

# Evaluación del impacto de las temperaturas extremas sobre la salud en el País Vasco bajo condiciones de cambio climático

OSATU. Olas de calor y salud. Impactos y adaptación en Euskadi







Proyecto Klimatek 2016

---

# Evaluación del impacto de las temperaturas extremas sobre la salud en el País Vasco bajo condiciones de cambio climático

OSATU. Olas de calor y salud. Impactos y adaptación en Euskadi

---





**Ihobe, Ingurumen Jarduketarako Sozietate Publikoa**  
**Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental**

**EDITA:**

Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental  
Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda  
Gobierno Vasco

Alda. de Urquijo n.º 36-6.<sup>a</sup> (Plaza Bizkaia)  
48011 Bilbao

**info@ihobe.eus | www.ihobe.eus**  
**www.ingurumena.eus**

**EDICIÓN:**

Abril 2017

**CONTENIDO:**

Este documento ha sido elaborado para Ihobe por el centro de investigación BC3 Research (Aline Chiabai y Elisa Sainz de Murieta), gracias a la financiación recibida en el marco de la convocatoria 2016 de Ayudas Klimatek I+B+G para la realización de proyectos I+D, Innovación y demostración en adaptación al cambio climático.

---

## ***Agradecimientos***

Las autoras quieren agradecer a Larraitz Etxebarriarteun, del Departamento de Salud del Gobierno Vasco, por apoyarnos y orientarnos al comienzo de este proceso. El Dr. Fernández de Arroyabe nos aportó algunas claves importantes sobre cómo abordar la caracterización del impacto. El Director de Atención de Emergencias, Pedro Anitua, y el responsable de Euskalmet, Jose Antonio Aranda, nos explicaron en detalle cómo funciona el Plan de Emergencias y el sistema de alerta en la Comunidad Autónoma Vasca, nos ayudaron con la estimación de costes de dicho sistema de alerta y además nos orientaron sobre la prioridad y la necesidad principal para la mejora del sistema de alerta en relación a las olas de calor extremo. Por último, queremos agradecer a Marian Barquín y Mariluz Gomez por su disponibilidad y flexibilidad durante toda la gestión del proyecto.



Los contenidos de este documento, en la presente edición, se publican bajo la licencia:  
Reconocimiento – No comercial – Sin obras derivadas 3.0 Unported de Creative Commons  
(más información [http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/deed.es\\_ES](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/deed.es_ES))

## Índice de contenidos

### AGRADECIMIENTOS

¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
1.1	LAS POLÍTICAS EUROPEAS EN MATERIA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO	3
1.2	ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EUSKADI: LA ESTRATEGIA KLIMA 2050	4
1.3	EL PROYECTO OSATU: OLAS DE CALOR Y SALUD: IMPACTOS Y ADAPTACIÓN EN EUSKADI	5
<b>2</b>	<b>PROYECCIONES DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA EUSKADI</b>	<b>6</b>
2.1	ZONAS DE ESTUDIO	6
2.2	SUPERACIÓN DE UMBRALES CRÍTICOS	6
2.3	PROYECCIONES DE TEMPERATURA MÁXIMA BAJO CONDICIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO	7
2.3.1	PROYECCIONES DEL IPCC	7
2.3.2	PROYECCIONES DE TEMPERATURA PARA EUSKADI	9
2.4	PROYECCIONES SOCIOECONÓMICAS PARA EUSKADI	13
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>14</b>
3.1	EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS SOBRE LA SALUD	14
3.2	LA ACLIMATACIÓN, UN PROCESO NATURAL DE ADAPTACIÓN	18
3.3	VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS IMPACTOS SOBRE EL RIESGO DE MORTALIDAD	20
3.4	ANÁLISIS DE LOS COSTES Y BENEFICIOS DE UN SISTEMA POTENCIAL DE ALERTA DE OLA DE CALOR	23
3.4.1	EVALUACIÓN DE LOS COSTES DE ADAPTACIÓN	23
3.4.2	EVALUACIÓN DE LOS COSTES DE IMPACTO	24
3.4.3	EVALUACIÓN DE LOS BENEFICIOS	25
3.4.4	RATIO COSTE-BENEFICIO	25
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>26</b>
4.1	IMPACTOS EN LA MORTALIDAD	26
4.2	BENEFICIOS ECONÓMICOS DE LA MORTALIDAD EVITADA	30
4.3	COSTES ECONÓMICOS	30
4.4	RATIO COSTE-BENEFICIO	34
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>36</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>40</b>
<b>ANEXO 1. PROYECTOS SIMILARES EN OTROS ENTORNOS, ÁMBITOS GEOGRÁFICOS O SECTORES</b>		<b>43</b>

## 1 Introducción

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), las olas de calor son uno de los fenómenos meteorológicos extremos más peligrosos, aunque reciben una atención mucho menor que otros eventos meteorológicos extremos de naturaleza más violenta y espectacular, como huracanes, ciclones o inundaciones. A pesar de este menor interés, las olas de calor pueden generar impactos significativos en nuestras sociedades, incluyendo un aumento de la morbilidad y la mortalidad. Las olas de calor pueden ocasionar, además, un estrés importante sobre las infraestructuras energéticas, hidráulicas y de transporte, así como efectos sobre los ecosistemas y el turismo. Representan, por tanto, no sólo un problema importante de salud pública, sino también un problema socioeconómico (WMO and WHO, 2015). A futuro, el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) advertía en su último informe de que, debido al calentamiento global, las olas de calor han aumentado ya su ocurrencia y se espera un aumento de la frecuencia, intensidad y duración de estos fenómenos también en las próximas décadas (IPCC, 2012, 2013).

Los impactos de los eventos de calor extremo sobre la salud pueden ser extremadamente graves. Durante la ola de calor que afectó a Europa en julio y agosto de 2003, algunos autores estiman que pudieron registrarse hasta 70,000 muertes en 16 países (principalmente Francia e Italia), debido a las temperaturas extremas (Robine et al., 2008). En el desarrollo del proyecto europeo PESETA se estimó que la mortalidad aumenta entre 1 y 4% por cada grado de aumento de la temperatura, de forma que la mortalidad relacionada con calor extremo podría aumentar en Europa en 30.000 muertes en 2030 y entre 50.000 y 110.000 a partir de 2080 (Paci, 2014). En general, las olas de calor tienden a ser más graves en las zonas urbanas, debido al efecto isla de calor<sup>1</sup>, aunque las zonas y comunidades rurales tampoco están exentas de sufrir impactos severos. Además, no existe una medida de referencia universal, como por ejemplo un límite de temperatura que defina qué es calor extremo, sino que esta referencia es relativa respecto del clima local o regional. De hecho, una misma condición meteorológica puede ser considerada como un fenómeno extremo en un lugar, y no en otro.

Una de las principales medidas de prevención y reducción de los efectos de las olas de calor es la implementación de sistemas de alerta de olas de calor (en adelante, SAOC) que consisten en un aviso a la población, la emisión de alertas, consejos y medidas de emergencia para reducir el impacto de las temperaturas extremas. La implementación de los SAOC ha demostrado ser una herramienta eficaz para reducir el riesgo de mortalidad durante eventos extremos pasados, como la ola de calor registrada en 2003 en Europa.

Incluso en aquellas zonas donde las olas de calor no hayan representado un riesgo hasta ahora, los gobiernos tendrán que considerar la posibilidad de un aumento de los eventos de calor extremo y en consecuencia definir planes de contingencia para proteger a sus ciudadanos y ciudadanas de este riesgo. Las zonas urbanas tendrán que enfrentarse no sólo al cambio climático, sino también a un

---

<sup>1</sup> El efecto isla de calor se define como “el calor relativo de una ciudad en comparación con las zonas rurales del entorno, y que está relacionado con cambios en la escorrentía superficial, el efecto de retención del calor (de las superficies pavimentadas) y los cambios en el albedo superficial” (IPCC, 2014).

desarrollo urbano y aumento de la población que podría exacerbar los potenciales impactos sobre la salud. Una vez más debemos subrayar la importancia de definir adecuadamente los umbrales de temperatura

Hasta el momento, las olas de calor no han representado un problema de salud de primera magnitud en Euskadi, sin embargo de acuerdo con la información existente actualmente, las temperaturas máximas durante el verano podrían aumentar hasta 3 °C y 4 °C debido al cambio climático (Gobierno Vasco, 2011). Este incremento de temperatura podría inducir un aumento de la incidencia de los problemas relacionados con las temperaturas extremas. De hecho, un estudio reciente realizado por investigadores del Instituto de Salud Carlos III (Díaz et al., 2015) identifica una temperatura umbral para diferentes capitales de provincia españolas, incluidas las capitales vascas, a partir de la cual la tasa de mortalidad aumenta significativamente.

Euskadi cuenta desde 2006 con un Plan de Prevención en Situación de Ola de Calor (Departamento de Salud, 2006) que describe los potenciales efectos de una situación de calor extremo sobre la salud de las personas e identifica los principales grupos de riesgo. Las medidas que actualmente el plan de 2006 incluye un sistema de alerta temprana, que cuenta con un sistema de alerta meteorológica que se gestiona desde la Dirección de Emergencias del Gobierno Vasco en colaboración con Euskalmet, así como la vigilancia de la salud pública, incluyendo mortalidad y morbilidad. También hay varias medidas relacionadas con la comunicación e información al público general y el personal sanitario, y otras acciones sectoriales que se centran en reforzar la atención en las zonas especialmente sujetas al riesgo (por ejemplo, centros de distribución de alimentos).

Aunque actualmente existen planes para prevenir y paliar el impacto de las olas de calor sobre la salud en Euskadi, lo cierto es que, como consecuencia del cambio climático, se espera que este tipo de fenómenos meteorológicos extremos puedan aumentar. De acuerdo con un estudio realizado en 2010, los cambios más importantes, en relación a la frecuencia e intensidad de las olas de calor, se espera que sean más importantes en el sur de Europa. En la región mediterránea, incluyendo la península ibérica, las proyecciones indican que se podría pasar de una media de dos días de ola de calor en verano en el periodo 1961-1990 a 13 días a mediados de siglo (2021-2050) y hasta 40 días en 2071-2100 (Fischer and Schär, 2010). Otro estudio reciente concluía que la frecuencia de un evento extremo como la ola de calor de 2003 se ha multiplicado por 10. Además, los resultados mostraban una tendencia clara hacia el aumento en la frecuencia de estos eventos en el futuro (Christidis et al., 2015). En este contexto, resulta por tanto fundamental no sólo hacer frente a los riesgos actuales sino buscar fórmulas para adaptarse a los cambios que se espera que sucedan en el futuro (OMS, 2015).

