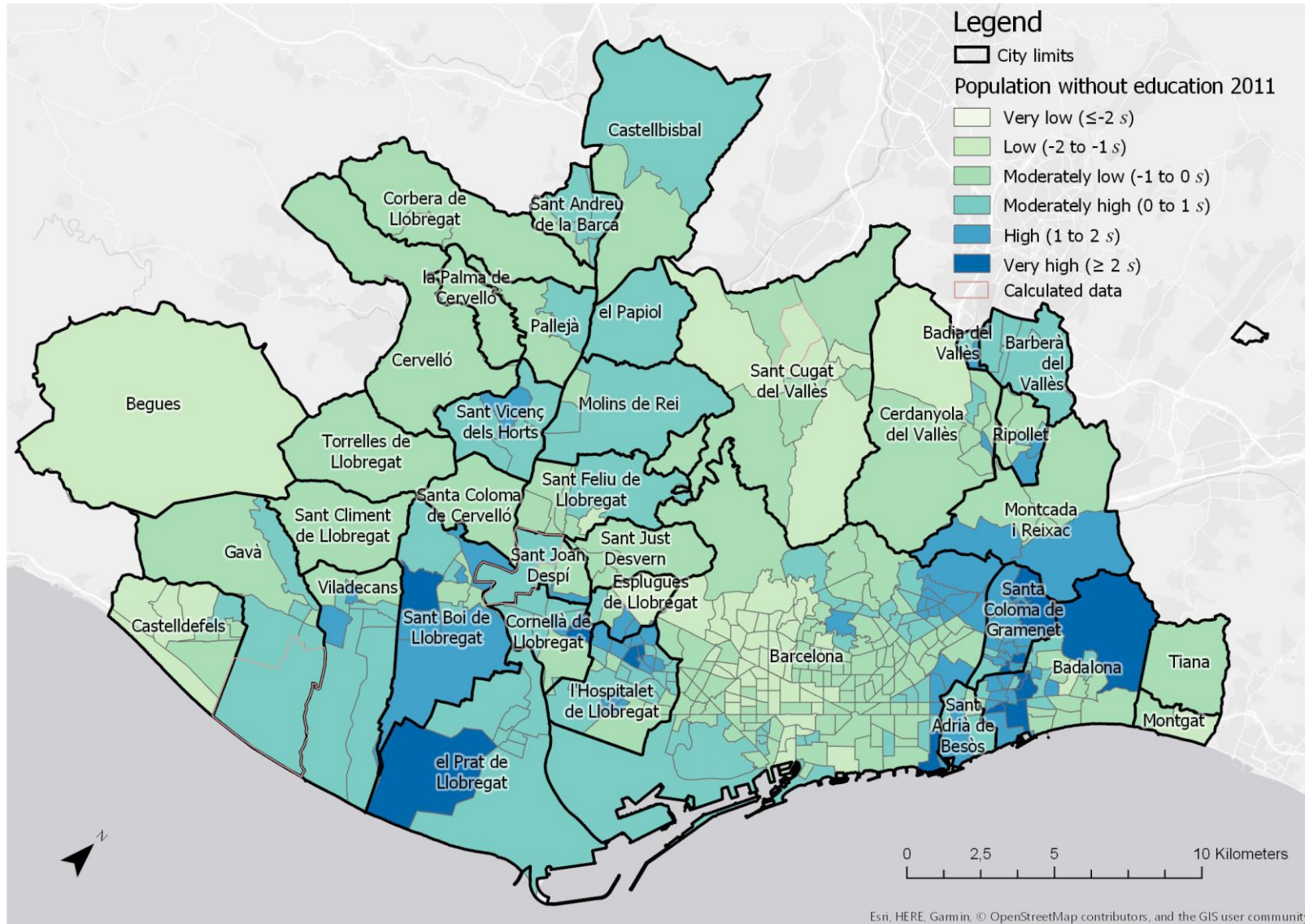
Women ≥ 65 living alone (2011)



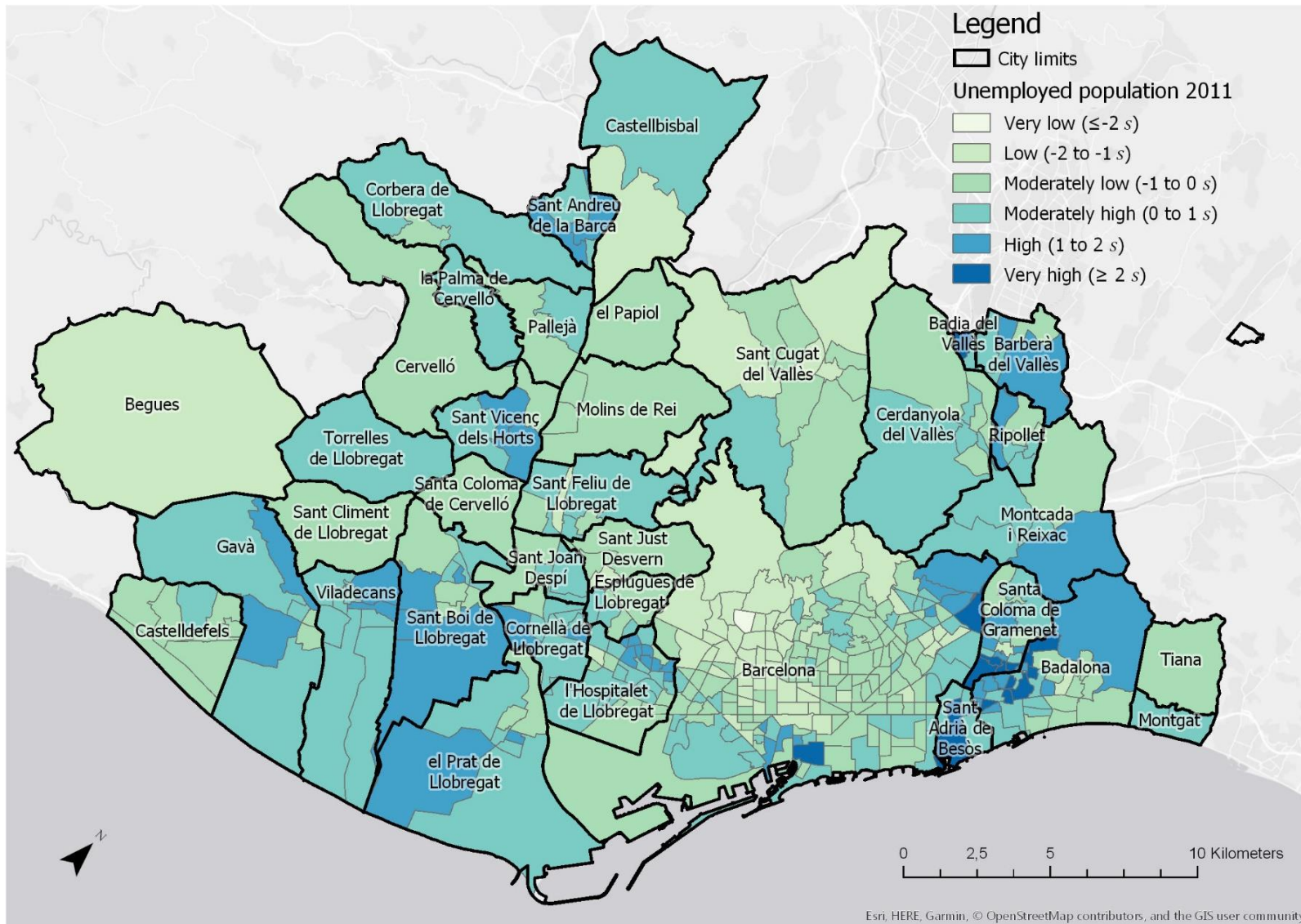
Men ≥ 65 living alone (2011)



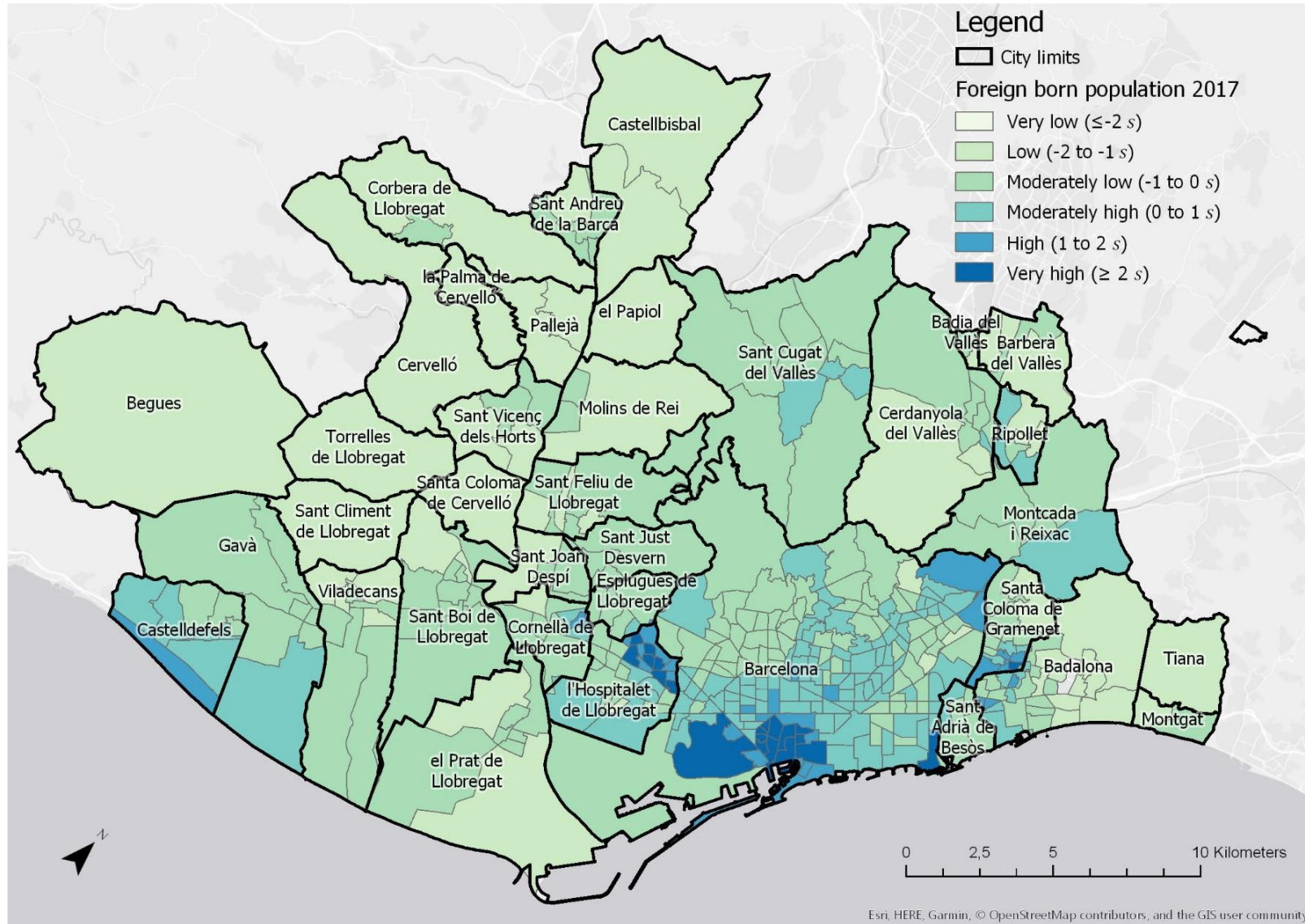
Population ≥ 25 without education (2011)



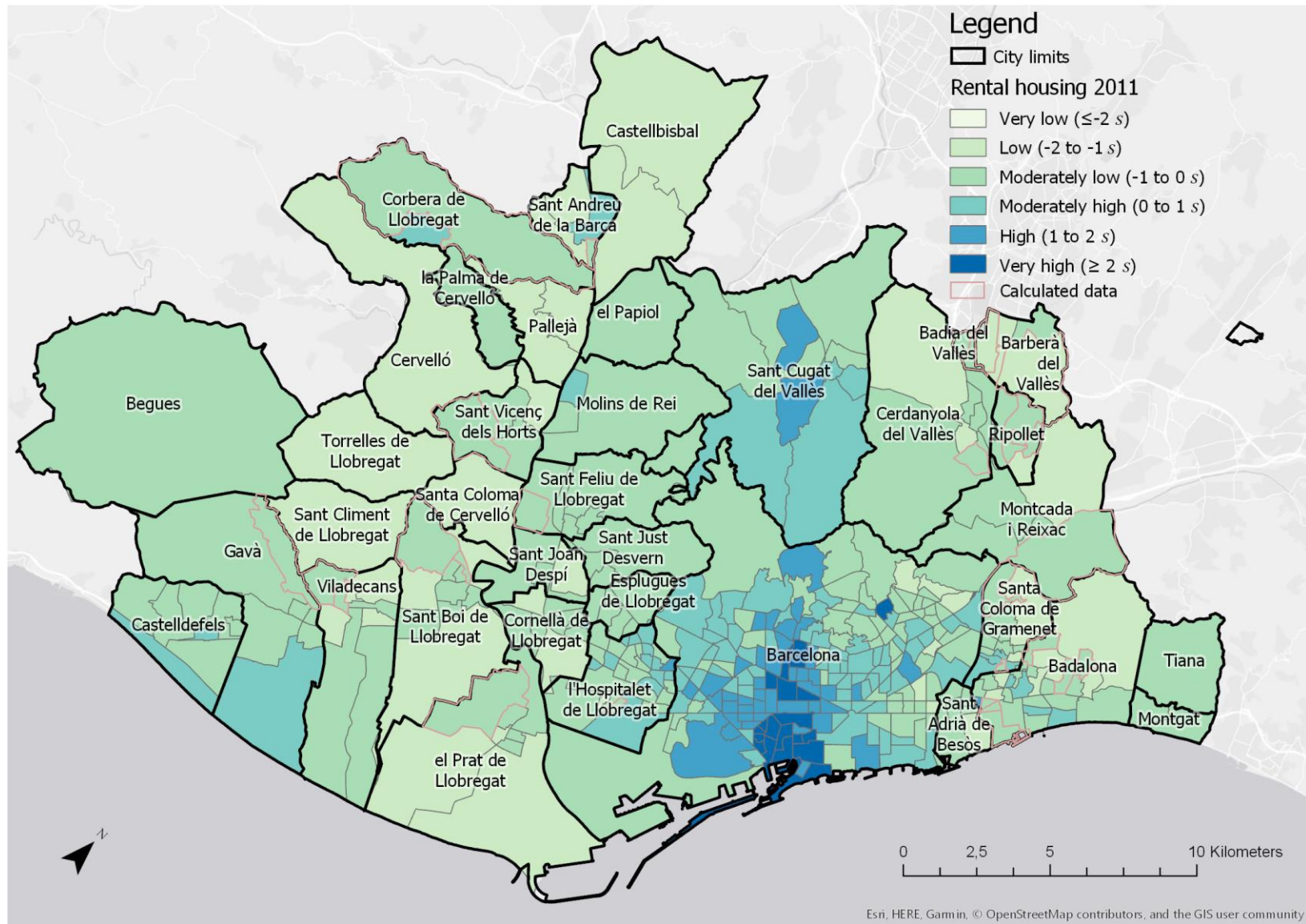
Unemployed population (2011)



