



DONOSTIA  
SAN SEBASTIÁN

ELABORACIÓN DEL MAPA TÉRMICO DE LA  
CIUDAD DE DONOSTIA/SAN SEBASTIÁN



FECHA DE EMISIÓN: DICIEMBRE 2019  
Versión definitiva

EMPRESA CONTRATADA:

Tecnalia Research & Innovation

REDACTORES DEL DOCUMENTO:

Laura Gutiérrez (Tecnalia Research & Innovation)

Maddalen Mendizabal (Tecnalia Research & Innovation)

Efren Feliú (Tecnalia Research & Innovation)

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO DEL PROYECTO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>2</b>
2.1 Modelo utilizado en el estudio .....	2
2.2. Información de la zona de estudio.....	2
2.2.1 Datos del terreno .....	3
2.2.2 Datos meteorológicos .....	3
2.3 Periodo de estudio .....	3
2.4 Validación de los resultados del modelo .....	4
2.5 Cálculo de los índices térmicos .....	5
2.5.1 Índices térmicos .....	5
2.5.2 Resolución espacial de los índices térmicos .....	6
2.6 Cruce de índices térmicos con información socioeconómica.....	6
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>8</b>
3.1 Validación de los resultados del modelo .....	8
3.1.1 Valores medios para el periodo analizado .....	8
3.1.2 Valores diarios del periodo analizado.....	12
3.2 Índices térmicos .....	12
3.2.1 Temperatura máxima.....	12
3.2.2 Temperatura mínima.....	14
3.2.3 Noches cálidas.....	16
3.2.4 Días de refrigeración.....	17
3.2.5 Número de olas de calor.....	19
3.2.6 Duración de las olas de calor .....	20
3.2.7 Magnitud de la ola de calor.....	22
3.3 Cruce de índices térmicos con información socioeconómica.....	24
3.3.1 Temperatura máxima con vulnerabilidad.....	24
3.3.2 Temperatura mínima con vulnerabilidad .....	24
3.3.3 Temperatura máxima con volumen edificado por unidad menor .....	25
3.3.4 Necesidades de refrigeración con antigüedad del edificio .....	26
3.3.5 Número de olas de calor con mortalidad por enfermedades respiratorias.....	26
3.3.6 Duración de las olas de calor con mortalidad por enfermedades respiratorias .....	27
3.3.7 Temperatura máxima de olas de calor con mortalidad por enfermedades respiratorias .....	28
4.CONCLUSIONES .....	29
<b>4. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>32</b>
<b>5. ANEXOS .....</b>	<b>33</b>
<b>ANEXO I: Valores diarios de Tmax y Tmin entre estaciones y modelos. Gráfico de correlación. Año 2005.....</b>	<b>33</b>

**ANEXO II: Valores diarios de Tmax y Tmin entre estaciones y modelos. Gráfico de correlación. Año 2003 .....**42

**Anexo III: Indicadores de vulnerabilidad utilizados en el Plan de Adaptación.....**49

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO DEL PROYECTO

En los últimos años se está incrementando el número de olas de calor en el periodo estival, fenómeno al que son especialmente vulnerables las ciudades. Las proyecciones de cambio climático indican que la frecuencia, la intensidad y la duración de las olas de calor se verán incrementada en los años venideros.

Entre los impactos negativos de las olas de calor destaca, el asociado a un incremento de la mortalidad tal y como evidencian diversos estudios científicos. Así, un estudio realizado en Berlín en el año 2011 evidencia que, durante las olas de calor, la tasa de mortalidad era más alta en la ciudad, especialmente en sus distritos más densamente urbanizados. Otro estudio similar llevado a cabo en París, durante la ola de calor del verano de 2003, pone de manifiesto que las áreas que exhiben la temperatura superficial infrarroja nocturna más alta sufrieron la mayor mortalidad por exceso de calor. El fenómeno de ola de calor UHI (Urban Heat Island) también tiene otras implicaciones considerables para la calidad del aire y la demanda de energía por el aire acondicionado de las viviendas.

El modelado del clima urbano se considera una herramienta cada vez más relevante para la evaluación del impacto y la eficiencia de las medidas de diseño urbano destinadas a mejorar la resiliencia climática de las ciudades.

El objetivo del proyecto es elaborar el mapa térmico del municipio de Donostia/San Sebastián a partir de información cartográfica y meteorológica disponible.

Para la elaboración del mapa térmico se utiliza el modelo de clima urbano de meso-escala Urbclim, desarrollado por VITO<sup>1</sup> y con el que Tecnalia tiene un acuerdo de colaboración.

Los resultados del modelo se validarán con datos de estaciones meteorológicas disponibles en la ciudad de Donostia/San Sebastián.

Una vez finalizado el proceso de validación se elaborarán y mapearán diferentes índices térmicos como por ejemplo: duración de las olas de calor, frecuencia, intensidad, Tmax nocturna, etc. y que están relacionados con diferentes sectores o departamentos de gestión municipal (salud, planificación, emergencias, etc.) con el objetivo de apoyar a la toma de decisiones.

Finalmente se realizará el cruce de los índices térmicos con indicadores socio-económicos de la ciudad con el objetivo de identificar zonas prioritarias de intervención en distintos ámbitos.

---

<sup>1</sup> VITO, Centro de investigación de Flandes (<https://vito.be/en/about-vito>)

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Modelo utilizado en el estudio

Para la elaboración del mapa térmico de la ciudad de Donostia/San Sebastián se ha utilizado el modelo de clima urbano UrbClim. Este modelo se compone de un esquema de superficie terrestre, que considera la física urbana simplificada, acoplado a un módulo atmosférico tridimensional. UrbClim es un modelo de balance de energía superficial urbana simple, diseñado para la escala espacial urbana pero lo suficientemente rápido como para permitir integraciones durante múltiples períodos de tiempo, por ejemplo el periodo estival, mientras se mantiene un nivel satisfactorio de precisión.

UrbClim se basa en una aproximación atmósfera-suelo-vegetación que calcula los flujos de calor en la superficie en función del balance energético. La superficie se divide en celdas de cuadrícula, que están compuestas por fracciones de vegetación, suelo desnudo y superficie urbana. Cada celda presenta su propio balance de energía y comportamiento térmico. La superficie urbana se presenta como un área impermeable rugosa caracterizada por varios parámetros relacionados con el uso del suelo (albedo, emisividad, longitud de rugosidad, resistencia estomatal y total de la planta, coeficiente de distribución de raíces y sellado del suelo). Para cada uno de los tres tipos de cobertura del suelo, se consideran balances separados de energía y agua. El esquema de transferencia de la atmósfera con la vegetación del suelo está acoplado a un módulo atmosférico tridimensional, que incluye la capa límite atmosférica y se extiende hasta una altura de tres kilómetros. La versión predeterminada del modelo UrbClim ha sido validada para varias ciudades europeas como Amberes, Bruselas, Gante, Toulouse y Barcelona.

El modelo puede operar a una alta resolución espacial y temporal (100 m y 1 h, respectivamente) sobre un área de estudio de alrededor de 30 por 30 km. Con estos parámetros, se puede examinar la naturaleza dinámica del efecto isla de calor. La resolución de 100 m permite evaluar las diferencias de temperatura intraurbana entre los diferentes barrios de las ciudades. La escala local del modelo permite diferenciar entre los regímenes de temperatura en el entorno urbano con respecto a vecindarios morfológicamente distintos.

En el esquema de superficie terrestre, el terreno urbano se representa como una losa impermeable con valores de parámetros apropiados para el albedo, la emisividad, la rugosidad aerodinámica y térmica, teniendo en cuenta los flujos de calor antropogénicos.

El módulo atmosférico tridimensional está vinculado a campos meteorológicos a escala sinóptica a través de las condiciones de límite lateral y superior para garantizar que el forzamiento sinóptico se tenga en cuenta adecuadamente.

Tal y como se describe gráficamente en la Figura 1, a partir de los datos de entrada, el modelo genera valores horarios de temperatura para el periodo de estudio seleccionado. A partir de estos perfiles de temperatura se calculan índices climáticos que permitirán la posterior toma de decisiones.

### 2.2. Información de la zona de estudio

De acuerdo con la descripción del modelo realizada, es necesario determinar la siguiente información a incluir en el modelo:

1. Información del terreno de la zona de estudio
2. Información meteorológica
3. Periodo de estudio

Se describe a continuación la información utilizada y se resume de forma gráfica en la siguiente figura.

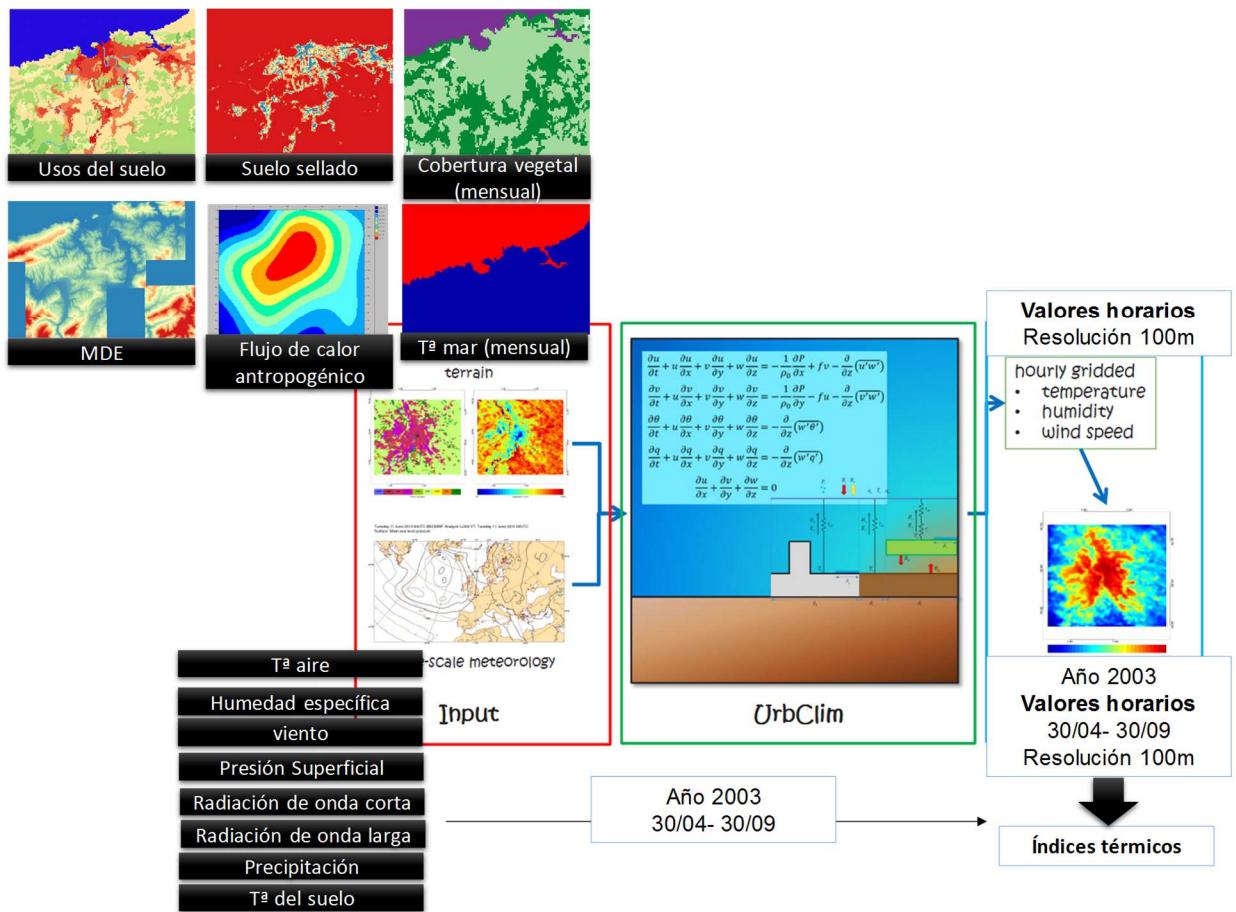


Figura 1. Esquema de la información que se introduce en el modelo

## 2.2.1 Datos del terreno

Los datos referentes al terreno que se introducen en el modelo son: i) usos del suelo, ii) suelo urbano sellado, iii) valores mensuales del Índice de Vegetación Diferenciada Normalizada (NDVI), iv) el modelo digital del terreno, v) el flujo de calor antropogénico y vi) valores mensuales de la temperatura del mar.

A partir de la información de usos del suelo del CORINE se determina si una celda es urbana o no urbana. En el primero de los casos se considera que la celda puede tener una zona urbana sellada, vegetación y suelo desnudo que se determina con la información del NDVI y suelo sellado, respectivamente. Para tener en cuenta la fenología de la vegetación, los mapas NDVI varían mensualmente. La fracción de suelo desnudo se calcula como una fracción complementaria cuando las dos fracciones no suman 100%. Para superficies no urbanas solo se determina la fracción de vegetación y suelo desnudo.

## 2.2.2 Datos meteorológicos

La información meteorológica que se incluye en el modelo proviene de modelos meteorológicos, concretamente datos de reanálisis provisionales de ERA, del Centro Europeo para Pronósticos Meteorológicos a Mediano Alcance (ECMWF).

La información meteorológica que se incluye en el modelo es: i) presión superficial, ii) radiación de onda larga, iii) radiación de onda corta, iv) precipitación, v) temperatura superficial del mar, vi) humedad del suelo y vii) temperatura del suelo. Además el modelo requiere perfiles en 3dimensiones de tres variables atmosféricas que son: i) temperatura del aire, ii) humedad específica y iii) las componentes vectoriales u y V del viento.

## 2.3 Período de estudio

El periodo de estudio simulado en Donostia/San Sebastián corresponde al periodo estival del año 2003, desde Mayo a Septiembre.

El objetivo del proyecto es obtener índices térmicos que permitan la toma de decisiones para la gestión municipal ante un previsible incremento de la temperatura a nivel mundial. Por ello se selecciona el año 2003 como uno de los más calurosos de los últimos años, a modo de verano tipo bajo las proyecciones de cambio climático.

Este año podría representar la situación climática de Donostia/San Sebastián en torno a la mitad de siglo entre 2040 y 2060 en base a las fuentes consultadas. Para obtener la referencia climática de lo que representaría el año 2003 se han consultado dos fuentes.

La primera de ellas el cambio esperado en el número de olas de calor realizado para el diagnóstico del Plan de Adaptación de la ciudad de Donostia/San Sebastián, que prevé que el número de olas de calor (HWN) sea entre 2-4 entre los años 2040 y 2060 bajo el escenario RCP 8.5. Este valor del número de olas de calor es el que resulta en el año 2003 (ver Figura 13 y Figura 14).

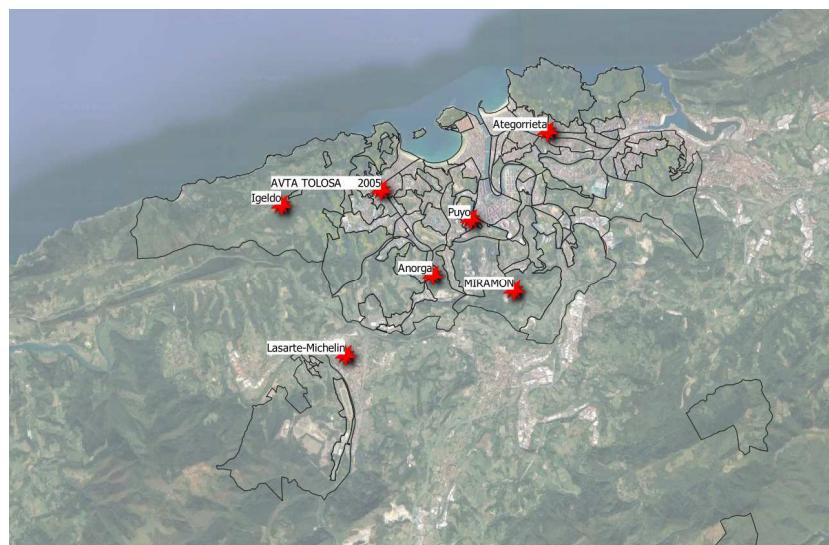
La segunda fuente consultada, son los escenarios de cambio climático que se presentan en el visor de GeoEuskadi<sup>2</sup>. En este caso se proporciona el valor de la Duración de olas de calor, se estima entre 6-8 días de duración para el periodo 2041-2070 también bajo el escenario RCP8.5, que más o menos coincide con el promedio de la duración de olas de calor (ver Figura 15 y Figura 16).

## 2.4 Validación de los resultados del modelo

Para la validar los resultados de temperatura que se obtienen en Donostia/ San Sebastián con el modelo Urbclim, se comparan con los datos observados de estaciones meteorológicas disponibles en la ciudad.

La validación se ha realizado con los valores de dos variables que son temperatura máxima y mínima, comparando los valores de ambas variables promedio del periodo y valores diarios.

Tal y como se establece en la sección de Periodo de estudio, el año de referencia utilizado en el estudio es el 2003. De las estaciones disponibles en Donostia/San Sebastián (ver Figura 2) tres de ellas, Igeldo, Lasarte-Michelin y Ategorrieta disponen datos de temperatura para el año 2003 y de las siete, cinco de ellas disponen de datos para el año 2005, todas excepto Miramón y Añorga. Para contar con más puntos de comparación, la validación se ha realizado para el año 2003 y para el 2005.



**Figura 2.** Ubicación de las estaciones con datos de temperatura de la ciudad de Donostia/ San Sebastián

<sup>2</sup>[https://www.geo.euskadi.eus/s69-bisorea/es/x72aGeoeuskadiWAR/index.jsp?extent=-556484.7702,5135080.2724,30551.607,5458256.028,102100&layers=INGURUMENA\\_CAS\\_5055\\_0&baSelayer=MapaGris](https://www.geo.euskadi.eus/s69-bisorea/es/x72aGeoeuskadiWAR/index.jsp?extent=-556484.7702,5135080.2724,30551.607,5458256.028,102100&layers=INGURUMENA_CAS_5055_0&baSelayer=MapaGris)

Para comprobar que el modelo representa de forma fiable la realidad térmica del municipio, se calculan varios estadísticos de la temperatura máxima y mínima, tanto del modelo como de las estaciones y se comprueba que se cumplen las condiciones que se detallan a continuación (González-Aparicio, I., et al., 2012):

1. El coeficiente de correlación lineal (R) debe ser superior a 0.7
2. Las desviaciones estándar de los datos simulados y observados deben ser similares
3. El error cuadrático medio (RMSE) debe ser menor que las desviaciones estándar de los datos observados
4. El RMSE (RMSEub), debe ser inferior a la desviación estándar de datos observados.

## 2.5 Cálculo de los índices térmicos

### 2.5.1 Índices térmicos

Una vez realizada la validación de los resultados del modelo, se procede al cálculo de los índices térmicos. El modelo proporciona datos horarios de temperatura, humedad relativa y velocidad de viento para el periodo analizado (ver figura 1). A partir de los valores horarios de temperatura se calculan los índices térmicos que facilitarán la toma de decisiones en los diferentes ámbitos municipales. Se detalla en la tabla 1 los índices térmicos que se calculan junto con la descripción de los mismos y la definición del umbral para la ciudad de Donostia/Sebastián, en los casos en los que es necesario. Los índices están clasificados, de acuerdo con la primera columna de la tabla 1, según el sector o departamento municipal al que podrían dar apoyo para la toma de decisiones.

SECTOR		INDICE	Ud	Descripción	Umbral Donostia/ San Sebastián
SALUD (población vulnerable)	TXm	Media de temperatura de las máximas diarias	°C	Es el valor promedio de las temperaturas máximas diarias ( $TX_{ij}$ ) de un periodo j.	
	TNm	Media de temperatura de las mínimas diarias	°C	Es el valor promedio de las temperaturas mínimas diarias ( $TX_{ij}$ ) de un periodo j.	
	TN90P	Noches cálidas	Días	Índice que corresponde al porcentaje de días del periodo que la temperatura mínima supera el percentil 90 o una $T^a$ umbral, 20°C.	$T_{min} > 20^{\circ}\text{C}^3$
ESPACIO PÚBLICO (planeamiento)	TXm	Media de temperatura de las máximas diarias	°C	Es el valor promedio de las temperaturas máximas diarias ( $TX_{ij}$ ) de un periodo j.	
EDIFICACIÓN (Estado de la edificación)	CDD	Número de días de refrigeración	días	Índice que corresponde al porcentaje de días del periodo que la temperatura máxima supera un valor que requiere de refrigeración adicional.	$T_{max} > 22^{\circ}\text{C}^4$
SERVICIOS SOCIALES / Emergencias	HWN	Número de olas de calor al año	eventos	Contaje anual del número de eventos clasificados como ola de calor	Ola de calor: mínimo de 3 días que se cumple

<sup>3</sup> El umbral de  $T_{min} > 20^{\circ}\text{C}$  es el mismo que se utilizó en el Plan de Adaptación al cambio climático de Donostia/San Sebastián

<sup>4</sup> Índice desarrollado por la UK Met Office (Servicio Meteorológico de Reino Unido). El umbral de temperatura está definido a partir de criterios de confort en el espacio interior.

(población vulnerable)	HWF	Duración de las olas de calor	días	Duración total de los eventos de olas de calor. Se suma la duración de todos los eventos de olas de calor durante el periodo.	Tmin >= 19°C Tmax >= 30°C <sup>5</sup>
	HWA	Magnitud de la ola de calor	°C	T <sup>a</sup> máxima media durante la ola de calor	

**Tabla 1.**

*Índices térmicos clasificados por sectores de aplicación*

## 2.5.2 Resolución espacial de los índices térmicos

Se calculan los índices térmicos que se especifican en la Tabla 1, para la ciudad de Donostia/San Sebastián con una resolución de 100m que es la que proporciona el modelo UrbClim.

Se proporcionan también los índices térmicos agregados a nivel de unidad menor. Para ello se calcula el valor medio de cada índice térmico en la unidad menor además de los siguientes estadísticos: valor máximo, mínimo, la desviación estándar, la moda y la mediana. En los mapas se presenta el valor medio de cada índice para la unidad menor y la desviación estándar de forma que se tenga una idea de la variabilidad del valor medio del índice dentro de una misma unidad menor.

## 2.6 Cruce de índices térmicos con información socioeconómica

La finalidad de los mapas térmicos es facilitar la toma de decisiones en la gestión municipal, proporcionando conocimiento sobre la distribución de la temperatura en las diferentes zonas de la ciudad.

Con el objetivo de establecer zonas prioritarias de intervención en la ciudad de Donostia/San Sebastián se procede al cruce de la información térmica generada en el marco del presente proyecto con indicadores socio-económicos disponibles de la ciudad.

El municipio de Donostia/San Sebastián cuenta con un Plan de Adaptación al cambio climático, elaborado en el año 2017, basado en el análisis cuantitativo de vulnerabilidad y riesgo a las amenazas al cambio climático. El incremento de la temperatura y su afección sobre la salud de las personas fue una de las cadenas de impacto analizadas en este diagnóstico y por tanto se dispone de un índice agregado de vulnerabilidad<sup>6</sup> comparativo entre las unidades menores de Donostia/San Sebastián. Este índice de vulnerabilidad se calcula a partir de indicadores socio-económicos, de usos del suelo y de gobernanza que caracterizan la sensibilidad y la capacidad de adaptativa de las unidades menores de Donostia/San Sebastián. En el anexo II se muestran los indicadores que se tuvieron en cuenta para el cálculo de este índice agregado de vulnerabilidad.