## **1.1 Las políticas europeas en materia de adaptación al cambio climático**

El marco europeo en materia de impactos y adaptación es la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la UE (Comisión Europea, 2013). El Objetivo 2 de dicha estrategia está relacionado con la necesidad de tomar decisiones en base a un mayor y mejor conocimiento. En el marco de este Objetivo 2 se enmarca la actuación 4, que identifica una serie de aspectos en los que actualmente existe un déficit de conocimiento. La metodología y los resultados obtenidos en OSATU y que se presentan en este informe contribuyen a cada una de estas áreas de conocimiento que la Comisión Europea ha identificado como prioritarias:



- i. **La existencia de medios para el seguimiento y la evaluación de los esfuerzos de adaptación:** la metodología presentada en este informe permite actualizar los resultados a la luz de nueva información, así como estimar la efectividad de sistema de alerta en relación al impacto sobre la mortalidad. También se explora la relación entre temperatura y morbilidad, en la que podría profundizarse a futuro.
- ii. **El desarrollo de evaluaciones de riesgos y análisis a escala regional:** en los documentos de referencia de la Comisión Europea, incluyendo los informes de la Agencia Ambiental Europea (EEA) así como la literatura científica hacen hincapié en el carácter local-regional de la adaptación, lo cual implica establecer soluciones a medida para las diferentes regiones. Eso es precisamente lo que se ha planteado en OSATU, un análisis específico adaptado a la realidad climática y socioeconómica de la Comunidad Autónoma Vasca.
- iii. **La necesidad de disponer la información sobre daños, costes y beneficios de las políticas de adaptación:** precisamente en OSATU se ha llevado a cabo un análisis coste-beneficio de una de las principales medidas de adaptación en el marco de los impactos por olas de calor. La sección 3 presenta la metodología para la estimación de costes y beneficios y los valores obtenidos para las ciudades vascas analizadas se muestran en la sección 4.

Además, la Estrategia viene acompañada de un documento específico que aborda la adaptación al cambio climático en el ámbito de la salud y este documento recoge que la preocupación principal en relación al impacto de los eventos extremos sobre la salud de las personas en Europa está relacionada con el aumento del riesgo de mortalidad y morbilidad resultado del calor extremo. No en vano, en los últimos años se han financiado diversos proyectos de investigación en materia de adaptación al cambio climático en general, y que abordan el sector de la salud en particular. El Anexo 1 incluye un listado de los proyectos más relevantes. En OSATU ha sido ampliada y adaptada al contexto de la Comunidad Autónoma Vasca una metodología desarrollada en caso de estudio realizado en la ciudad de Madrid en el marco del proyecto europeo FP7-BASE Bottom-up Climate Adaptation Strategies towards a Sustainable Europe<sup>2</sup>.

## 1.2 Adaptación al cambio climático en Euskadi: la Estrategia Klima 2050

La Estrategia KLIMA 2050 representa el documento marco para la lucha contra el cambio climático en Euskadi y se estructura en base a dos objetivos principales, Mitigación y Adaptación al cambio climático, que se desarrollan a través de 9 Metas a 2050. Cada meta está a su vez dividida en diversas líneas de actuación hasta un total de 24 y 70 acciones específicas.

La Estrategia KLIMA 2050 incorpora un análisis detallado de las necesidades de adaptación por sectores, entre ellos el de la salud pública. En este apartado se menciona específicamente la temperatura, entre otros drivers climáticos, su efecto en forma de olas de calor y la morbi-mortalidad relacionada con los fenómenos de calor extremo. Además, se destaca otro aspecto muy relevante en relación al impacto potencial y también en relación a los procesos de aclimatación, como es el envejecimiento de la población en Euskadi y el aumento de la esperanza de vida.

---

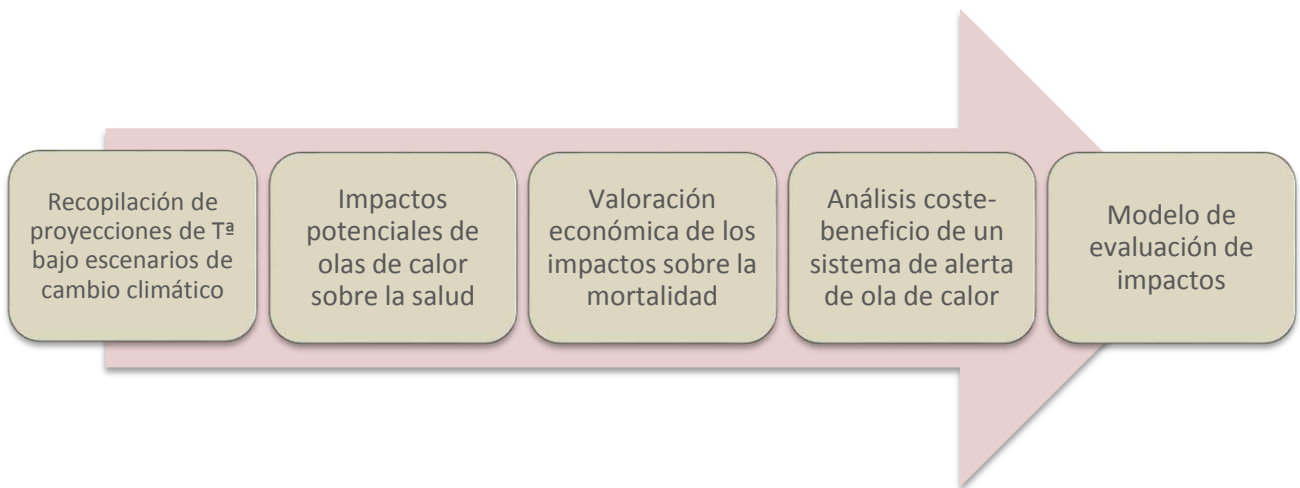
<sup>2</sup> Más información disponible en: <http://base-adaptation.eu/> y Chiabai et al. (submitted).



La convocatoria Klimatek se plantea para dar respuesta, al menos, a las Metas 3, 4 y 5 que persiguen aumentar la resiliencia del territorio, el medio natural y el sector primario frente el cambio climático. Además, la convocatoria está estrechamente relacionada con la línea de actuación 18 sobre innovación, mejora y transferencia de conocimiento científico. El proyecto OSATU se desarrolla en coherencia con estos objetivos: por un lado, los resultados pueden contribuir a aumentar la resiliencia de la ciudadanía frente a eventos de calor extremo; por otro lado, la evaluación del impacto de los fenómenos de ola de calor en la salud de las personas responde a la Acción 50 de la Estrategia.

### 1.3 El Proyecto OSATU: Olas de calor y salud: impactos y adaptación en Euskadi

El proyecto OSATU se planteó con el objetivo de desarrollar una metodología para ayudar a la toma de decisiones en materia de prevención de los efectos de las olas de calor sobre la salud en Euskadi. Para alcanzar este objetivo general, se definieron cinco fases, tal y como se muestra en la Figura 1. El objetivo de este informe es presentar las principales conclusiones del desarrollo del proyecto.



**Figura 1.** Fases del modelo de evaluación de impactos de las olas de calor sobre la salud de las personas.

El presente informe presenta los resultados del proyecto, siguiendo la siguiente estructura: la sección 2 expone una introducción a la problemática de las olas de calor sobre la salud de las personas y contextualiza el proyecto en el marco de las prioridades de acción a escala europea, así como la Estrategia Klima 2050 aprobada por el Gobierno Vasco. La sección 3 presenta las proyecciones de temperatura para las zonas de estudio seleccionadas en base a dos escenarios de emisión (RCP4.5 y RCP8.5), así como las proyecciones socioeconómicas utilizadas.

La sección 4 desarrolla la metodología utilizada para determinar (i) los impactos potenciales de la temperatura extrema sobre la salud de las personas, (ii) una estimación económica de los impactos de las olas de calor en términos de mortalidad y (iii) un análisis coste-beneficio de un sistema de alerta de ola calor. La sección 5 presenta los principales resultados obtenidos para cada zona y, por último, la sección 6 recoge las principales conclusiones, limitaciones y recomendaciones.

## 2 Proyecciones de temperatura máxima para Euskadi

### 2.1 Zonas de estudio

Las zonas de estudio seleccionadas representan cada una de las zonas climáticas identificadas por Euskalmet, puesto que los sistemas de alerta están diseñados de forma específica para cada zona climática. La Tabla 1 muestra las localidades seleccionadas, tres de las cuales coinciden con las capitales de provincia y concentran la mayor parte de la población vasca.

**Tabla 1.** Zonas climáticas, localidades y estaciones meteorológicas estudiadas.

Zona climática	Localidad
Zona costera	Donostia-San Sebastián
Zona cantábrica interior	Bilbao
Zona de transición	Vitoria-Gasteiz
Eje del Ebro	Laguardia

### 2.2 Superación de umbrales críticos

Las actuaciones preventivas de los efectos del exceso de temperaturas sobre la salud se activan, en Euskadi, a partir de unos umbrales de temperaturas altas extremas específicos para cada zona climática. Existen tres niveles de alerta, para los cuales se ha definido una temperatura umbral determinada. Si bien los sistemas de alerta de otros fenómenos meteorológicos, como por ejemplo inundaciones, se realizan en base al *impacto esperado*. En el caso de las temperaturas extremas, su impacto en Euskadi es desconocido, por lo que los umbrales se han definido en base al percentil 95 de la temperatura máxima (Tabla 2)<sup>3</sup>. Dependiendo de la predicción meteorológica, se definen diferentes niveles de alerta que implican a su vez actuaciones de distinta índole por parte de la Dirección de Emergencias del Gobierno Vasco y las instituciones de salud. Es una práctica habitual utilizar el criterio meteorológico basado en percentiles de temperatura cuando no existen estudios epidemiológicos que analicen la relación entre la temperatura y la morbi-mortalidad.

Para determinar el impacto de las temperaturas extremas en Euskadi se han considerado los umbrales definidos en el estudio epidemiológico desarrollado por Díaz et al. (2015). El objetivo de este estudio fue determinar la temperatura máxima diaria a partir de la cual la mortalidad relacionada con el exceso de calor aumentaba de forma estadísticamente significativa. Los datos presentados en este informe se refieren a las capitales de provincia, por lo que no existen datos para Laguardia. Aunque establecer dicho umbral requeriría un estudio específico, como éste queda fuera del objeto de este informe, en el caso de Laguardia, se ha tomado como referencia el umbral definido para Logroño.

<sup>3</sup> Según conversación con la Director de Emergencias del Gobierno Vasco y Euskalmet.

Logroño es una capital de provincia que se encuentra a menos de 20 km de Laguardia y además comparten características geográficas y climáticas.

**Tabla 2.** Umbrales de temperaturas altas extremas definidos para cada zona climática de Euskadi.

Zona climática	Municipio de referencia	Umbral de temperatura (°C)			Díaz et al. (2015)
		Alerta del Plan de Prevención de Euskadi			
		Amarilla	Naranja	Roja	
Zona costera	Donostia-San Sebastián	≥ 33	≥ 35	≥ 37	≥ 30
Zona cantábrica interior	Bilbao	≥ 36	≥ 38	≥ 40	≥ 30
Zona de transición	Vitoria-Gasteiz	≥ 35	≥ 37	≥ 39	≥ 34
Eje del Ebro	Laguardia	≥ 36	≥ 38	≥ 40	≥ 36

Nótese que en todos los casos la diferencia de temperatura estimada usando como criterio el aumento estadísticamente significativo de la mortalidad es inferior a las temperaturas recogidas en el Plan de prevención.