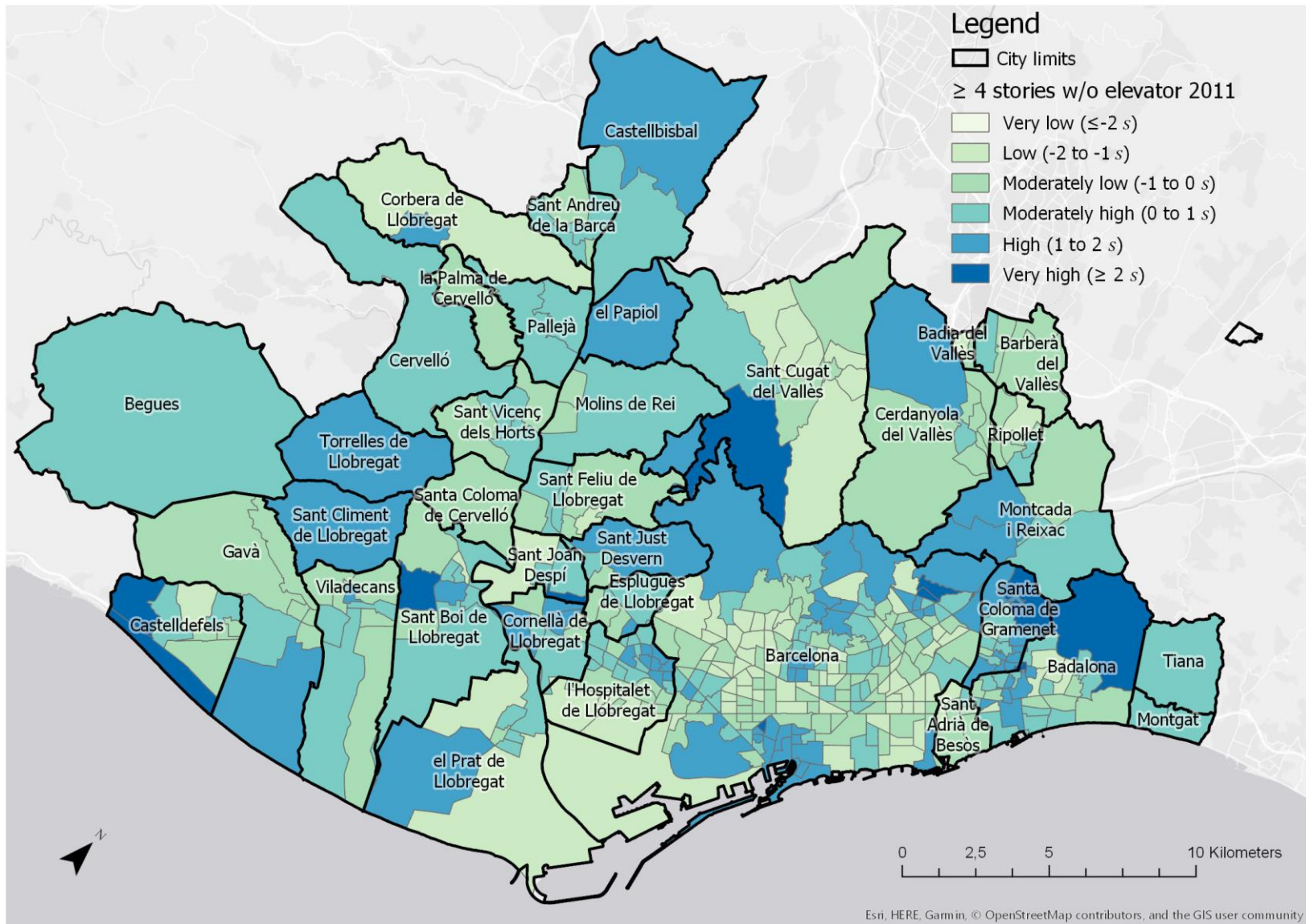
Foreign born population (2017)



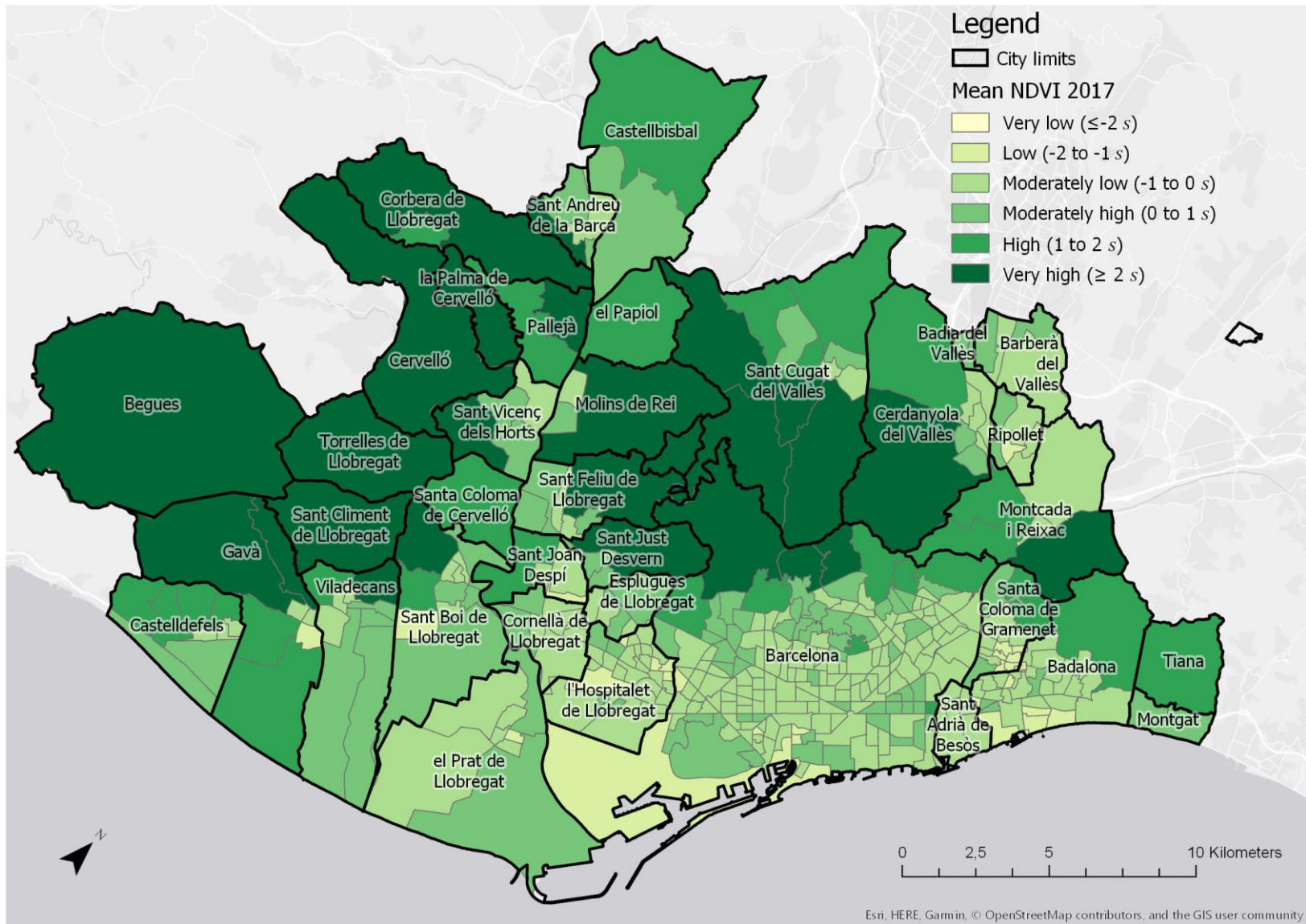
Rental housing (2011)



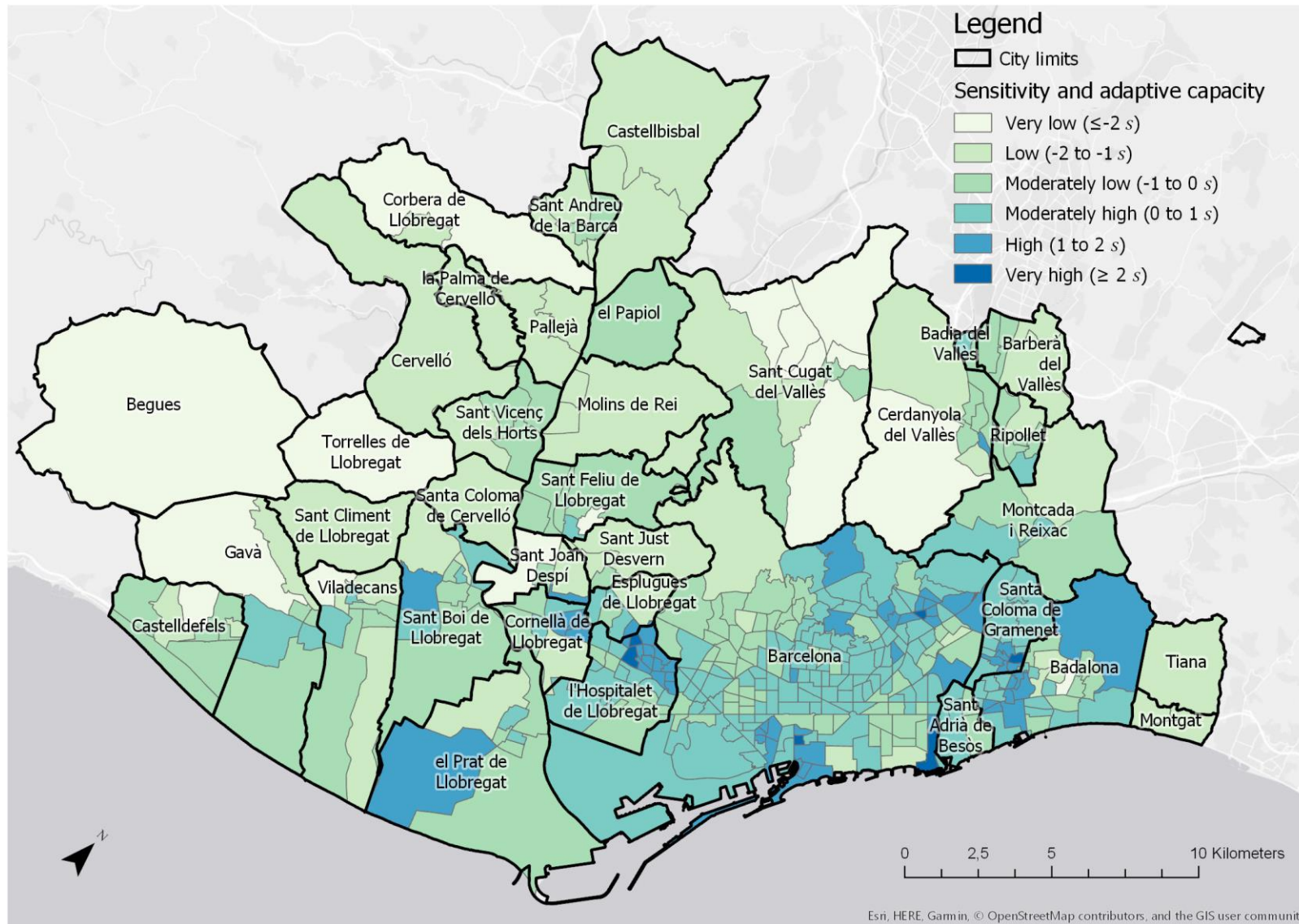
Buildings 4 stories and more without an elevator (2011)



Mean NDVI (2017)



Aggregation of sensitivity and adaptive capacity variables



7.4. Extreme heat vulnerability results

The following maps show the results of the extreme heat vulnerability assessment in the metropolitan area of Barcelona. To obtain more information about the results and the units represented, see Section 3.

Vulnerability to hot days

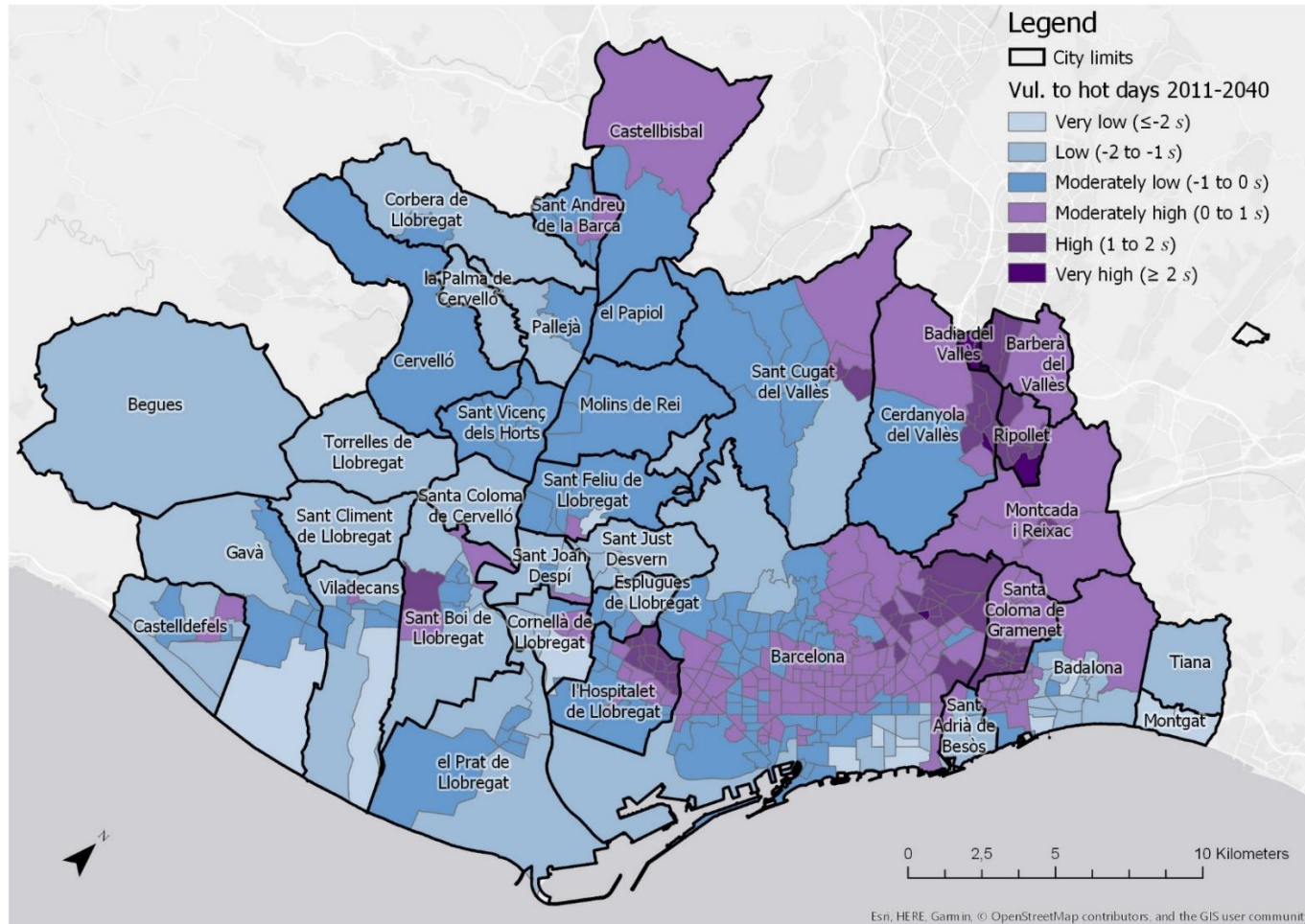


Table 7.4a. Vulnerability scores (HD)

AC ID	CITY	CENSUS GROUP NAME	SCORE	VULNERABILITY
266002	Cerdanyola del Vallès	les Fontetes	2.585	Very High
019141	Barcelona	Can Borràs	2.340	Very High
904001	Badia del Vallès	Badia vora Riu Sec	2.171	Very High
180004	Ripollet	Can Mas	2.146	Very High
904002	Badia del Vallès	Badia vora Barberà	2.018	Very High
245014	Santa Coloma de Gramenet	Santa Rosa - Pirineus	1.997	High
245012	Santa Coloma de Gramenet	Rambla del Fondo	1.960	High
019132	Barcelona	el Mercat de la Mercè	1.937	High
101018	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - Plaça Pirineus	1.894	High
019147	Barcelona	la Trinitat Vella	1.806	High
019133	Barcelona	el Turó de la Peira i Can Peguera	1.776	High
252005	Barberà del Vallès	Can Gorgs - Ca n'Esteper	1.774	High
019140	Barcelona	les Cases de Charlot	1.750	High
101011	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Parc dels Ocellets	1.747	High
245003	Santa Coloma de Gramenet	Can Mariner	1.744	High
101015	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Centre - Vallparda	1.729	High
266006	Cerdanyola del Vallès	la Clota - Cerdanyola 2000 - Banús	1.713	High
019139	Barcelona	la Plaça de Verdun	1.712	High
019145	Barcelona	la Trinitat Nova	1.665	High
101020	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - el Parc	1.653	High
245013	Santa Coloma de Gramenet	el Fondo Alt	1.648	High
019142	Barcelona	Santa Engràcia	1.645	High
245015	Santa Coloma de Gramenet	Santa Rosa - Pont de Potosí	1.618	High
101013	Hospitalet de Llobregat, l'	les Planes - el Parc	1.605	High
180003	Ripollet	Sant Andreu - Can Vargas	1.585	High
245002	Santa Coloma de Gramenet	Sagarra - Rambla de Sant Sebastià	1.582	High
019131	Barcelona	els Jardins d'Alfàbia	1.556	High
019160	Barcelona	el Congrés	1.537	High
019143	Barcelona	la Plaça Verda	1.514	High
101017	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Mercat	1.505	High