En la Tabla 2 se muestra el cruce de cada uno de los índices térmicos con la información de tipo socio-económico de la ciudad que se realiza en el marco del presente proyecto. El criterio seguido ha sido cruzar los índices térmicos de Tmax (TXm) y Tmin (TNm) con el indicador agregado de vulnerabilidad de forma que se tienen en cuenta diversos indicadores que caracterizan a la población vulnerable de forma agregada y ponderada. Para los índices térmicos seleccionados para caracterizar el espacio público y la edificación se han elegido el volumen edificado en cada unidad menor y el porcentaje de ITEs realizadas sobre edificios construidos hasta el año 1965, respectivamente. Ambos indicadores se calcularon para el análisis de vulnerabilidad y riesgo y se reflejan en la tabla del anexo II. Por último, dada la asociación de los eventos de olas de calor con el incremento de la mortalidad y morbilidad, la propuesta de cruce para estos índices es el índice agregado de mortalidad por causas relacionadas con el sistema respiratorio, calculado también para el diagnóstico de vulnerabilidad y riesgo.

<sup>5</sup> Umbrales para definir olas de calor en base al DAEM (Dirección de atención de emergencias de Gobierno Vasco).

<sup>6</sup> De acuerdo con el V Informe del IPCC, la vulnerabilidad al cambio climático es función de la Sensibilidad y de la capacidad adaptativa del sistema que se está evaluando.

SECTOR		INDICE	Ud	PROPIUESTA DE INDICADOR para CRUCE
SALUD (población vulnerable)	TXm	Media de temperatura de las máximas diarias	°C	Vulnerabilidad *
	TNm	Media de temperatura de las mínimas diarias	°C	Vulnerabilidad
	TN90P	Noches cálidas	Días	
ESPACIO PÚBLICO (planeamiento)	TXm	Media de temperatura de las máximas diarias	°C	Volumen edificado por unidad menor
EDIFICACIÓN (Estado de la edificación)	CDD	Número de días de refrigeración	días	Porcentaje de expedientes de Inspección Técnica de Edificio (ITE) realizados sobre edificios construidos hasta el año 1965 con respecto al total de edificios de la unidad de análisis.
SERVICIOS SOCIALES Emergencias (población vulnerable)	HWN	Número de olas de calor al año	eventos	Índice agregado de riesgo de mortalidad en cada unidad de análisis por causas relacionadas con el sistema respiratorio.
	HWF	Duración de las olas de calor	días/ola	Índice agregado de riesgo de mortalidad en cada unidad de análisis por causas relacionadas con el sistema respiratorio
	HWA	Magnitud de la ola de calor	°C	Índice agregado de riesgo de mortalidad en cada unidad de análisis por causas relacionadas con el sistema respiratorio.

**Tabla 2.** Propuesta de cruce de índice térmico con indicador socio-económico

NOTA: Los cruces entre indicadores térmicos y de tipo socio-económico propuestos en la tabla 2 son sólo una muestra de cómo puede utilizarse la información resultante del mapa térmico. Los cruces entre información pueden ser múltiples y el óptimo podría variar en función del tipo de decisión que se buscara respaldar en cada caso.

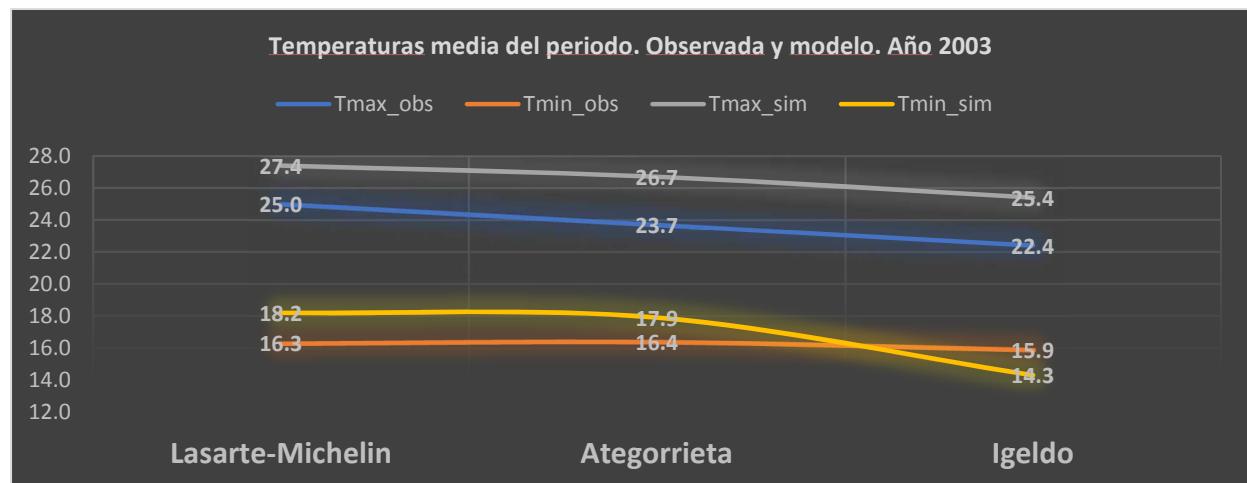
### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Validación de los resultados del modelo

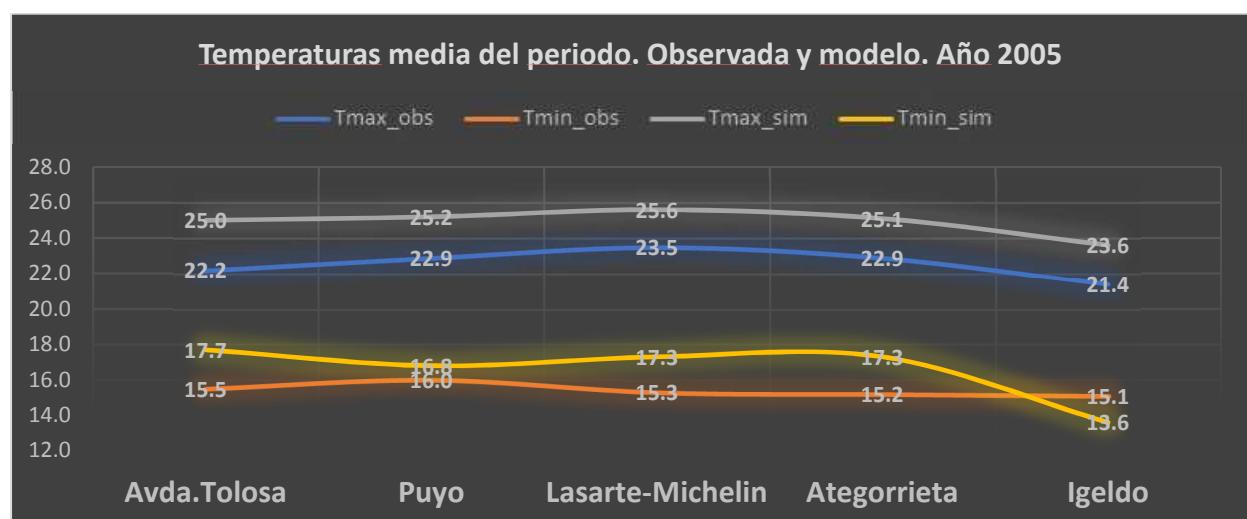
En el apartado 2.4 de metodología se explica el proceso de validación realizado comparando los valores de temperatura que se obtienen del modelo, con los observados de las estaciones meteorológicas de la ciudad.

##### 3.1.1 Valores medios para el periodo analizado

Se muestra a continuación la comparación de los valores medios de temperatura máxima y temperatura mínima, entre modelo y estaciones, del periodo estival analizado y para los años 2003 y 2005. Los resultados que se obtienen de la simulación del modelo se identifican con “sim” y los observados en estaciones de la ciudad se identifican con “obs”.



*Figura 3. Temperatura máxima y temperatura mínima para el periodo de estudio de datos observados en estaciones y datos simulados con el modelo para el año 2003.*



*Figura 4. Temperatura máxima y temperatura mínima para el periodo de estudio de datos observados en estaciones y datos simulados con el modelo para el año 2005.*

En la siguiente tabla se muestran los valores medios de temperatura máxima (table 3) y mínima (tabla 4) para el conjunto del periodo que se obtienen del modelo y de las estaciones para los años 2003 y 2005. Además se muestran los estadísticos calculados para temperatura máxima y mínima y las cuatro últimas columnas de ambas tablas, muestran la comprobación de los criterios que se especifican en el apartado 2.4. El color verde representa el cumplimiento del criterio mientras que el color rojo, lo contrario.

Analizando los resultados de la validación se observa que se cumplen prácticamente todos los criterios para todas las estaciones, para los dos años de validación y para los dos índices térmicos calculados, temperatura máxima y mínima.

Atendiendo a los valores medios para el conjunto del periodo se observa que los resultados comparativos, entre datos observados y simulados, son similares para los años 2003 y 2005, lo que proporciona una idea de la consistencia del modelo. Las variaciones de  $T_{max\_sim} - T_{max\_obs}$  son similares para ambos años, varían entre  $2.10^{\circ}C$  y  $2.80^{\circ}C$  para el año 2005 y entre  $2.20$  y  $3.00^{\circ}C$  para el año 2003. Respecto a la  $T_{min}$ , las diferencias que se obtienen son similares, con diferencias positivas de  $0.8^{\circ}C$  y  $2.20^{\circ}C$  para 2005 y entre  $1.40$  y  $1.70^{\circ}C$  para 2003. La estación de Igeldo resulta con una diferencia negativa de  $-1.5^{\circ}C$  y  $-1.6^{\circ}C$  en los años 2005 y 2003, respectivamente.

Atendiendo a los valores absolutos de  $T_{max}$  y  $T_{min}$ , tanto observada como simulada (las dos primeras columnas de las tablas 3 y 4) se observa que en las estaciones con datos en ambos años, que son Lasarte-Michelin, Ategorrieta e Igeldo, los valores son mayores para el año 2003. Esto corrobora que el año 2003 fue uno de los más calurosos de los últimos tiempos y por lo que se escoge como año representativo para el cálculo de los índices térmicos.

Por tanto, de los resultados de ambos años se concluye que el modelo sobreestima la temperatura respecto a los datos observados en estaciones, excepto en el caso de la  $T_{min}$  para la estación de Igeldo.

Respecto al cumplimiento de los estadísticos de las 4 últimas columnas las estaciones de Puyo e Igeldo cumplen la totalidad de los criterios para los años 2003 y 2005 y tanto para  $T_{max}$  como para  $T_{min}$ . Avenida de Tolosa incumple el criterio de  $RMSE < desvest\_obs$  aunque con un valor por debajo de 1 tanto para  $T_{max}$  como para  $T_{min}$ , de esta estación sólo se dispone de datos del 2005. La estación de Ategorrieta incumple el criterio de  $R > 0.7$  en dos de las cuatro situaciones analizadas, concretamente para  $T_{max}$  del año 2003 y  $T_{min}$  del año 2005, con valores de  $0.67$  y  $0.65$  respectivamente. Por último, la estación que peor queda representada por el modelo es Lasarte-Michelin. El valor de  $R^2$  para esta estación se incumple en las cuatro situaciones analizadas con valores que oscilan entre  $0.57$  y  $0.67$ , siendo las correlaciones más bajas de todas las estaciones.

Esta estación queda fuera del ámbito de la ciudad de Donostia/San Sebastián y además se ubica en el interior de la fábrica de Michelín. Este entorno industrial puede condicionar los valores que se están midiendo en el entorno y de aquí la peor correlación con el modelo.

Los diagramas de correlación para Lasarte-Michelin y Ategorrieta tanto para el año 2005 como para el 2003, que pueden consultarse en los Anexos I y II, respectivamente, son distintos al resto de las estaciones ya que los datos de estas estaciones no disponen de decimales. Éste hecho podría contribuir a que las correlaciones en estas estaciones sean peores a las del resto.

Otra posible explicación de las diferencias de temperatura simuladas y observadas puede ser la asignación de uso del suelo que puede que no se corresponda con la ubicación exacta de la estación. Es habitual que las estaciones meteorológicas se ubiquen en parques o zonas ajardinadas. Si se ha asignado un uso de suelo urbano y la estación se encuentra sobre una zona ajardinada podría llevar a desviaciones en la temperatura simulada.

Esto ocurre en las estaciones de Puyo, Avenida de Tolosa y Ategorrieta, se les asigna un uso de suelo urbano y están ubicadas en zona de hierba.

La estación de Lasarte -Michelin tiene asignado un uso de suelo industrial y se encuentra en el interior de la fábrica lo que puede estar distorsionando los resultados que se miden en la estación.

Por último, la estación de Igeldo tiene asignado un uso de suelo de tipo hierba en zona natural que se corresponde con la ubicación de la estación. Este puede ser el motivo de que Igeldo sea la estación con mejores valores de  $R^2$ .

<i>AÑO 2005</i>	<i>Tmax_obs</i>	<i>Tmax_sim</i>	<i>Tmax_sim – Tmax_obs</i>	<i>desvest_obs</i>	<i>desvest_sim</i>	<i>RMSE</i>	<i>RMSE_ub</i>	<i>R2&gt;0.7</i>	<i>desvest_obs≈desvest_sim</i>	<i>RMSE&lt;desvest_obs</i>	<i>RMSE_ub&lt;desvest_obs</i>
<i>Avda.Tolosa</i>	22.20	25.00	2.80	4.02	4.77	4.49	3.37	<b>0.73</b>	-0.74	0.46	-0.65
<i>Puyo</i>	22.90	25.20	2.30	4.30	4.83	3.28	2.28	<b>0.78</b>	-0.53	-1.02	-2.02
<i>Lasarte-Michelin</i>	23.50	25.60	2.10	4.49	4.82	3.63	2.82	<b>0.67</b>	-0.33	-0.86	-1.67
<i>Ategorrieta</i>	22.90	25.10	2.20	4.21	4.76	3.42	2.57	<b>0.71</b>	-0.55	-0.79	-1.64
<i>Igeldo</i>	21.40	23.60	2.20	4.33	4.86	3.16	2.14	<b>0.80</b>	-0.53	-1.18	-2.19
<i>Año 2003</i>	<i>Tmax_obs</i>	<i>Tmax_sim</i>	<i>Tmax_sim – Tmax_obs</i>	<i>desvest_obs</i>	<i>desvest_sim</i>	<i>RMSE</i>	<i>RMSE_ub</i>	<i>R2&gt;0.7</i>	<i>desvest_obs≈desvest_sim</i>	<i>RMSE&lt;desvest_obs</i>	<i>RMSE_ub&lt;desvest_obs</i>
<i>Lasarte-Michelin</i>	25.10	27.30	2.20	5.43	5.92	9.94	3.75	<b>0.61</b>	-0.49	4.51	-1.68
<i>Ategorrieta</i>	23.70	26.70	3.00	4.70	5.79	4.49	3.32	<b>0.67</b>	-1.09	-0.21	-1.38
<i>Igeldo</i>	22.40	25.30	2.90	4.85	5.88	4.10	2.83	<b>0.77</b>	-1.03	-0.74	-2.02

**Tabla 3.** Temperatura máxima observada en estaciones y simuladas con Urbclim, estadísticos y comprobación de criterios

<i>AÑO 2005</i>	<i>Tmax_obs</i>	<i>Tmax_sim</i>	<i>Tmax_sim – Tmax_obs</i>	<i>desvest_obs</i>	<i>desvest_sim</i>	<i>RMSE</i>	<i>RMSE_ub</i>	<i>R2&gt;0.7</i>	<i>desvest_obs≈desvest_sim</i>	<i>RMSE&lt;desvest_obs</i>	<i>RMSE_ub&lt;desvest_obs</i>
<i>Avda.Tolosa</i>	15.50	17.70	2.20	<b>2.97</b>	<b>2.63</b>	<b>3.27</b>	<b>2.36</b>	<b>0.70</b>	<b>0.34</b>	<b>0.29</b>	<b>-0.61</b>
<i>Puyo</i>	16.00	16.80	0.80	<b>2.77</b>	<b>2.66</b>	<b>1.43</b>	<b>1.17</b>	<b>0.82</b>	<b>0.10</b>	<b>-1.33</b>	<b>-1.59</b>
<i>Lasarte-Michelin</i>	15.30	17.30	2.00	<b>2.91</b>	<b>2.67</b>	<b>2.88</b>	<b>1.96</b>	<b>0.57</b>	<b>0.24</b>	<b>-0.03</b>	<b>-0.95</b>
<i>Ategorrieta</i>	15.20	17.30	2.10	<b>2.78</b>	<b>2.65</b>	<b>2.64</b>	<b>1.69</b>	<b>0.65</b>	<b>0.13</b>	<b>-0.14</b>	<b>-1.09</b>
<i>Igeldo</i>	15.10	13.60	-1.50	<b>2.57</b>	<b>2.79</b>	<b>1.98</b>	<b>1.20</b>	<b>0.81</b>	<b>-0.22</b>	<b>-0.59</b>	<b>-1.37</b>
<i>Año 2003</i>	<i>Tmax_obs</i>	<i>Tmax_sim</i>	<i>Tmax_sim – Tmax_obs</i>	<i>desvest_obs</i>	<i>desvest_sim</i>	<i>RMSE</i>	<i>RMSE_ub</i>	<i>R2&gt;0.7</i>	<i>desvest_obs≈desvest_sim</i>	<i>RMSE&lt;desvest_obs</i>	<i>RMSE_ub&lt;desvest_obs</i>
<i>Lasarte-Michelin</i>	16.30	18.00	1.70	<b>3.76</b>	<b>3.40</b>	<b>2.77</b>	<b>2.11</b>	<b>0.69</b>	<b>0.37</b>	<b>-1.00</b>	<b>-1.65</b>
<i>Ategorrieta</i>	16.40	17.80	1.40	<b>3.46</b>	<b>3.36</b>	<b>2.35</b>	<b>1.86</b>	<b>0.72</b>	<b>0.11</b>	<b>-1.11</b>	<b>-1.60</b>
<i>Igeldo</i>	15.90	14.30	-1.60	<b>3.29</b>	<b>3.43</b>	<b>2.45</b>	<b>1.72</b>	<b>0.76</b>	<b>-0.14</b>	<b>-0.84</b>	<b>-1.57</b>

*Tabla 4.*

Temperatura mínima observada en estaciones y simuladas con Urbclim, estadísticos y comprobación de criterios

### 3.1.2 Valores diarios del periodo analizado

Se ha realizado la comparativa de los valores diarios de temperatura máxima y mínima obtenidos mediante el modelo y observados en estaciones.

En el anexo I y II se muestran los gráficos comparativos de las dos variables térmicas calculadas para los dos años de validación, 2005 y 2003 en cada una de estaciones así como las gráficas de correlación entre la temperatura del modelo y la observada.

En las gráficas con la evolución de la temperatura diaria para cada una de las estaciones se observa que los picos, correspondientes a los días de mayor o menor temperatura, coinciden para los datos de estaciones y del modelo, siendo superiores éstos últimos en todas las estaciones excepto en Igeldo.

## 3.2 Índices térmicos

Se muestra en los siguientes subapartados el mapeado de los índices térmicos de la ciudad de Donostia/ San Sebastián, calculados a partir de los resultados de temperatura obtenidos con el modelo Urbclim, para el periodo estival del año 2003.

En cada caso se muestra el mapa para el conjunto de la ciudad con la resolución que proporciona el modelo de 100m, así como el mapa correspondiente al promedio del índice climático para cada unidad menor de la ciudad de Donostia/San Sebastián. En el mapa por unidad menor se muestra el valor medio de cada índice, con el valor correspondiente de la desviación estándar, que proporciona una idea de la variabilidad del indicador en cada unidad menor.

Los valores de cada indicador se representan en cinco categorías utilizando el método de clasificación de ruptura natural de Jenks (Jenks natural breaks classification method).

Este sistema de clasificación de datos está diseñado para optimizar la disposición de un conjunto de valores en clases "naturales". Los rangos se definen a partir de elementos con características similares que forman un grupo "natural" dentro de un conjunto de datos. Se ha aplicado esta técnica de clasificación para ambos mapeados, el de resolución de 100m y el de valores medios por unidades menores.

Para algunos índices el rango de valores definido por el "método Jenks" no coincide entre los dos mapas ya que los valores extremos del mapa de resolución de 100m no quedan representados en el mapa de valores medios por unidad menor. El método de clasificación mencionado actúa sobre cada rango de valores por lo que puede ocurrir que la escala de colores entre un mapa y otro varíe para la misma unidad menor.

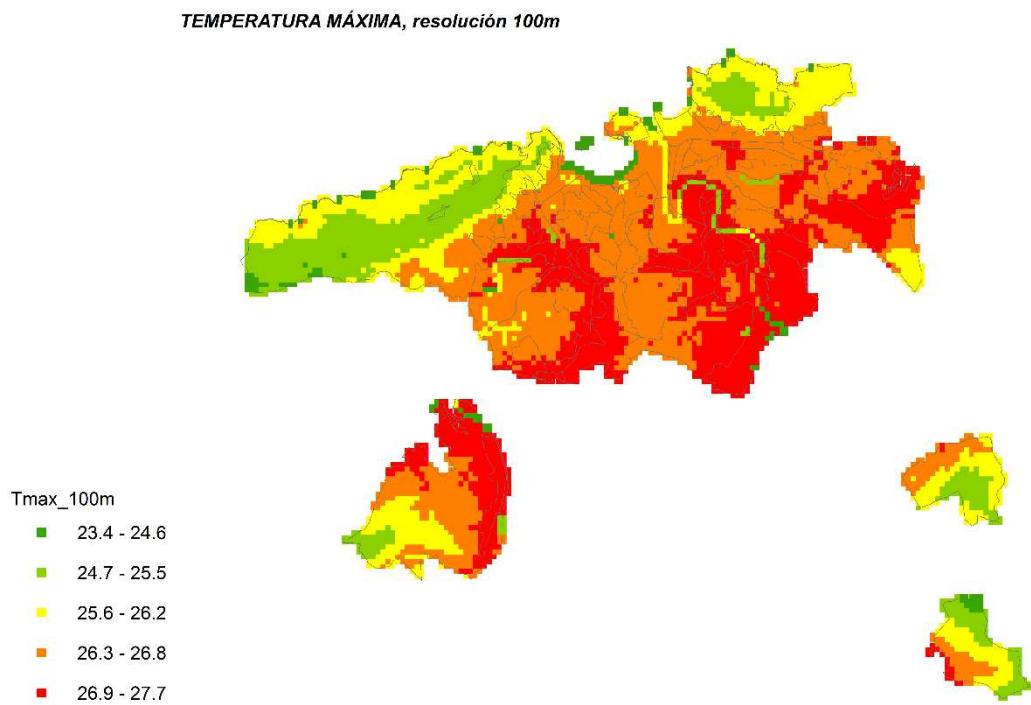
Además, en el apartado correspondiente a cada índice se citan las unidades menores con los valores más altos de cada índice considerando aquellos que se encuentran por encima del percentil 90, como un criterio de "intervención prioritaria". Estas unidades de análisis no tienen por qué coincidir con el total de unidades en el rango más alto (rojo), si no que las unidades menores que se citan serán las que tengan valores más altos dentro del rango de colores más alto.