El Plan de alerta y prevención no sólo incorpora umbrales de superación de la temperatura máxima, que representa la magnitud del impacto, sino que también considera la persistencia. En este caso, se establece la superación de límites de temperatura máxima y mínima en cada zona durante un tiempo determinado. Estos límites definidos en el plan se muestran en la Tabla 3, a continuación:

**Tabla 3.** Umbrales de temperaturas altas persistentes definidos para cada zona climática de Euskadi.

Zona climática	Municipio de Referencia OSATU	Umbrales de temperatura (°C)		Alerta en función de los días consecutivos en que se superan los umbrales		
		Tmin	Tmax	Amarilla	Naranja	Roja
		Zona costera	Donostia-San Sebastián	≥19	≥30	1 ó 2
Zona cantábrica interior	Bilbao	≥17	≥35			
Zona de transición	Vitoria-Gasteiz	≥17	≥35			
Eje del Ebro	Laguardia	≥18	≥36			

## 2.3 Proyecciones de temperatura máxima bajo condiciones de cambio climático

### 2.3.1 Proyecciones del IPCC<sup>4</sup>

Durante más de 10 años, los escenarios de referencia utilizados fueron los desarrollados en el informe especial del IPCC denominado Special Report on Emissions Scenarios, SRES (IPCC, 2000). Los SRES son escenarios de referencia que no representan una/s determinadas políticas climáticas pero que pueden

<sup>4</sup> Esta sección está basada en el BC3 Working Paper “New climate scenario framework implementation in the GCAM Integrated Assessment Model”, elaborado por Capellán y otros autores. El documento completo puede consultarse en el siguiente enlace: <http://www.bc3research.org/workingpapers/2014-04.html>

utilizarse como referencia para proyecciones futuras de los impactos del cambio climático y otras políticas en el futuro. Los escenarios SRES se clasifican en cuatro familias (A1, A2, B1 y B2) que a su vez comprenden 40 escenarios específicos, cada uno de los cuales hace asunciones diferentes hasta 2100 sobre crecimiento económico, aumento de población, desarrollo tecnológico, energía y cambios de usos del suelo.

Sin embargo, en 2006 el IPCC decidió cambiar el enfoque, principalmente por tres motivos: en primer lugar, la necesidad de disponer de información más detallada para trabajar con la última generación de modelos climáticos; en segundo lugar, debido a un interés creciente en escenarios que puedan explorar de forma explícita el impacto de diferentes políticas climáticas; en tercer lugar, la conveniencia de abordar de forma conjunta el papel de las políticas de mitigación y adaptación. Este cambio de enfoque se desarrolló por parte de la comunidad científica, fuera del proceso IPCC, en tres fases:

1. Fase de desarrollo de un grupo de escenarios que contuviera emisiones, concentración y trayectorias de usos del suelo. A este grupo de escenarios se le ha denominado “Sendas de Concentración Representativas” (Representative Concentration Pathways, RCP).
2. Fase de ejecución de modelos climáticos y desarrollo de nuevos escenarios socioeconómicos (“Shared Socioeconomic Pathways”, SSPs).
3. Fase de integración y diseminación.

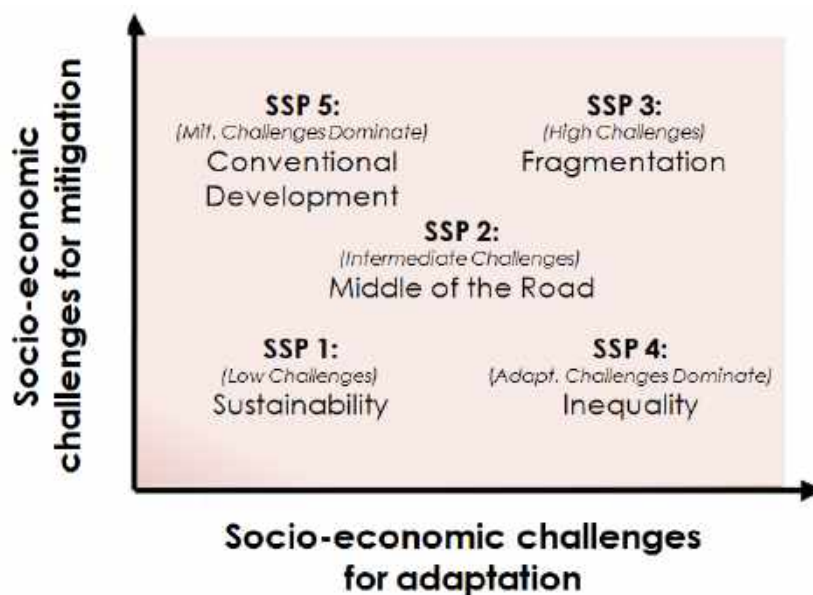
El resultado de este proceso son cuatro RCPs principales, que representan distintos niveles de forzamiento radiativo (forzamiento 2.6, 4.5, 6.0 and 8.5  $W\ m^{-2}$ ). En su último informe, el IPCC definió el forzamiento radiativo como la “variación, expresada en  $W\cdot m^{-2}$ , del flujo radiativo (la descendente menos la ascendente) en la tropopausa o en la parte superior de la atmósfera, debida a una variación del causante externo del cambio climático” (IPCC, 2014: 192). De una forma sencilla, podemos decir que el escenario de menor forzamiento radiativo, RCP2.6 representa menores emisiones a la atmósfera y, por tanto, un menor cambio climático, y viceversa.

Los RCPs deben integrarse con los nuevos escenarios socioeconómicos (SSP1 a SSP5). Una novedad importante de los escenarios socioeconómicos es que cada escenario integra los dos retos principales de la política climática: la mitigación y la adaptación (Figura 2). Cada senda representa diferentes tendencias en aspectos clave, tales como la demografía, la economía, las políticas, la realidad institucional, el desarrollo tecnológico, etc. Tal y como muestra la Figura 2, el escenario SSP1 representaría una situación en la que las emisiones globales son relativamente bajas comparadas con el resto de escenarios y, por tanto, los retos de adaptación y mitigación son también bajos. El escenario intermedio corresponde al SSP2, en el cual ambos retos de mitigación y adaptación son importantes, aunque no implican situaciones severas.

El SSP5 representa un desarrollo convencional en el que los estados concentran sus esfuerzos en el desarrollo económico, al margen de las consecuencias ambientales del mismo. Es un escenario que requiere de un gran esfuerzo de mitigación.

En este proyecto utilizamos datos climáticos correspondientes a los escenarios de emisión RCP4.5 y RCP8.5. El primero es un escenario intermedio comparable al SRES B1. Se caracteriza por reducciones de emisiones ambiciosas, en línea con la adopción de políticas climáticas, con una baja intensidad

energética, una importante reforestación global, el aumento de la producción agraria y cambios en los hábitos de alimentación que implicarían una presión menor sobre las tierras de cultivo y de pasto. En contraposición, el segundo escenario representa una situación en la que existe una gran dependencia y uso de los combustibles fósiles, una situación que se caracteriza por un menor desarrollo tecnológico, una intensidad energética elevada, un elevado aumento de la población que genera una gran demanda en el uso de tierras de cultivo y de pasto. Además, no se abordarían nuevas políticas climáticas de forma que se espera un aumento importante de emisiones, hasta tres veces mayores que los niveles actuales. Podemos referirnos al RCP8.5, por tanto, como un escenario pesimista. En relación a los escenarios socioeconómicos, hemos seleccionado el escenario SSP2 para acompañar al RCP4.5, mientras que el RCP8.5 se integra con el escenario socioeconómico SSP5.



**Figura 2.** Cinco escenarios socioeconómicos que se desarrollan entorno a los retos de adaptación (Eje X) y mitigación (EJE Y). Fuente: O'Neill et al., (2012).

### 2.3.2 Proyecciones de temperatura para Euskadi

En la primera fase del proyecto, se analizaron las series históricas de temperatura máxima diaria de cada municipio junto con las proyecciones climáticas definidas por AEMET. No obstante, debido a una serie de limitaciones finalmente se optó por utilizar las proyecciones regionalizadas desarrolladas por Scoccimaro and Gualdi (2014) en el marco del proyecto europeo FP7-BASE, y sus resultados finales son los que se han utilizado en el marco de este informe.

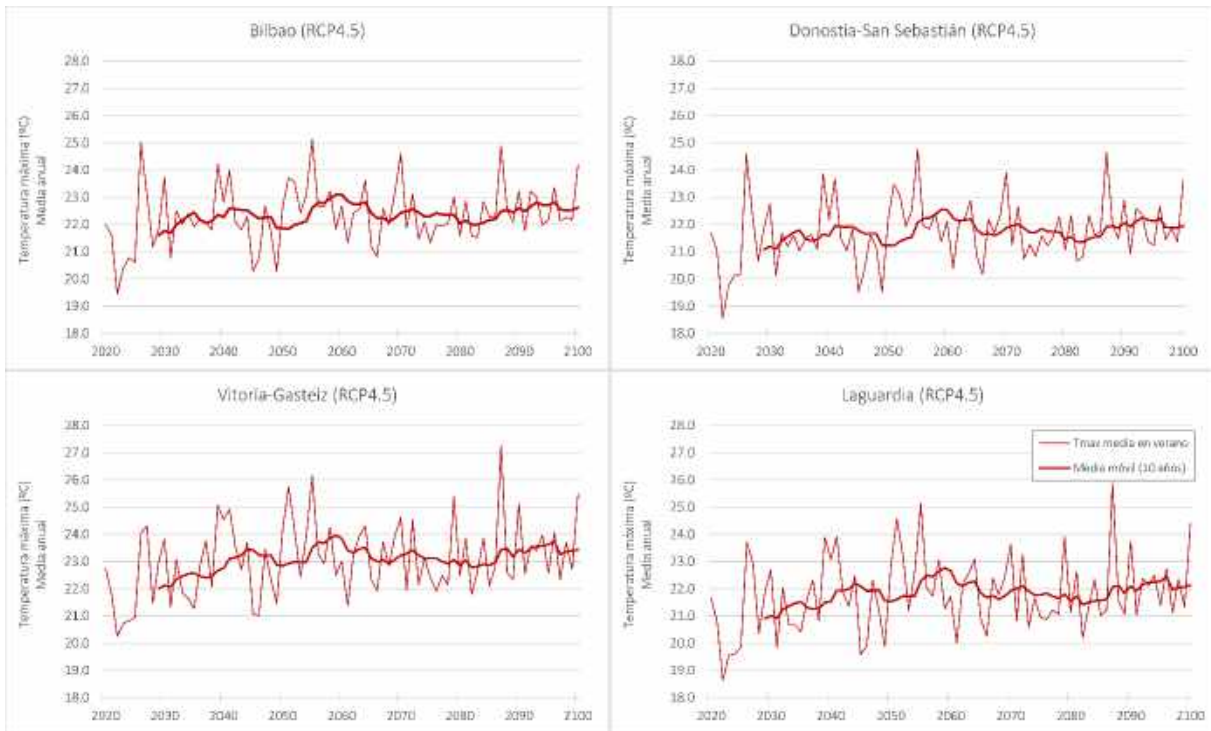
El análisis de temperaturas se ha desarrollado comenzando en 2020 y abarcando hasta final de siglo para los escenarios RCP4.5, que hemos visto que se trata de un escenario intermedio de emisión, y RCP8.5, que se trata de un escenario en el que no se han implementado esfuerzos de mitigación significativos y por tanto las emisiones esperadas son muy altas y los impactos potenciales son severos. En relación a las proyecciones de temperatura, se ha obtenido una senda de temperatura máxima para cada escenario a partir de Scoccimaro and Gualdi (2014), que regionalizaron simulaciones del Proyecto CMIP5 (Coupled Models Intercomparison Project) utilizando el modelo regional Rossby Center Atmosphere (RCA4).