101008	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - la Bóbila	1.490	High
019144	Barcelona	la Flor de Neu	1.485	High
019138	Barcelona	les Roquetes	1.482	High
266007	Cerdanyola del Vallès	Cordelles - Can Xarau	1.455	High
101019	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - Plaça del Vidre	1.452	High
019137	Barcelona	la Mina de la Ciutat	1.434	High
019129	Barcelona	la Plaça de Sóller	1.392	High
101012	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Avinguda Primavera	1.366	High
180001	Ripollet	Centre - Maragall	1.364	High
252001	Barberà del Vallès	Centre Nord - Can Llobet - Parc Central	1.362	High
266001	Cerdanyola del Vallès	Centre - Sant Ramon - Parcercs - Guiera	1.362	High
180005	Ripollet	Can Tiana-Pont Vell	1.330	High
245011	Santa Coloma de Gramenet	Llatí	1.324	High
101014	Hospitalet de Llobregat, l'	les Planes - Avinguda Catalunya	1.307	High
101010	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Plaça Llibertat	1.287	High
252004	Barberà del Vallès	Centre Sud - Can Serra	1.280	High
019146	Barcelona	Torre Baró, Ciutat Meridiana i Vallbona	1.275	High
101007	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - Can Vidalet	1.255	High
180002	Ripollet	Can Clos - els Pinetons	1.250	High
245005	Santa Coloma de Gramenet	Riu Sud - Pont de Santa Coloma	1.231	High
101009	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - Can Rigalt	1.223	High
266008	Cerdanyola del Vallès	la Sínia - Catalunya - Carretera de Barcelona	1.189	High
019135	Barcelona	la Guineueta	1.183	High
205001	Sant Cugat del Vallès	Nucli Antic	1.178	High
125001	Montcada i Reixac	Montcada Centre	1.168	High
200006	Sant Boi de Llobregat	Camps Blancs	1.168	High
019115	Barcelona	els Quinze	1.141	High
019149	Barcelona	el Bon Pastor	1.119	High
101016	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Cementiri - Carretera	1.092	High
245016	Santa Coloma de Gramenet	el Raval - Safaretjos	1.048	High
205011	Sant Cugat del Vallès	Sant Francesc - Can Magí - el Coll	1.048	High
245001	Santa Coloma de Gramenet	Centre	0.979	Moderately high
125004	Montcada i Reixac	Terra Nostra - la Font Pudenta	0.970	Moderately high

252003	Barberà del Vallès	Barri Antic - Polígons Ronda Santa Maria, Santiga i Salvatella	0.961	Moderately high
019128	Barcelona	Can Garrigó	0.954	Moderately high
266005	Cerdanyola del Vallès	Serraparera - Bellaterra	0.947	Moderately high
019005	Barcelona	Ponent	0.940	Moderately high
019100	Barcelona	Rius i Taulet	0.913	Moderately high
019125	Barcelona	Sant Marcel i les Franceses	0.907	Moderately high
019117	Barcelona	l'Alt Carmel i el Turó de la Rovira	0.906	Moderately high
019118	Barcelona	el Baix Carmel	0.892	Moderately high
019004	Barcelona	el Pedró	0.870	Moderately high
019127	Barcelona	Virrei Amat i la Torre Llobeta	0.858	Moderately high
019061	Barcelona	el Mercat Nou	0.856	Moderately high
019166	Barcelona	Xifré	0.853	Moderately high
125003	Montcada i Reixac	Can Sant Joan - Can Cuyàs	0.825	Moderately high
019156	Barcelona	la Rambla de Sant Andreu	0.789	Moderately high
019161	Barcelona	els Indians	0.786	Moderately high
019058	Barcelona	l'Olivereta	0.762	Moderately high
245008	Santa Coloma de Gramenet	les Oliveres - Can Franquesa	0.752	Moderately high
019006	Barcelona	Tallers i els Àngels	0.735	Moderately high
019126	Barcelona	Can Cartellà	0.734	Moderately high
019062	Barcelona	Santa Maria de Sants	0.729	Moderately high
019060	Barcelona	Can Mantega	0.722	Moderately high
245009	Santa Coloma de Gramenet	la Guinardera - Singuerlin Est - Torribera	0.722	Moderately high
015013	Badalona	Sant Antoni de Llefià	0.709	Moderately high
019155	Barcelona	el Mercadal	0.702	Moderately high
019031	Barcelona	Sant Josep Oriol	0.702	Moderately high
073006	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons Oest	0.697	Moderately high
019159	Barcelona	la Sagrera Alta	0.684	Moderately high
019102	Barcelona	l'Abaceria i la Plaça del Raspall	0.683	Moderately high
019121	Barcelona	Montbau	0.681	Moderately high
019055	Barcelona	l'Àngel Custodi	0.676	Moderately high
019044	Barcelona	el Price	0.676	Moderately high
019134	Barcelona	el Parc Central de Nou Barris	0.662	Moderately high
015015	Badalona	la Salut Nord - Verge de la Salut	0.659	Moderately high

019114	Barcelona	Maragall	0.659	Moderately high
015008	Badalona	Sant Roc - Plaça Roja	0.658	Moderately high
019130	Barcelona	Can Dragó	0.657	Moderately high
019018	Barcelona	els Enamorats	0.650	Moderately high
245007	Santa Coloma de Gramenet	Singuerlin - Can Zam	0.646	Moderately high
245004	Santa Coloma de Gramenet	Riu Sud - Torre Balldovina	0.644	Moderately high
245010	Santa Coloma de Gramenet	Cementiri Vell - la Riera Alta - Llatí Nord	0.634	Moderately high
245006	Santa Coloma de Gramenet	Riu Nord	0.633	Moderately high
019071	Barcelona	Can Bacardí, Collblanc, la Maternitat i Bederrida	0.627	Moderately high
019012	Barcelona	Santa Caterina	0.625	Moderately high
019106	Barcelona	Can Romans	0.623	Moderately high
077002	Esplugues de Llobregat	Can Vidalet	0.622	Moderately high
015009	Badalona	Sant Roc - Camarón de la Isla	0.622	Moderately high
019063	Barcelona	l'Olivera Rodona i l'Espanya Industrial	0.619	Moderately high
196001	Sant Andreu de la Barca	Centre	0.609	Moderately high
019189	Barcelona	la Verneda Baixa	0.608	Moderately high
019162	Barcelona	Sant Joan Bosco	0.599	Moderately high
101029	Hospitalet de Llobregat, l'	Bellvitge - Estació	0.594	Moderately high
019033	Barcelona	el Clínic	0.590	Moderately high
019098	Barcelona	la Plaça del Nord i Can Trilla	0.584	Moderately high
217005	Sant Joan Despí	les Planes	0.583	Moderately high
301005	Viladecans	Montserratina - Mas Rates	0.580	Moderately high
101023	Hospitalet de Llobregat, l'	Santa Eulàlia - Església	0.557	Moderately high
211002	Sant Feliu de Llobregat	la Salut	0.539	Moderately high
019164	Barcelona	Trinxant	0.526	Moderately high
019103	Barcelona	Joanic	0.526	Moderately high
019056	Barcelona	Sant Medir	0.525	Moderately high
019157	Barcelona	Can Masadas i el Camp del Ferro	0.514	Moderately high
019165	Barcelona	Can Miralletes	0.510	Moderately high
019167	Barcelona	Can Robacols	0.506	Moderately high
101024	Hospitalet de Llobregat, l'	Santa Eulàlia - Mercat	0.488	Moderately high
252002	Barberà del Vallès	la Romànica - Can Rabella - Molí d'en Santo - Parc d'Europa	0.474	Moderately high
015014	Badalona	Sant Joan de Llefià	0.463	Moderately high

019059	Barcelona	Badal	0.462	Moderately high
019021	Barcelona	els Jardins de la Indústria	0.462	Moderately high
019003	Barcelona	la Riereta	0.461	Moderately high
019035	Barcelona	l'Escola Industrial	0.460	Moderately high
015017	Badalona	la Salut Sud - Mercat	0.450	Moderately high
015016	Badalona	la Salut Centre	0.445	Moderately high
266003	Cerdanyola del Vallès	Altamira - Turonet - Canaletes	0.442	Moderately high
019113	Barcelona	el Guinardó i l'Hospital de Sant Pau	0.435	Moderately high
019111	Barcelona	Can Baró	0.435	Moderately high
019124	Barcelona	Sant Joan d'Horta	0.432	Moderately high
015029	Badalona	Canyet - Mas Ram - Pomar de Dalt - Pomar	0.421	Moderately high
019101	Barcelona	el Sol, el Diamant, la Virreina i la Revolució	0.419	Moderately high
019122	Barcelona	la Vall d'Hebron i la Clota	0.414	Moderately high
019112	Barcelona	el Parc del Guinardó	0.402	Moderately high
180006	Ripollet	Sant Lluís	0.401	Moderately high
101022	Hospitalet de Llobregat, l'	Sant Josep - Tecla Sala	0.372	Moderately high
125002	Montcada i Reixac	Reixac - Vallençana - la Ribera	0.371	Moderately high
200011	Sant Boi de Llobregat	Ciutat Cooperativa	0.365	Moderately high
019030	Barcelona	Letamendi i la Universitat	0.354	Moderately high
015006	Badalona	Gorg - Congrés	0.353	Moderately high
019020	Barcelona	la Damm	0.350	Moderately high
019104	Barcelona	el Camp d'en Grassot	0.349	Moderately high
019105	Barcelona	la Sedeta	0.346	Moderately high
019028	Barcelona	els Camps Elisis i el cinc d'Oros	0.344	Moderately high
073007	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons Est	0.343	Moderately high
019188	Barcelona	la Verneda Alta	0.337	Moderately high
101025	Hospitalet de Llobregat, l'	Santa Eulàlia - Centre Nord	0.335	Moderately high
019170	Barcelona	el Mercat del Clot	0.324	Moderately high
015019	Badalona	la Pau	0.321	Moderately high
019119	Barcelona	la Teixonera	0.303	Moderately high
019136	Barcelona	Canyelles	0.303	Moderately high
019109	Barcelona	el Mas Casanovas	0.302	Moderately high
019154	Barcelona	Casa Bloc	0.294	Moderately high

019017	Barcelona	la Monumental	0.290	Moderately high
125005	Montcada i Reixac	Mas Rampinyo - Can Pomada - Carrerada - Pla d'en Coll	0.287	Moderately high
019023	Barcelona	Verdaguer	0.278	Moderately high
101021	Hospitalet de Llobregat, l'	Sant Josep - Centre	0.274	Moderately high
194005	Sant Adrià de Besòs	el Besòs - la Verneda	0.267	Moderately high
019110	Barcelona	el Parc de les Aigües	0.265	Moderately high
019068	Barcelona	les Corts Velles	0.263	Moderately high
019123	Barcelona	l'Eixample d'Horta	0.261	Moderately high
073004	Cornellà de Llobregat	Bonavista	0.255	Moderately high
019054	Barcelona	l'Alcaldia d'Hostafrancs	0.254	Moderately high
019047	Barcelona	la França Xica	0.239	Moderately high
019064	Barcelona	Can Novell - Plaça del Centre	0.230	Moderately high
015018	Badalona	Sistrells	0.220	Moderately high
019069	Barcelona	el Sòl de Baix	0.215	Moderately high
019185	Barcelona	Sant Martí Vell	0.214	Moderately high
019024	Barcelona	la Concepció	0.205	Moderately high
019099	Barcelona	la Llibertat i la Riera de Sant Miquel	0.203	Moderately high
015010	Badalona	Artigas	0.192	Moderately high
019057	Barcelona	Can Batlló	0.188	Moderately high
019019	Barcelona	el Poblet	0.184	Moderately high
019084	Barcelona	Galvany	0.183	Moderately high
019042	Barcelona	Mistral	0.183	Moderately high
019034	Barcelona	el Pilar	0.175	Moderately high
019013	Barcelona	Sant Pere	0.168	Moderately high
019179	Barcelona	el Besòs	0.164	Moderately high
019153	Barcelona	les Casernes	0.144	Moderately high
019088	Barcelona	el Farró	0.125	Moderately high
019022	Barcelona	la Sagrada Família	0.124	Moderately high
019087	Barcelona	Monterols	0.116	Moderately high
019027	Barcelona	el Quadrat d'Or i la Torre de les Aigües	0.115	Moderately high
101006	Hospitalet de Llobregat, l'	Can Serra	0.107	Moderately high
073008	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons - Torre la Miranda	0.104	Moderately high
019052	Barcelona	Can Sabater	0.103	Moderately high

056001	Castelldefels	Centre	0.102	Moderately high
019178	Barcelona	el Besòs Mar	0.090	Moderately high
019094	Barcelona	el Coll	0.089	Moderately high
019025	Barcelona	el Carlit	0.086	Moderately high
015022	Badalona	Lloreda	0.079	Moderately high
019148	Barcelona	Baró de Viver i la Maquinista	0.073	Moderately high
019029	Barcelona	Sant Miquel	0.068	Moderately high
205010	Sant Cugat del Vallès	Roquetes - Coll Favà - Sant Domènec	0.064	Moderately high
073005	Cornellà de Llobregat	Gavarrà	0.061	Moderately high
019150	Barcelona	Can Portabella	0.055	Moderately high
015012	Badalona	Sant Mori de Llefià - Carretera Antiga de València	0.048	Moderately high
019158	Barcelona	el Pont del Treball	0.048	Moderately high
019108	Barcelona	els Jardins del Príncep de Girona	0.043	Moderately high
200005	Sant Boi de Llobregat	Casablanca	0.043	Moderately high
019190	Barcelona	la Pau	0.039	Moderately high
019151	Barcelona	Sant Andreu Vell	0.036	Moderately high
054002	Castellbisbal	Centre i Eixample Nord - Costablanca - Santeugini - Nicolau - Can Costa - Compte Sert	0.027	Moderately high
205009	Sant Cugat del Vallès	Can Sant Joan - Sant Mamet - Vullpalleres - Can Barata - Sector Nord - Can Graells	0.015	Moderately high
019163	Barcelona	el Torrent de la Guineu	0.012	Moderately high
056002	Castelldefels	Vista Alegre - el Castell	0.007	Moderately high
019097	Barcelona	la Plaça Rovira	0.005	Moderately high
019072	Barcelona	la Font dels Ocellets i Santa Gemma	0.002	Moderately high
211005	Sant Feliu de Llobregat	Roses - Castellbell	0.002	Moderately high
015011	Badalona	Sant Mori de Llefià - Guasch	0.001	Moderately high
019036	Barcelona	les Editorials	0.001	Moderately high