### 3.2.1 Temperatura máxima

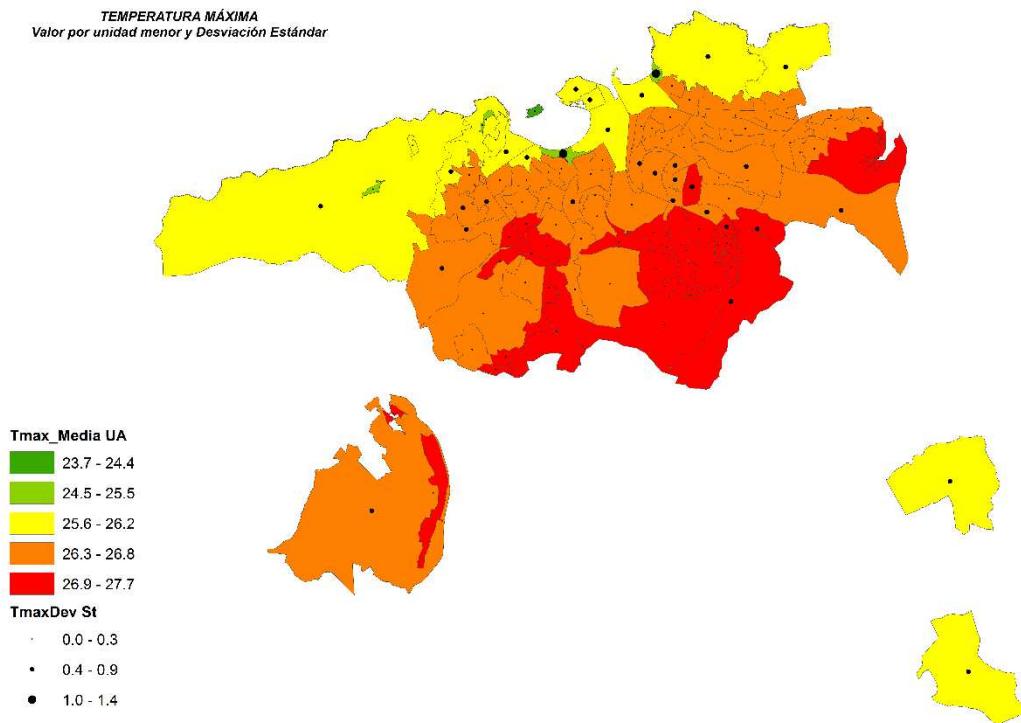
Los valores medios de la temperatura máxima para el periodo analizado varían entre 23.4 y 27.7 °C entre unos puntos de la ciudad y otros. Los valores más bajos de temperatura máxima corresponden a las zonas cercanas a la franja costera y zonas de la ciudad más elevadas como Igeldo y Ategorrieta. La temperatura máxima aumenta a medida que se pierde la influencia del mar, siendo las temperaturas más altas en las zonas de interior y con menor elevación. Cabe mencionar que la temperatura es ligeramente inferior siguiendo el cauce del río Urumea, que actúa también como regulador de la temperatura a lo largo de su curso.

Las unidades de análisis con la Tmax más alta, por encima de 27ºC son Errondo en el barrio de AIETE, Molinao y Eskalantegi en ALTZA, Anoeta en AMARA BERRI, Añorga, Añorga txiki, Rekalde y Amasorrain en AÑORGA, El infierno, Errrotaburu e Iza en IBAETA, Loiola en el barrio de LOIOLA, todas las unidades menores del barrio de MARTUTENE excepto Portutxo, Irunbe y Zorroaga en MIRAMON y Hipódromo-Bugati y Zubieta en el barrio de ZUBIETA.

Atendiendo a los valores medios por unidad menor (Figura 6), hay que destacar la alta variabilidad de temperatura en Paseo de Miraconcha y Sagues,



**Figura 5.** Media de la Temperatura máxima para el periodo analizado. Resolución 100m



**Figura 6.** Media de la Temperatura máxima para el periodo analizado. Valor medio para cada unidad menor y desviación estándar.

### 3.2.2 Temperatura mínima

Los valores medios de la temperatura mínima diaria para el periodo analizado varían entre 13.2 y 19.6 °C entre unos puntos de la ciudad y otros. Los valores más bajos de temperatura mínima corresponden a las zonas rurales o semi-rurales o más elevadas como Igeldo y Ategorrieta, igual que en el caso de la Temperatura máxima. En la zona centro de la ciudad, puede decirse que el comportamiento es inverso al de la temperatura máxima. La temperatura mínima más alta corresponde al curso del Urumea y sus zonas colindantes, por la disipación de calor del río durante la noche.

Las unidades de análisis con la Temperatura mínima más alta son Ribera y Amara-Berri en el barrio de AMARA BERRI, Benta- Berri en Antiguo, todas las unidades de análisis del barrio CENTRO excepto Paseo de Miraconcha y Monte Urgül, Mundaitz, Aldakoene, Paseo del Urumea y Atotxa en EGIA, el barrio de GROS, Lorea en IBAETA, el barrio de LOIOLA excepto Cuarteles y Loiola 1, y MARTUTENE excepto Torrua zahar y Martutene 1.

Destacar Igeldo y Añorga como las unidades menores con mayor desviación estándar.

Las unidades de análisis de Loiola en LOIOLA, y Antzita, Campos Eliseos y Martutene en el barrio de MARTUTENE son las unidades de análisis con valores más altos (por encima del percentil 90) en Temperatura máxima y Temperatura mínima.

TEMPERATURA MÍNIMA, resolución 100m

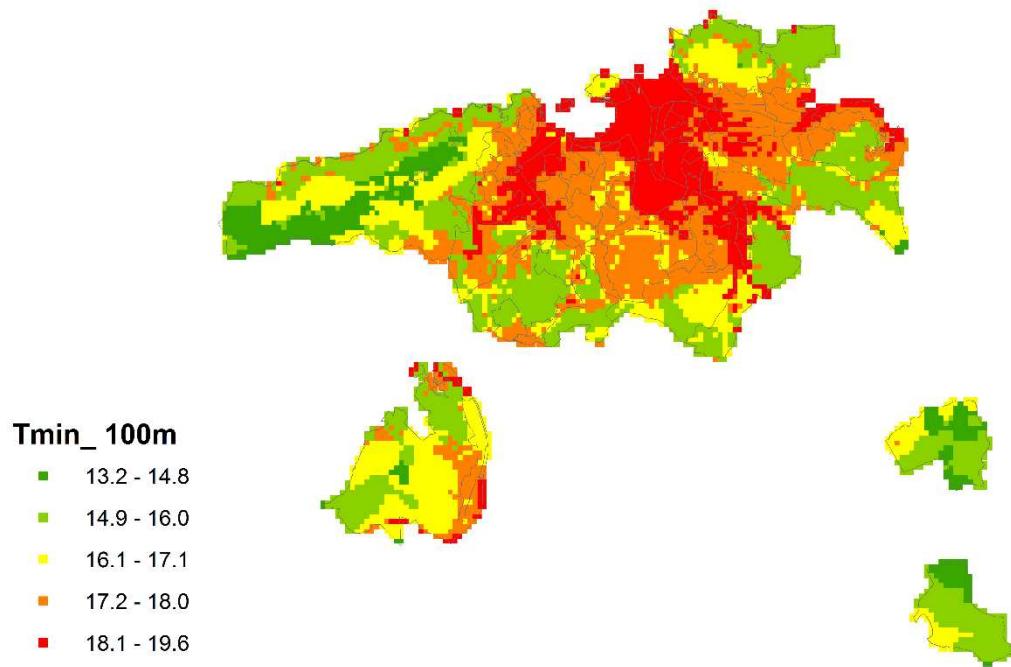


Figura 7. Media de la Temperatura mínima para el periodo analizado. Resolución 100m

TEMPERATURA MÍNIMA, valor medio por unidad menor y desviación estandar

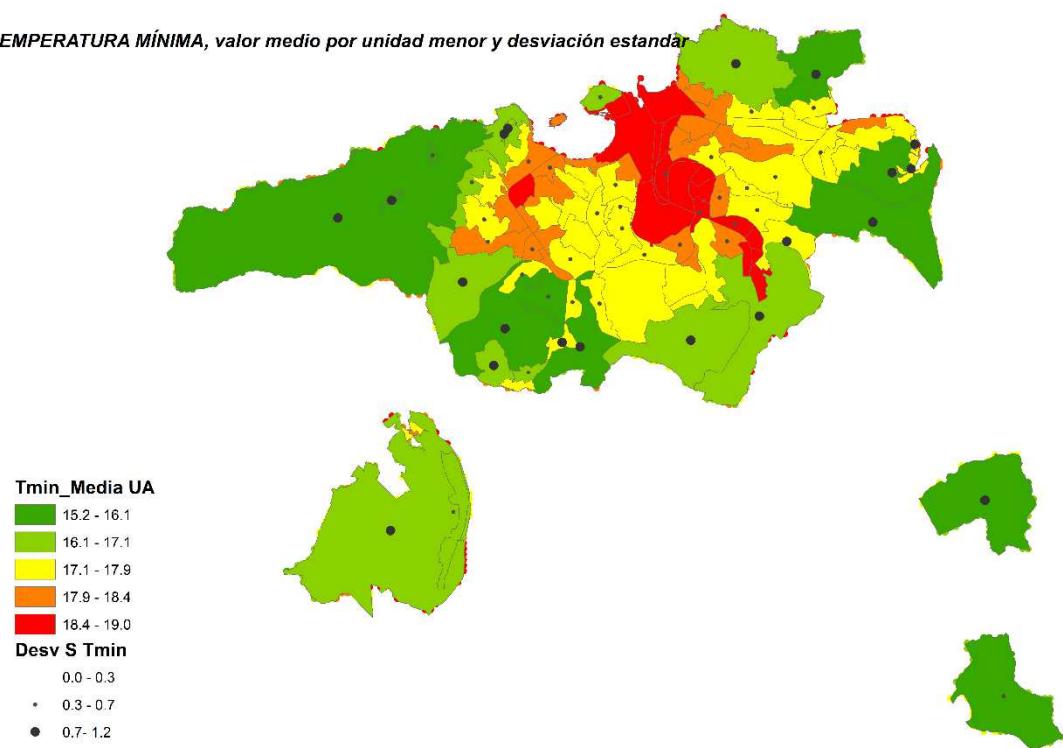


Figura 8. Media de la Temperatura mínima para el periodo analizado. Valor medio para cada unidad menor y desviación estándar.

### 3.2.3 Noches cálidas

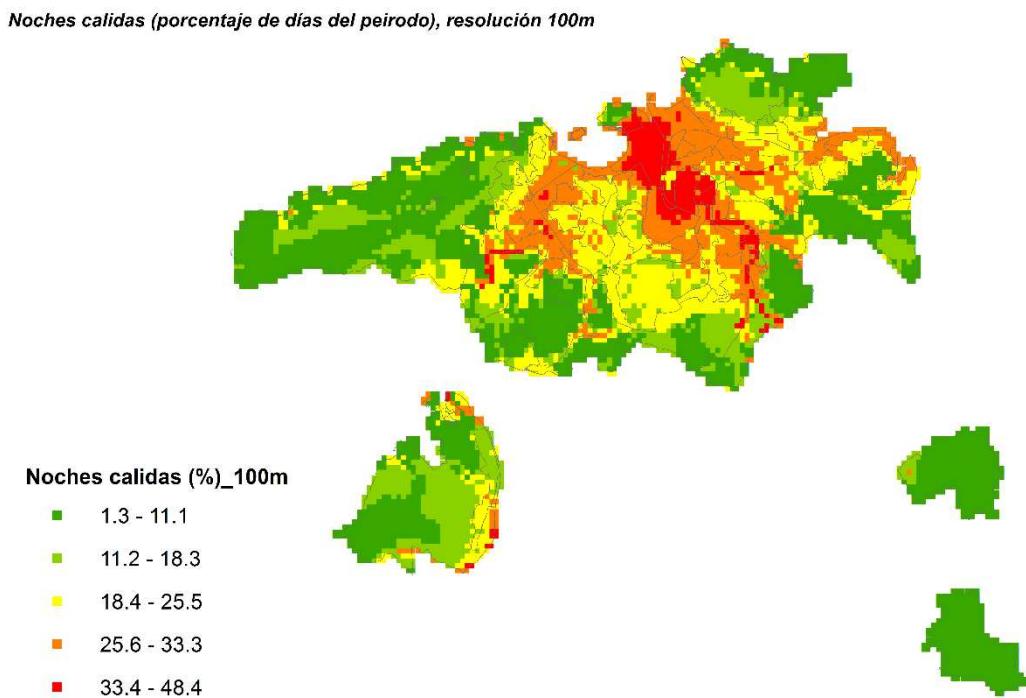
El número de noches cálidas se refiere al número de días del periodo analizado en el que la temperatura mínima se mantiene por encima de los 20ºC, expresado en porcentaje con respecto al número de noches totales del periodo.

Atendiendo a los resultados con una resolución de 100m (ver Figura 9) hay zonas de la ciudad de Donostia/San Sebastián en las que el número de noches cálidas representa un 1.3% respecto a todas las noches del periodo estival del año 2003, mientras que en otros puntos el 48.8% de las noches la temperatura no baja de los 20ºC.

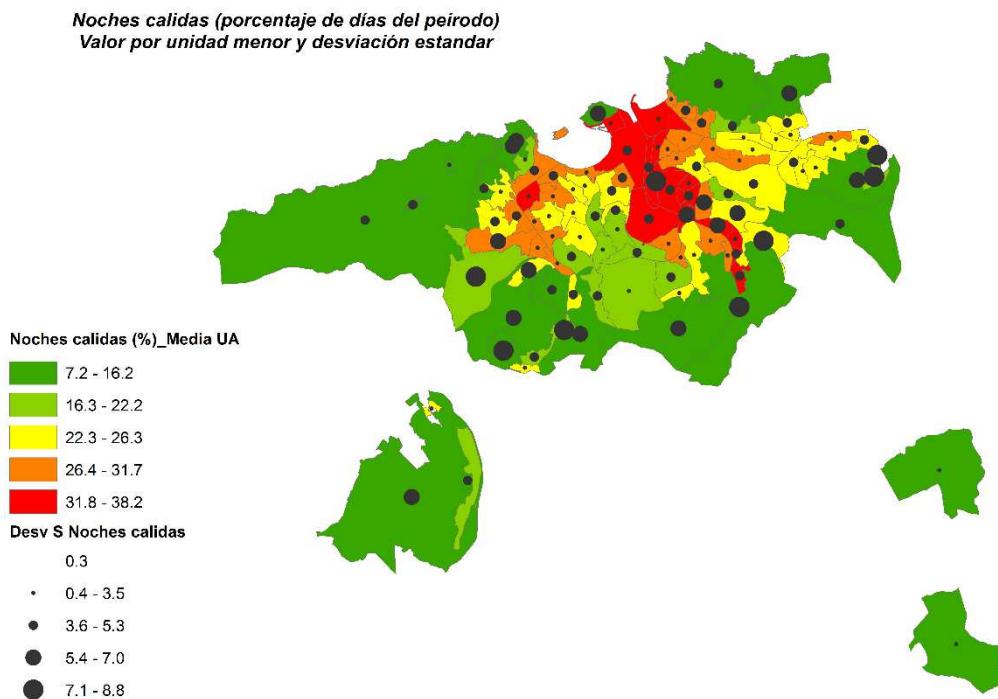
Las unidades de análisis con valores más altos de porcentaje de noches cálidas son Riberas y Amara Berri en el barrio de AMARA BERRI, Benta Berri en el barrio de ANTIGÜO, Área Romántica, Parte Vieja, Isla de Santa Clara y Amara Zaharra en CENTRO, el barrio de EGIA excepto Jai-Alai y Tolaregoia, Gros, Lorea en IBAETA, Loiola-Casco, Ciudad Jardín, Txomin y Patxilardegi en el barrio de LOIOLA, todas las unidades menores de MARTUTENE excepto Torrua Zahar y martutene1. Todas las unidades de análisis con mayores valores de porcentaje de noches cálidas coinciden con las unidades de análisis con mayores valores de Temperatura mínima.

La distribución de resultados es similar al de temperatura mínima ya que son índices relacionados. Los valores más altos se sitúan en el entorno del Urumea y disminuyen hacia las zonas periféricas, con un comportamiento similar de la temperatura mínima. Sin embargo, la variabilidad de noches cálidas dentro de la unidad menor es mayor que en el caso de la temperatura mínima, con valores de desviación estándar de hasta 8.

Puede decirse que si bien los índices de temperatura mínima y noches cálidas proporcionan información similar, la variabilidad espacial del segundo al agrupar por unidad de análisis es mucho mayor.



*Figura 9. Media de noches cálidas para el periodo analizado. Resolución 100m*



**Figura 10.** Media de noches cálidas para el periodo analizado. Valor medio para cada unidad menor y desviación estándar.

### 3.2.4 Días de refrigeración

El número de días de refrigeración se refiere al número de días del periodo analizado en el que la temperatura máxima supera los 22°C, expresado en porcentaje con respecto al número de días totales del periodo, proporcionando una idea de los requerimientos energéticos de los diferentes barrios.

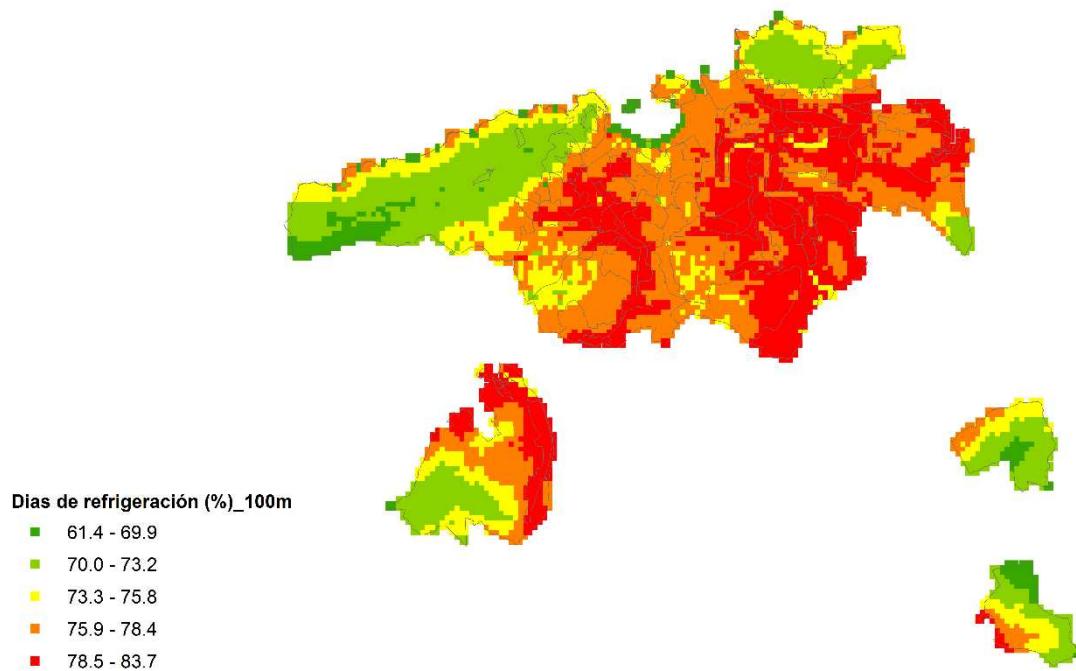
Atendiendo a los resultados con una resolución de 100m (ver Figura 11) hay zonas de la ciudad de Donostia/San Sebastián en las que el número de días con necesidades de refrigeración representa un 61.4% respecto al total de días del periodo estival del año 2003, mientras que en otros puntos de la ciudad este porcentaje se eleva hasta el 83.7%.

Las unidades de análisis con mayores valores de días con necesidades de refrigeración son Eskalantegi y Molinao en el barrio de ALTZA, Anoeta y Ribera en AMARA BERRI, Añorga, Errortaburu, El Infierno e Iza en IBAETA, prácticamente todas las unidades de análisis de LOIOLA y MARTUTENE, Ilunbe en MIRAMÓN y Zubia e Hipódromo -Bugati en el barrio de ZUBIETA.

La distribución de resultados es similar al de temperatura máxima ya que son índices relacionados. Los valores más altos se sitúan en el entorno del Urumea y disminuyen hacia las zonas periféricas, con un comportamiento similar de la temperatura máxima. Sin embargo, la variabilidad de los días con necesidades de refrigeración dentro de la unidad menor es mayor que en el caso de la temperatura máxima, con valores de desviación estándar de hasta 5, frente al 1.4 máximo de desviación estándar para la temperatura máxima. Las unidades menores con mayor desviación estándar se corresponden a las ubicadas en la línea de costa seguidas de las unidades de análisis en el entorno del Urumea (barrios de Loiola, Martutene y Amara Berri), ya que la influencia del mar y el río, respectivamente, llega a las zonas más próximas de la unidad de análisis a dichas masas de agua.

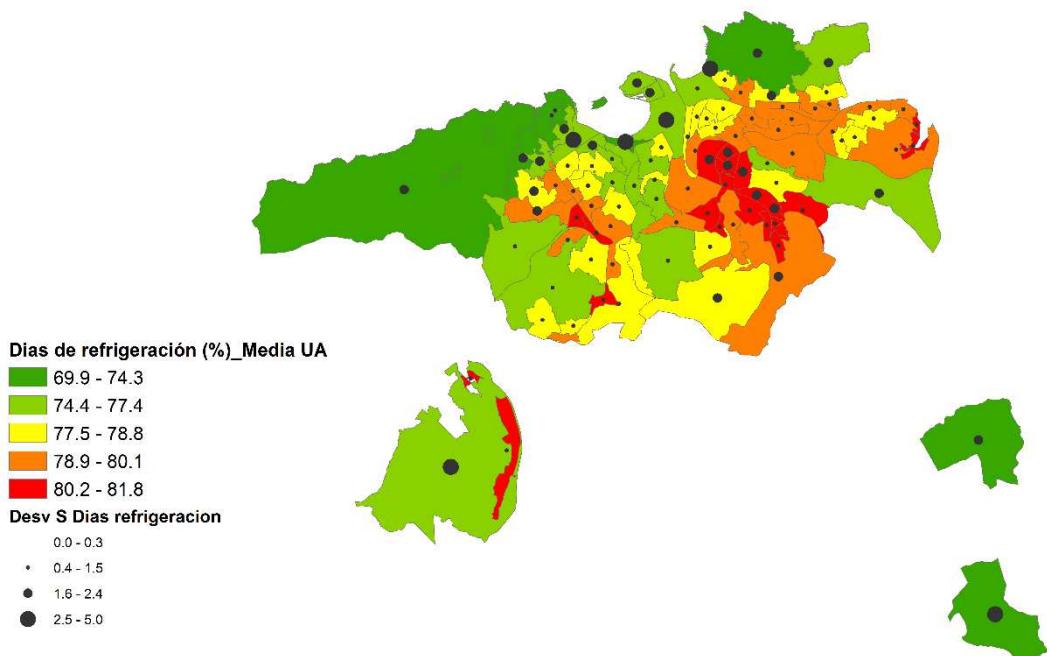
Comparando con las unidades de análisis con mayores valores de temperatura mínima y noches cálidas la coincidencia se da en prácticamente en todas las unidades de análisis del barrio de LOIOLA y MARTUTENE.