La Figura 3 muestra la media anual de la temperatura máxima diaria durante los meses de verano (del 1 de junio al 30 de septiembre) en el escenario RCP4.5, que presenta una variabilidad importante. En este escenario de emisión no se observan aumentos drásticos de temperatura para ninguna de las ciudades estudiadas, aunque sí se advierte un aumento de la tendencia media móvil en todos los casos. En Bilbao, la media de la temperatura máxima diaria aumenta en aproximadamente 1°C a final de siglo, y algo menos en el caso de Donostia-San Sebastián. En Laguardia la temperatura máxima aumentaría por encima de 1°C, mientras que en Vitoria-Gasteiz aumentaría alrededor de 1,5°C.

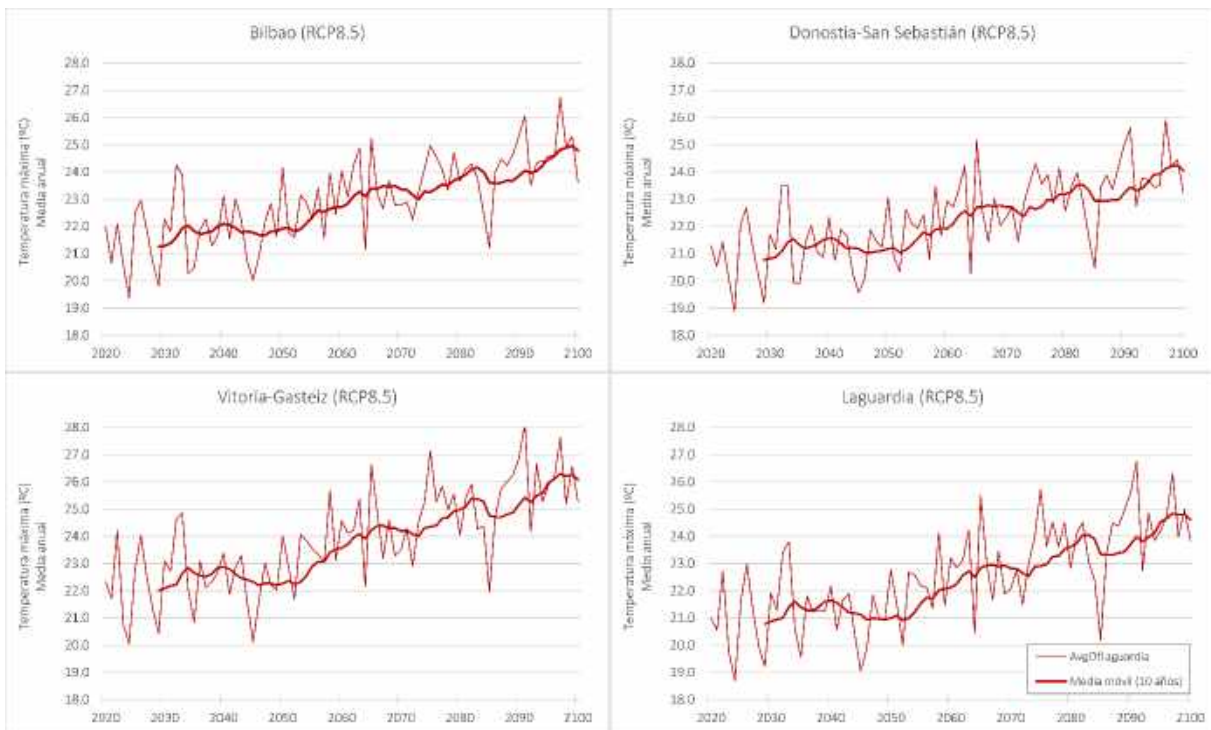
Los resultados cambian cuando se consideran la proyección de temperatura máxima en el escenario RCP8.5, donde puede observarse que esta aumenta notablemente. Tal y como muestra la Figura 4, en el caso de Bilbao, la media móvil pasa de algo más de 21°C en 2020 a casi 25°C en 2100, es decir, aumenta en casi 4°C. El caso de Laguardia es similar al de Bilbao y en Vitoria-Gasteiz la media anual de la temperatura máxima diaria pasa de 22°C a más de 26°C a final de siglo. El cambio es menor en Donostia, donde se pasa de casi 21°C en 2020 a 24°C en 2100.

Nótese que las proyecciones de temperatura máxima representadas en las Figuras 3 y 4 son una media anual de la temperatura máxima diaria durante el verano, de ahí el hecho de que estén alrededor de 22°C, que a priori puede parecer baja. No obstante, en la sección 3.1 sobre impactos en la salud se muestra el cambio en la temperatura máxima cuando se supera la temperatura umbral (Figura 8). Este dato es fundamental puesto que es la temperatura umbral la que condiciona el impacto sobre la salud.

Además del cambio en la temperatura máxima diaria, también se ha analizado el cambio en el número de días en que se supera la temperatura umbral definida por Díaz et al. (2015) para cada una de las ciudades recogida en la Tabla 2. Este análisis persigue estudiar no sólo la intensidad de las olas de calor, en términos de la temperatura máxima alcanzada, sino su  $p$ , es decir, si aumenta el número de veces en que se superan determinados umbrales a partir de los cuales se han detectado impactos sobre la salud.



**Figura 3.** Proyecciones de temperatura máxima diaria para el RCP4.5. Las figuras muestran la media anual de la temperatura máxima durante los meses de verano en cada una de las ciudades analizadas y la media móvil de la serie.



**Figura 4.** Proyecciones de temperatura máxima diaria para el RCP8.5. Las figuras muestran la media anual de la temperatura máxima durante los meses de verano en cada una de las ciudades analizadas y la media móvil.

Las Figuras 5 y 6 muestran los cambios en el número de días en los que la temperatura máxima supera la temperatura umbral, en el escenario de emisión RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente. En el escenario



RCP4.5 no se observa una variación importante en el número de días en que se supera la temperatura umbral de cada ciudad durante el verano. Sin embargo, el número de días aumenta de manera importante en el escenario RCP8.5.

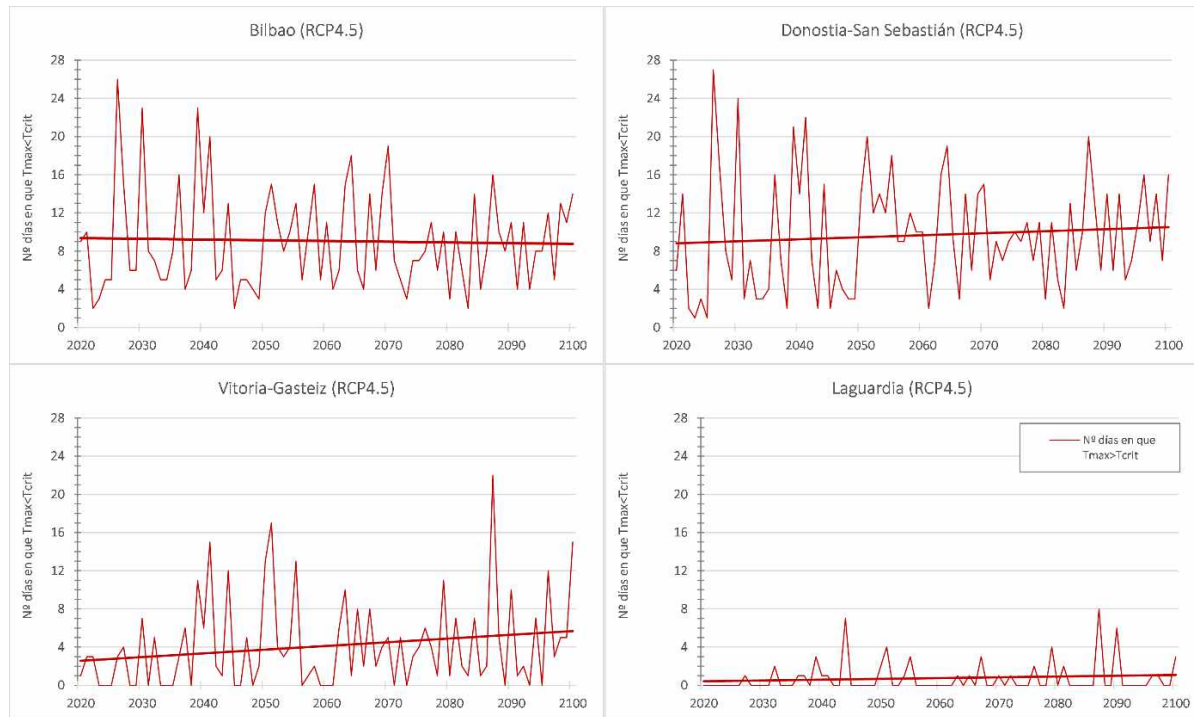


Figura 5. Número de días en que la temperatura máxima supera la temperatura umbral, en el escenario de emisión RCP4.5.