Vulnerability to torrid days

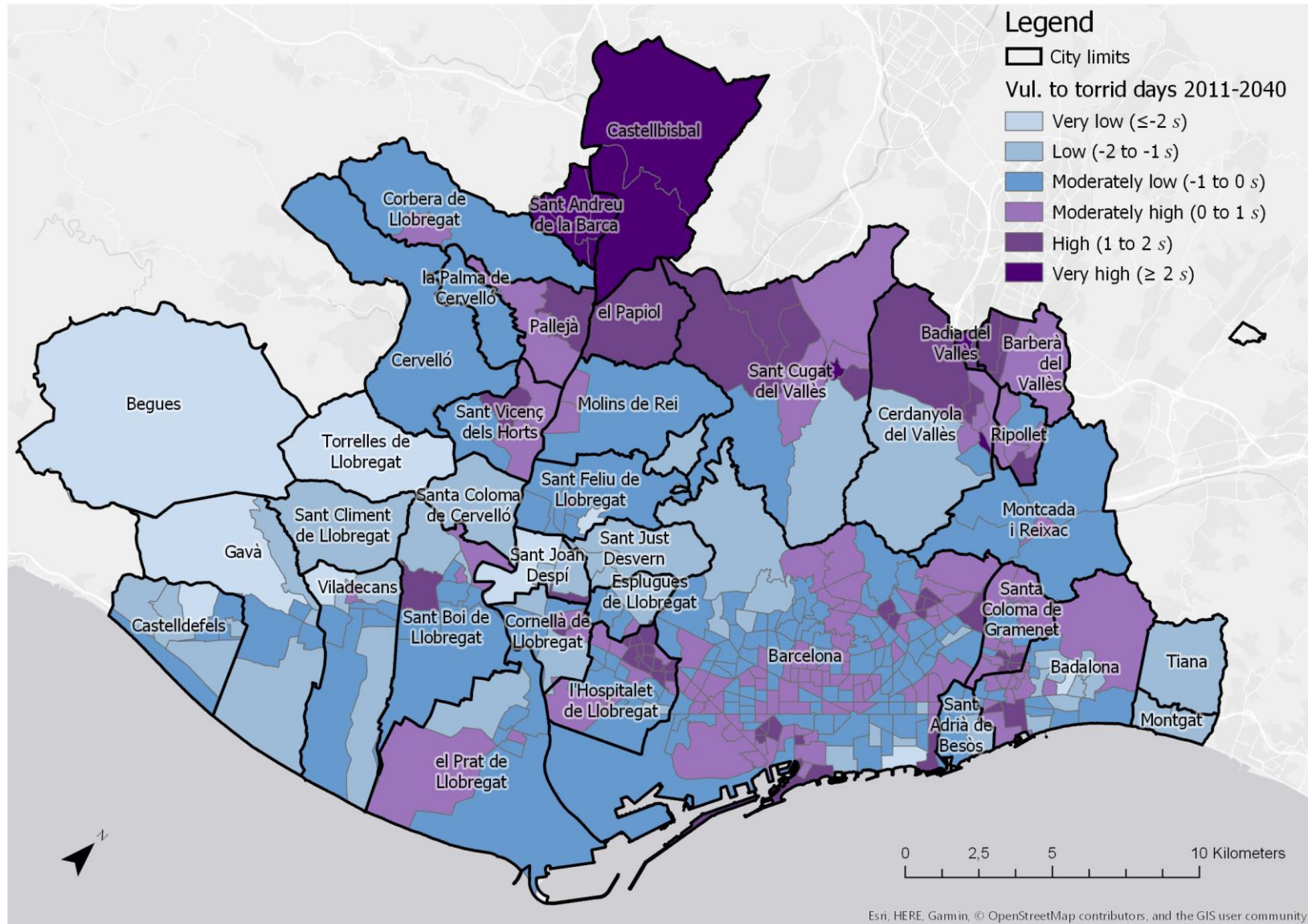


Table 7.4b. Vulnerability scores (TD)

AC ID	CITY	CENSUS GROUP NAME	SCORE	VULNERABILITY
196001	Sant Andreu de la Barca	Centre	5.070	Very High
054001	Castellbisbal	Centre i Eixample Sud - Santa Teresita - Canyet	3.905	Very High
054002	Castellbisbal	Centre i Eixample Nord - Costablanca - Santeugini - Nicolau - Can Costa - Compte Sert	3.739	Very High
196004	Sant Andreu de la Barca	el Palau	3.715	Very High
196002	Sant Andreu de la Barca	la Solana	3.359	Very High
196003	Sant Andreu de la Barca	Estació - Raval de Corbera - la Creu de Susalba	2.566	Very High
205001	Sant Cugat del Vallès	Nucli Antic	2.419	Very High
266002	Cerdanyola del Vallès	les Fontetes	2.221	Very High
904001	Badia del Vallès	Badia vora Riu Sec	2.084	Very High
904002	Badia del Vallès	Badia vora Barberà	1.862	High
019178	Barcelona	el Besòs Mar	1.796	High
101013	Hospitalet de Llobregat, l'	les Planes - el Parc	1.764	High
019012	Barcelona	Santa Caterina	1.748	High
158001	Papiol, el	el Papiol	1.687	High
205011	Sant Cugat del Vallès	Sant Francesc - Can Magí - el Coll	1.647	High
101011	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Parc dels Ocellets	1.637	High
101015	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Centre - Vallparda	1.615	High
252005	Barberà del Vallès	Can Gorgs - Ca n'Esteper	1.609	High
101008	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - la Bóbila	1.582	High
019141	Barcelona	Can Borràs	1.572	High
245012	Santa Coloma de Gramenet	Rambla del Fondo	1.559	High
180004	Ripollet	Can Mas	1.538	High
101018	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - Plaça Pirineus	1.459	High
101007	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - Can Vidalet	1.441	High
073006	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons Oest	1.356	High
101009	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - Can Rigalt	1.336	High
245014	Santa Coloma de Gramenet	Santa Rosa - Pirineus	1.331	High
157001	Pallejà	Centre	1.331	High

245013	Santa Coloma de Gramenet	el Fondo Alt	1.307	High
101012	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Avinguda Primavera	1.295	High
205006	Sant Cugat del Vallès	Mirasol - Mas Gener - Can Cabassa - Can Fontanals - Les Casetes de Can Ravella	1.276	High
266006	Cerdanyola del Vallès	la Clota - Cerdanyola 2000 - Banús	1.268	High
252001	Barberà del Vallès	Centre Nord - Can Llobet - Parc Central	1.268	High
019005	Barcelona	Ponent	1.255	High
263003	Sant Vicenç dels Horts	la Guàrdia - Sant Josep	1.252	High
019004	Barcelona	el Pedró	1.248	High
019140	Barcelona	les Cases de Charlot	1.242	High
073004	Cornellà de Llobregat	Bonavista	1.237	High
101017	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Mercat	1.234	High
015008	Badalona	Sant Roc - Plaça Roja	1.216	High
200006	Sant Boi de Llobregat	Camps Blancs	1.215	High
019003	Barcelona	la Riereta	1.208	High
101010	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Plaça Llibertat	1.201	High
252004	Barberà del Vallès	Centre Sud - Can Serra	1.185	High
101020	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - el Parc	1.184	High
019009	Barcelona	l'Escullera i l'Hospital del Mar	1.182	High
019147	Barcelona	la Trinitat Vella	1.155	High
019139	Barcelona	la Plaça de Verdun	1.151	High
101014	Hospitalet de Llobregat, l'	les Planes - Avinguda Catalunya	1.120	High
217005	Sant Joan Despí	les Planes	1.116	High
019132	Barcelona	el Mercat de la Mercè	1.082	High
015006	Badalona	Gorg - Congrés	1.081	High
205005	Sant Cugat del Vallès	Valldoreix - Colònia Montserrat - Can Galopa	1.064	High
019133	Barcelona	el Turó de la Peira i Can Peguera	1.044	High
266005	Cerdanyola del Vallès	Serraparera - Bellaterra	1.029	High
245003	Santa Coloma de Gramenet	Can Mariner	1.029	High
205007	Sant Cugat del Vallès	Turo de Can Mates - Bell Indret - Colonia Oller - Can Gatxet	1.017	High
019006	Barcelona	Tallers i els Àngels	1.010	High

019138	Barcelona	les Roquetes	1.005	High
123002	Molins de Rei	Centre Nord - la Granja	0.989	Moderately high
252003	Barberà del Vallès	Barri Antic - Polígons Ronda Santa Maria, Santiga i Salvatella	0.987	Moderately high
019142	Barcelona	Santa Engràcia	0.971	Moderately high
019145	Barcelona	la Trinitat Nova	0.967	Moderately high
263004	Sant Vicenç dels Horts	la Vailet - Can Ros - Molí dels Frares	0.963	Moderately high
205010	Sant Cugat del Vallès	Roquetes - Coll Favà - Sant Domènec	0.955	Moderately high
245015	Santa Coloma de Gramenet	Santa Rosa - Pont de Potosí	0.946	Moderately high
019137	Barcelona	la Mina de la Ciutat	0.941	Moderately high
073007	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons Est	0.932	Moderately high
180005	Ripollet	Can Tiana-Pont Vell	0.925	Moderately high
266007	Cerdanyola del Vallès	Cordelles - Can Xarau	0.918	Moderately high
101019	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - Plaça del Vidre	0.895	Moderately high
245002	Santa Coloma de Gramenet	Sagarra - Rambla de Sant Sebastià	0.890	Moderately high
019100	Barcelona	Rius i Taulet	0.884	Moderately high
101016	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Cementiri - Carretera	0.854	Moderately high
180003	Ripollet	Sant Andreu - Can Vargas	0.850	Moderately high
205009	Sant Cugat del Vallès	Can Sant Joan - Sant Mamet - Vullpalleres - Can Barata - Sector Nord - Can Graells	0.810	Moderately high
019144	Barcelona	la Flor de Neu	0.786	Moderately high
019010	Barcelona	Sant Miquel del Port	0.781	Moderately high
266008	Cerdanyola del Vallès	la Sínia - Catalunya - Carretera de Barcelona	0.777	Moderately high
200011	Sant Boi de Llobregat	Ciutat Cooperativa	0.765	Moderately high
180001	Ripollet	Centre - Maragall	0.739	Moderately high
019121	Barcelona	Montbau	0.737	Moderately high
019044	Barcelona	el Price	0.702	Moderately high
019117	Barcelona	l'Alt Carmel i el Turó de la Rovira	0.689	Moderately high
077002	Esplugues de Llobregat	Can Vidalet	0.684	Moderately high
211002	Sant Feliu de Llobregat	la Salut	0.683	Moderately high
019031	Barcelona	Sant Josep Oriol	0.681	Moderately high
015009	Badalona	Sant Roc - Camarón de la Isla	0.678	Moderately high

180002	Ripollet	Can Clos - els Pinetons	0.677	Moderately high
073005	Cornellà de Llobregat	Gavarra	0.674	Moderately high
019143	Barcelona	la Plaça Verda	0.668	Moderately high
019013	Barcelona	Sant Pere	0.666	Moderately high
019179	Barcelona	el Besòs	0.652	Moderately high
019146	Barcelona	Torre Baró, Ciutat Meridiana i Vallbona	0.651	Moderately high
073008	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons - Torre la Miranda	0.647	Moderately high
019118	Barcelona	el Baix Carmel	0.641	Moderately high
019102	Barcelona	l'Abaceria i la Plaça del Raspall	0.640	Moderately high
015029	Badalona	Canyet - Mas Ram - Pomar de Dalt - Pomar	0.639	Moderately high
019131	Barcelona	els Jardins d'Alfàbia	0.636	Moderately high
123001	Molins de Rei	Centre Sud - Canal - Mariona	0.614	Moderately high
169008	Prat de Llobregat, el	Sant Cosme - la Granja	0.612	Moderately high
019001	Barcelona	el Liceu i les Drassanes	0.602	Moderately high
019011	Barcelona	la Ribera	0.601	Moderately high
019160	Barcelona	el Congrés	0.592	Moderately high
263001	Sant Vicenç dels Horts	Nucli Antic - la Vinyala - el Poble Nou	0.563	Moderately high
101029	Hospitalet de Llobregat, l'	Bellvitge - Estació	0.561	Moderately high
019055	Barcelona	l'Àngel Custodi	0.554	Moderately high
245005	Santa Coloma de Gramenet	Riu Sud - Pont de Santa Coloma	0.551	Moderately high
019166	Barcelona	Xifré	0.547	Moderately high
245011	Santa Coloma de Gramenet	Llatí	0.541	Moderately high
015015	Badalona	la Salut Nord - Verge de la Salut	0.519	Moderately high
019149	Barcelona	el Bon Pastor	0.512	Moderately high
015017	Badalona	la Salut Sud - Mercat	0.511	Moderately high
019135	Barcelona	la Guineueta	0.510	Moderately high
015016	Badalona	la Salut Centre	0.506	Moderately high
019033	Barcelona	el Clínic	0.486	Moderately high
019098	Barcelona	la Plaça del Nord i Can Trilla	0.465	Moderately high
019047	Barcelona	la França Xica	0.452	Moderately high

019129	Barcelona	la Plaça de Sóller	0.429	Moderately high
019106	Barcelona	Can Romans	0.417	Moderately high
019048	Barcelona	Santa Madrona, la Satàlia i Montjuïc	0.416	Moderately high
266001	Cerdanyola del Vallès	Centre - Sant Ramon - Parcercs - Guiera	0.413	Moderately high
019111	Barcelona	Can Baró	0.411	Moderately high
019062	Barcelona	Santa Maria de Sants	0.393	Moderately high
019042	Barcelona	Mistral	0.384	Moderately high
019103	Barcelona	Joanic	0.379	Moderately high
205003	Sant Cugat del Vallès	Vila del Prat - Eixample Sud - Can Trabal	0.376	Moderately high
019035	Barcelona	l'Escola Industrial	0.373	Moderately high
252002	Barberà del Vallès	la Romànica - Can Rabella - Molí d'en Santo - Parc d'Europa	0.369	Moderately high
019018	Barcelona	els Enamorats	0.367	Moderately high
205008	Sant Cugat del Vallès	Parc Central - el Colomer - Pla de la Pagesa - Can Majó	0.364	Moderately high
015018	Badalona	Sistrells	0.353	Moderately high
019002	Barcelona	Sant Pau	0.311	Moderately high
245016	Santa Coloma de Gramenet	el Raval - Safaretjos	0.281	Moderately high
019190	Barcelona	la Pau	0.278	Moderately high
200009	Sant Boi de Llobregat	Marianao - Salesians	0.276	Moderately high
101030	Hospitalet de Llobregat, l'	Bellvitge - Mercat	0.274	Moderately high
019007	Barcelona	Santa Anna, el Pi i la Plaça Reial	0.272	Moderately high
019101	Barcelona	el Sol, el Diamant, la Virreina i la Revolució	0.270	Moderately high
019170	Barcelona	el Mercat del Clot	0.267	Moderately high
019061	Barcelona	el Mercat Nou	0.262	Moderately high
019030	Barcelona	Letamendi i la Universitat	0.261	Moderately high
169004	Prat de Llobregat, el	Eixample Nord	0.257	Moderately high
019046	Barcelona	els Tres Tombs	0.256	Moderately high
019125	Barcelona	Sant Marcel i les Franceses	0.254	Moderately high
101031	Hospitalet de Llobregat, l'	Bellvitge - Ermita i Hospital	0.247	Moderately high
019028	Barcelona	els Camps Elisis i el cinc d'Oros	0.246	Moderately high
019188	Barcelona	la Verneda Alta	0.243	Moderately high

015013	Badalona	Sant Antoni de Llefia	0.216	Moderately high
019021	Barcelona	els Jardins de la Indústria	0.215	Moderately high
245001	Santa Coloma de Gramenet	Centre	0.211	Moderately high
019120	Barcelona	Sant Genís dels Agudells	0.207	Moderately high
019165	Barcelona	Can Miralletes	0.205	Moderately high
019119	Barcelona	la Teixonera	0.187	Moderately high
019060	Barcelona	Can Mantega	0.176	Moderately high
101005	Hospitalet de Llobregat, l'	Sant Feliu	0.174	Moderately high
019063	Barcelona	l'Olivera Rodona i l'Espanya Industrial	0.171	Moderately high
019122	Barcelona	la Vall d'Hebron i la Clota	0.164	Moderately high
157002	Pallejà	la Magina - Fontpineda	0.156	Moderately high
019014	Barcelona	el Portal Nou	0.151	Moderately high
015007	Badalona	Sant Roc Sud - la Mora - el Remei	0.146	Moderately high
019167	Barcelona	Can Robacols	0.132	Moderately high
125001	Montcada i Reixac	Montcada Centre	0.129	Moderately high
245009	Santa Coloma de Gramenet	la Guinardera - Singuerlin Est - Torribera	0.121	Moderately high
015019	Badalona	la Pau	0.115	Moderately high
245008	Santa Coloma de Gramenet	les Oliveres - Can Franquesa	0.114	Moderately high
019027	Barcelona	el Quadrat d'Or i la Torre de les Aigües	0.111	Moderately high
019071	Barcelona	Can Bacardí, Collblanc, la Maternitat i Bederrida	0.108	Moderately high
019017	Barcelona	la Monumental	0.108	Moderately high
019058	Barcelona	l'Olivetera	0.107	Moderately high
019164	Barcelona	Trinxant	0.099	Moderately high
019104	Barcelona	el Camp d'en Grassot	0.090	Moderately high
301005	Viladecans	Montserratina - Mas Rates	0.089	Moderately high
019105	Barcelona	la Sedeta	0.087	Moderately high
019049	Barcelona	les Hortes de Sant Bertran	0.086	Moderately high
019189	Barcelona	la Verneda Baixa	0.083	Moderately high
072001	Corbera de Llobregat	Nucli Urbà	0.082	Moderately high
019056	Barcelona	Sant Medir	0.079	Moderately high