*DIAS DE REFRIGERACIÓN (porcentaje de días del peirodo), resolución 100m*



**Figura 11.** Media de días de refrigeración para el periodo analizado. Resolución 100m

*DIAS DE REFRIGERACIÓN (porcentaje de días del peirodo)  
Valor por unidad menor y desviación estandar*

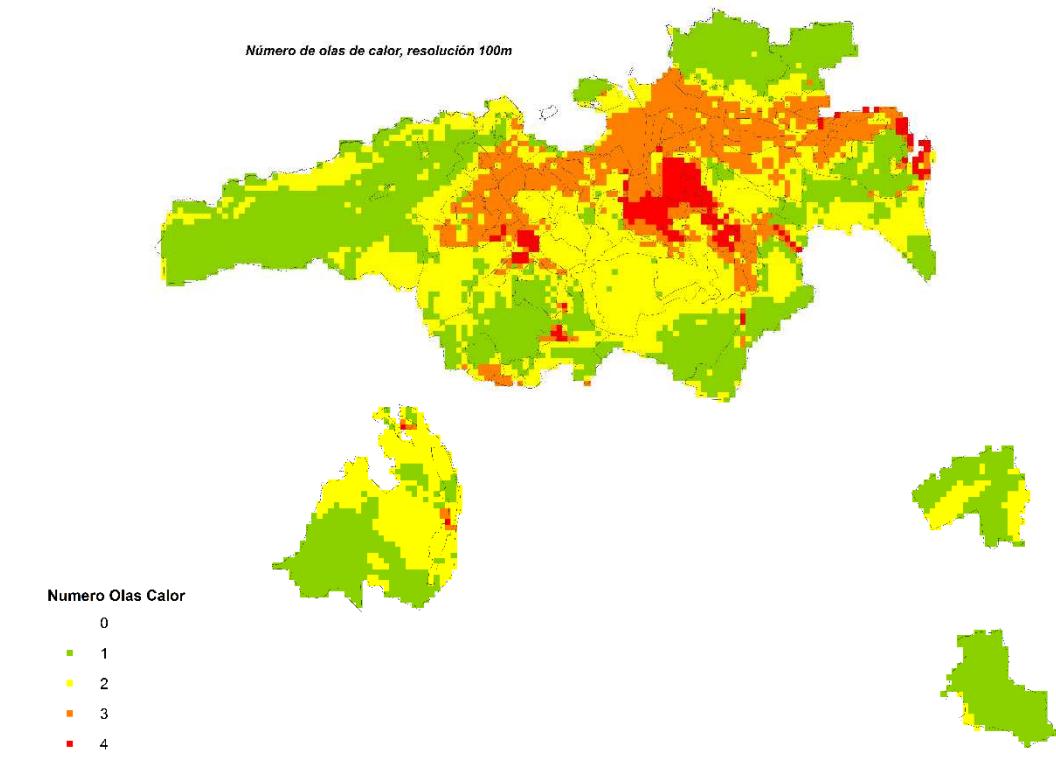


**Figura 12.** Media de días de refrigeración para el periodo analizado. Valor medio para cada unidad menor y desviación estándar.

### 3.2.5 Número de olas de calor

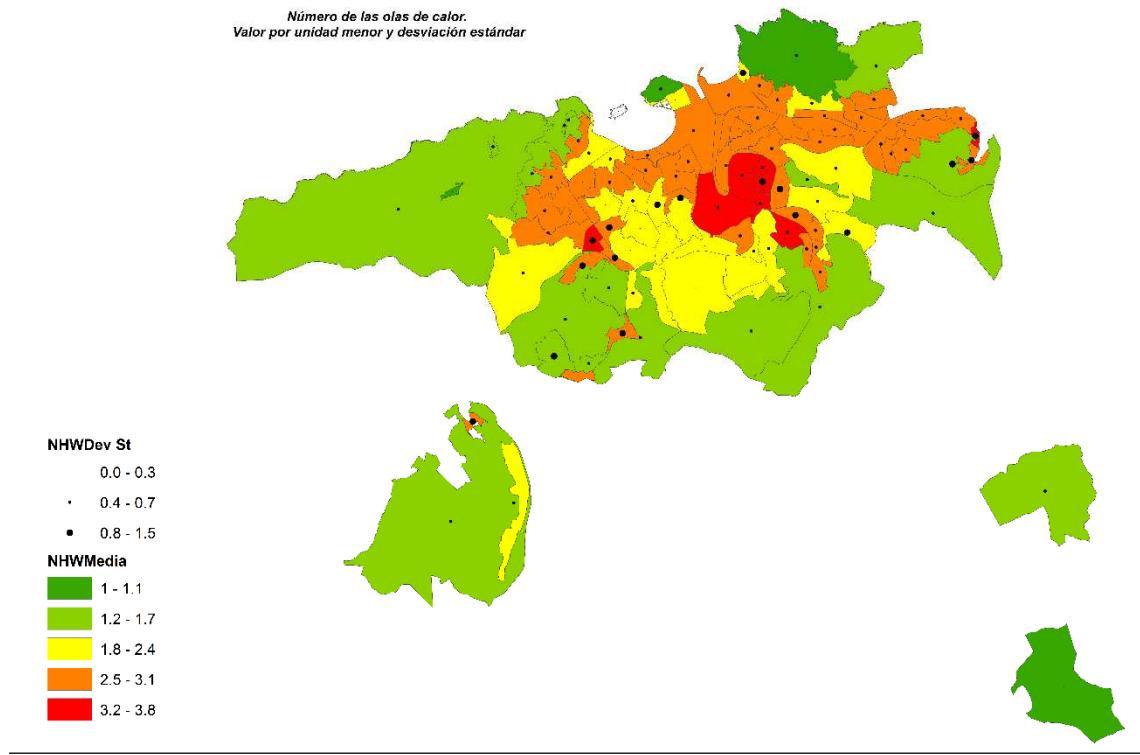
En el año 2003 el conjunto de la ciudad de Donostia/San Sebastián sufrió al menos una ola de calor<sup>7</sup> durante el periodo estival y en algunas zonas el número de eventos máximos llegó a ser de 4.

Las unidades menores con valores más altos de media de eventos de olas de calor son Eskalantegi, Oleta, Arria y Buenavista en ALTZA, el conjunto de unidades de análisis de AMARA BERRI excepto Morlans, Benta-Berri y Pio Baroja en ANTIGUO, Rekalde en AÑORGA, Amara-Zaharra en el CENTRO, Iruresoro, Paseo del Urumea, Aldakoenea y Atotxa en EGIA, Errrotaburu, Campus y Lorea en IBAETA, Intxaurrendo Norte y Marrutxipi en INTXAURRONDO, el barrio de LOIOLA excepto Cuarteles y Loiola1, Campos Eliseos y Antzita en MARTUTENE y Bidebieta -Artazkone en MIRAZCRUZ.



**Figura 13.** Media del número de olas de calor en el periodo analizado. Resolución 100m

<sup>7</sup> Ola de calor (de acuerdo con la definición utilizada) eventos en los que como mínimo durante 3 días la Tmax superó los 30°C y la Tmin superó los 19°C.



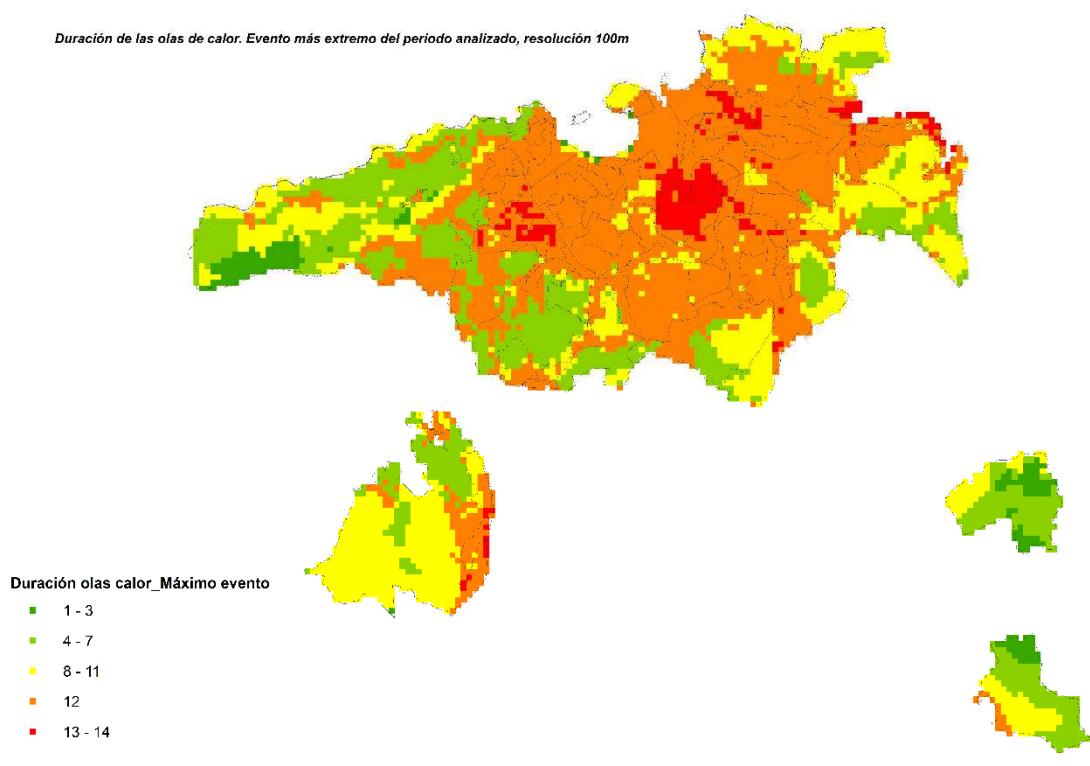
**Figura 14.** Media del número de olas de calor en el periodo analizado. Valor medio para cada unidad menor y desviación estándar.

### 3.2.6 Duración de las olas de calor

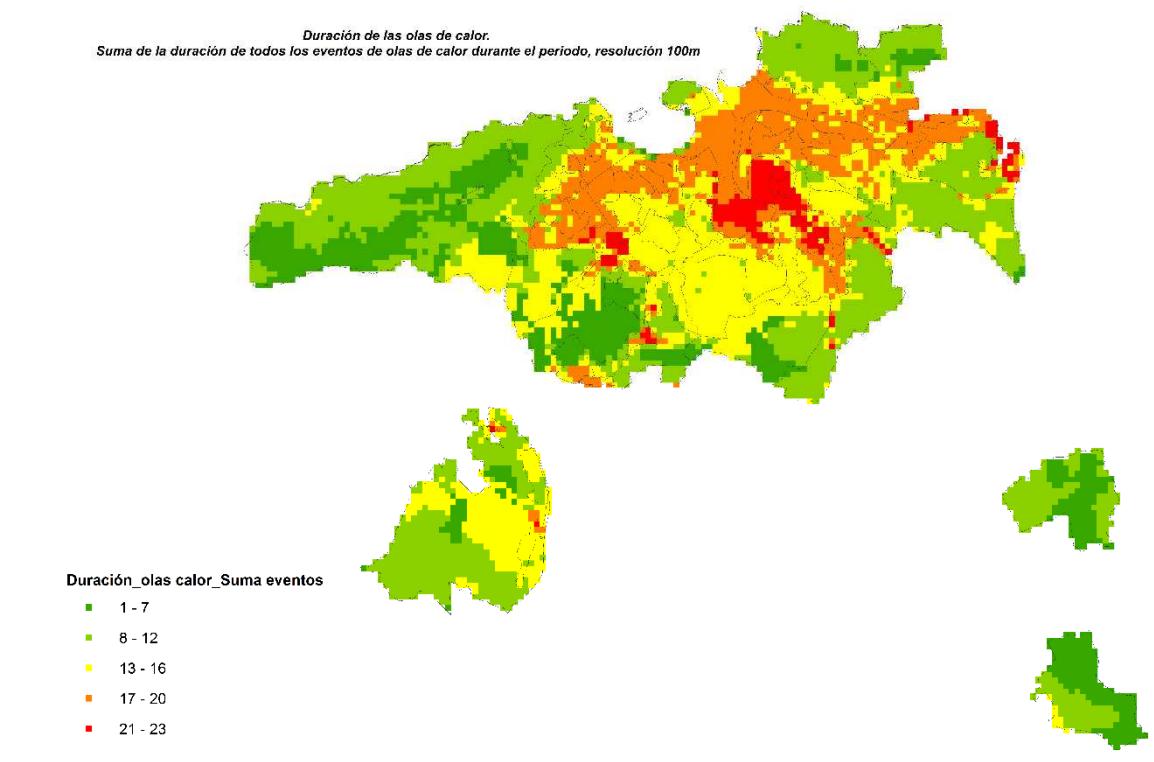
La figura 16 muestra la duración del evento de ola de calor más extremo que se produce en el periodo (figura 16.a) así como la suma de la duración de todos los eventos de olas de calor que se producen en el periodo (figura 16.b). La duración media de los eventos de olas de calor puede calcular dividiendo la duración total de los eventos de olas de calor (que se representa en la figura 16.b) entre el número total de olas de calor en cada punto (figura 13.b), que resultaría en un valor máximo de 5 - 6 días de duración.

Las unidades menores con valores más altos de duración total de los eventos de olas de calor son Eskalantegi, Oleta, y Buenavista en ALTZA, el conjunto de unidades de análisis de AMARA BERRI excepto Morlans, Benta-Berri y Pio Baroja en ANTIGUO, Rekalde en AÑORGA, Mateo en ATEGORRIETA-ULIA, Amara-Zaharra en el CENTRO, Iruresoro, Paseo del Urumea, Aldakoenea y Atotxa en EGIA, Errrotaburu, Campus y Lorea en IBAETA, Marrutxipi en INTXAURRONDO, el barrio de LOIOLA excepto Loiola1, Campos Eliseos y Antzita en MARTUTENE y Bidebieta -Artazkone en MIRAZCRUZ.

Duración de las olas de calor. Evento más extremo del periodo analizado, resolución 100m

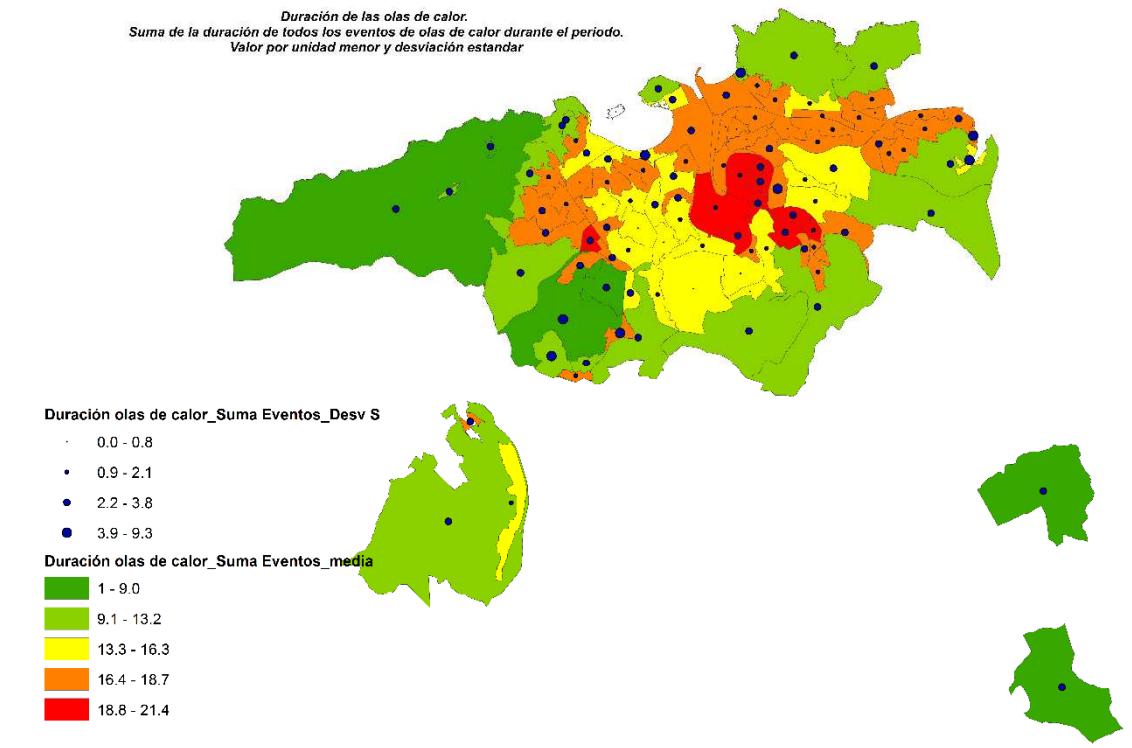


Duración de las olas de calor.  
Suma de la duración de todos los eventos de olas de calor durante el periodo, resolución 100m



**Figura 15.** Duración de olas de calor en el periodo analizado. Resolución 100m.

- a) Duración del evento de ola de calor más extremo durante el periodo analizado (arriba) y b) Suma de la duración de todos los eventos de olas de calor durante el periodo.



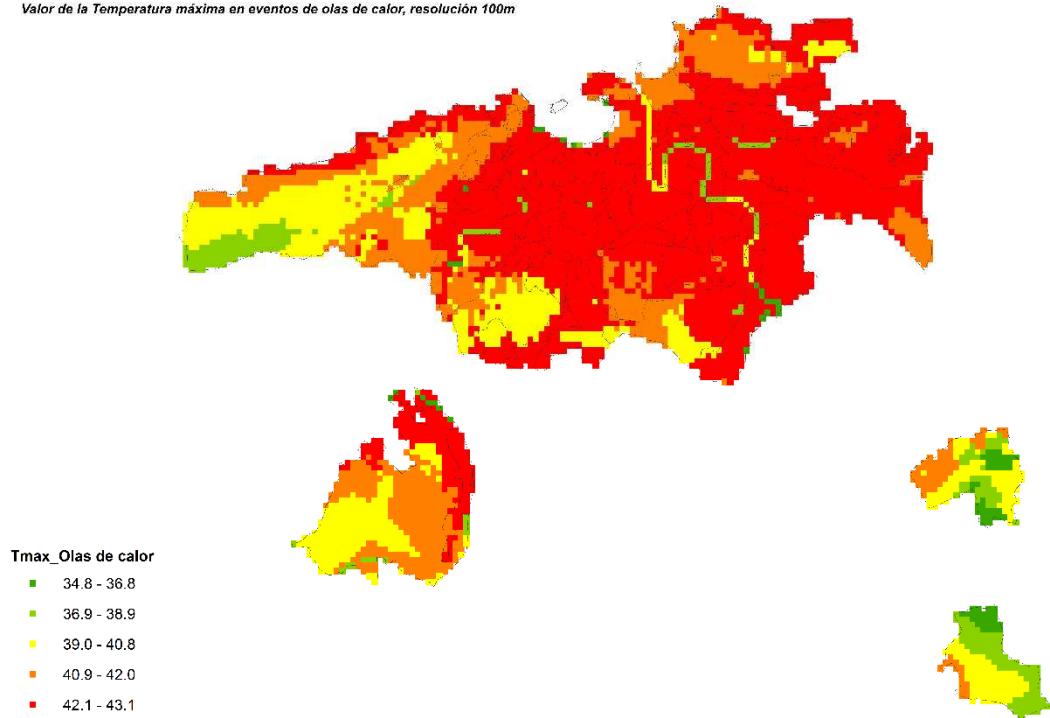
**Figura 16.** Duración de olas de calor en el periodo analizado. Suma de la duración de todos los eventos de olas de calor durante el periodo analizado. Valor medio para cada unidad menor y desviación estándar.

### 3.2.7 Magnitud de la ola de calor

Durante los eventos de olas de calor la temperatura máxima en la ciudad oscila entre 34.8°C en zonas rurales del barrio de Igeldo hasta valores de 43°C, encontrándose la mayor parte de la ciudad por encima de los 40°C.

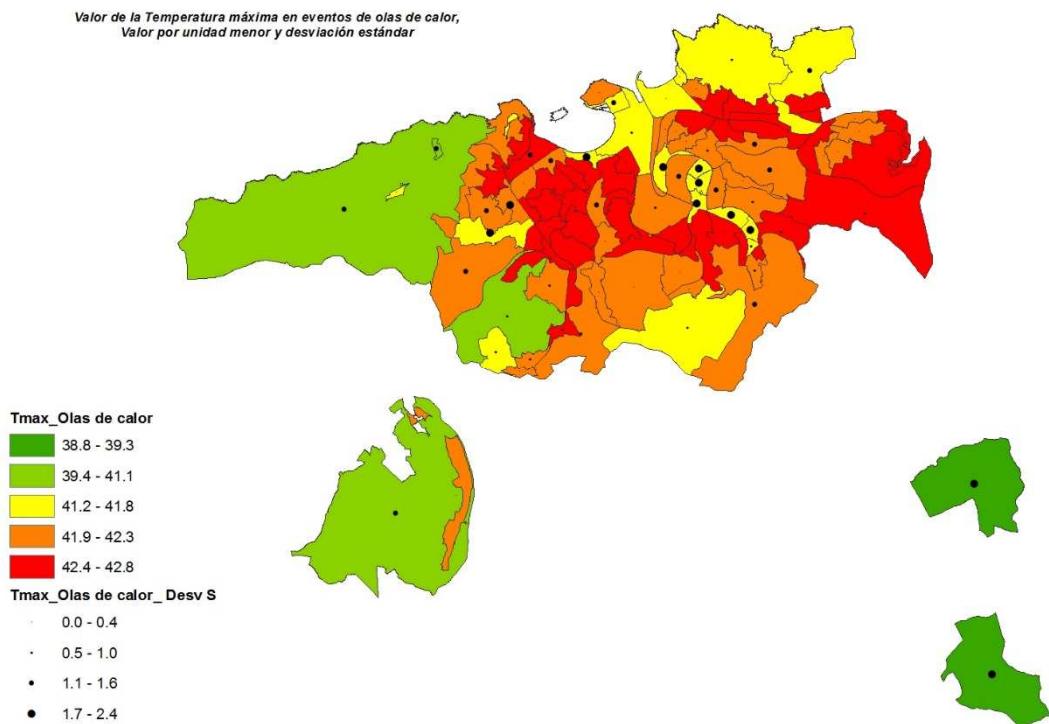
Las unidades de análisis con valores más altos de temperaturas máximas durante eventos de olas de calor son Lugaritz, Arbaizanea, Errondo, Miraconcha y Pagola en el barrio de AIETE, Molinao, Eskalantegi, Auditz Akular - Landarro – Esnabide, Buenavista y La Herrera en ALTZA, Anoeta y Morlans en AMARA BERRI, Pio Baroja y Heriz Aizgorri en ANTIGUO, Añorga txiki, Añorga y Zuhatsu en AÑORGA, Ulia Barren en ATEGORRIETA, Errrotaburu, El Infierno e Iza en IBAETA, Intxaurrondo Berri, Intxaurrondo zaharra y Marrutxipi en el barrio de INTXAURRONDO, la unidad menor de Loioa en el Barrio de LOIOLA, Torrua Zahar y Campos Eliseos en MARTUTENE, Bidebieta y Artazkone en MIRACRUZ e Ilunbe en MIRAMÓN.