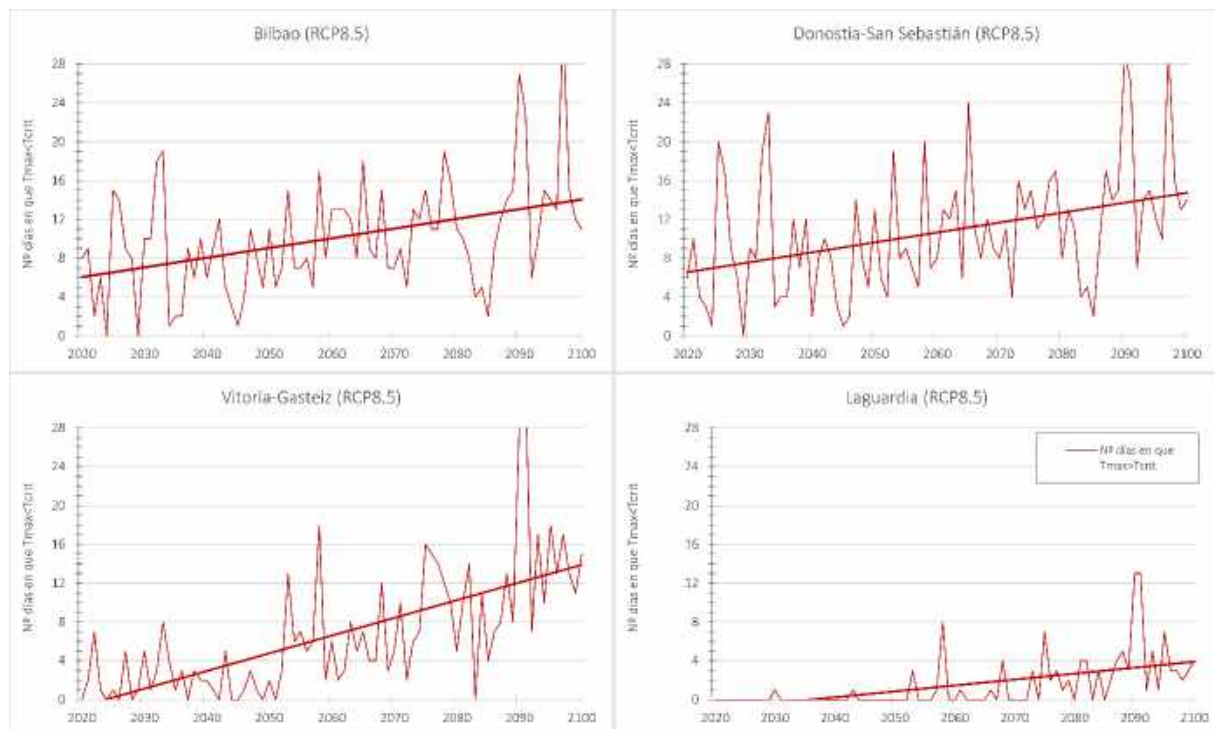
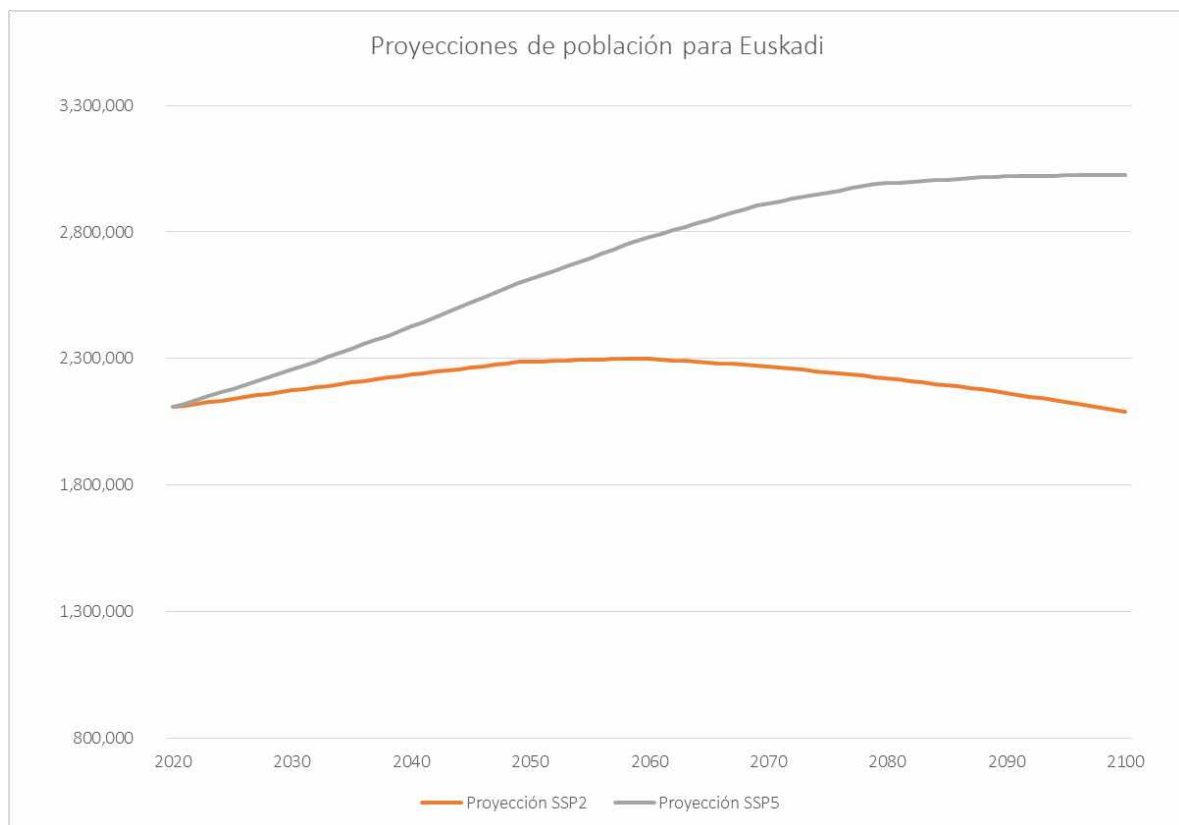


Figura 6. Número de días en que la temperatura máxima supera la temperatura umbral, en el escenario de emisión RCP8.5.

## 2.4 Proyecciones socioeconómicas para Euskadi

Para la estimación de costes y beneficios en el futuro, se han utilizado proyecciones del producto interior bruto (PIB) per cápita y de población. En el primer caso, los datos de crecimiento utilizados son los correspondientes a los escenarios SSP2 y SSP5 para España, elaborados por IIASA<sup>5</sup>. Tal y como se ha comentado anteriormente, las proyecciones del escenario de emisión RCP4.5 se combinan con el escenario socioeconómico SSP2, que representa un escenario intermedio y que implica una heterogeneidad importante a escala intra- e internacional. El escenario de emisión RCP8.5 se acopla con el SSP5, que se caracteriza por un crecimiento económico alto y rápido, así como un aumento importante de la población y el consumo, junto con una falta de acción global en materia ambiental.

Para las proyecciones de población, se han utilizado las obtenidas a partir de los escenarios socioeconómicos SSP2 y SSP5 por IIASA<sup>5</sup> para España (Figura 7). Tal y como puede observarse, la proyección del SSP2 muestra un ligero aumento de la población hasta mediados de siglo y una reducción más pronunciada a partir de ese momento. Por el contrario, el escenario SSP5 presenta un aumento de población pronunciado hasta 2080 aproximadamente, momento a partir del cual se estabiliza.



**Figura 7.** Proyecciones de población utilizadas en el estudio.

<sup>5</sup> Esta información está disponible de forma gratuita en: <https://tntcat.iiasa.ac.at/SspDb/>

Ambas proyecciones socioeconómicas se han utilizado para ajustar en el futuro la mortalidad de base durante los días de ola de calor, los costes del sistema de alerta y prevención antes olas de calor (tanto en relación a la población, como al crecimiento del PIB per cápita), así como el Valor de una Vida Estadística (VVE) que es el valor monetario atribuido por la sociedad a una vida estadística), y el valor de los Años de Vida Potencialmente Perdidos (AVPP), para tener en consideración el cambio en el bienestar de las personas asociado a un cambio en el PIB real.

### 3 Metodología

La metodología se ha desarrollado en tres fases: en primer lugar, se han evaluado los impactos de las temperaturas extremas sobre la salud, en términos de mortalidad (subsección 3.1). En el apartado 3.2 se aborda el enfoque utilizado para incorporar procesos de aclimatación fisiológica y a continuación, se ha estimado el impacto económico del riesgo de mortalidad asociada a fenómenos de olas de calor (subsección 3.3). Por último, se ha realizado un análisis coste-beneficio del sistema alerta de ola de calor (SAOC) en las áreas urbanas seleccionadas (subsección 3.4).

#### 3.1 Evaluación de los impactos sobre la salud

Existen diferentes técnicas para medir los impactos de diferentes factores ambientales sobre la salud. En el caso de las olas de calor, se ha construido una función que relaciona el impacto sobre mortalidad con las siguientes variables: la mortalidad de base, la evolución de la población, la diferencia de temperatura entre la temperatura máxima y la temperatura umbral ( $T_{umb}$ ), el número de olas de calor y el riesgo atribuible a las olas de calor.

En concreto la mortalidad esperada ( $M$ ) en el año  $t$  y localidad  $l$ , debido al efecto de las temperaturas extremas puede estimarse en base a la Ecuación 1, tal y como se muestra a continuación:

$$M_{t,l} = B_{t,l} \cdot \Delta T_{t,l} \cdot N_{t,l} \cdot RM_l \quad (1)$$

Donde  $B$  es la mortalidad de base que representa la media anual de la mortalidad diaria durante el verano (Junio-Septiembre) para el periodo 2000-2008 durante los días de ola de calor<sup>6</sup>, que ha sido estimada para cada ciudad ( $l$ );  $\Delta T$  es el exceso de temperatura cuando la temperatura máxima diaria supera la temperatura umbral;  $N$  es el número de días de ola de calor y  $RM$  es el riesgo de mortalidad medido como el riesgo atribuible al fenómeno de ola de calor (porcentaje por cada grado centígrado de incremento de la temperatura máxima diaria).

En este estudio, hemos utilizado el modelo epidemiológico desarrollado por Díaz et al. (2015) que estimaron la temperatura umbral para olas de calor ( $T_{umb}$ ) y el riesgo de mortalidad atribuible a las olas de calor ( $RM$ ), que representa el porcentaje de mortalidad diaria por causas naturales, que se puede atribuir a la exposición al calor excesivo. Para desarrollar el modelo, se utilizaron los datos de

---

<sup>6</sup> Entendiendo por día de ola de calor aquel en el que la temperatura máxima diaria iguala o supera la temperatura umbral.

mortalidad diaria debido a causas naturales, en las capitales de provincia y municipios mayores de 10.000 habitantes en España. El acceso a los datos de mortalidad fue posible mediante convenio con el Instituto Nacional de Estadística (INE). Éstos abarcaban el periodo entre el 1 de enero de 2000 y el 31 de diciembre de 2009, aunque el análisis se ha centrado en los datos correspondientes a los meses de verano, entre el 1 de junio y el 30 de septiembre. Los datos de temperatura máxima se obtuvieron a través de la red de estaciones meteorológicas de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

En OSATU se toman como referencia la temperatura umbral obtenida por Díaz et al. (2015) para Bilbao, Donostia-San Sebastián y Vitoria-Gasteiz y de Logroño como referencia para Laguardia, tal y como se ha explicado en la subsección 2.2. La temperatura umbral es la temperatura máxima del aire cuando la mortalidad diaria (al nivel de significación estadística del 95%) supera la mortalidad media diaria esperada, es decir, cuando estadísticamente se detecta un aumento significativo en la mortalidad diaria.