019084	Barcelona	Galvany	0.075	Moderately high
015024	Badalona	Sant Crist de Can Cabanyes	0.066	Moderately high
019034	Barcelona	el Pilar	0.065	Moderately high
019054	Barcelona	l'Alcaldia d'Hostafrancs	0.064	Moderately high
019185	Barcelona	Sant Martí Vell	0.064	Moderately high
019099	Barcelona	la Llibertat i la Riera de Sant Miquel	0.060	Moderately high
019020	Barcelona	la Damm	0.056	Moderately high
019115	Barcelona	els Quinze	0.052	Moderately high
019023	Barcelona	Verdaguer	0.048	Moderately high
019110	Barcelona	el Parc de les Aigües	0.044	Moderately high
101006	Hospitalet de Llobregat, l'	Can Serra	0.036	Moderately high
101022	Hospitalet de Llobregat, l'	Sant Josep - Tecla Sala	0.035	Moderately high
019109	Barcelona	el Mas Casanovas	0.024	Moderately high
015014	Badalona	Sant Joan de Llefià	0.012	Moderately high

Vulnerability to tropical nights

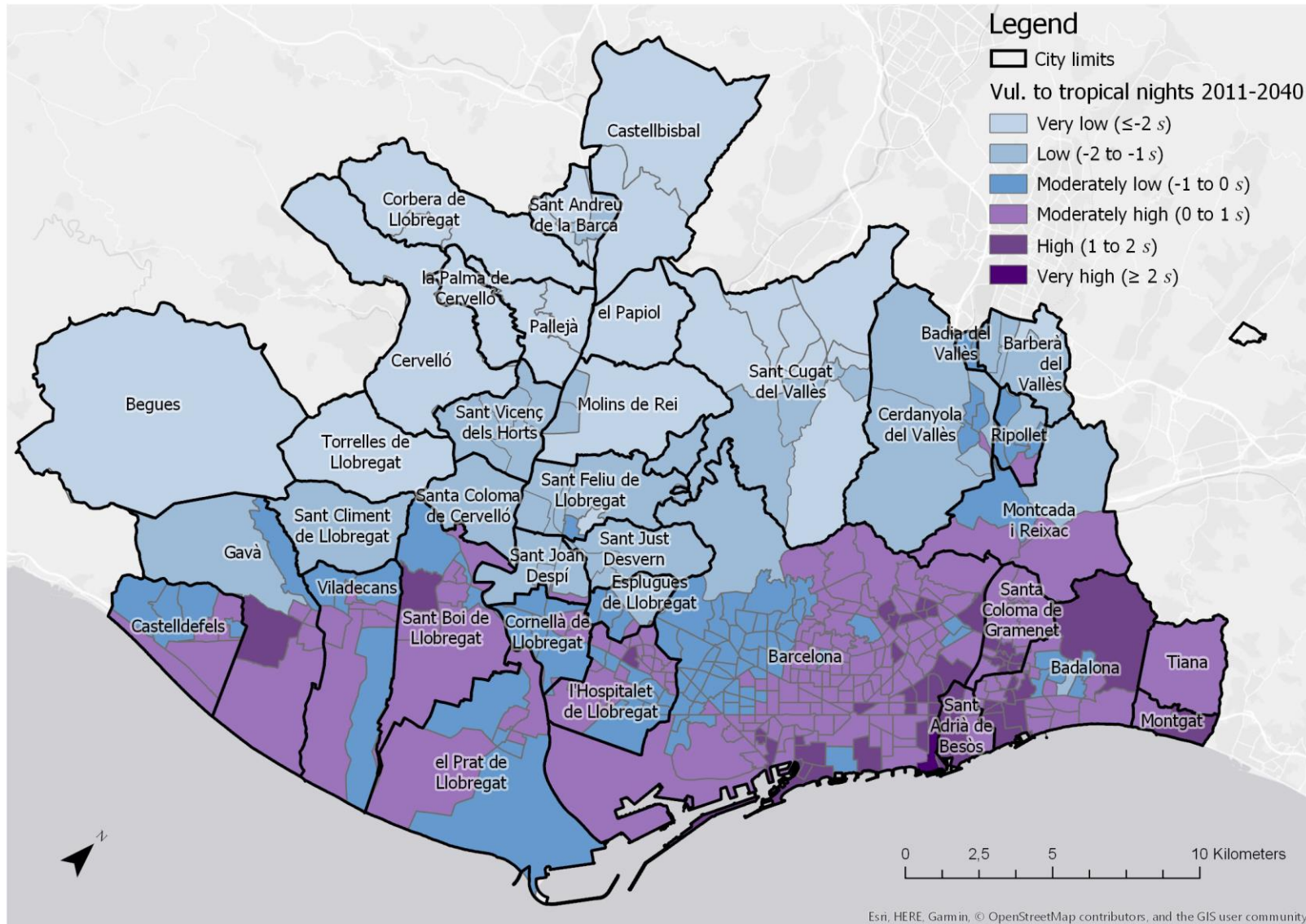


Table 7.4c. Vulnerability scores (TR)

AC ID	CITY	CENSUS GROUP NAME	SCORE	VULNERABILITY
019178	Barcelona	el Besòs Mar	2.810	Very high
015008	Badalona	Sant Roc - Plaça Roja	1.805	High
019009	Barcelona	l'Escullera i l'Hospital del Mar	1.740	High
015006	Badalona	Gorg - Congrès	1.734	High
019141	Barcelona	Can Borràs	1.734	High
019179	Barcelona	el Besòs	1.706	High
019012	Barcelona	Santa Caterina	1.670	High
245012	Santa Coloma de Gramenet	Rambla del Fondo	1.567	High
019010	Barcelona	Sant Miquel del Port	1.563	High
019011	Barcelona	la Ribera	1.490	High
015009	Badalona	Sant Roc - Camarón de la Isla	1.451	High
019190	Barcelona	la Pau	1.431	High
200006	Sant Boi de Llobregat	Camps Blancs	1.407	High
126001	Montgat	Montgat Barris de Llevant	1.407	High
245013	Santa Coloma de Gramenet	el Fondo Alt	1.380	High
019149	Barcelona	el Bon Pastor	1.365	High
019132	Barcelona	el Mercat de la Mercè	1.365	High
019188	Barcelona	la Verneda Alta	1.344	High
015007	Badalona	Sant Roc Sud - la Mora - el Remei	1.330	High
019133	Barcelona	el Turó de la Peira i Can Peguera	1.262	High
019140	Barcelona	les Cases de Charlot	1.260	High
194004	Sant Adrià de Besòs	la Mina - la Catalana	1.246	High
245014	Santa Coloma de Gramenet	Santa Rosa - Pirineus	1.246	High
019003	Barcelona	la Riereta	1.179	High
019185	Barcelona	Sant Martí Vell	1.173	High
019189	Barcelona	la Verneda Baixa	1.166	High
101013	Hospitalet de Llobregat, l'	les Planes - el Parc	1.166	High
019139	Barcelona	la Plaça de Verdun	1.161	High
089004	Gavà	les Panes	1.156	High
245015	Santa Coloma de Gramenet	Santa Rosa - Pont de Potosí	1.137	High

019142	Barcelona	Santa Engràcia	1.130	High
019147	Barcelona	la Trinitat Vella	1.129	High
019001	Barcelona	el Liceu i les Drassanes	1.125	High
015017	Badalona	la Salut Sud - Mercat	1.118	High
245002	Santa Coloma de Gramenet	Sagarra - Rambla de Sant Sebastià	1.117	High
194005	Sant Adrià de Besòs	el Besòs - la Verneda	1.116	High
015016	Badalona	la Salut Centre	1.114	High
015029	Badalona	Canyet - Mas Ram - Pomar de Dalt - Pomar	1.107	High
019131	Barcelona	els Jardins d'Alfàbia	1.104	High
019180	Barcelona	el Maresme i el Maresme Vell	1.094	High
019160	Barcelona	el Congrès	1.094	High
019173	Barcelona	el Taulat i la Plata	1.069	High
019170	Barcelona	el Mercat del Clot	1.061	High
019186	Barcelona	Júpiter	1.055	High
245003	Santa Coloma de Gramenet	Can Mariner	1.042	High
015018	Badalona	Sistrells	1.036	High
019004	Barcelona	el Pedró	1.034	High
245005	Santa Coloma de Gramenet	Riu Sud - Pont de Santa Coloma	1.022	High
015015	Badalona	la Salut Nord - Verge de la Salut	1.000	Moderately high
019005	Barcelona	Ponent	0.984	Moderately high
101007	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - Can Vidalet	0.983	Moderately high
015030	Badalona	Casagemes - Canyadó - Manresà - Guixerres	0.980	Moderately high
019143	Barcelona	la Plaça Verda	0.978	Moderately high
089002	Gavà	Nucli Antic - Carretera Santa Creu	0.976	Moderately high
019175	Barcelona	els Ciutadans	0.975	Moderately high
019129	Barcelona	la Plaça de Sòller	0.974	Moderately high
101008	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - la Bóbila	0.974	Moderately high
019166	Barcelona	Xifré	0.958	Moderately high
245016	Santa Coloma de Gramenet	el Raval - Safaretjos	0.954	Moderately high
019138	Barcelona	les Roquetes	0.953	Moderately high
056006	Castelldefels	Baixador - Lluinetes - La Pineda	0.936	Moderately high
019013	Barcelona	Sant Pere	0.930	Moderately high
019145	Barcelona	la Trinitat Nova	0.927	Moderately high

089003	Gavà	Gavà Mar	0.915	Moderately high
015013	Badalona	Sant Antoni de Llefia	0.898	Moderately high
301001	Viladecans	Barri Antic - Centre Sud	0.865	Moderately high
015001	Badalona	Centre	0.860	Moderately high
019181	Barcelona	Provençals i Ca l'Isidret	0.850	Moderately high
101011	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Parc dels Ocellets	0.841	Moderately high
019144	Barcelona	la Flor de Neu	0.841	Moderately high
101015	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Centre - Vallparda	0.827	Moderately high
015010	Badalona	Artigas	0.827	Moderately high
101009	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - Can Rigalt	0.824	Moderately high
019006	Barcelona	Tallers i els Àngels	0.819	Moderately high
245011	Santa Coloma de Gramenet	Llatí	0.815	Moderately high
019014	Barcelona	el Portal Nou	0.814	Moderately high
019117	Barcelona	l'Alt Carmel i el Turó de la Rovira	0.811	Moderately high
019002	Barcelona	Sant Pau	0.803	Moderately high
200005	Sant Boi de Llobregat	Casablanca	0.793	Moderately high
019176	Barcelona	l'Antiga Diagonal Mar	0.779	Moderately high
019137	Barcelona	la Mina de la Ciutat	0.772	Moderately high
301002	Viladecans	Can Sellarès - Poblats Roca i Hospital - Can Palmer - Can Batllori - Can Xic	0.771	Moderately high
019135	Barcelona	la Guineueta	0.766	Moderately high
019184	Barcelona	el Pont de Bac de Roda	0.758	Moderately high
301005	Viladecans	Montserratina - Mas Rates	0.756	Moderately high
019156	Barcelona	la Rambla de Sant Andreu	0.756	Moderately high
126002	Montgat	Montgat Barris de Ponent	0.745	Moderately high
056001	Castelldefels	Centre	0.744	Moderately high
019118	Barcelona	el Baix Carmel	0.737	Moderately high
015014	Badalona	Sant Joan de Llefia	0.735	Moderately high
015019	Badalona	la Pau	0.728	Moderately high
019008	Barcelona	la Ciutat Romana i la Mercè	0.727	Moderately high
019125	Barcelona	Sant Marcel i les Franceses	0.715	Moderately high
194003	Sant Adrià de Besòs	Sant Joan Baptista - la Marina del Besòs	0.713	Moderately high
015004	Badalona	el Progrés - Pep Ventura	0.711	Moderately high
073006	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons Oest	0.711	Moderately high

015012	Badalona	Sant Mori de Llefià - Carretera Antiga de València	0.711	Moderately high
101018	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - Plaça Pirineus	0.709	Moderately high
015024	Badalona	Sant Crist de Can Cabanyes	0.708	Moderately high
019115	Barcelona	els Quinze	0.701	Moderately high
019018	Barcelona	els Enamorats	0.698	Moderately high
019121	Barcelona	Montbau	0.691	Moderately high
056005	Castelldefels	les Botigues - Can Bou - Mar i Sol	0.688	Moderately high
019048	Barcelona	Santa Madrona, la Satàlia i Montjuïc	0.685	Moderately high
019167	Barcelona	Can Robacols	0.679	Moderately high
101012	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Avinguda Primavera	0.676	Moderately high
194002	Sant Adrià de Besòs	Sant Adrià Nord - els Encants	0.674	Moderately high
019182	Barcelona	Can Ricart	0.673	Moderately high
015011	Badalona	Sant Mori de Llefià - Guasch	0.673	Moderately high
019183	Barcelona	els Porxos	0.661	Moderately high
019100	Barcelona	Rius i Taulet	0.657	Moderately high
245001	Santa Coloma de Gramenet	Centre	0.656	Moderately high
019171	Barcelona	el Parc de la Ciutadella, Ca l'Aranyó i Ratés	0.656	Moderately high
019049	Barcelona	les Hortes de Sant Bertran	0.651	Moderately high
073004	Cornellà de Llobregat	Bonavista	0.635	Moderately high
101020	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - el Parc	0.634	Moderately high
019146	Barcelona	Torre Baró, Ciutat Meridiana i Vallbona	0.631	Moderately high
101031	Hospitalet de Llobregat, l'	Bellvitge - Ermita i Hospital	0.626	Moderately high
019128	Barcelona	Can Garrigó	0.625	Moderately high
194001	Sant Adrià de Besòs	Sant Adrià Nord - Centre	0.624	Moderately high
019157	Barcelona	Can Masadas i el Camp del Ferro	0.618	Moderately high
101014	Hospitalet de Llobregat, l'	les Planes - Avinguda Catalunya	0.613	Moderately high
101010	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Plaça Llibertat	0.613	Moderately high
019046	Barcelona	els Tres Tombs	0.605	Moderately high
019155	Barcelona	el Mercadal	0.602	Moderately high
056004	Castelldefels	el Poble Vell	0.591	Moderately high
019159	Barcelona	la Sagrera Alta	0.587	Moderately high
019044	Barcelona	el Price	0.585	Moderately high
019161	Barcelona	els Indians	0.585	Moderately high

245009	Santa Coloma de Gramenet	la Guinardera - Singuerlin Est - Torribera	0.583	Moderately high
019164	Barcelona	Trinxant	0.565	Moderately high
019174	Barcelona	Can Felipa	0.562	Moderately high
019031	Barcelona	Sant Josep Oriol	0.560	Moderately high
089006	Gavà	Eixample - la Bòbila	0.555	Moderately high
019165	Barcelona	Can Miralletes	0.553	Moderately high
019017	Barcelona	la Monumental	0.533	Moderately high
019111	Barcelona	Can Baró	0.531	Moderately high
015003	Badalona	el Raval - Can Claris	0.521	Moderately high
019162	Barcelona	Sant Joan Bosco	0.518	Moderately high
019114	Barcelona	Maragall	0.514	Moderately high
101017	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Mercat	0.505	Moderately high
019122	Barcelona	la Vall d'Hebron i la Clota	0.497	Moderately high
245006	Santa Coloma de Gramenet	Riu Nord	0.496	Moderately high
019126	Barcelona	Can Cartellà	0.475	Moderately high
077002	Esplugues de Llobregat	Can Vidalet	0.474	Moderately high
019127	Barcelona	Virrei Amat i la Torre Llobeta	0.473	Moderately high
019163	Barcelona	el Torrent de la Guineu	0.473	Moderately high
019102	Barcelona	l'Abaceria i la Plaça del Raspall	0.465	Moderately high
019047	Barcelona	la França Xica	0.462	Moderately high
019168	Barcelona	la Parròquia del Clot	0.446	Moderately high
073007	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons Est	0.426	Moderately high
019020	Barcelona	la Damm	0.425	Moderately high
200009	Sant Boi de Llobregat	Marianao - Salesians	0.421	Moderately high
169004	Prat de Llobregat, el	Eixample Nord	0.420	Moderately high
019169	Barcelona	el Clot de la Mel	0.420	Moderately high
101029	Hospitalet de Llobregat, l'	Bellvitge - Estació	0.419	Moderately high
019042	Barcelona	Mistral	0.417	Moderately high
015022	Badalona	Lloreda	0.416	Moderately high
101030	Hospitalet de Llobregat, l'	Bellvitge - Mercat	0.411	Moderately high
019033	Barcelona	el Clínic	0.409	Moderately high
019130	Barcelona	Can Dragó	0.407	Moderately high
266002	Cerdanyola del Vallès	les Fontetes	0.406	Moderately high