Valor de la Temperatura máxima en eventos de olas de calor, resolución 100m



**Figura 17.** Media de la magnitud de las olas de calor en el periodo analizado.  
Resolución 100m

Valor de la Temperatura máxima en eventos de olas de calor,  
Valor por unidad menor y desviación estándar



Media de la magnitud de las olas de calor en el periodo analizado. Valor medio para cada unidad menor y desviación estándar.

### 3.3 Cruce de índices térmicos con información socioeconómica

La finalidad de los mapas de índices térmicos es ayudar a la toma de decisiones y priorizar las zonas con mayores valores de temperatura.

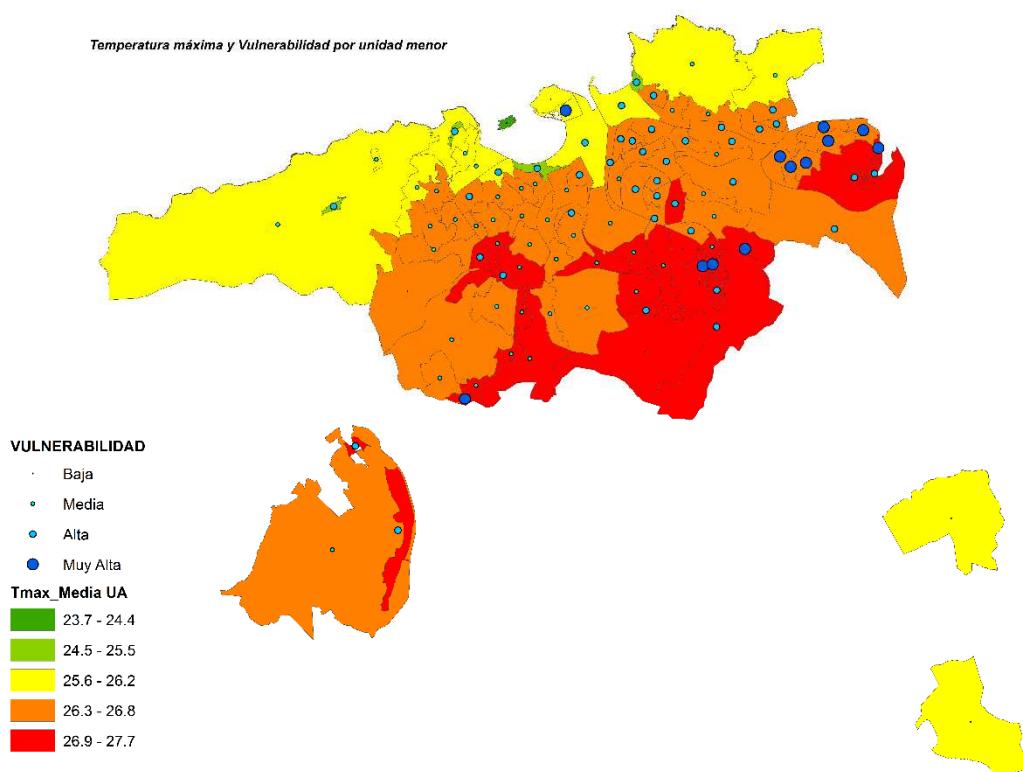
En el apartado precedente se indican las unidades de análisis del municipio de Donostia/San Sebastián con mayores valores de cada uno de los índices climáticos calculados y mapeados, entendiendo que pueden ser zonas de intervención prioritaria.

En este apartado se muestran los resultados del cruce de los índices climáticos con indicadores de tipo socio-económico y con los resultados del diagnóstico de vulnerabilidad y riesgo que se indican en la Tabla 2.

Las unidades menores con valores de VULNERABILIDAD entre el P80 y P100 (valores altos) son :La Herrera, Larratxo, Arria, Oleta, Molinao, Eskalantegi en el barrio de ALTZA, Rekalde en AÑORGA, Parte Vieja barrio de Centro, Paseo del Urumea, Atotxa, Iruresoro en EGIA, Sagües en GROS, El Infierno en IBAETA, Marrutxipi en INTXAURRONDO, Loiola – Casco, Loiola - Ciudad Jardín en LOIOLA y Campos Elíseos, Portutxo y Torrua Zahar (pol. 27) en MARTUTENE.

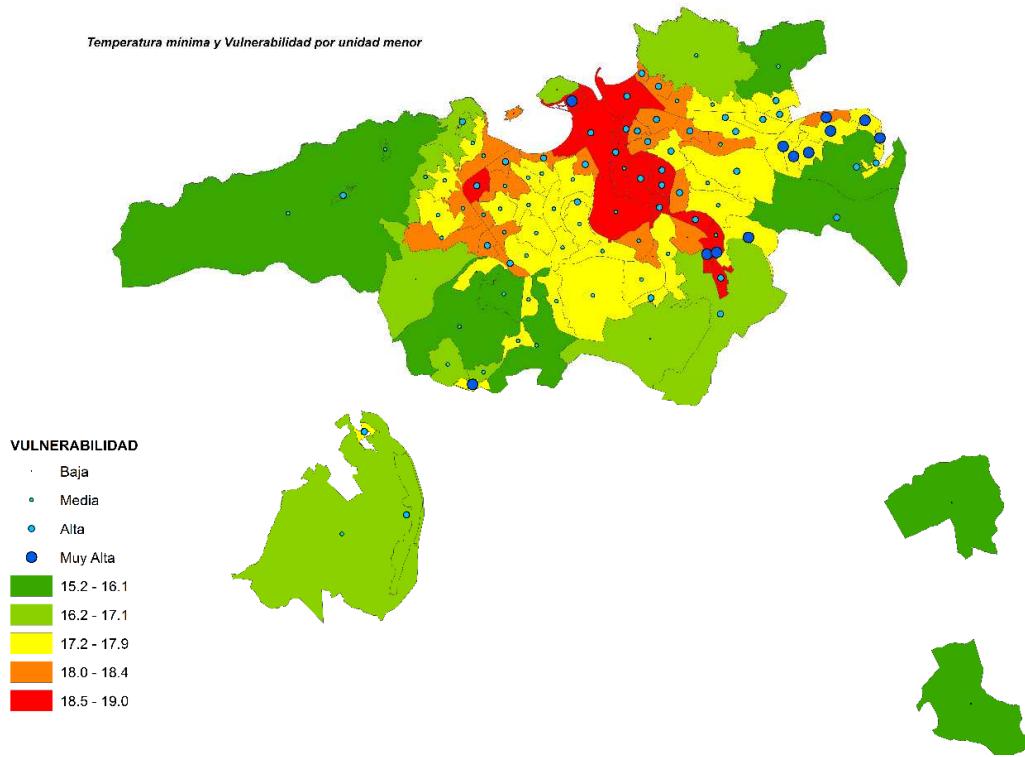
#### 3.3.1 Temperatura máxima con vulnerabilidad

Las unidades de análisis con coincidencia de mayores valores de temperatura máxima y de vulnerabilidad son Rekalde en AÑORGA, Eskalantegi y Molinao en ALTZA El infierno en IBAETA, Campos Elíseos, y Torrua zahar en MARTUNETE.



#### 3.3.2 Temperatura mínima con vulnerabilidad

Las unidades de análisis con la Temperatura mínima más alta y vulnerabilidad más alta son Parte Vieja en el CENTRO, Paseo del Urumea y Atotxa en EGIA, el barrio de GROS, Lorea en IBAETA, Loiola-Ciudad Jardín en Loiola y Campos Elíseos, Portutxo en Martutene.

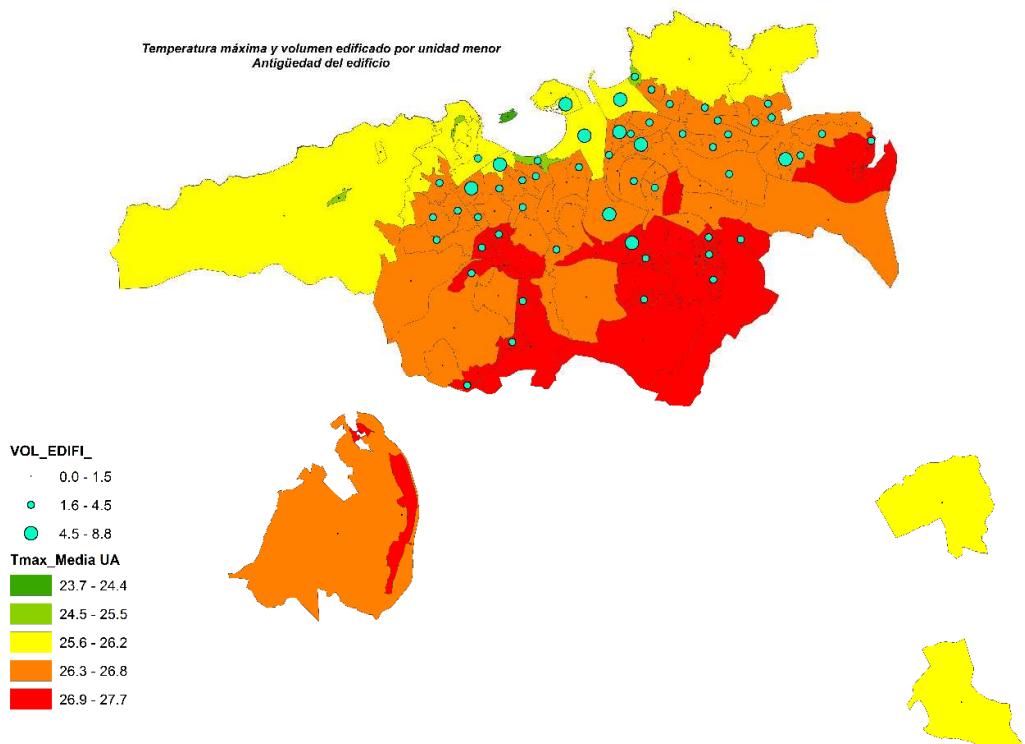


**Figura 18.** Temperatura mínima y vulnerabilidad por unidad menor

### 3.3.3 Temperatura máxima con volumen edificado por unidad menor

Este cruce de información persigue identificar aquellas zonas con mayor problemática de temperatura diurna y menor superficie de espacio público.

Las unidades de análisis que coinciden con valores más altos la Tmax y de Volumen edificado son, Eskalantegi en ALTZA, Anoeta en AMARA BERRI, Rekalde en AÑORGA, Irunbe en MIRAMON.



**Figura 19.** Temperatura máxima con volumen edificado por unidad menor

### 3.3.4 Necesidades de refrigeración con antigüedad del edificio

Este cruce de información persigue identificar aquellas unidades menores con mayores necesidades de refrigeración y antigüedad de la edificación con el objetivo de priorizar intervenciones de aislamiento o eficiencia energética que mejoren el confort térmico en el interior de la vivienda.

Las unidades de análisis que coinciden con mayores valores de necesidades de refrigeración y antigüedad de edificios (medido según el indicador descrito en 2.6 son; Eskalantegi y Molinao en el barrio de ALTZA Y Errrotaburu en IBAETA.

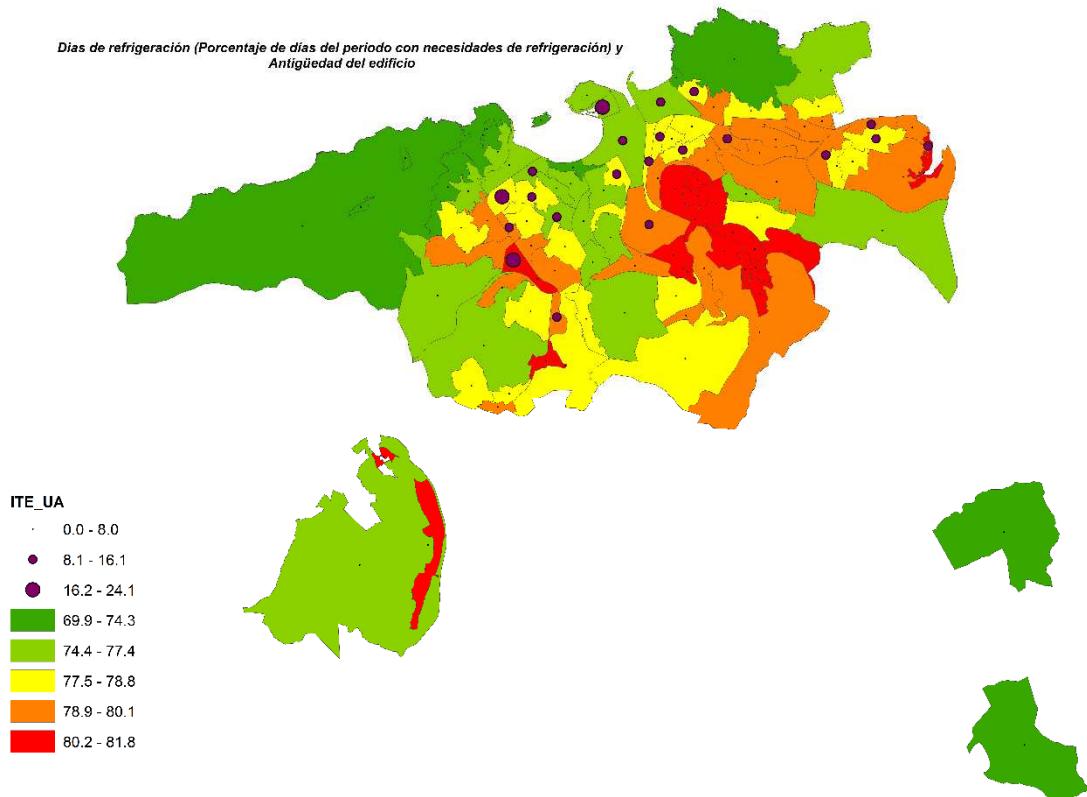
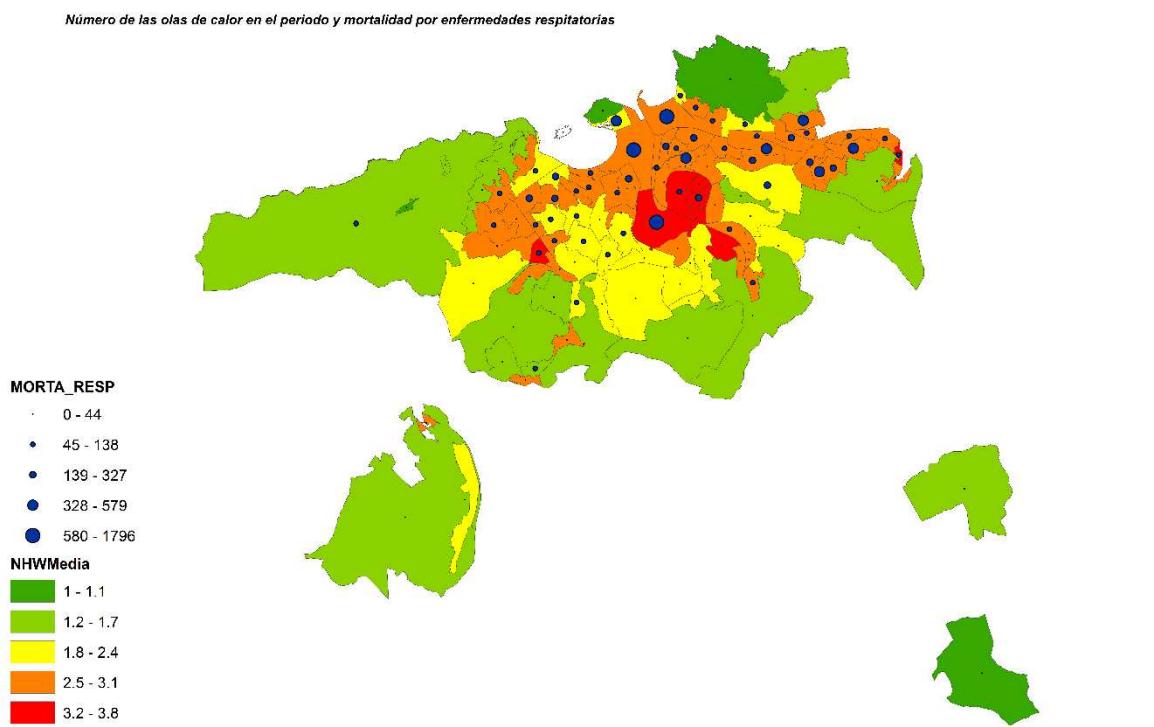


Figura 20. Necesidades de refrigeración con antigüedad del edificio

### 3.3.5 Número de olas de calor con mortalidad por enfermedades respiratorias

El número de olas de calor se ha cruzado con el indicador de muertes por causas respiratorias. Hay estudios que evidencian la influencia de las olas de calor en el incremento de la mortandad durante estos eventos. El objetivo de este cruce es identificar las unidades menores con mayores eventos de olas de calor y valores más altos de mortalidad para establecer medidas.

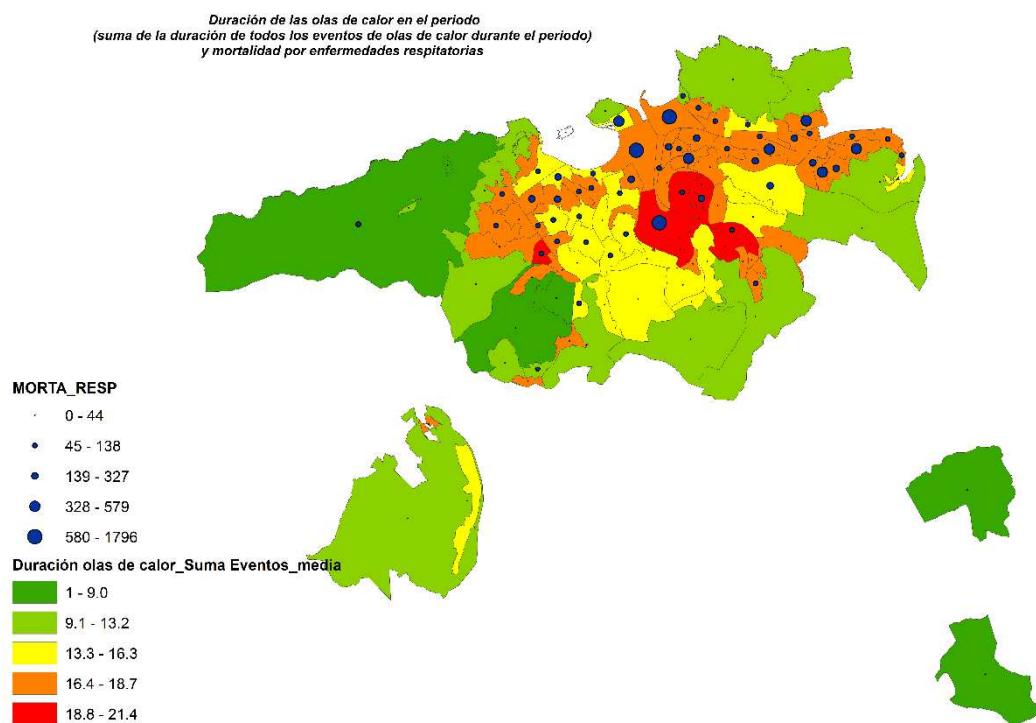
Las unidades menores con mayor número de eventos de olas de calor y mortalidad por enfermedades respiratorias son: Arria en ALTZA, Amara Berri en AMARA BERRI, Benta-Berri en ANTIGUO, Amara-Zaharra en el CENTRO, Iruresoro, y Atotxa en EGIA, Intxaurrendo Norte en INTXAURRONDON y Loiola-Casco en barrio de LOIOLA.



**Figura 21.** Número de olas de calor y mortalidad por enfermedades respiratorias por unidad menor

### 3.3.6 Duración de las olas de calor con mortalidad por enfermedades respiratorias

Las unidades menores con valores más altos de duración total de los eventos de olas de calor y mortalidad por enfermedades respiratorias son Riberas en AMARA BERRI, Benta-Berri en ANTIGÜO, Amara Zaharra en CENTRO, Atotxa e Iruresoro en EGIA y Loiola Casco en LOIOLA

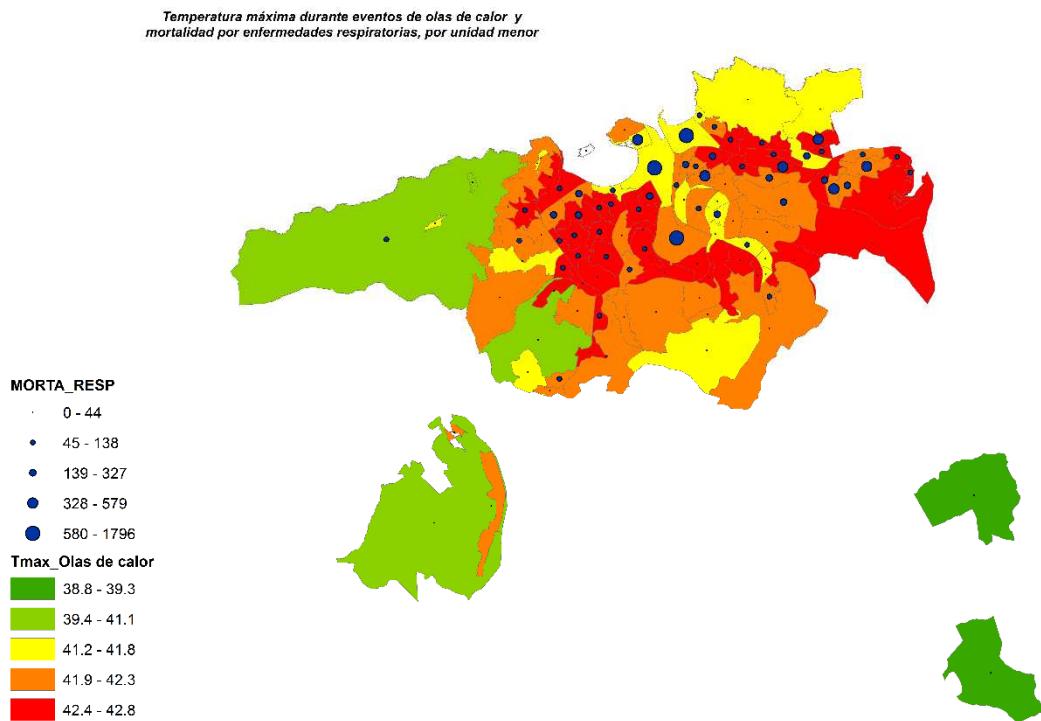


**Figura 22.** Duración de olas de calor en el periodo analizado. Suma de la duración de todos los eventos de olas de calor durante el periodo analizado y mortalidad por enfermedades respiratorias por unidad menor

### 3.3.7 Temperatura máxima de olas de calor con mortalidad por enfermedades respiratorias

La Temperatura máxima durante las olas de calor se ha cruzado con el indicador de muertes por causas respiratorias. El objetivo de este cruce es identificar las unidades menores que registran mayor temperatura máxima durante los eventos de olas de calor y valores más altos de mortalidad para establecer medidas.