Por tanto, para poder estimar la mortalidad esperada en el futuro bajo condiciones de cambio climático, es necesario estimar las siguientes variables a partir de las proyecciones de temperatura máximas:

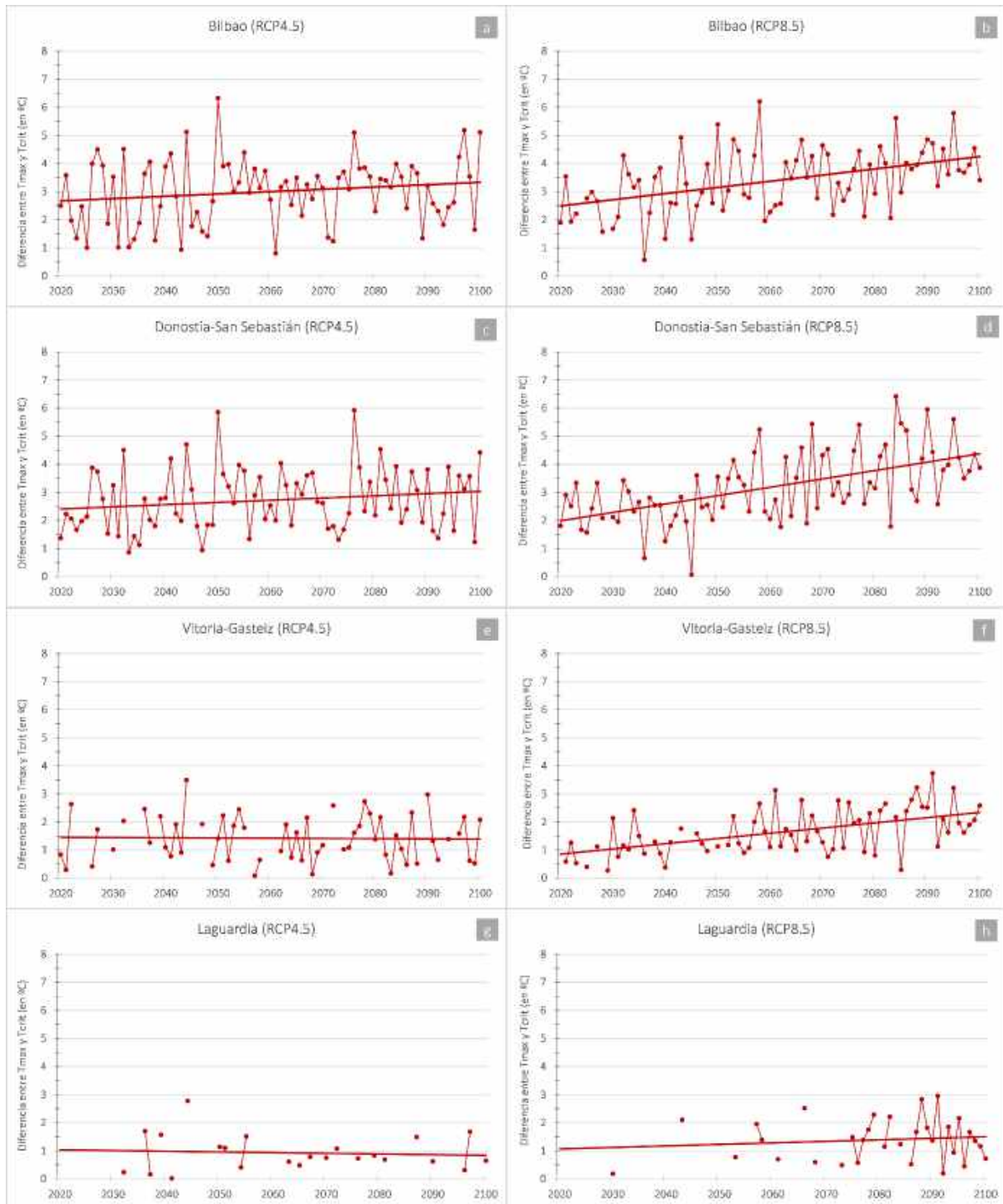
- Número de días (**N**) en que la temperatura máxima diaria obtenida para cada ciudad ( $T_{max}$ ) supera la temperatura umbral ( $T_{umb}$ ).
- Diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) entre la temperatura máxima (a partir de las proyecciones de cambio climático) y la temperatura umbral (obtenida de Díaz et al. (2015)).
- Riesgo de mortalidad atribuible al efecto de las olas de calor (**RM**).
- Mortalidad de base (**B**) durante los días de ola de calor.

Las dos primeras variables, **N** y  $\Delta T$ , se obtienen a partir de las proyecciones de temperatura y comparando estas con la temperatura umbral de cada zona de estudio. Es importante subrayar que tanto **N** como  $\Delta T$  se refieren a los días de ola de calor, es decir aquellos en los que la temperatura máxima diaria supera la temperatura umbral. El número de días en que la temperatura máxima supera la temperatura umbral (**N**) se ha mostrado previamente en las Figuras 5 y 6.

La diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura umbral en días de ola de calor ( $\Delta T$ ) se muestra en la Figura 8, a continuación. Tal y como puede observarse,  $\Delta T$  aumenta, en mayor o menor medida en todos los casos excepto en Vitoria-Gasteiz y Laguardia bajo el escenario RCP4.5 en que decrece ligeramente a final de siglo. No obstante, hay que tener en cuenta que en Vitoria-Gasteiz y especialmente en Laguardia hay una serie de años en que la temperatura máxima no supera la temperatura umbral establecida epidemiológicamente y a partir de la cual se detecta el impacto. Esto parece indicar que los umbrales establecidos en Díaz et al. (2015) basados en criterios epidemiológicos para estas dos ciudades podrían ser demasiado elevados y que otros factores importantes no han sido considerados.

La mortalidad de base (**B**) es el promedio anual de mortalidad media diaria durante los días de ola de calor en los meses de verano (Junio-Septiembre) y se ha obtenido para las ciudades vascas en el periodo 2000-2008 contrastando las estadísticas de mortalidad facilitadas por el Departamento de Salud del Gobierno Vasco con los datos de temperaturas máximas registradas en el mismo periodo. En primer lugar, se han identificado los días de ola de calor, entendiendo por ola de calor los días en que

la temperatura máxima ha superado a la temperatura umbral definida por Díaz et al. (2015) para cada ciudad. En segundo lugar, se ha estimado la media de mortalidad durante dichos días para todo el periodo analizado (2000-2008).



**Figura 8.** Diferencia ( $\Delta T$ ) entre la temperatura máxima y la temperatura umbral para cada ciudad en el escenario de emisión RCP4.5 (a la izquierda, figuras a, c, e, g) y RCP8.5 (a la derecha, figuras b, d, g, h).

El riesgo de mortalidad atribuible a las olas de calor (**RM**) es la proporción de mortalidad diaria por causas naturales que puede imputarse a la exposición al calor. Representa el riesgo adicional por cada grado centígrado que supera la temperatura de impacto. Este valor se obtiene a partir del riesgo relativo (**RR**) estimado por Díaz et al. (2015):  $RM = [(RR-1)/RR]/100$ .

La Tabla 4 presenta la temperatura umbral ( $T_{umb}$ ) y el riesgo relativo (**RR**), con su intervalo de probabilidad, tomados de Díaz et al. (2015), junto con la mortalidad de base y el riesgo de mortalidad atribuible al efecto de las olas de calor estimados para cada una de las ciudades vascas consideradas en este estudio.

**Tabla 4.** Impacto actual de los episodios de ola de calor sobre la mortalidad (línea de referencia).

Localidad	$T_{umb}$ (°C)	Riesgo relativo (RR)*	Riesgo mortalidad atribuible (RM)	Mortalidad de base (B)
Donostia-San Sebastián	≥30	1,07 (1,05-1,09)	6,54%	5,15
Bilbao	≥30	1,06 (1,06-1,07)	5,66%	9,26
Vitoria-Gasteiz	≥34	1,12 (1,06-1,18)	10,71%	4,48
Laguardia	≥36	1,08 (1,03-1,13)	7,41%	0,06

Nota: \* Valores en paréntesis indican el intervalo de confianza 95%.

Recordemos que la mortalidad de base es la media anual de la mortalidad diaria en los meses de verano para el periodo 2000-2008 durante los días de ola de calor. Una vez establecida ésta para cada ciudad, se ha calculado su valor a futuro ajustándolo en función de las proyecciones de población de los escenarios SSP2 para el RCP4.5 y SSP5 en el caso del escenario de emisión RCP8.5.

En el análisis de la mortalidad asociada a la exposición al calor se debe tener en cuenta la **mortalidad desplazada y prematura**. La primera se refiere a fallecimientos agudos que ocurren durante o inmediatamente después de un episodio de calor extremo y suelen afectar a personas que se encuentran en una situación de salud grave y cuyo fallecimiento hubiera sucedido en cualquier caso unos días o semanas después a la ola de calor. Es decir, estos fallecimientos se adelantan unos días o semanas (el llamado “efecto cosecha”) (Armstrong et al., 2014). En contraposición, el segundo tipo de mortalidad hace referencia al exceso de mortalidad en el caso de individuos sanos, que fallecen como consecuencia de la exposición al calor. Las personas ancianas son, no obstante, las más vulnerables, especialmente aquellas que viven solas, y también los niños, trabajadores o deportistas que realizan actividades durante periodos de calor extremo. La mortalidad prematura puede variar entre varios meses y el resto de la esperanza de vida de la persona en el momento del fallecimiento. Sin embargo, la mayoría de las personas que fallecen debido al estrés térmico suelen ser mayores de 75 años. A la hora de incorporar este efecto en la función de impacto, se ha considerado que la mortalidad desplazada varía entre el 35% y el 75% de las defunciones (Saha et al., 2014).

La mortalidad puede traducirse, por tanto, en el número de años de vida potencialmente perdidos para cada defunción, que puede ser un indicador mejor, especialmente si consideramos el efecto cosecha. Los Años de Vida Potencialmente Perdidos (AVPP) son los años que una persona deja de vivir si fallece a una edad que no es la fijada teóricamente para el colectivo al que pertenece. En otras palabras, es la diferencia entre la edad de defunción y la esperanza de vida (OECD, 2011). Para estimar los AVPP para las ciudades vascas se parte de la evidencia de que la mortalidad prematura afecta,

principalmente, a las personas mayores de 75 años (Linares et al., 2014). Así, la pérdida potencial se asume que varía entre 6 meses<sup>7</sup> y la diferencia entre el umbral de mortalidad prematura (75 años) y la esperanza de vida en Euskadi. El valor inferior de este rango de pérdida potencial de años de vida se deduce a partir de estudios de calidad del aire, donde se estiman los años de vida perdidos en fallecimientos agudos como consecuencia de la contaminación atmosférica (ExternE, 2005). Esto es posible debido a que existen sinergias entre el calor extremo y la contaminación atmosférica que afectan los sistemas cardiovasculares y respiratorios humanos. Los resultados se muestran en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Cálculo del número de años de vida potencialmente perdidos (AVPP) en Euskadi. Fuente: Eustat, Linares et al. (2014).