089001	Gavà	Centre	0.389	Moderately high
019021	Barcelona	els Jardins de la Indústria	0.385	Moderately high
019150	Barcelona	Can Portabella	0.383	Moderately high
200004	Sant Boi de Llobregat	Vinyets Nord	0.382	Moderately high
101019	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - Plaça del Vidre	0.380	Moderately high
019119	Barcelona	la Teixonera	0.377	Moderately high
019106	Barcelona	Can Romans	0.376	Moderately high
019158	Barcelona	el Pont del Treball	0.373	Moderately high
169002	Prat de Llobregat, el	Casc Antic Est	0.368	Moderately high
217005	Sant Joan Despí	les Planes	0.358	Moderately high
245007	Santa Coloma de Gramenet	Singuerlin - Can Zam	0.355	Moderately high
245004	Santa Coloma de Gramenet	Riu Sud - Torre Balldovina	0.354	Moderately high
019112	Barcelona	el Parc del Guinardó	0.353	Moderately high
019113	Barcelona	el Guinardó i l'Hospital de Sant Pau	0.351	Moderately high
019007	Barcelona	Santa Anna, el Pi i la Plaça Reial	0.349	Moderately high
019098	Barcelona	la Plaça del Nord i Can Trilla	0.341	Moderately high
245008	Santa Coloma de Gramenet	les Oliveres - Can Franquesa	0.334	Moderately high
245010	Santa Coloma de Gramenet	Cementiri Vell - la Riera Alta - Llatí Nord	0.324	Moderately high
019019	Barcelona	el Poblet	0.324	Moderately high
169008	Prat de Llobregat, el	Sant Cosme - la Granja	0.321	Moderately high
019134	Barcelona	el Parc Central de Nou Barris	0.316	Moderately high
101016	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Cementiri - Carretera	0.314	Moderately high
019187	Barcelona	la Palmera	0.311	Moderately high
019124	Barcelona	Sant Joan d'Horta	0.278	Moderately high
019022	Barcelona	la Sagrada Família	0.275	Moderately high
019030	Barcelona	Letamendi i la Universitat	0.270	Moderately high
180004	Ripollet	Can Mas	0.268	Moderately high
019110	Barcelona	el Parc de les Aigües	0.264	Moderately high
019015	Barcelona	el Fort Pienc	0.261	Moderately high
056002	Castelldefels	Vista Alegre - el Castell	0.257	Moderately high
019109	Barcelona	el Mas Casanovas	0.256	Moderately high
019027	Barcelona	el Quadrat d'Or i la Torre de les Aigües	0.253	Moderately high
019028	Barcelona	els Camps Elisis i el cinc d'Oros	0.252	Moderately high

019050	Barcelona	Sant Cristòfol i la Marina del Prat Vermell	0.252	Moderately high
019016	Barcelona	els Encants, l'Auditori i el Teatre	0.247	Moderately high
200011	Sant Boi de Llobregat	Ciutat Cooperativa	0.247	Moderately high
019055	Barcelona	l'Àngel Custodi	0.245	Moderately high
073008	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons - Torre la Miranda	0.234	Moderately high
301008	Viladecans	Torre Roja - Levadura	0.233	Moderately high
019123	Barcelona	l'Eixample d'Horta	0.231	Moderately high
019151	Barcelona	Sant Andreu Vell	0.228	Moderately high
019025	Barcelona	el Carlit	0.228	Moderately high
019103	Barcelona	Joanic	0.225	Moderately high
019101	Barcelona	el Sol, el Diamant, la Virreina i la Revolució	0.224	Moderately high
019136	Barcelona	Canyelles	0.224	Moderately high
301007	Viladecans	Centre Nord	0.217	Moderately high
019120	Barcelona	Sant Genís dels Agudells	0.215	Moderately high
019024	Barcelona	la Concepció	0.211	Moderately high
019023	Barcelona	Verdaguer	0.208	Moderately high
019094	Barcelona	el Coll	0.205	Moderately high
125001	Montcada i Reixac	Montcada Centre	0.197	Moderately high
015005	Badalona	el Progrés - Pont del Petroli	0.196	Moderately high
169001	Prat de Llobregat, el	Casc Antic Oest	0.195	Moderately high
282001	Tiana	Tiana	0.189	Moderately high
125003	Montcada i Reixac	Can Sant Joan - Can Cuyàs	0.176	Moderately high
019148	Barcelona	Baró de Viver i la Maquinista	0.165	Moderately high
200001	Sant Boi de Llobregat	Centre	0.164	Moderately high
019177	Barcelona	la Nova Diagonal Mar i el Front Marítim del Poblenou	0.163	Moderately high
019104	Barcelona	el Camp d'en Grassot	0.156	Moderately high
019105	Barcelona	la Sedeta	0.153	Moderately high
019035	Barcelona	l'Escola Industrial	0.150	Moderately high
019154	Barcelona	Casa Bloc	0.143	Moderately high
101002	Hospitalet de Llobregat, l'	Centre - Carretera del Mig	0.136	Moderately high
019099	Barcelona	la Llibertat i la Riera de Sant Miquel	0.126	Moderately high
019043	Barcelona	els Salesians	0.114	Moderately high
200003	Sant Boi de Llobregat	Vinyets Sud - Molí Vell - Les Salines	0.110	Moderately high

019045	Barcelona	el Mercat de Sant Antoni	0.105	Moderately high
101001	Hospitalet de Llobregat, l'	Centre - Ajuntament	0.096	Moderately high
015028	Badalona	Morera	0.090	Moderately high
101005	Hospitalet de Llobregat, l'	Sant Feliu	0.074	Moderately high
073005	Cornellà de Llobregat	Gavarra	0.074	Moderately high
101006	Hospitalet de Llobregat, l'	Can Serra	0.060	Moderately high
019108	Barcelona	els Jardins del Príncep de Girona	0.059	Moderately high
015002	Badalona	Coll i Pujol - Dalt de la Vila	0.051	Moderately high
200008	Sant Boi de Llobregat	Marianao -Centre	0.038	Moderately high
019096	Barcelona	Sant Josep de la Muntanya	0.032	Moderately high
019029	Barcelona	Sant Miquel	0.029	Moderately high
015020	Badalona	Puigfred	0.029	Moderately high
019093	Barcelona	Vallcarca - la Farigola	0.026	Moderately high
101021	Hospitalet de Llobregat, l'	Sant Josep - Centre	0.017	Moderately high
019026	Barcelona	Catalunya i els Dominics	0.013	Moderately high
125002	Montcada i Reixac	Reixac - Vallençana - la Ribera	0.011	Moderately high
019097	Barcelona	la Plaça Rovira	0.008	Moderately high
019095	Barcelona	el Coll del Portell	0.001	Moderately high

Vulnerability to torrid nights

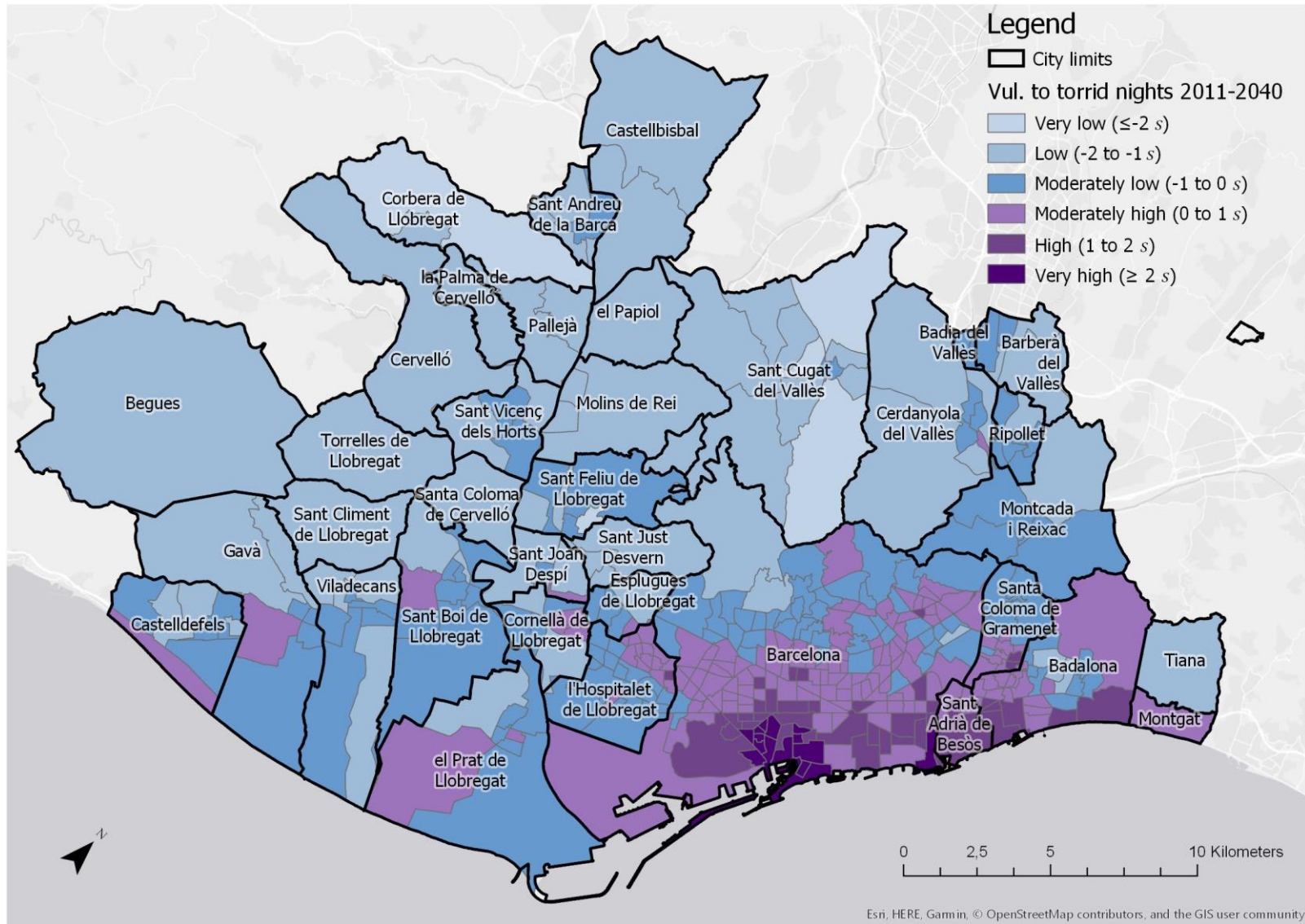


Table 7.4d. Vulnerability scores (TO)

AC ID	CITY	CENSUS GROUP NAME	SCORES	VULNERABILITY
019178	Barcelona	el Besòs Mar	3.415	Very high
019012	Barcelona	Santa Caterina	3.219	Very high
019009	Barcelona	l'Escullera i l'Hospital del Mar	3.080	Very high
019010	Barcelona	Sant Miquel del Port	2.997	Very high
019001	Barcelona	el Liceu i les Drassanes	2.921	Very high
019011	Barcelona	la Ribera	2.633	Very high
019003	Barcelona	la Riereta	2.598	Very high
019008	Barcelona	la Ciutat Romana i la Mercè	2.480	Very high
019005	Barcelona	Ponent	2.367	Very high
019004	Barcelona	el Pedró	2.282	Very high
019002	Barcelona	Sant Pau	2.245	Very high
019006	Barcelona	Tallers i els Àngels	2.199	Very high
019049	Barcelona	les Hortes de Sant Bertran	2.090	Very high
019013	Barcelona	Sant Pere	2.013	Very high
019046	Barcelona	els Tres Tombs	2.011	Very high
019044	Barcelona	el Price	1.925	High
015006	Badalona	Gorg - Congrés	1.855	High
019014	Barcelona	el Portal Nou	1.854	High
019173	Barcelona	el Taulat i la Plata	1.844	High
019007	Barcelona	Santa Anna, el Pi i la Plaça Reial	1.754	High
015007	Badalona	Sant Roc Sud - la Mora - el Remei	1.716	High
019031	Barcelona	Sant Josep Oriol	1.618	High
019175	Barcelona	els Ciutadans	1.589	High
019048	Barcelona	Santa Madrona, la Satàlia i Montjuïc	1.588	High
015008	Badalona	Sant Roc - Plaça Roja	1.544	High
019179	Barcelona	el Besòs	1.534	High
194004	Sant Adrià de Besòs	la Mina - la Catalana	1.459	High
019027	Barcelona	el Quadrat d'Or i la Torre de les Aigües	1.343	High
015001	Badalona	Centre	1.298	High
019180	Barcelona	el Maresme i el Maresme Vell	1.270	High

019190	Barcelona	la Pau	1.253	High
019045	Barcelona	el Mercat de Sant Antoni	1.247	High
019047	Barcelona	la França Xica	1.234	High
019176	Barcelona	l'Antiga Diagonal Mar	1.222	High
019174	Barcelona	Can Felipa	1.195	High
019042	Barcelona	Mistral	1.187	High
019170	Barcelona	el Mercat del Clot	1.172	High
019171	Barcelona	el Parc de la Ciutadella, Ca l'Aranyó i Ratés	1.169	High
019030	Barcelona	Letamendi i la Universitat	1.132	High
019100	Barcelona	Rius i Taulet	1.131	High
019141	Barcelona	Can Borràs	1.128	High
245012	Santa Coloma de Gramenet	Rambla del Fondo	1.106	High
019188	Barcelona	la Verneda Alta	1.091	High
019181	Barcelona	Provençals i Ca l'Isidret	1.085	High
194003	Sant Adrià de Besòs	Sant Joan Baptista - la Marina del Besòs	1.079	High
019033	Barcelona	el Clínic	1.065	High
015009	Badalona	Sant Roc - Camarón de la Isla	1.060	High
019102	Barcelona	l'Abaceria i la Plaça del Raspall	1.044	High
019025	Barcelona	el Carlit	1.041	High
101018	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - Plaça Pirineus	1.026	High
015030	Badalona	Casagemes - Canyadó - Manresà - Guixerres	1.021	High
019043	Barcelona	els Salesians	1.020	High
245013	Santa Coloma de Gramenet	el Fondo Alt	1.015	High
019026	Barcelona	Catalunya i els Dominics	1.001	High
019017	Barcelona	la Monumental	0.982	Moderately high
019186	Barcelona	Júpiter	0.981	Moderately high
019018	Barcelona	els Enamorats	0.975	Moderately high
019166	Barcelona	Xifré	0.933	Moderately high
019028	Barcelona	els Camps Elisis i el cinc d'Oros	0.923	Moderately high
019172	Barcelona	la Vila Olímpica i el Bogatell	0.921	Moderately high
019185	Barcelona	Sant Martí Vell	0.921	Moderately high
019182	Barcelona	Can Ricart	0.916	Moderately high
101013	Hospitalet de Llobregat, l'	les Planes - el Parc	0.906	Moderately high

015004	Badalona	el Progrés - Pep Ventura	0.885	Moderately high
019015	Barcelona	el Fort Pienc	0.878	Moderately high
019055	Barcelona	l'Àngel Custodi	0.856	Moderately high
245014	Santa Coloma de Gramenet	Santa Rosa - Pirineus	0.831	Moderately high
019024	Barcelona	la Concepció	0.823	Moderately high
019132	Barcelona	el Mercat de la Mercè	0.818	Moderately high
019035	Barcelona	l'Escola Industrial	0.803	Moderately high
101011	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Parc dels Ocellets	0.797	Moderately high
101015	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Centre - Vallparada	0.782	Moderately high
019177	Barcelona	la Nova Diagonal Mar i el Front Marítim del Poblenou	0.780	Moderately high
019040	Barcelona	la Casa Golferics	0.779	Moderately high
015017	Badalona	la Salut Sud - Mercat	0.754	Moderately high
019032	Barcelona	el Ninot	0.753	Moderately high
019023	Barcelona	Verdaguer	0.752	Moderately high
015016	Badalona	la Salut Centre	0.750	Moderately high
019149	Barcelona	el Bon Pastor	0.746	Moderately high
019189	Barcelona	la Verneda Baixa	0.733	Moderately high
015018	Badalona	Sistrells	0.729	Moderately high
101008	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - la Bóbila	0.724	Moderately high
019133	Barcelona	el Turó de la Peira i Can Peguera	0.724	Moderately high
101020	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - el Parc	0.721	Moderately high
015003	Badalona	el Raval - Can Claris	0.719	Moderately high
101007	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - Can Vidalet	0.699	Moderately high
019029	Barcelona	Sant Miquel	0.696	Moderately high
019039	Barcelona	els Llorers	0.688	Moderately high
019050	Barcelona	Sant Cristòfol i la Marina del Prat Vermell	0.684	Moderately high
019140	Barcelona	les Cases de Charlot	0.679	Moderately high
019160	Barcelona	el Congrés	0.673	Moderately high
015015	Badalona	la Salut Nord - Verge de la Salut	0.672	Moderately high
073006	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons Oest	0.660	Moderately high
019106	Barcelona	Can Romans	0.658	Moderately high
019167	Barcelona	Can Robacols	0.648	Moderately high
194005	Sant Adrià de Besòs	el Besòs - la Verneda	0.646	Moderately high