Las unidades menores que coinciden con valores más altos de temperaturas máximas durante eventos de olas de calor y valores de mortalidad más altos son: La Herrera en ALTZA, Heriz Aizgorri en ANTIGUO, Intxaurrendo Berri, en el barrio de INTXAURRONDO y Bidebieta en MIRACRUZ.



**Figura 23.** Máxima absoluta durante los eventos de olas de calor y mortalidad por enfermedades respiratorias por unidad menor

## 4.CONCLUSIONES

Se ha realizado el mapa térmico de la ciudad de Donostia/San Sebastián utilizando el modelo de meso-escala Urbclim que proporciona información horaria de la temperatura con una resolución espacial de 100m.

Se ha modelizado la temperatura de la ciudad a partir de la información meteorológica del año 2003, por ser un año especialmente caluroso que podría representar la situación climática futura bajo escenarios de cambio climático. El año 2003 podría representar la situación climática de Donostia/San Sebastián en torno a la mitad de siglo, entre 2040 y 2060, en base a las fuentes de información consultadas.

Del proceso de validación realizado, en el que se comparan valores simulados con el modelo Urbclim y valores observados en estaciones, se concluye que Urbclim representa de forma aceptable el perfil térmico de la ciudad de Donostia/ San Sebastián.

Urbclim sobreestima la temperatura máxima entre 2.1 – 3º C, en los periodos estivales analizados de los años 2003 y 2005, con respecto a los valores observados en las estaciones disponibles en la ciudad de Donostia/ San Sebastián. Esto coincide con los resultados obtenidos por el modelo Urbclim en otras ciudades como Bélgica (Verdonck, M. et al., 2018) o Barcelona (Lauwaet et al., 2016).

Las estaciones de Avenida de Tolosa, Puyo e Igeldo cumplen con todos criterios que establece González-Aparicio, I., et al., 2012 para considerar aceptable los resultados de un modelo. La estación de Ategorrieta se queda con valores de R2 de 0.65 respecto al valor del 0.7 establecido como criterio. Por último, la estación de Lasarte-Michelín es la que peor correlación obtiene, probablemente por su ubicación en el interior de la fábrica Michelín. Esta estación se seleccionó para la validación del modelo por disponer de datos de los años 2003 y 2005 pero queda fuera del ámbito geográfico de Donostia/San Sebastián.

Se ha realizado el mapeado de diversos índices térmicos derivados de las temperaturas máximas (TXm) y las mínimas (TNm), con una resolución de 100m. Además se ha realizado la agregación de los índices térmicos por unidad menor de la ciudad para facilitar la gestión y la toma de decisión.

Respecto al mapeado de los índices térmicos, los valores medios de la **temperatura máxima** para el periodo analizado varían entre 23.4 y 27.7 ºC entre unos puntos de la ciudad y otros. Los valores más bajos de temperatura máxima corresponden a las zonas cercanas a la franja costera y zonas de la ciudad más elevadas como Igeldo y Ategorrieta. La temperatura máxima aumenta a medida que pierde la influencia del mar, siendo las temperaturas más altas en las zonas de interior y con menor elevación. Cabe mencionar que la temperatura es ligeramente inferior siguiendo el cauce del río Urumea, que actúa también como regulador de la temperatura a lo largo de su curso.

Respecto a la **temperatura mínima**, los valores para el periodo analizado varían entre 13.2 y 19.6 ºC entre unos puntos de la ciudad y otros. Los valores más bajos de temperatura mínima corresponden a las zonas rurales o semi-rurales o más elevadas como Igeldo y Ategorrieta, igual que en el caso de la Temperatura máxima. En la zona centro de la ciudad, puede decirse que el comportamiento es inverso al de la temperatura máxima. La temperatura mínima más alta corresponde al curso del Urumea y sus zonas colindantes, por la disipación de calor del agua durante la noche.

En lo que se refiere a las **noches cálidas**, la distribución de resultados es similar al de temperatura mínima ya que son índices relacionados, siendo las unidades de análisis con valores más altos las mismas que en el caso de la Tmin. Los valores más altos se sitúan en el entorno del Urumea y disminuyen hacia las zonas periféricas, con un comportamiento similar de la temperatura mínima. Sin embargo, la variabilidad de noches cálidas dentro de la unidad menor es mayor que en el caso de la temperatura mínima, con valores de desviación estándar muy superiores. En algunos puntos de la ciudad el número de noches cálidas representa un 1.3% respecto a todas las noches del periodo estival del año 2003, mientras que en otros puntos el 48.8% de las noches la temperatura no baja de los 20ºC.

Algo similar ocurre con los **días de refrigeración**, que se distribuyen de forma similar a la temperatura máxima. Los valores más altos se sitúan en el entorno del Urumea y disminuyen hacia las zonas periféricas, con un comportamiento similar de la temperatura máxima. En este caso también, la variabilidad de los días con necesidades de refrigeración dentro de la unidad menor es mayor que en el caso de la temperatura máxima. En algunos puntos de la ciudad el número de días con necesidades de refrigeración representa un 61.4% respecto al total de días del periodo estival del año 2003, mientras que en otros puntos de la ciudad este porcentaje se eleva hasta el 83.7%.

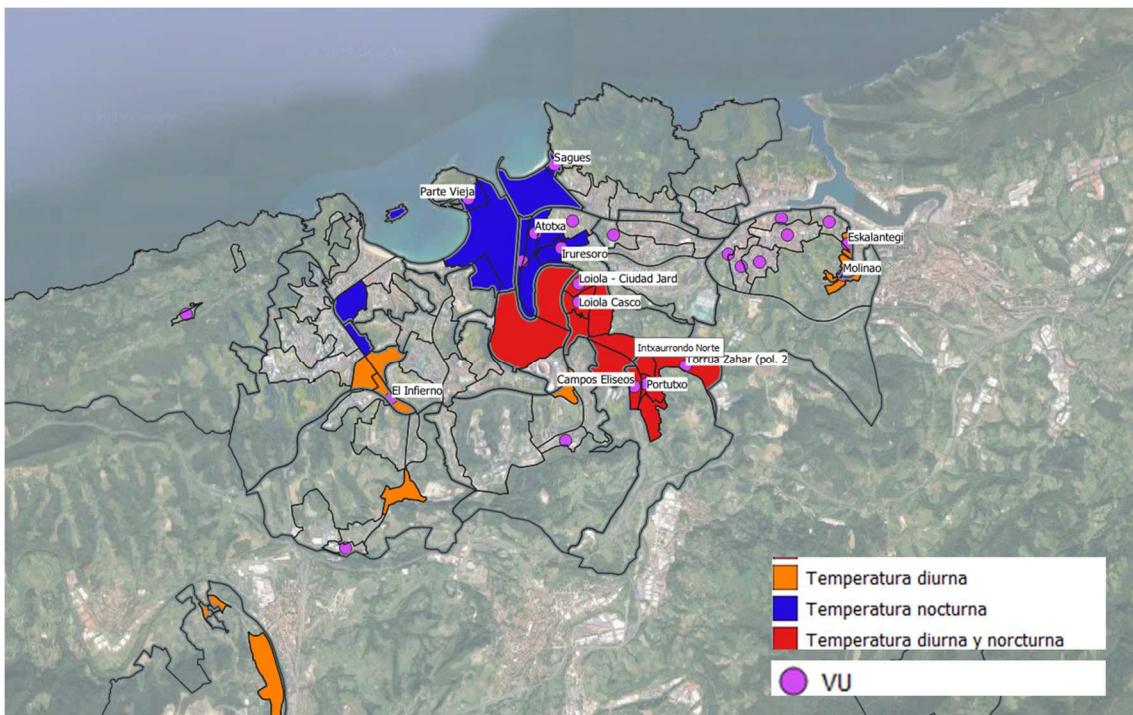
En el año 2003 el conjunto de la ciudad de Donostia/San Sebastián sufrió al menos una **ola de calor durante** el periodo estival y en algunas zonas el número de eventos máximos llegó a ser de 4 (de acuerdo con la definición utilizada, eventos en los que como mínimo durante 3 días la Tmax superó los 30°C y la Tmin superó los 19°C). La **duración de estos eventos fue variable**, aunque es destacable que el evento más extremo del periodo estival del 2003, afectó durante al menos 10 días a la mayor parte de la ciudad. Durante **los eventos de olas de calor la temperatura máxima** en la ciudad oscila entre 34.8°C en zonas rurales del barrio de Igeldo hasta valores de 43°C, encontrándose la mayor parte de la ciudad por encima de los 40°C.

**Atendiendo a los índices térmicos de Temperatura máxima y mínima y sus respectivos índices relacionados de porcentaje de días con necesidades de refrigeración (Tmax >22°C) y noches cálidas (Tmin>20°C), se concluye que las zonas de la ciudad coincidentes con los mayores valores (por encima del P90) de los cuatro índices son LOIOLA, MARTUTENE y AMARA BERRI, principalmente las unidades de análisis próximas al río Urumea, en estas zonas se producen también el mayor número de eventos de olas de calor. Por tanto las actuaciones deberían centrarse en estas zonas ya que sufren los mayores valores de temperatura tanto diurna como nocturna.** Además del cruce con los indicadores socio-económico, resulta que los Barrios de LOIOLA (Casco y Ciudad Jardín) y MARTUTENE (Portutxo, Torrua Zahar y Campos Eliseos) disponen de los mayores valores de vulnerabilidad.

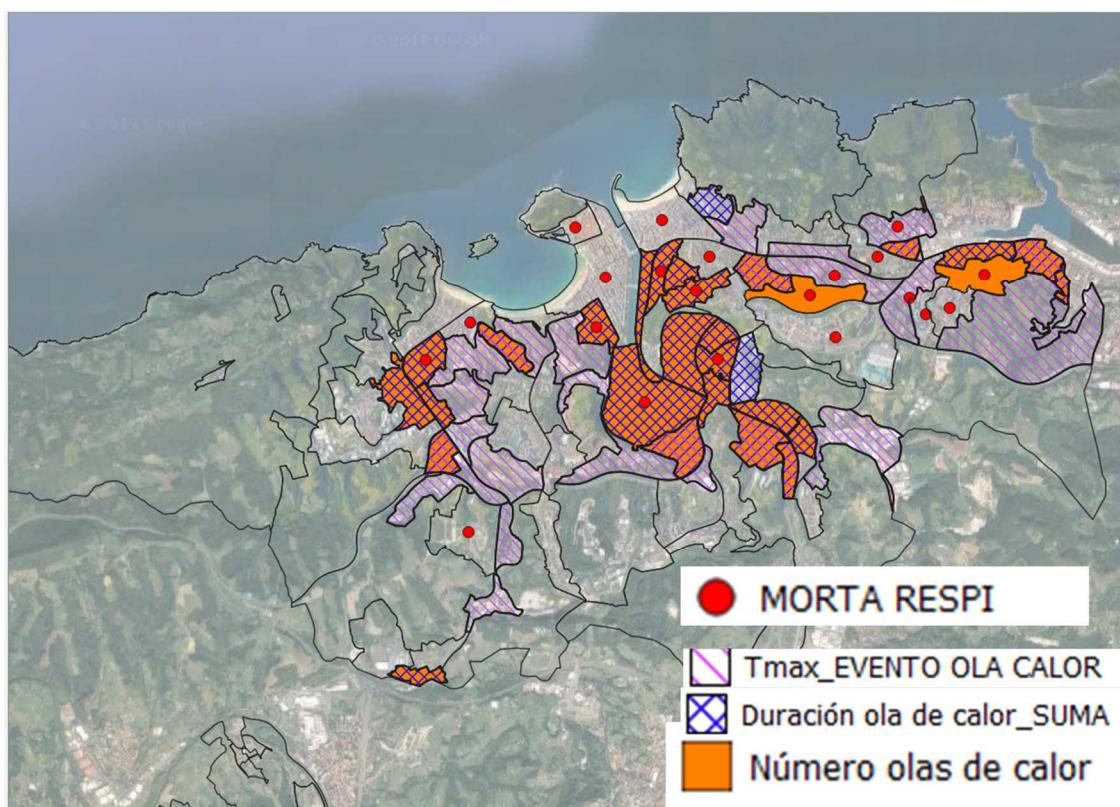
A estas zonas se añadirían, con problemática asociada a las mayores temperaturas diurnas AÑORGA, las unidades de análisis de Eskalantegi y Molinao en ALTZA, Errrotaburu, El infierno e Iza en el barrio de IBAETA, Ilunbe en MIRAMÓN y Zubietza e Hipódromo Bugati en ZUBIETA. Siendo las unidades menores de ALTZA y la IBAETA las que tienen mayores valores de vulnerabilidad.

Y se incluirían, con mayores valores en las temperaturas nocturnas Benta Berri en el barrio de ANTIGUO, el barrio CENTRO excepto Monte Urgul y Paseo de Miraconcha, las unidades de análisis de EGIA más cercanas al Urumea, Gros y Lorea en el barrio de IBAETA. Todas ellas menos ANTIGÜO presentan los mayores valores de vulnerabilidad.

**La intervención prioritaria, de acuerdo a los criterios establecidos, debería centrarse en las unidades menores de Ribera y Amara Berri** ésta última con valores altos de todos los índices térmicos analizados y valores altos de mortalidad por enfermedades respiratorias. El barrio de LOIOLA donde coinciden también los mayores valores de todos los índices térmicos, destacando Loiola ciudad jardín y casco con valores altos de vulnerabilidad y esta última también con valores altos de mortalidad por enfermedades respiratorias. Por último Antzina, Portutxo y Campos Eliseos en MARTUTENE coinciden con mayores valores del conjunto de índices térmicos analizados, las dos últimas con valores altos de vulnerabilidad.



**Figura 24.** Unidades de análisis con mayores valores de  $T_{max}/T_{min}$  o ambas y mayores valores de vulnerabilidad



**Figura 25.** Unidades de análisis con mayores valores eventos de olas de calor y mayores valores de mortalidad por enfermedades respiratorias

## 4. BIBLIOGRAFÍA

De Ridder, K., Lauwaet, D., & Maiheu, B. (2015). UrbClim – A fast urban boundary layer climate model. *Urban Climate*, 12, 21–48. <http://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.01.001>.

González-Aparicio, I., Hidalgo, J., Baklanov, A., Korsholm, U., Nuterman, R., & Mahura, A. (2012). Urban boundary layer analysis in the complex coastal terrain of Bilbao using Enviro-HIRLAM. <http://doi.org/10.1007/s00704-012-0808-6>

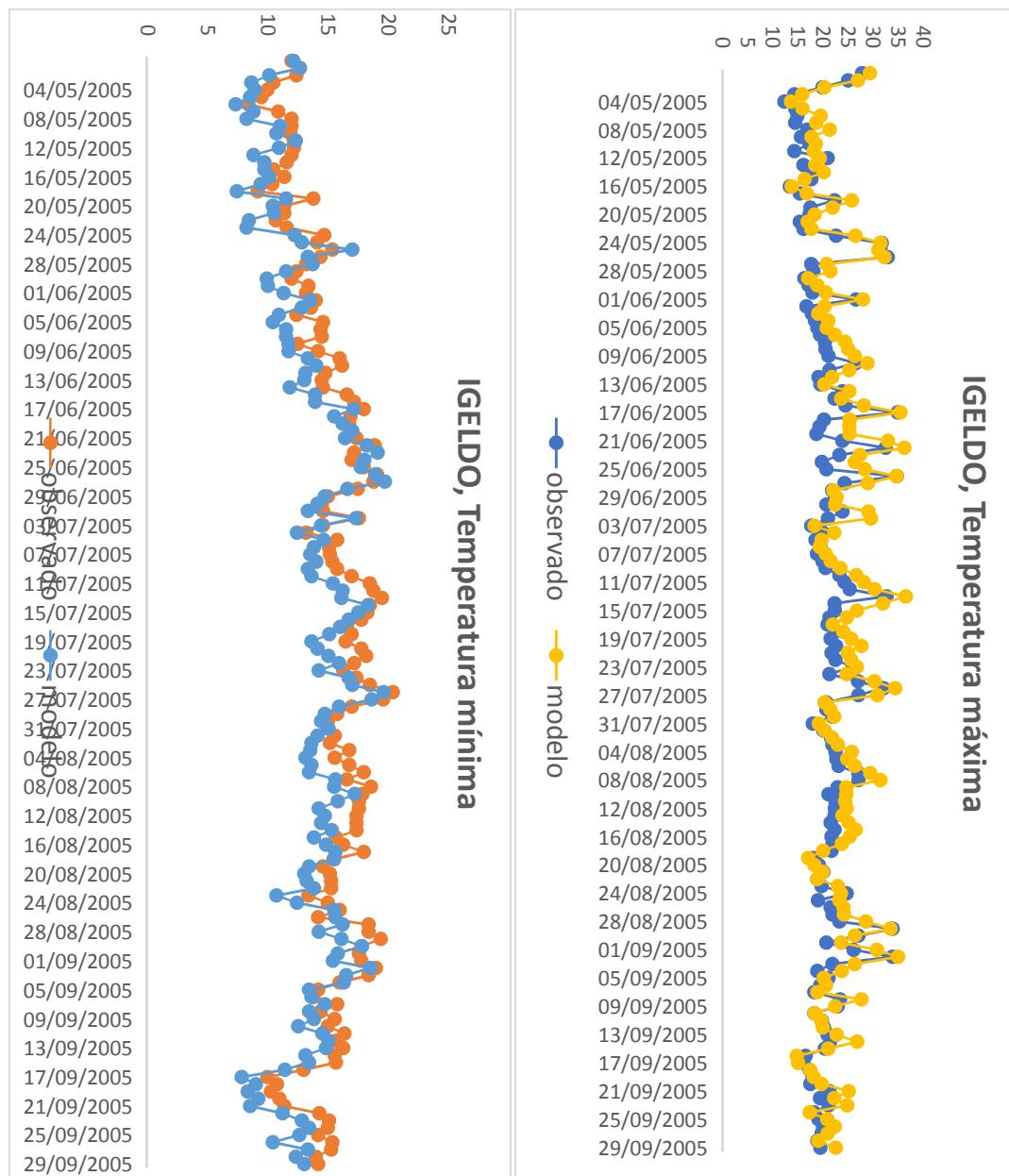
Lauwaet, D., Hooyberghs, H., & Ballester, J. (2016). Advantages of using a fast urban canopy model as compared to a full mesoscale model to simulate the urban heat island of Barcelona Advantages of using a fast urban canopy model as compared to a full mesoscale model to simulate the urban heat island of Barcelona, (February). <http://doi.org/10.5194/gmd-2016-10>

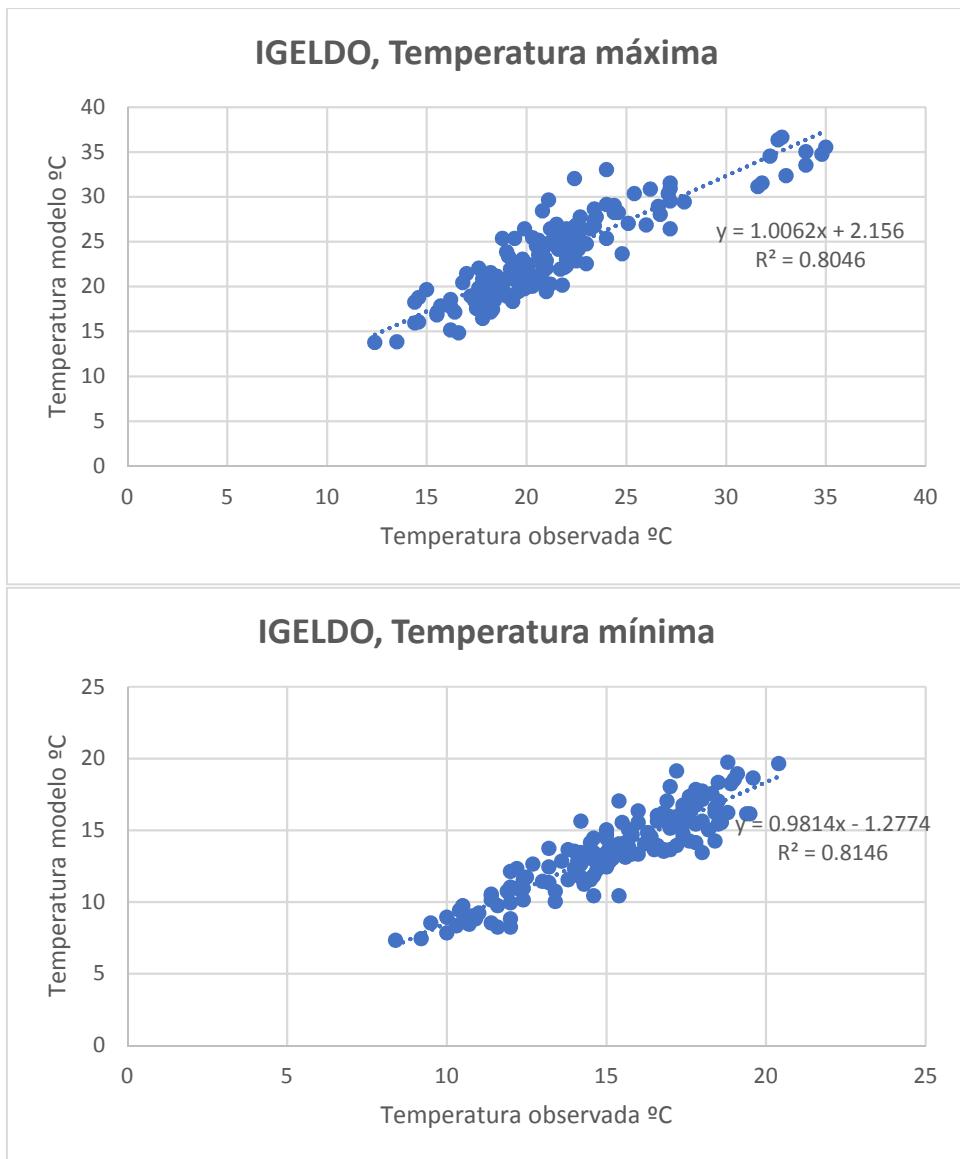
Verdonck, M., Demuzere, M., Hooyberghs, H., Beck, C., Cyrys, J., Schneider, A., ... Coillie, F. Van. (2018). The potential of local climate zones maps as a heat stress assessment tool , supported by simulated air temperature data. *Landscape and Urban Planning*, 178(July 2017), 183–197. <http://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.06.004>