Territorio histórico	Esperanza de vida (años)			Umbral de mortalidad prematura (Linares et al., 2014)	Años de Vida Potencialmente Perdidos (AVPP)		
	Hombres	Mujeres	Media		Mín.	Máx.	Media
Álava/Araba	79,8	85,7	82,8	75	6 meses	7,8	4,1
Bizkaia	78,2	85,1	81,7	75	6 meses	6,7	3,6
Gipuzkoa	79,2	85,6	82,4	75	6 meses	7,4	4,0

Para Bilbao el valor de AVPP por cada día de ola de calor sería 3,6 años, en Donostia-San Sebastián sería de 4 años y en Vitoria-Gasteiz y Laguardia la pérdida potencial se estima en 4,1 años.

La pérdida de vida asociada a la mortalidad desplazada se estima a partir de referencias de la literatura, que establecen un valor puede variar entre unos días hasta un mes (Hajat et al., 2005; Saha et al., 2014). En este estudio asumimos que la pérdida es de 19 días, que es el valor promedio entre una semana y un mes.

### 3.2 La aclimatación, un proceso natural de adaptación

Además de las medidas de adaptación que puedan implementarse para reducir los efectos de las olas de calor en el futuro, se han encontrado evidencias de procesos de aclimatación fisiológica que permite al ser humano adaptarse, en el tiempo, a los cambios en las condiciones climáticas. Así, se espera que este proceso de aclimatación pudiera paliar, al menos en cierta medida, el aumento de la temperatura en el futuro. La mayoría de los estudios que analizan la relación entre temperatura y mortalidad en el futuro asumen escenarios estacionarios donde la relación temperatura-mortalidad es constante. Sin embargo, existen evidencias de que esta relación no es constante, por lo que proyectar los cambios de mortalidad no debería basarse exclusivamente en las proyecciones climáticas y demográficas (Gosling et al., 2009).

En definitiva, parece razonable asumir que la temperatura umbral irá aumentando paulatinamente a futuro, como consecuencia del aumento de la temperatura máxima. La dificultad consiste en

<sup>7</sup> El rango mínimo de pérdida de años de vida se ha tomado de estudios sobre impactos en la salud de la contaminación del aire (metodología ExternE, 2005).



determinar cómo va a ocurrir esa aclimatación. Gosling et al. (2009) sugieren tres métodos principales para estimar el alcance de la aclimatación. El primero consiste en asimilar la tendencia inherente de adaptación de una serie histórica por métodos estadísticos, y luego utilizar esta tendencia en las proyecciones de cambio climático. Aunque este método ha sido utilizado anteriormente para determinar la relación entre mortalidad y la variabilidad climática estacional, lo cierto es que se trata de aplicar un criterio basado en una relación histórica, que no tendría por qué seguir siendo igual en el futuro.

El segundo método implica realizar una interpolación a futuro de la relación dosis-respuesta de forma que la temperatura umbral se incrementa con el tiempo. Esto implica realizar una asunción de cómo varía esta relación en el tiempo. Este método ha sido utilizado por Dessai (2003), que asumió 1°C de aclimatación cada 30 años. El tercer método consiste en utilizar una ciudad análoga cuyo clima actual es similar a lo que las proyecciones climáticas muestran para la zona de estudio a futuro (Kalkstein and Greene, 1997; National Assessment Synthesis Team, 2000). De nuevo, este tercer método se basa en extrapolar una relación temperatura-mortalidad histórica pero tiene la limitación de no considerar las características socio-demográficas específicas de la localidad analizada y las implicaciones que estas podrían tener en relación a la mortalidad.

Es por esto que en este estudio, se ha definido el proceso de aclimatación para cada ciudad en función de la evolución de las proyecciones de temperatura máxima diaria de cada escenario. Una vez definidas las sendas de aclimatación se comparan los valores con la temperatura crítica de otras capitales de provincia próximas a la Comunidad Autónoma Vasca para comprobar si la asunción es razonable en el contexto geográfico y climático actual. Así, en el escenario de emisión RCP4.5 se plantea una aclimatación de 0,5°C a finales de siglo (a partir de 2070) para Bilbao y Donostia-San Sebastián, pero no se propone ningún tipo de aclimatación para Vitoria-Gasteiz y Laguardia, puesto que la variación de temperatura es muy pequeña.

En el escenario RCP8.5 se da un aumento mayor de la temperatura máxima por lo que se prevé que pudieran darse procesos de aclimatación en el tiempo que responden al aumento de temperatura esperado en este escenario. En Bilbao y Donostia-San Sebastián se propone aumentar la temperatura umbral en 1°C a mitad de siglo y un grado más a partir de 2075. En Vitoria-Gasteiz la aclimatación se daría a partir de 2050, cuando la temperatura umbral aumentaría en 0,75°C, y de nuevo en 2070. En el caso de Laguardia el proceso de aclimatación se daría antes, en 2040 y de nuevo en 2070. La temperatura umbral aumentaría en 1,5°C a finales de siglo. La Tabla 6 muestra un resumen de los procesos de aclimatación propuestos en cada ciudad y escenario de emisión.

En este estudio se ha considerado que el impacto con aclimatación representa el límite inferior del impacto de mortalidad. Se han incluido escenarios de aclimatación y no-aclimatación ya que también es posible que ésta no ocurra. Este sería el caso, por ejemplo, de un envejecimiento importante de la población, puesto que las personas ancianas tienen más problemas para aclimatarse y, además, son más vulnerables y pueden presentar problemas de salud no relacionados con el calor, pero que pueden agravarse como consecuencia de este. En este caso, un escenario de no-aclimatación parece realista y es por este motivo que se han estimado ambos escenarios a la hora de calcular los impactos potenciales.

**Tabla 6.** Aclimatación para cada ciudad analizada y escenario de emisión.

Zona climática	Municipio	Temperatura umbral actual (°C)	Aclimatación RCP4.5		Aclimatación RCP8.5	
			Año	Tumb(4.5)	Año	Tumb(8.5)
Zona costera	Donostia-San Sebastián	30	2020-2070	30	2020-2050	30
					2051-2075	31
			2071-2100	30,5	2076-2100	32
Zona cantábrica interior	Bilbao	30	2020-2070	30	2020-2050	30
					2051-2075	31
			2071-2100	30,5	2076-2100	32
Zona de transición	Vitoria-Gasteiz	34	2020-2100	34	2020-2050	34
					2051-2070	34,75
					2071-2100	35,5
Eje del Ebro	Laguardia	36	2020-2100	36	2020-2040	36
					2041-2070	36,75
					2071-2100	37,5

### 3.3 Valoración económica de los impactos sobre el riesgo de mortalidad

El valor económico del riesgo de mortalidad puede estimarse desde una perspectiva social a través del uso de dos indicadores: (i) el Valor de una Vida Estadística (VVE) que es el valor monetario atribuido por la sociedad a una vida estadística; (ii) el valor de los Años de Vida Potencialmente Perdidos (AVPP) que son los años que una persona deja de vivir si fallece a una edad que no es la habitual de defunción fijada teóricamente para ese colectivo (esperanza de vida). Es una medida de la mortalidad que teóricamente se podría evitar. Tal y como hemos visto en secciones anteriores sirve para estimar la pérdida de vida cuando ésta es inferior a una vida estadística completa (especialmente cuando se trata de mortalidad desplazada o efecto cosecha). La metodología utilizada en este estudio está basada en la que han desarrollado Chiabai et al. (*submitted*) en el marco del proyecto europeo FP7 BASE y ha sido adaptada al contexto del País Vasco.

En primer lugar, se ha realizado una revisión de la literatura para identificar la valoración económica del riesgo de mortalidad en base a los dos indicadores económicos mencionados (VVE y AVPP). Los valores de VVE estimados por la OECD (2011) varían entre 1,8 y 5,4 millones de dólares para Europa, valores similares a los obtenidos por de Ayala y Spadaro (2014), que oscilaban entre 1,2 y 6 M€ en adultos, también en el contexto europeo. Chilton et al. (2004) calcularon valores de AVPP considerando personas con buena y mala salud y varias opciones en la pérdida de la expectativa de vida en un contexto de contaminación atmosférica. De Ayala y Spadaro (2014) también estimaron valores de AVPP considerando patologías agudas y crónicas. Los valores de VVE utilizados en este trabajo son los obtenidos por de Ayala y Spadaro (2014) para adultos. En relación a AVPP se han tomado dos referencias: la de Chilton et al. (2004), que estimó la mortalidad desplazada en personas con problemas de salud preexistentes como una variación de la expectativa de vida de un mes, y la de de Ayala y Spadaro (2014) en el contexto de enfermedades crónicas para la mortalidad prematura. Todos los valores revisados pueden consultarse en la Tabla 7.

Debido a las diferencias temporales y espaciales entre los valores encontrados y las ciudades analizadas en este estudio, se ha realizado un ajuste de los valores originales, siguiendo las recomendaciones para la transferencia de valor recogidos elaborados por la OECD (2011). La transferencia de valor habitualmente incluye: (i) conversión de moneda, (ii) el ajuste de la inflación, (iii) el ajuste de renta en el espacio y (iv) en el tiempo, aunque no necesariamente en este orden. La elasticidad de la renta per cápita considerada en el ajuste espacial ha sido 0,8 y en el ajuste temporal 1. La guía de la OECD (2011) no recomienda ningún otro ajuste debido a la incertidumbre y la limitada evidencia relacionada con otros factores, tales como la edad, el estado de salud, los riesgos de base, etc.