015005	Badalona	el Progrés - Pont del Petrolí	0.644	Moderately high
019068	Barcelona	les Corts Velles	0.638	Moderately high
019062	Barcelona	Santa Maria de Sants	0.635	Moderately high
019099	Barcelona	la Llibertat i la Riera de Sant Miquel	0.630	Moderately high
101017	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Mercat	0.627	Moderately high
245003	Santa Coloma de Gramenet	Can Mariner	0.623	Moderately high
019064	Barcelona	Can Novell - Plaça del Centre	0.623	Moderately high
019063	Barcelona	l'Olivera Rodona i l'Espanya Industrial	0.622	Moderately high
019016	Barcelona	els Encants, l'Auditori i el Teatre	0.616	Moderately high
019098	Barcelona	la Plaça del Nord i Can Trilla	0.602	Moderately high
019069	Barcelona	el Sòl de Baix	0.598	Moderately high
101019	Hospitalet de Llobregat, l'	la Torrassa - Plaça del Vidre	0.597	Moderately high
019060	Barcelona	Can Mantega	0.596	Moderately high
019019	Barcelona	el Poblet	0.593	Moderately high
019036	Barcelona	les Editorials	0.580	Moderately high
019183	Barcelona	els Porxos	0.579	Moderately high
019101	Barcelona	el Sol, el Diamant, la Virreina i la Revolució	0.575	Moderately high
245015	Santa Coloma de Gramenet	Santa Rosa - Pont de Potosí	0.570	Moderately high
019139	Barcelona	la Plaça de Verdun	0.566	Moderately high
019103	Barcelona	Joanic	0.565	Moderately high
019054	Barcelona	l'Alcaldia d'Hostafrancs	0.557	Moderately high
019037	Barcelona	la Model	0.553	Moderately high
019165	Barcelona	Can Miralletes	0.551	Moderately high
019020	Barcelona	la Damm	0.551	Moderately high
019022	Barcelona	la Sagrada Família	0.544	Moderately high
101009	Hospitalet de Llobregat, l'	la Pubilla Cases - Can Rigalt	0.533	Moderately high
073004	Cornellà de Llobregat	Bonavista	0.532	Moderately high
019142	Barcelona	Santa Engràcia	0.532	Moderately high
200006	Sant Boi de Llobregat	Camps Blancs	0.530	Moderately high
015029	Badalona	Canyet - Mas Ram - Pomar de Dalt - Pomar	0.527	Moderately high
169008	Prat de Llobregat, el	Sant Cosme - la Granja	0.520	Moderately high
019169	Barcelona	el Clot de la Mel	0.517	Moderately high
245002	Santa Coloma de Gramenet	Sagarra - Rambla de Sant Sebastià	0.515	Moderately high

019184	Barcelona	el Pont de Bac de Roda	0.510	Moderately high
019147	Barcelona	la Trinitat Vella	0.509	Moderately high
019061	Barcelona	el Mercat Nou	0.497	Moderately high
019131	Barcelona	els Jardins d'Alfàbia	0.484	Moderately high
217005	Sant Joan Despí	les Planes	0.481	Moderately high
015024	Badalona	Sant Crist de Can Cabanyes	0.462	Moderately high
101012	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Avinguda Primavera	0.455	Moderately high
019129	Barcelona	la Plaça de Sóller	0.452	Moderately high
019041	Barcelona	l'Escorxador	0.435	Moderately high
019104	Barcelona	el Camp d'en Grassot	0.433	Moderately high
019105	Barcelona	la Sedeta	0.431	Moderately high
101014	Hospitalet de Llobregat, l'	les Planes - Avinguda Catalunya	0.425	Moderately high
019084	Barcelona	Galvany	0.421	Moderately high
019168	Barcelona	la Parròquia del Clot	0.421	Moderately high
019034	Barcelona	el Pilar	0.415	Moderately high
019021	Barcelona	els Jardins de la Indústria	0.411	Moderately high
015013	Badalona	Sant Antoni de Llefià	0.407	Moderately high
019117	Barcelona	l'Alt Carmel i el Turó de la Rovira	0.405	Moderately high
019085	Barcelona	Tuset	0.402	Moderately high
019038	Barcelona	Sant Llorenç	0.396	Moderately high
015019	Badalona	la Pau	0.394	Moderately high
101010	Hospitalet de Llobregat, l'	la Florida - Plaça Llibertat	0.389	Moderately high
019138	Barcelona	les Roquetes	0.372	Moderately high
073007	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons Est	0.368	Moderately high
019143	Barcelona	la Plaça Verda	0.363	Moderately high
019118	Barcelona	el Baix Carmel	0.357	Moderately high
194002	Sant Adrià de Besòs	Sant Adrià Nord - els Encants	0.353	Moderately high
019145	Barcelona	la Trinitat Nova	0.327	Moderately high
126001	Montgat	Montgat Barris de Llevant	0.312	Moderately high
245005	Santa Coloma de Gramenet	Riu Sud - Pont de Santa Coloma	0.302	Moderately high
015010	Badalona	Artigas	0.298	Moderately high
245016	Santa Coloma de Gramenet	el Raval - Safaretjos	0.288	Moderately high
019065	Barcelona	les Infantes i la Colònia Castells	0.287	Moderately high

015014	Badalona	Sant Joan de Llefià	0.281	Moderately high
019109	Barcelona	el Mas Casanovas	0.280	Moderately high
245011	Santa Coloma de Gramenet	Llatí	0.266	Moderately high
019056	Barcelona	Sant Medir	0.259	Moderately high
101016	Hospitalet de Llobregat, l'	Collblanc - Cementiri - Carretera	0.258	Moderately high
019066	Barcelona	Loreto i el Camp de la Creu	0.254	Moderately high
019187	Barcelona	la Palmera	0.248	Moderately high
126002	Montgat	Montgat Barris de Ponent	0.232	Moderately high
019125	Barcelona	Sant Marcel i les Franceses	0.221	Moderately high
019115	Barcelona	els Quinze	0.220	Moderately high
194001	Sant Adrià de Besòs	Sant Adrià Nord - Centre	0.219	Moderately high
019144	Barcelona	la Flor de Neu	0.214	Moderately high
019135	Barcelona	la Guineueta	0.211	Moderately high
019111	Barcelona	Can Baró	0.202	Moderately high
019159	Barcelona	la Sagrera Alta	0.201	Moderately high
019128	Barcelona	Can Garrigó	0.194	Moderately high
019137	Barcelona	la Mina de la Ciutat	0.192	Moderately high
089004	Gavà	les Panes	0.191	Moderately high
019121	Barcelona	Montbau	0.186	Moderately high
266002	Cerdanyola del Vallès	les Fontetes	0.181	Moderately high
015012	Badalona	Sant Mori de Llefià - Carretera Antiga de València	0.180	Moderately high
077002	Esplugues de Llobregat	Can Vidalet	0.179	Moderately high
019164	Barcelona	Trinxant	0.173	Moderately high
073008	Cornellà de Llobregat	Sant Ildefons - Torre la Miranda	0.172	Moderately high
073005	Cornellà de Llobregat	Gavarra	0.171	Moderately high
019051	Barcelona	la Mare de Déu de Port, Can Clos i el Polvorí	0.169	Moderately high
019059	Barcelona	Badal	0.167	Moderately high
019161	Barcelona	els Indians	0.166	Moderately high
019114	Barcelona	Maragall	0.158	Moderately high
019067	Barcelona	les Corts Noves, Can Rosés, Can Feu i Can Batllori	0.155	Moderately high
019110	Barcelona	el Parc de les Aigües	0.154	Moderately high
019156	Barcelona	la Rambla de Sant Andreu	0.150	Moderately high
019163	Barcelona	el Torrent de la Guineu	0.149	Moderately high

015011	Badalona	Sant Mori de Llefia - Guasch	0.141	Moderately high
019162	Barcelona	Sant Joan Bosco	0.131	Moderately high
019071	Barcelona	Can Bacardí, Collblanc, la Maternitat i Bederrida	0.122	Moderately high
169004	Prat de Llobregat, el	Eixample Nord	0.107	Moderately high
019058	Barcelona	l'Olivereta	0.097	Moderately high
056006	Castelldefels	Baixador - Lluinetes - La Pineda	0.092	Moderately high
019157	Barcelona	Can Masadas i el Camp del Ferro	0.082	Moderately high
019087	Barcelona	Monterols	0.079	Moderately high
019053	Barcelona	la Font de la Guatlla	0.071	Moderately high
101029	Hospitalet de Llobregat, l'	Bellvitge - Estació	0.036	Moderately high
019088	Barcelona	el Farró	0.032	Moderately high
245001	Santa Coloma de Gramenet	Centre	0.029	Moderately high
019108	Barcelona	els Jardins del Príncep de Girona	0.027	Moderately high
019086	Barcelona	Laforja	0.024	Moderately high
019097	Barcelona	la Plaça Rovira	0.008	Moderately high

7.5. Technical guide to calculate vulnerability to extreme heat

The following is a guide to calculate vulnerability to extreme heat, based on steps that were used to calculate vulnerability in this final master's project. Its main purpose is to help those in the metropolitan area of Barcelona or others in the future reduce the adverse impacts of climate change. These steps presented here can be adapted as seen fit. To consolidate the concepts and see how they are applied, see Section 2 of this final master's project in junction with the steps of this guide. The numbering of Section 2 coincides with steps presented here.

1. Perform literature review of vulnerability

To perform a vulnerability assessment of extreme heat, begin with a literature review to encompass the concept of vulnerability, variables applicable to the geographical and social context in study, and any previous efforts relevant to your assessment. This literature review can include:

- Prior vulnerability assessments for the study area.
- Plans, projects, scholarly articles, and scientific studies focused on the natural hazard
- Potential sensitive populations, and factors of adaptive capacity that can reduce risk in the study area.
- To complement the literature when information does not exist for the study area, one can review assessments and projects relevant to vulnerability in other geographical areas, especially territories and populations with circumstances like the study area.

2. Choose vulnerability indicators and variables

After the literature review, determine the indicators and variables that are most justified for the context of the assessment. Afterwards, determine which of these variables are available from local sources for the necessary scale¹ to complete the assessment. When deciding the study scale and collecting the data of the variables for said scale, consolidate a master table of the indicators, variables, and the totals of the variables for each study unit. It is recommended to use tables to better organize the information and ensure that the data is justified. Table 2a. and Table 2b. are presented as examples of how to organize the final indicators and variables used for your assessment.

Table 2a. Vulnerability data

STUDY SCALE: AC ID	VARIABLE TOTALS:		INDICATOR: AGE		INDICATOR: HOUSEHOLD TYPE
	<i>Population totals 2017</i>	<i>Household totals 2011</i>	<i>Variable: < 5 years</i>	<i>Variable: ≥ 65 years</i>	<i>Variable: Rental housing</i>
015001	7653	3570	342	1865	1105
015002	7870	3301	355	1716	516
015003	10752	4458	502	1977	891
015004	5458	2429	252	1145	610
015005	8565	3125	578	1248	680
015006	7633	3102	342	1907	389

¹ The spatial and geographic scale of the study must be of high resolution in order to locate implementation efforts according to the vulnerability results. Vulnerability variables need to be at a neighborhood scale or other similar scale; variables at the city level are not adequate.

Table 2b. Justification and organization of vulnerability data

INDICATOR	SOURCE	VARIABLES / YEAR	SCALE	SOURCE
HAZARD MAGNITUDE (EXPOSURE)	Articles, plans, or projects that justify the indicator or variable	Number of heat waves, days of extreme heat, etc.	Original scale → scale of the project	Variable source
AGE (SENSITIVITY)		Population < 5 years old, population ≥ 65 years old		
FOREIGN POPULATION (SENSITIVITY)		Population foreign born and / or certain nationalities / ethnicities considered sensitive		
SOCIOECONOMIC STATUS (SENSITIVITY)		Unemployed, inactive population, family income		
EDUCATION LEVEL (SENSITIVITY)		Population ≥ 25 without studies, population without mandatory studies		
HOUSING CHARACTERISTICS (SENSITIVITY)		Rental housing, single-person households (especially ≥ 65), substandard housing		
PROTECTION FROM HEAT (ADAPTIVE CAPACITY)		NDVI mean by study scale, households with air conditioning, access to cool space		

3. Aggregate vulnerability variables

3a. Calculate NDVI

After choosing indicators for extreme heat vulnerability, calculate the Normalized Vegetation Difference Index (NDVI) with Geographic Information Systems (GIS). First, obtain a satellite image for the study area, ensuring it was taken the year before on a summer day with less than 5% cloud interference. A Sentinel 8-bit image taken on August 03, 2017 was used in this master's project. Landsat 8 satellite images may be another adequate image source.

Upload the satellite image to GIS, or multiple satellite images if you would like to compare NDVI results and choose the best one for your study area. Once uploaded, the files demonstrate they are composed of numbered bands, corresponding to different light wavelengths. Determine which bands correspond to red and infrared wavelengths. With this information, select the NDVI tool in GIS, and indicate which bands correspond to red and infrared wavelengths. A raster file with the NDVI for your study area will result. Confirm the NDVI is correct by comparing it to other vegetation maps available for the study area.

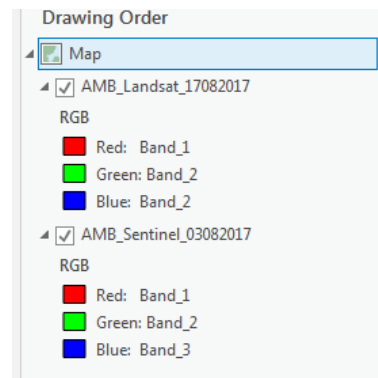


Image 1. Satellite bands

3b. Obtain data at the same scale

With the NDVI calculated, convert all variables to the same spatial scale to perform the vulnerability calculation. In this case study, the calculated NDVI and original exposure extreme heat data is available as raster data files, which are grid-like maps that are useful to generally represent climatic or other continuous information. To convert these raster files into census groups (AC), upload them to GIS and complete the following steps. For this final master's project, following these steps result in the mean NDVI and extreme heat exposure for the 411 census groups of the metropolitan area of Barcelona.

Eliminate decimal values with Raster Calculator

To convert the raster to a polygon, the decimal values must be removed. Upload the desired raster to ArcGIS and use the Raster Calculator Tool (in Spatial Analyst) to multiply the raster with a multiple of 10 to eliminate the decimal values. In this final master's project, it is multiplied by 1,000,000, because the raster has floating values with six decimal places.

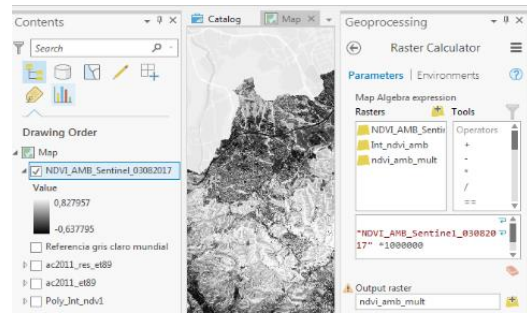


Image 2. Raster calculator

Convert to an integer with Int

Open the Int (Spatial Analyst) tool and insert the raster created in the previous step to convert it to an integer type.

Convert raster to polygon

To convert the raster to a polygon, open the Raster to Polygon tool (in Conversion Tools) and load the raster created in the previous step. Leave the Simplify Polygons box blank, so that the edge of the polygons adjusts exactly to the edges of the cell of the input raster.

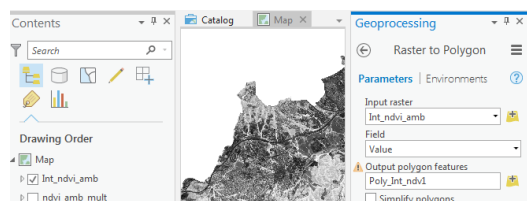


Image 3. Raster to polygon

Obtain the original decimal values

Open the attribute table of the new polygon created in the previous step. Edit the table, add a floating type field, and name the field. In the example shown in Image 6, we name this field MeanNDVI. Open the Field Calculator tool for the new field created. Divide the multiple of ten that you used in the first step in the "gridecode" field.