## 5. ANEXOS

### ANEXO I: Valores diarios de Tmax y Tmin entre estaciones y modelos. Gráfico de correlación. Año 2005

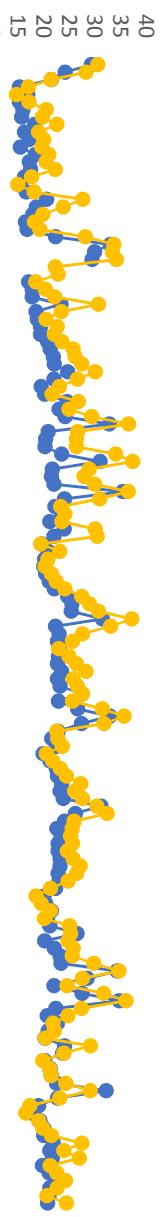
#### Estación de Igeldo



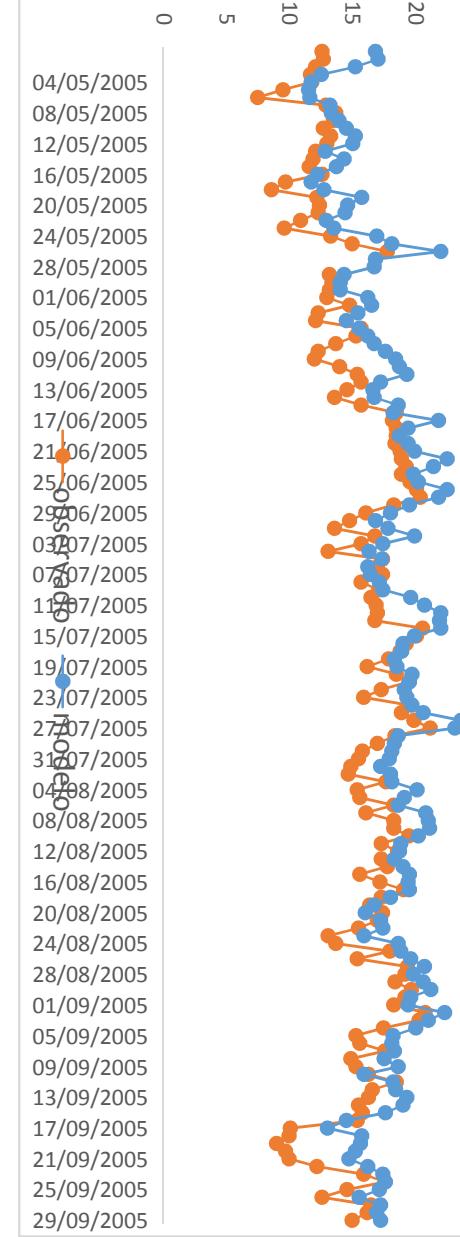


**Avda Tolosa**

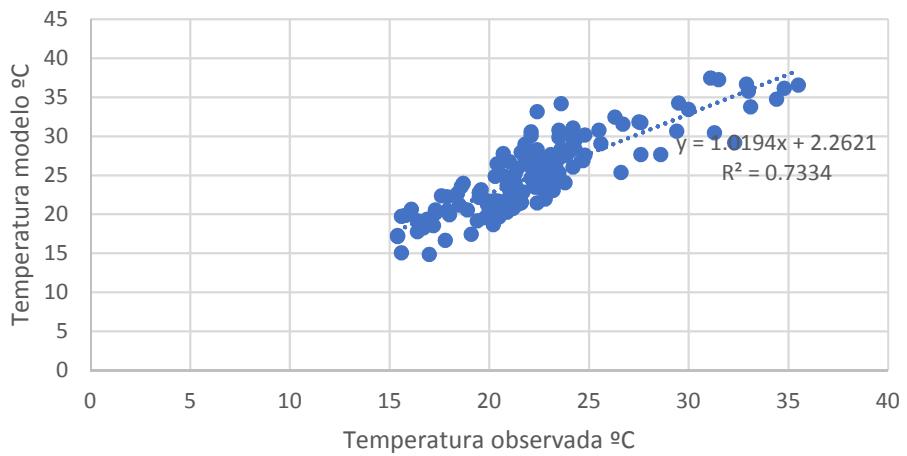
### Avda Tolosa, Temperatura máxima



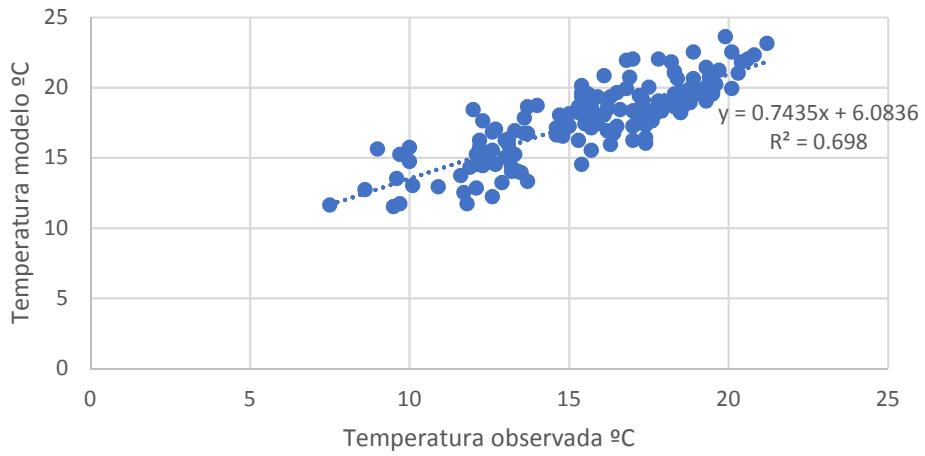
### Avda Tolosa, Temperatura mínima



### Avda TOLOSA, Temperatura máxima

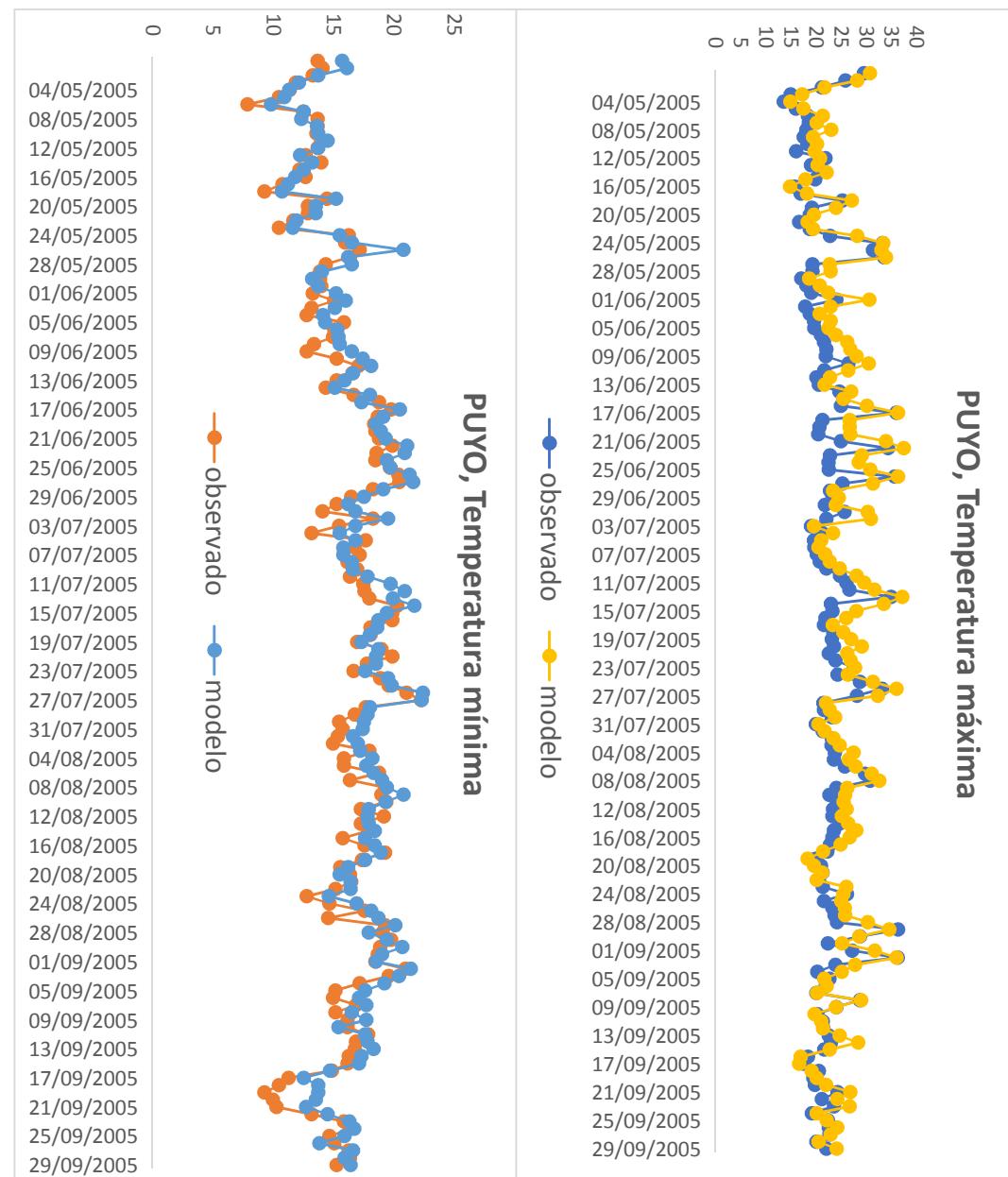


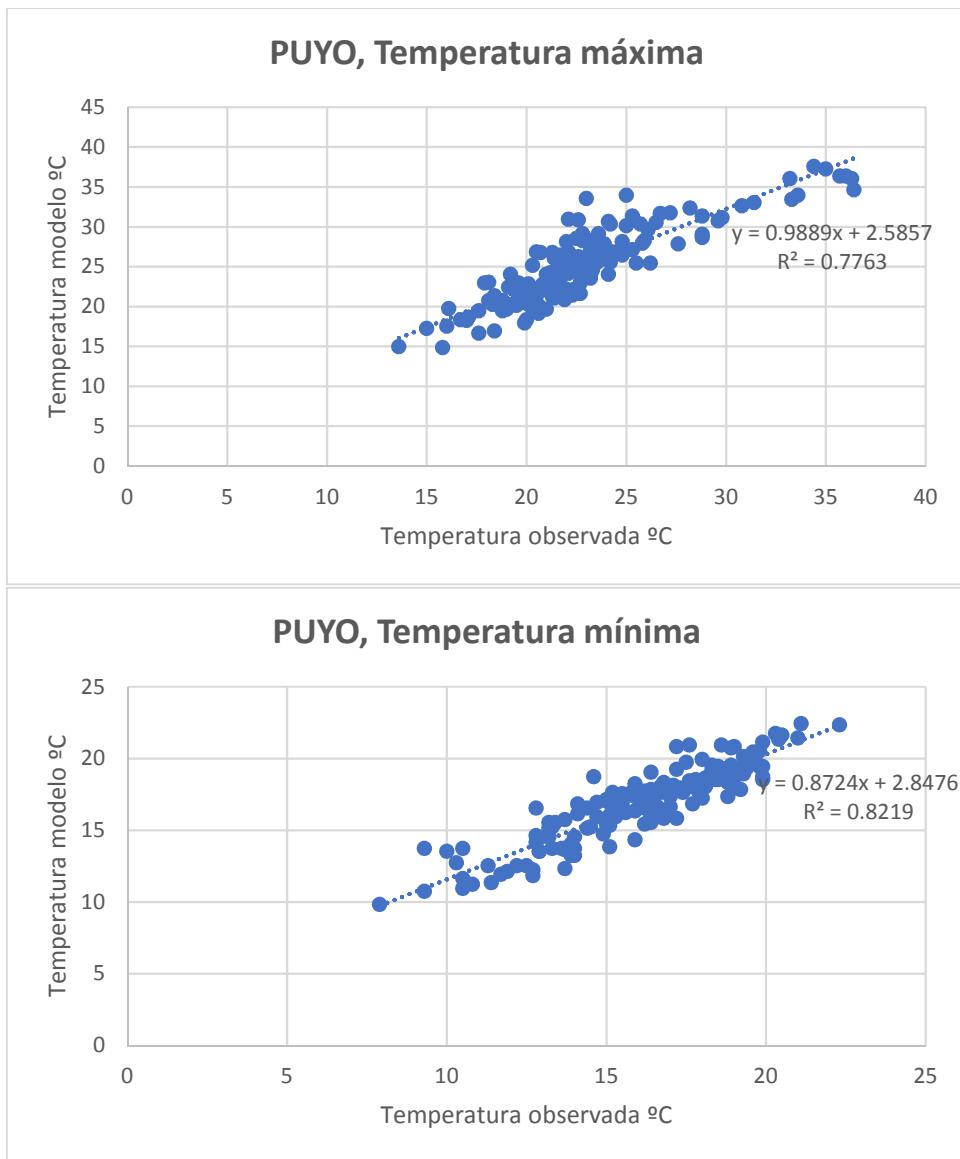
### Avda Tolosa, Temperatura mínima



**PUYO**

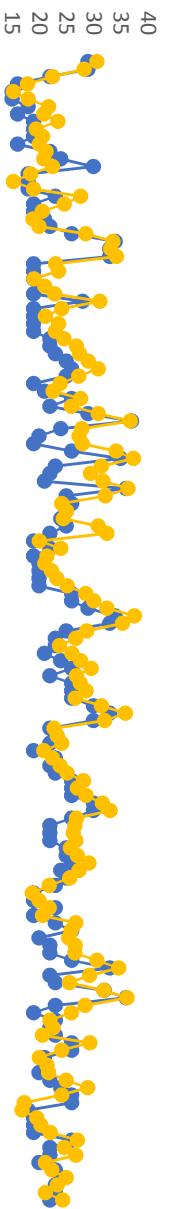
### PUYO, Temperatura máxima



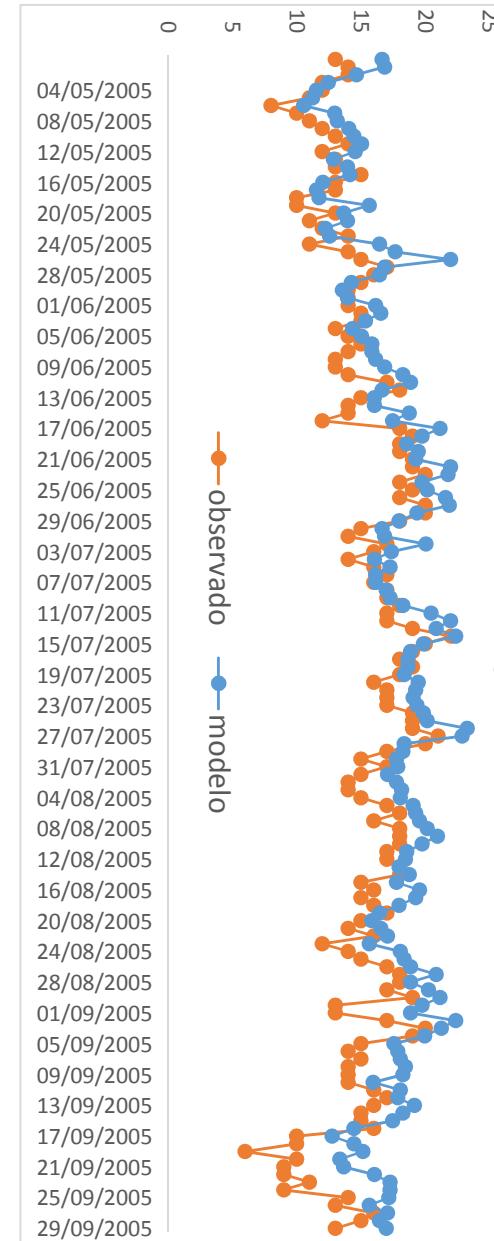


## LASARTE-MICHELIN

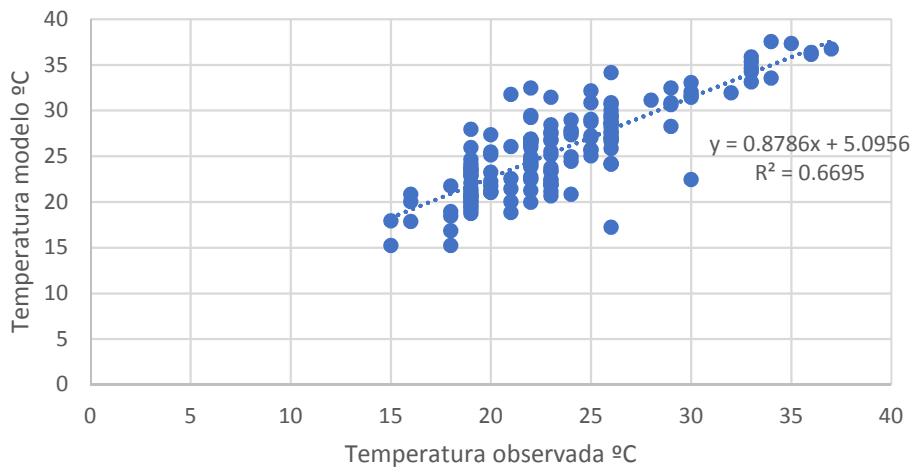
### Lasarte-Michelin, Temperatura máxima



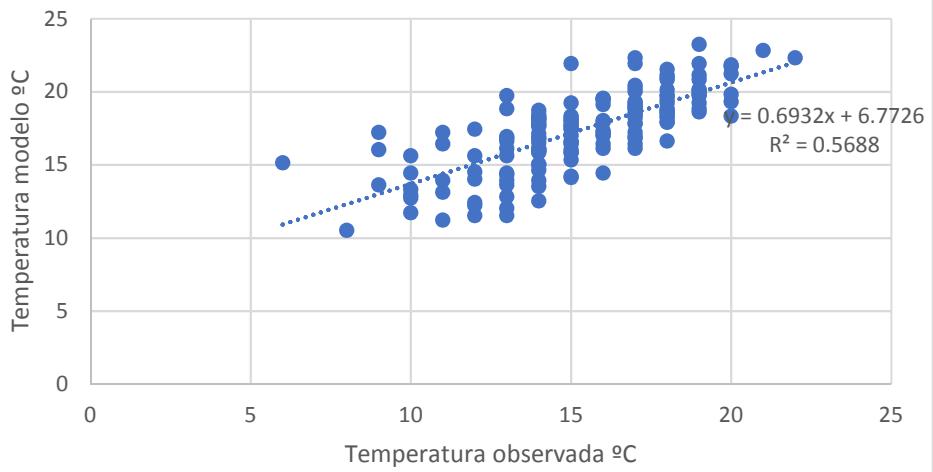
### Lasarte-Michelin, Temperatura mínima



### Lasarte-Michelin, Temperatura máxima

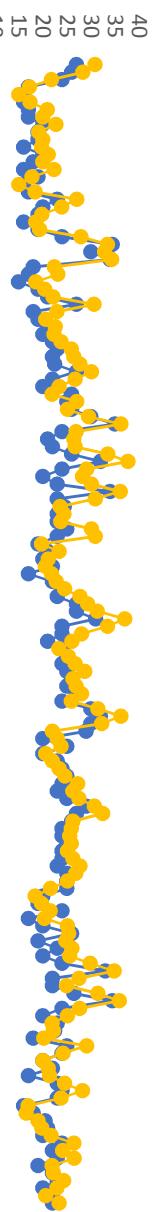


### Lasarte-Michelin, Temperatura mínima

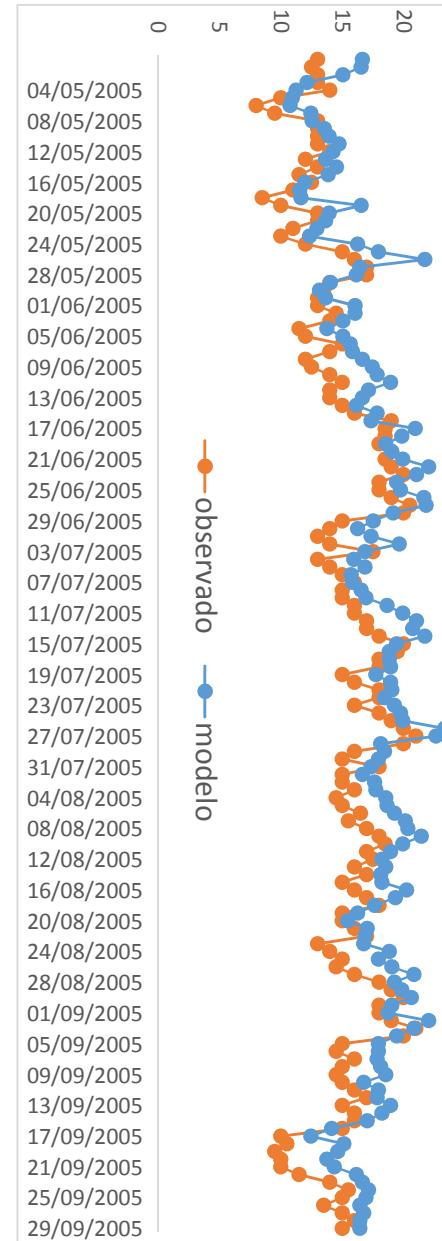


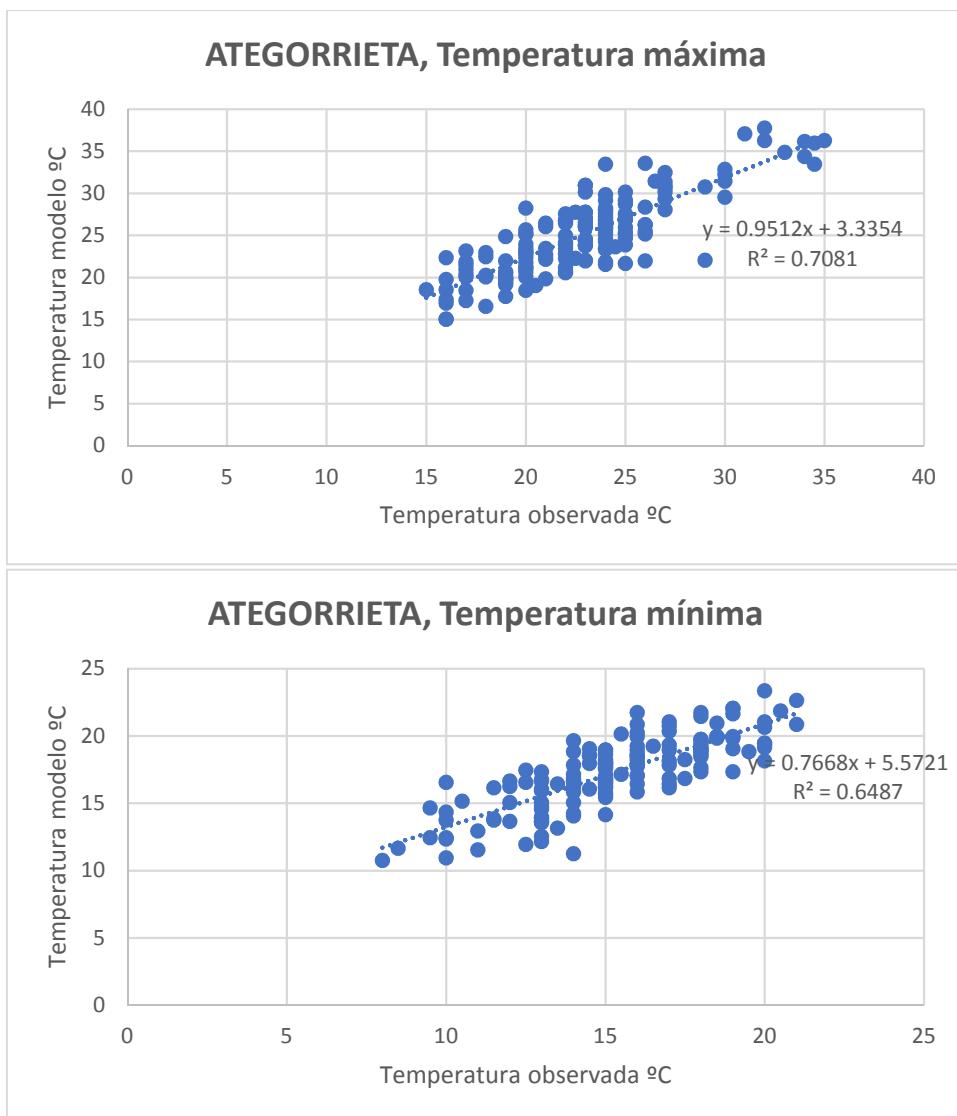
**ATEGORRIETA**

### ATEGORRIETA, Temperatura máxima



### ATEGORRIETA, Temperatura mínima

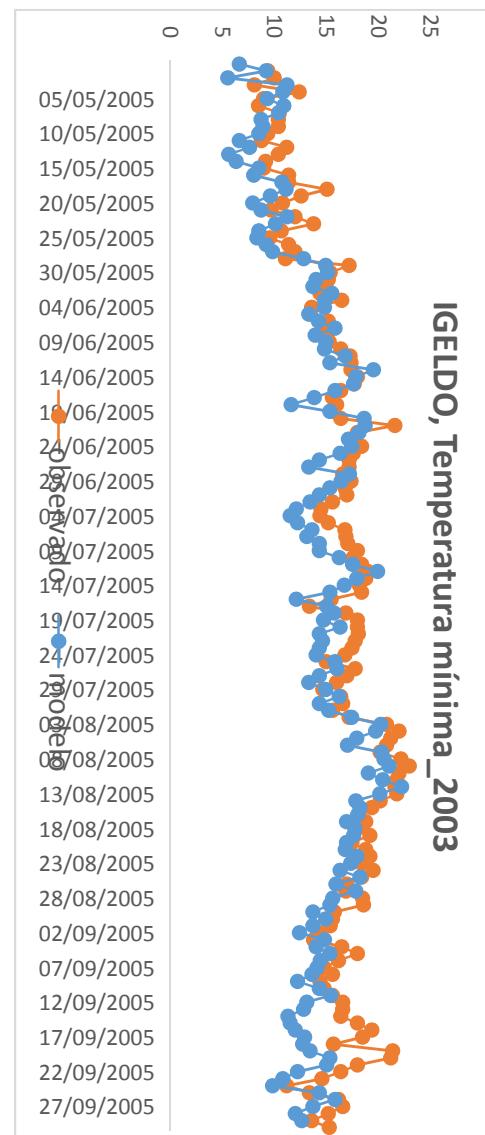
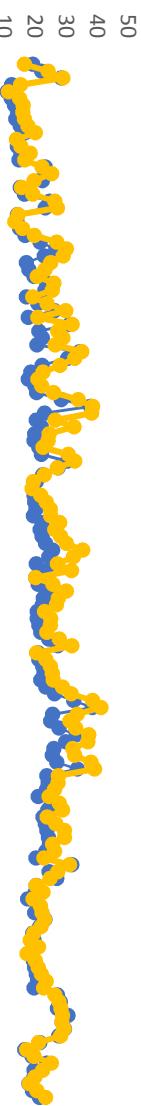




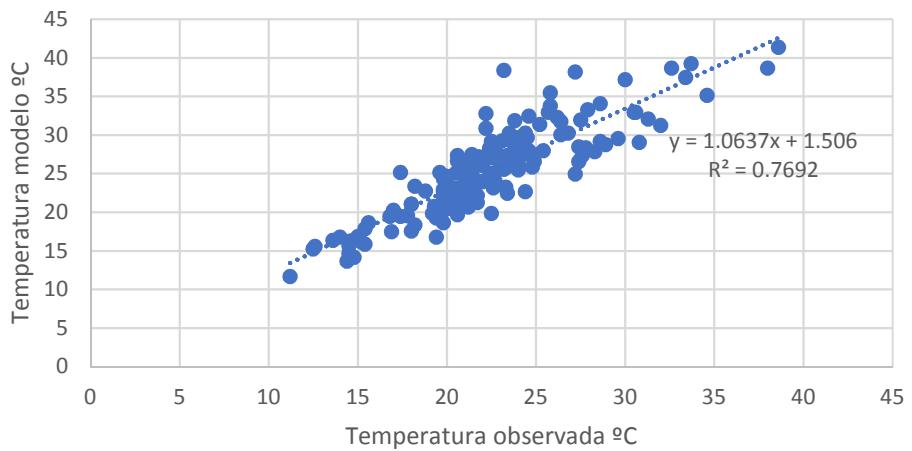
**ANEXO II: Valores diarios de Tmax y Tmin entre estaciones y modelos. Gráfico de correlación. Año 2003**

**Estación de Igeldo**

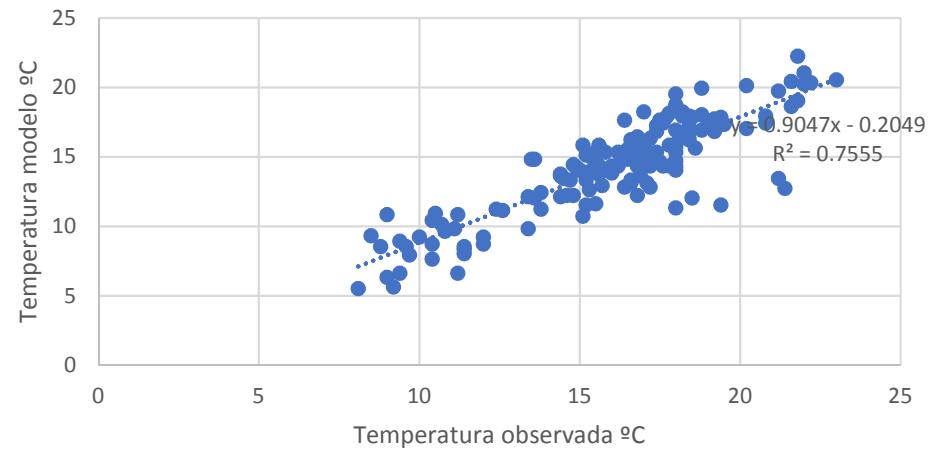
### IGELDO, Temperatura máxima\_2003



### IGELDO, Temperatura máxima\_2003

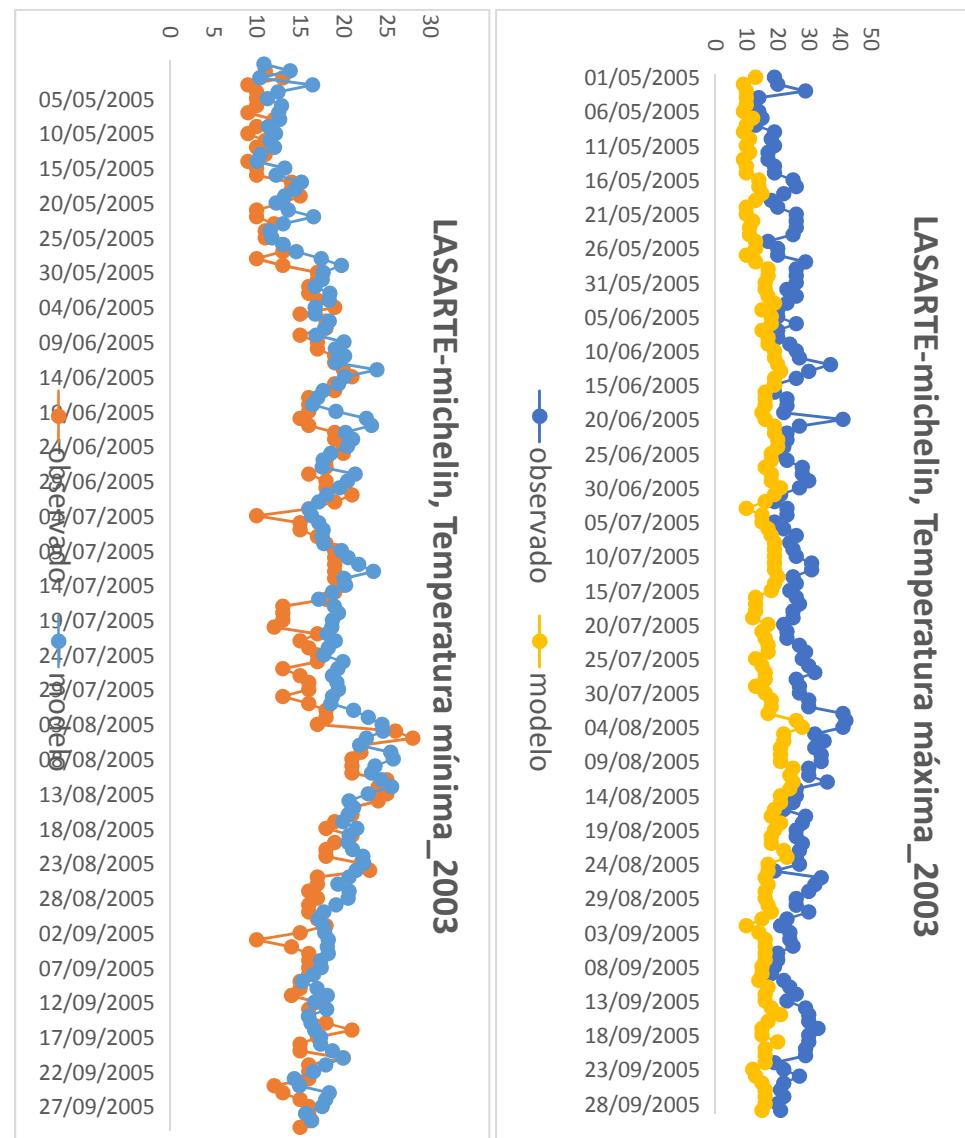


### IGELDO, Temperatura mínima\_2003

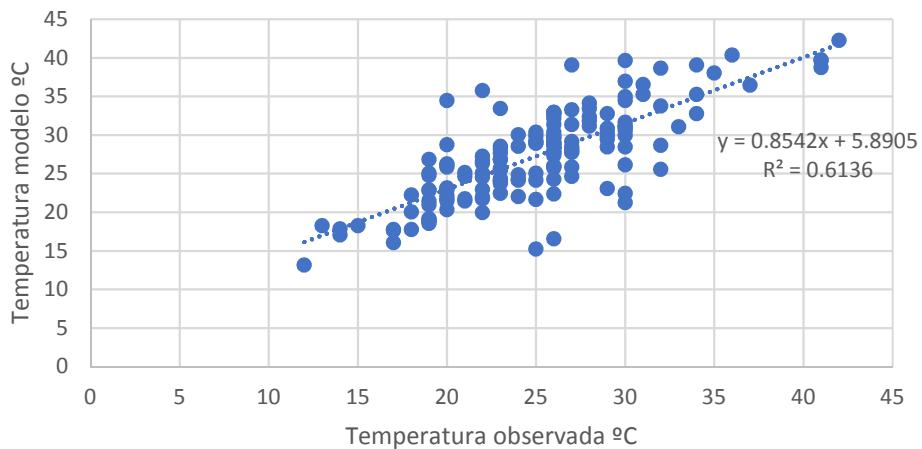


## Estación de Lasarte-Michelín

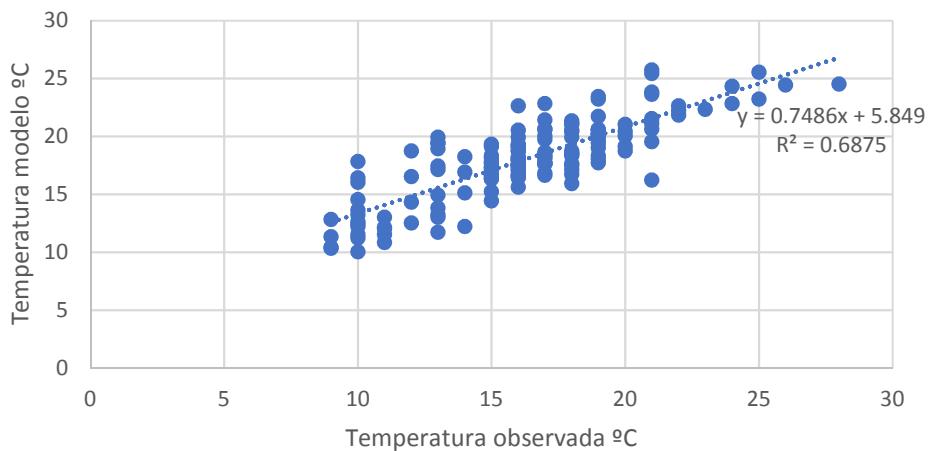
### LASARTE-michelin, Temperatura máxima\_2003



**LASARTE-michelin, Temperatura máxima\_2003**

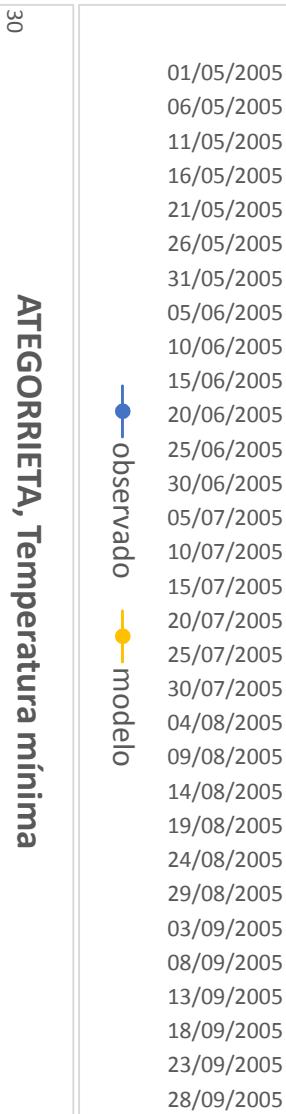
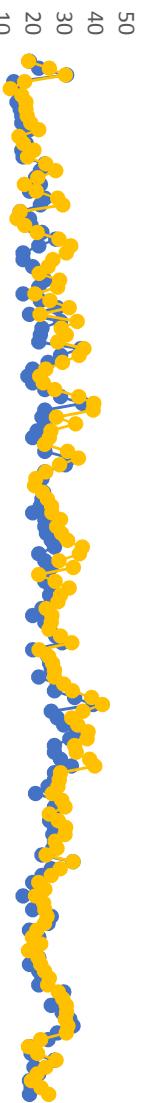


**LASARTE-michelin, Temperatura mínima\_2003**

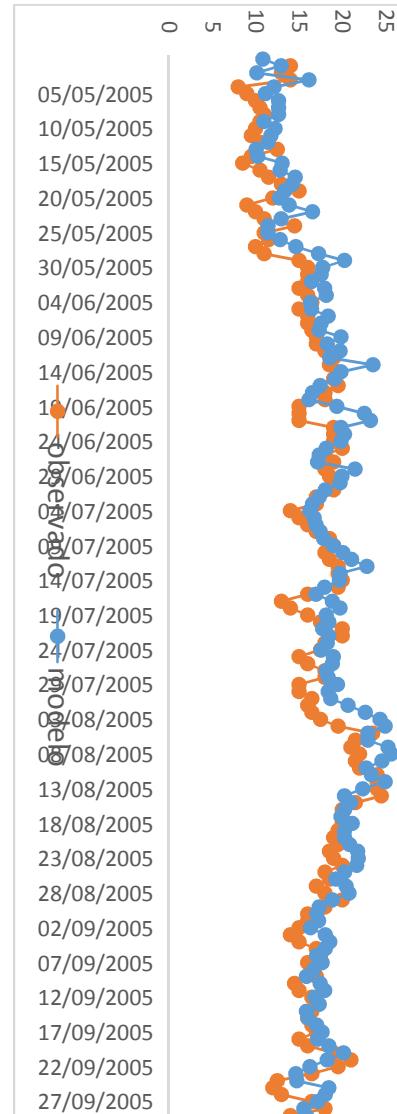


## Estación de Ategorrieta

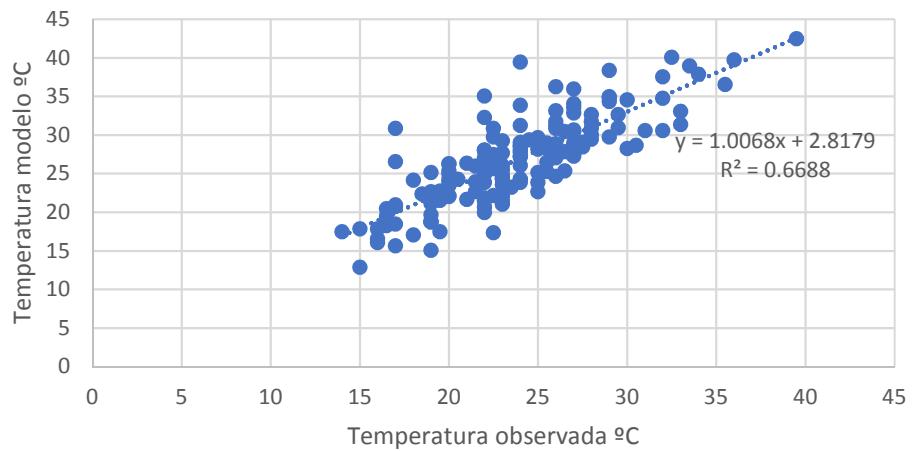
## ATEGORRIETA, Temperatura máxima



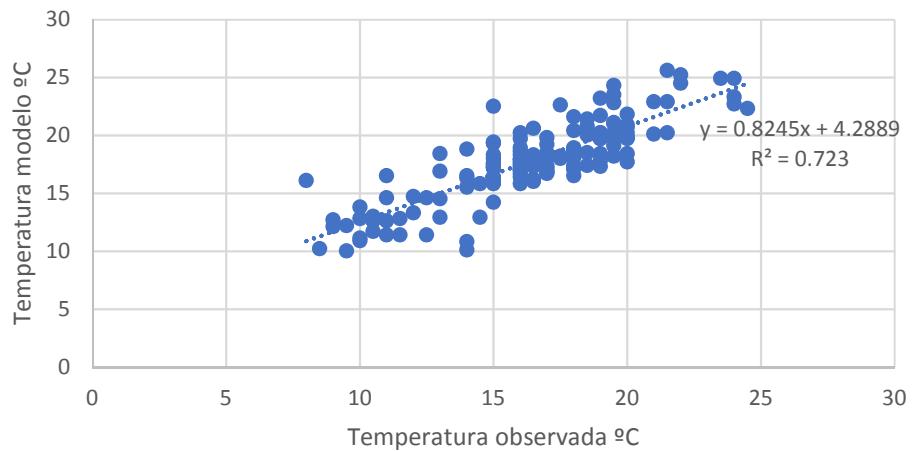
## ATEGORRIETA, Temperatura mínima



### ATEGORREITA, Temperatura máxima



### ATEGORRIETA, Temperatura mínima



## Anexo III: Indicadores de vulnerabilidad utilizados en el Plan de Adaptación

**Tabla 3: Indicadores socio-económicos para determinan la vulnerabilidad de la población al incremento de la temperatura**

SENSIBILIDAD	VOLUMEN EDIFICADO/ ESPACIO PÚBLICO	DENSI_POB	Densidad de población por unidad de análisis (hab/km2).
	VOLUMEN EDIFICADO/ ESPACIO PÚBLICO	DENSI_VIV	Densidad de viviendas por unidad de análisis (viviendas/ha).
	VOLUMEN EDIFICADO/ ESPACIO PÚBLICO	POB_VIV	Número de personas por vivienda promedio para cada unidad de análisis.
	POBLACIÓN	POB_MAS70	Porcentaje de personas con más de 70 años por unidad de análisis
	POBLACIÓN	POB_MENOS10	Porcentaje de personas con menos de 10 años por unidad de análisis
	ESTADO VIVIENDA	VIV_PEQUE	Porcentaje de viviendas con superficie igual o menor que 30 m2 por unidad de análisis.
	ESTADO VIVIENDA	VIV_ACCESO	Porcentaje de viviendas sin ascensor que no se encuentran en planta baja por unidad de análisis.
	ESTADO VIVIENDA	ITE_UA	Porcentaje de expedientes de Inspección Técnica de Edificio (ITE) realizados sobre edificios construidos hasta el año 1965 con respecto al total de edificios de la unidad de análisis.
	VOLUMEN EDIFICADO/ ESPACIO PÚBLICO	VOL_EDIFI_UA	Volumen edificado por superficie de la unidad de análisis (m3/m2)
	ESPACIO PÚBLICO	VOL_EDIFI_VERDE	Volumen edificado por superficie verde (m3/m2)
	SITUACIÓN ECONÓMICA	POB_ABAN_ESCO	Porcentaje de población con abandono escolar prematuro por unidad de análisis.
	SITUACIÓN ECONÓMICA	PARO	Tasa de paro por unidad de análisis.
	SITUACIÓN ECONÓMICA	PARO_LARGA	Tasa de paro de larga duración (superior a 1 año) por unidad de análisis.
	SITUACIÓN ECONÓMICA	HOGAR_RGI	Tasa de hogares perceptores de RGI por unidad de análisis.

	SITUACIÓN ECONÓMICA	HOGAR_RGI_LARGA	Tasa de hogares perceptores de RGI (superior a 3 años) por por unidad de análisis.
	SALUD	MORTA_RESPI	Índice agregado de riesgo de mortalidad en cada unidad de análisis por causas relacionadas con el sistema respiratorio.
CAPACIDAD ADAPTATIVA	VOLUMEN EDIFICADO/ ESPACIO PÚBLICO	SUP_VERDE_POB	Superficie verde por habitante (m2/hab).
	SITUACIÓN ECONÓMICA	POB_RECICLA	Porcentaje de población de la unidad de análisis que utiliza la tarjeta del 5º contenedor (materia orgánica) o realiza compostaje doméstico.
	SITUACIÓN ECONÓMICA	RENTA_FAMI	Renta familiar media por barrio.
	SALUD	POB_FARMA	Porcentaje de población de la unidad de análisis que se encuentra a menos de 300 m de farmacias.
	ESPACIO PÚBLICO	MASA_ARBO	Porcentaje de superficie de masa arbórea por unidad de análisis.
	ESPACIO PÚBLICO	ACCESO_ARBO_POB	Porcentaje de población de la unidad de análisis que tiene acceso a zonas arboladas.