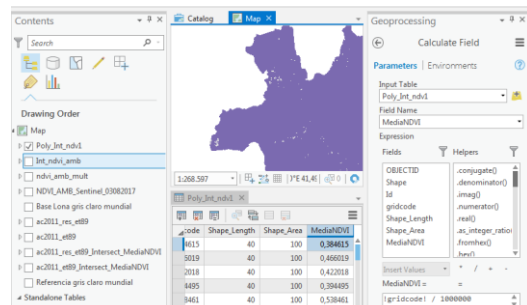


Image 4. Field calculator

Intersect polygon with study scale

Now that the polygon has the original grid information (for example, the NDVI or extreme heat exposure) you can begin the process to obtain the mean NDVI/extreme heat exposure for the interested spatial scale (the determined scale for all the variables of your project). Use the Intersect tool and input the polygon with the NDVI/climatic values created in the previous steps with the shapefile of the spatial scale interested (for example, in this master's project, census groups were used).

Summarize data by study scale

Open the attribute table of the intersect created. Right click the top of the column of the NDVI/extreme heat values and click summarize. Create a name for the output table where your data will be saved. Input the NDVI / extreme heat data in Field and "MEAN" in Statistics Type field. In Case Field, put the spatial scale interested that you want to "summarize". In this master's project, the spatial scale is census groups, shown as "ac2011" in the figure. The result is a table of the mean NDVI/exposure heat data for the 411 census groups of the metropolitan area of Barcelona.

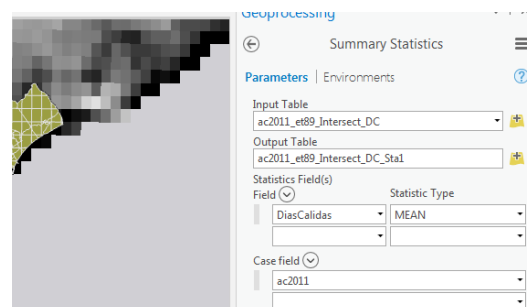


Image 5. Summary statistics

Export table to excel

At this point, the NDVI / extreme heat data is converted to census groups. Export the table of the spatial data to Microsoft Excel, using the Table to Excel Tool. This data will be later added in the vulnerability calculation.

3c. Statistical analysis of sensitivity and adaptive capacity data

Prepare data

With all variables at the same spatial scale, a principal component analysis (PCA) is carried out with the sensitivity and adaptive capacity variables. The PCA allows for the variables to be aggregated and represented by their synergistic effects, by obtaining statistically significant correlations between variables so they can be grouped in components as scores. To prepare these variables for the statistical program SPSS, the following steps are taken:

- Calculate the percentage of all the data in relation to its respective total for each study unit (i.e., the population ≥ 65 years is divided by the total value of the population for each respective AC).
- Remove spaces from the names of the variables (i.e. RentalHousing)
- Fill or delete variables with missing values. SPSS cannot process data with gaps. Note, however, that estimating gaps in the data adds more uncertainty to the project. Therefore, the approximation should only be done if the variable is extremely important, and if the calculation is for less than 10% of the total data of the variable in question. In this final master's project, missing data accounted for 4% of the total data.

The calculation to fill in the gaps of missing data can be done in several ways, depending on the deficiencies of the data and its availability. For this final master's project, the following steps were completed. First, a new Excel sheet was opened with the variables containing missing values and the respective totals were added for each variable. The missing data was highlighted in gray and a column called "Calc" was added next to each column of data (to calculate the gaps). The percentages of the real data for each municipality were calculated, dividing the real data by its respective total of each AC. Lastly, the average of these percentages was calculated by municipality, and its result was multiplied by the total of the lost real data. This method provides approximations that are relative to the total of the study scale. In other words, the calculations that are made do not overestimate the missing values in relation to their total. For a visualization of this process, consult Table 3c.

Table 3c. Example of how to fill missing data for SPSS

AC ID	CITY	EDUCATION TOTAL	POP ≥ 25 W/O EDUCATION	CALC
089001	Gavà	3536	333	1. 0.09 (=3536/333)
089002	Gavà	5272	704	2. 0.13 (=5272/704)
089003	Gavà	3951	446	446 (=mean of #1-6 multiplied by 3951)
089004	Gavà	5154	788	3. 0.15 (=5154/788)
089005	Gavà	3837	263	4. 0.07 (=3837/263)
089006	Gavà	7370	896	5. 0.12 (=3536/896)
089007	Gavà	4814	708	6. 0.15 (=4814/708)

Import data and begin factor analysis

Import the data into SPSS with all pre-selected features checked. Once the data is imported begin the Principle Component Analysis (PCA). Click Analyze > Dimension reduction > Factor. Select all variables

with the right arrow. Later, select extraction > scree plot (with all the preselected options) and the continue button to leave the extraction window. Press accept and the PCA will be performed.²

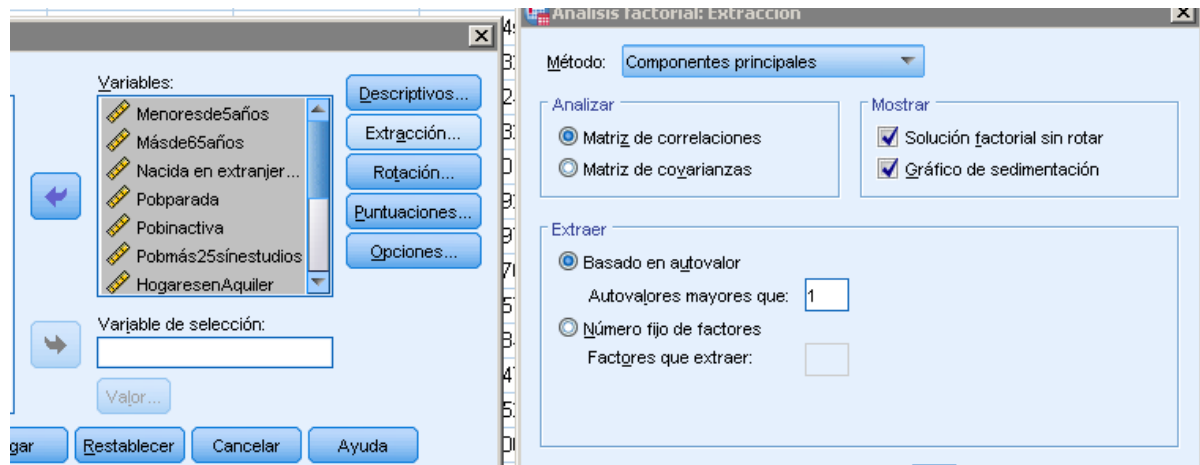


Image 6. How to extract the scree plot in the PCA

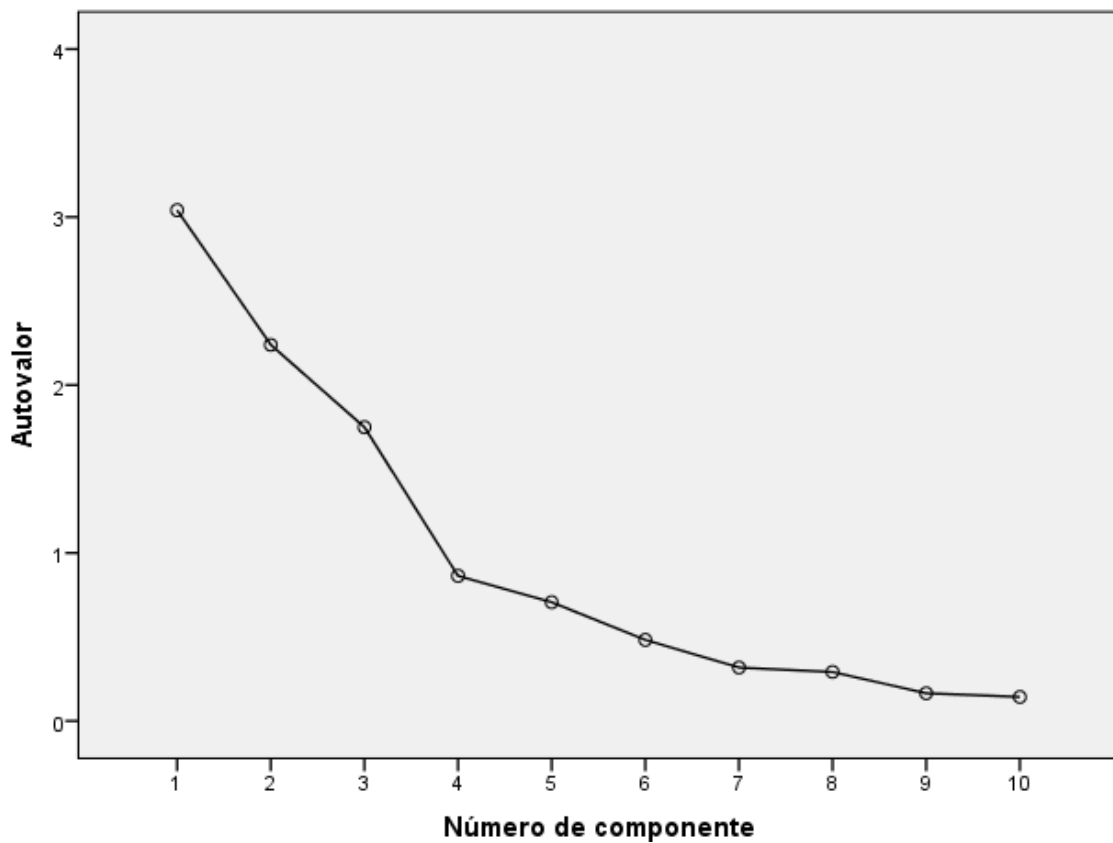


Image 7. Scree plot used in the assessment of this project

² Note: Although most studies normalize variables with z-scores before entering them into SPSS, no difference was found in the results in this study. This is likely due to the normalization that occurs when each variable is converted to a percentage of its universe and the use of a correlation matrix in the PCA.

Analyze component matrix

Results of the Principle Component Analysis (PCA) will appear on a different page called results. Analyze the scree plot, the table of total variance explained, and the component matrix. From the scree plot and total variance explained you will see how many components explain most of the variance of the data. Note this number. In the component matrix, you can see how the original variables are grouped into components with fractional values (called loadings) corresponding to the correlation coefficients between the original variables and each new variable or *principal component*. You can determine which variable corresponds to which component by the value of the loading. The variables that have loadings with an absolute value greater than 0.5 correspond to a component and loadings with an absolute value greater than 0.7 are considered statistically significant. Analyzing the component matrix, you may decide to remove variables that load insignificantly or produce confounding results, like the variable described in Section 3.5 of this project.

Repeat factor analysis

Repeat the factor analysis (Analyze > Dimension reduction > Factor), this time selecting:

- Extraction > Factors to extract > (insert the number of components considered significant in the previous step)
- Rotation > Varimax
- Scores > Save as variables

Repeat component matrix analysis

In the results window, you will see a new section of the repeated PCA. Analyze the variance explained table and the rotated component matrix. Notice the difference on how the varimax rotation divides the variance more equally between the components and how variables appear with more significant loadings in the rotated component matrix. Note the variance explained by each component after rotation for the next step of summing the PCA scores.

Sum PCA scores and export to Excel

Go back to the original dataset where the variables for SPSS were uploaded. Scroll to the right and see the new PCA scores. Sum the PCA scores by the variance explained demonstrated in the previous step. To do so, click Transform > Calculate Variable. Normalize the results by z-scores by clicking Analyze > Descriptive Statistics > Descriptive > Save as variables. Export these normalized sensitivity and adaptive capacity PCA sum to Excel.

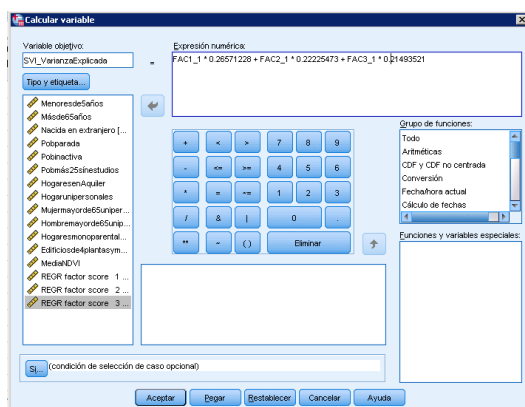


Image 6. Sum PCA scores

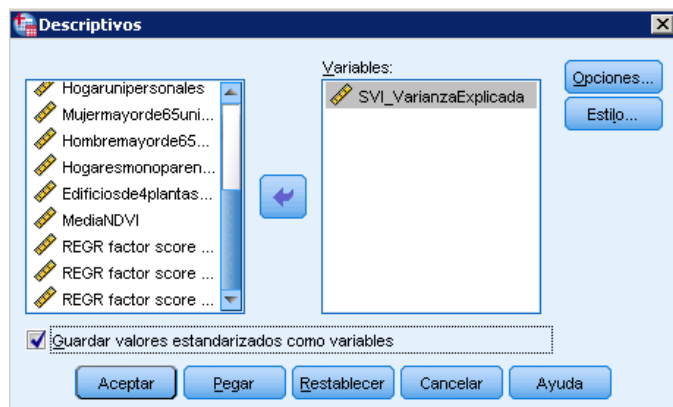


Image 7. Normalize PCA scores

Normalize exposure variables and export to Excel

Open the four exposure variable datasets into SPSS and convert them into z-scores. Export the normalized exposure variables to Excel.

3d. Calculate vulnerability scores

Open the normalized exposure datasets (i.e. HD, TD, TR, and TO) from the previous step. Take these datasets and add them to the data set of normalized sensitivity and adaptive capacity scores from the PCA. Normalize the sum result again by z-scores to obtain the vulnerability scores and map them by standard deviations, as shown in Table 3d. Next, export the vulnerability scores to another Excel sheet with a column of geographic identifiers of the spatial scale of study.

Table 3d. How to calculate vulnerability scores

VULNERABILITY CALCULATION			VULNERABILITY SCORES TO MAP IN GIS	
EXPOSURE (normalized data of HD, TD, TR, or TO)	SENSITIVITY – ADAPTIVE CAPACITY (normalized PCA result)	Sum	VULNERABILITY SCORES (normalized sum)	AC ID (geographic identifier for GIS)
-2,10	0,196	-1,9	-1,5	015001
-1,35	-0,514	-1,9	-1,4	015002
-1,70	0,049	-1,6	-1,3	015003
-1,71	0,305	-1,4	-1,1	015004
-2,01	-0,802	-2,8	-2,2	015005
-1,38	1,837	0,5	0,4	015006
-1,88	0,760	-1,1	-0,9	015007

Optional: map exposure, sensitivity, and adaptive capacity data

If you would like to map individual exposure, sensitivity, and adaptive capacity data, as shown in Appendix 7.2-7.3, normalize the data by z-scores and export them into Excel.

4. Map vulnerability in GIS

Import the tables of the normalized vulnerability scores with their corresponding geographic identifiers into GIS and use the “Add Join” function to link them to shapefiles of the determined spatial scale of your project. This join generates maps with vulnerability scores. Since all data is normalized by z-scores, classify these maps manually by standard deviations (i.e. 6 breaks) which correspond to very low to very high vulnerability. To classify the maps, open the symbology of the vulnerability shapefiles and type the upper values of ≤ -2 , ≤ -1 , ≤ 0 , ≤ 1 , ≤ 2 , \leq (maximum vulnerability score) to obtain the standard deviations breaks which correspond to very low to very high vulnerability.

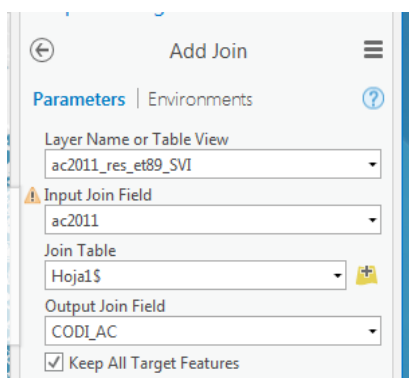


Image 8. Add join

Symbol	Upper value	Label
	≤ -2.0	Very low (≤ -2 s)
	≤ -1.0	Low (-2 to -1 s)
	≤ 0.0	Moderately low (-1 to 0 s)
	≤ 1.0	Moderately high (0 to 1 s)
	≤ 2.0	High (1 to 2 s)
	≤ 3.0	Very high (≥ 2 s)

Image 9. Modify classifications