**Tabla 7.** Resumen de la revisión de la literatura en relación a la valoración económica de la mortalidad.

Estudio	País/Zona	Indicador	Valor obtenido	Rango obtenido	Moneda y año del valor
OECD (2011)	Europa	VVE	3,6 MUS\$	[1,8 – 5,4 M\$]	US\$ 2005
de Ayala y Spadaro, (2014)	Europa	VVE (adultos)	3,6 M€	[1,2 – 6,0 M€]	€ 2013
		VVE (niños)	5,4 M€	[1,8 – 9,0 M€]	€ 2013
		AVPP Agudo	135.000	[65 - 235 k€]	€ 2013
		AVPP Crónico	90.000	[40 - 230 k€]	€ 2013
Chilton et al. (2004)	Reino Unido	AVPP mala salud (1 mes)	7.280		
		AVPP mala salud (6 meses)	1.290		
		AVPP salud normal (1 mes)	27.739	na	£ 2004
		AVPP salud normal (3 meses)	9.430		
		AVPP salud normal (6 meses)	6.040		
Desaigues (2011)	Europe	AVPP cronico (3 meses)	40.000	[25 - 100 k€]	€ 2010

Los pasos seguidos se explican a continuación:

#### a. Conversión de moneda

Cuando la moneda del sitio objetivo es diferente de la del estudio de referencia, se utiliza el factor de conversión de “paridad del poder adquisitivo”, más conocida por sus siglas en inglés PPP (*FactorPPP*). Este indicador se utiliza para comparar la situación económica real de distintos países y se refiere a la cantidad de moneda necesaria para comprar una cantidad común de bienes y servicios<sup>8</sup>:

$$V_{\epsilon} = V_o \cdot PPPXRate \quad (2)$$

$V_o$  es el valor en la moneda original y  $V_{\epsilon}$  es el valor de la moneda objetivo, en este caso euros.

<sup>8</sup> La paridad del poder adquisitivo es un factor de transformación basado en el PIB real de los países, comparable en una escala internacional. Se utilizan para reflejar el poder adquisitivo real de las distintas monedas.

### b. Ajuste de la inflación

A continuación, los valores se ajustan a los precios actuales para reflejar el coste de vida en cada periodo, utilizando el Índice de Precios al Consumo (IPC):

$$V_{IPC} = V_{\epsilon} \cdot \left( \frac{IPC_{t_1}}{IPC_{t_0}} \right) \quad (3)$$

$V_{IPC}$  es el valor ajustado al coste de vida;  $t_0$  es el año del estudio del que se toma la referencia, por ejemplo, en el estudio de la OECD (2011) los valores se mostraban en dólares 2005;  $t_1$  es el año de referencia utilizado en nuestro estudio (2015).

### c. Ajuste de la renta en base a la localización geográfica

El ajuste espacial de la renta per cápita corrige diferencias en el bienestar económico de las poblaciones, considerando la renta real de los países. Se calcula utilizando el PIB per cápita más reciente ajustado utilizando el factor PPP ( $pppPIBcap$ ) y la elasticidad de renta en el espacio  $e_E$ :

$$V_E = V_{IPC} \cdot \left( \frac{pppPIBcap_{obj}}{pppPIBcap_{est}} \right)^{e_E} \quad (4)$$

$V_E$  es el valor ajustado espacialmente;  $obj$  es el lugar objetivo, es decir, el lugar al que estamos transfiriendo el valor (en nuestro caso la Comunidad Autónoma Vasca) y  $est$  es el valor del estudio. Lindhjem et al. (2011) calcularon un rango de 0,7-0,9, con un límite inferior de 0,3-0,4 para la elasticidad de la renta en el espacio, por lo que la guía de la OECD sugiere utilizar la elasticidad  $e_E = 0,8$ , con la posibilidad de utilizar 0,4 para realizar un análisis de sensibilidad.

### d. Ajuste temporal de la renta (a precios constantes)

Finalmente, se ajusta la renta per cápita en el tiempo, de forma que recoge la variación real de la renta y el bienestar entre dos momentos temporales. Se calcula utilizando el incremento del PIB per cápita, ajustado utilizando PPP ( $pppPIBcap$ ) y la elasticidad de la renta en el tiempo  $e_T$ :

$$V_T = V_E \cdot \left( \frac{pppPIBcap_{t_1}}{pppPIBcap_{t_0}} \right)^{e_T} \quad (5)$$

$V_T$  es el valor ajustado en el tiempo;  $t_0$  es el año del valor original y  $t_1$  es el año seleccionado para la transferencia (en nuestro caso, 2015). La guía de la OECD (2011) sugiere utilizarla elasticidad  $e_T = 1$  para el ajuste temporal de la renta.

Los valores obtenidos una vez realizado el proceso de ajuste se muestran en la Tabla 8, a continuación:

**Tabla 8.** Valores de VVE y AVPP ajustados para la Comunidad Autónoma Vasca, a partir de valores de la literatura.

Lugar de ajuste	Estudio original	Indicador	Valor ajustado	Rango ajustado	Moneda y año ajustado
Comunidad Autónoma Vasca	de Ayala y Spadaro, (2014)	VVE (adultos)	4,25 M€	[2,0 – 6,6 M€]	€ 2015
		AVPP (Mortalidad prematura)	91,550 €	[41 - 234 k€]	
	Chilton et al. (2004)	AVPP (Mortalidad desplazada)	10,570 €	N.A.	

### 3.4 Análisis de los costes y beneficios de un sistema potencial de alerta de ola de calor

En esta sección se presenta la metodología para analizar los costes y beneficios a largo plazo de activar un sistema de alerta bajo distintos escenarios de cambio climático.

#### 3.4.1 Evaluación de los costes de adaptación

El coste de adaptación se refiere al coste anual total de un sistema de alerta por ola de calor (SAOC) que está compuesto por costes fijos del SAOC (p.ej. mantenimiento) y por costes variables (p.ej. de personal). Éstos últimos dependen a su vez del número de días en los que el SAOC tenga que ser activado – N (es decir, el número de días en los que se espera que la máxima temperatura supere la temperatura umbral –  $T_{umb}$ ) y el coste por día de alerta. El coste anual total varía según el escenario climático considerado y está ajustado según las proyecciones de renta per cápita, puesto que ésta tiene un efecto sobre los costes laborales.

$$\text{Coste Anual Total} = \text{Coste Fijo} + \text{Coste Variable} [\text{Coste por día de alerta} * \text{N}^{\circ} \text{ de días de alerta (N)}] \quad (6)$$

Los costes del sistema de alerta se han estimado considerando, por un lado, la carga de trabajo de la Dirección de Emergencias del Gobierno Vasco asociada a los días en que se pone en marcha el Sistema de alerta, y por otro la carga del Departamento de Salud, tal y como se muestra a continuación:

#### a. Costes de la Dirección de Emergencias:

- En conversación con la Dirección de Emergencias del Gobierno Vasco, se estimó que la dedicación del personal de la Dirección a eventos de olas de calor podía suponer el 1%.
- Para obtener un coste por día de alerta se han tomado como referencia las tablas retributivas del Gobierno Vasco considerando únicamente el personal funcionario de la Dirección de Emergencias. Se ha asumido que el 40% del dato obtenido representa el coste fijo y el 60% es coste variable, que depende del número de días de ola de calor.
- El coste de personal se ha ponderado con la población de cada ciudad, puesto que se trata de un coste de personal para toda la Comunidad Autónoma.
- Por último, se ha estimado el número de días de ola de calor en el periodo 2000-2008 para obtener un coste por día de ola de calor.

#### b. Costes del Departamento de Salud:

- Siguiendo referencias similares (por ejemplo, Hunt et al., 2016), se ha estimado un tiempo de dedicación de los técnicos de salud pública del Gobierno Vasco por cada día de ola de calor, concretamente se ha calculado el coste de 1h de esta categoría de personal.

- Este coste también ha sido ponderando en base a la población de cada ciudad.
- El coste se considera íntegramente variable.

### 3.4.2 Evaluación de los costes de impacto

El coste del impacto se refiere, en este estudio, a los costes diarios de hospitalización, que representan el coste de las intervenciones necesarias para hacer frente a las consecuencias (impacto) de las olas de calor. Para estimar este coste, en primer lugar se solicitaron las estadísticas de morbilidad al Departamento de Salud del Gobierno Vasco. La Tabla 9 muestra la tipología de datos obtenidos.

La situación ideal sería poder disponer de un estudio epidemiológico que analizara el impacto de la temperatura en la salud en términos de morbilidad. Sin embargo, a falta de un estudio de esas características y con fines ilustrativos se ha realizado un análisis preliminar de la relación entre temperatura y las hospitalizaciones diagnosticadas como golpes de calor<sup>9</sup> en los municipios de Bilbao y Donostia. Hay que tener en cuenta que esta tipología es una categoría definida recientemente, por lo que la serie de datos era muy reducida y los resultados deben considerarse únicamente como una indicación del límite inferior de los costes, su potencial de evolución de acuerdo con los escenarios de emisión y como éstos se comparan con los costes de adaptación. Los resultados de este análisis para el periodo 2013-2015 mostraron que en días de ola de calor se registró, de media, una variación de 3,6 hospitalizaciones adicionales sobre la media (Tipología de caso 1) en Bilbao y 0,8 en Donostia-San Sebastián, en comparación con los días sin olas de calor. No se encontró una relación con las tipologías de caso 2 y 3.

**Tabla 9.** Estadísticas de morbilidad facilitadas por el Departamento de Salud del Gobierno Vasco.

Datos solicitados	Descripción
1. Diagnóstico	Causas Naturales (CIE9= 00.1 a 79.9) Patologías Circulatorias (CIE9= 39.0 a 45.9) Patologías Respiratorias (CIE9= 46.0 a 51.9) Lesiones producidas por el calor y la luz (CIE9= 99.2) Golpe de calor
2. Tipo de ingreso	Ingresos no programados de los hospitales de agudos junto con el de Santamarina en Bizkaia, que aun siendo de media-larga estancia atiende casos agudos.
3. Tipo de caso	1. Hospitalización: estancias mayores de 24h 2. Cirugía ambulatoria: estancia menor de 1 día con procedimiento de cirugía mayor 3. Hospital de día: estancia menor de 1 día sin procedimiento de cirugía mayor

De esta forma, se ha determinado la magnitud del impacto, medida como el incremento de la morbilidad debido al calor excesivo. El siguiente paso es estimar el coste, que en este caso es variable

<sup>9</sup> Estos casos han sido definidos por el Departamento de Salud como aquellos “*ingresos, que independientemente de su diagnóstico principal, se indica que este ha sido causado por un golpe de calor*”.

puesto que sucede únicamente cuando se registran temperaturas máximas que superan la temperatura umbral. El coste de hospitalización se ha tomado de la tabla de tarifas de Osakidetza (2015) y asciende a 573€ por hospitalización y día de ola de calor. Este valor se multiplica por el incremento de casos en días de ola de calor, alcanzando un coste de 2063€ y 458€ por cada día de ola de calor en Bilbao y Donostia-San Sebastián, respectivamente. Este coste es una estimación muy conservadora, por la definición misma de golpe de calor y las limitaciones mencionadas, así como el tipo de caso considerado. No obstante, el objetivo de hacer este análisis fue disponer de una indicación de la magnitud potencial del coste de la morbilidad comparado con el coste de la alerta.

Nótese que los costes se han ajustado considerando los cambios demográficos en el futuro; al fin y al cabo, los costes dependen no sólo de que se registren olas de calor sino también de la población expuesta a dicho riesgo. Los costes también se han ajustado en base al incremento del PIB per cápita en cada escenario, puesto que los costes laborales también aumentan a medida que aumenta la renta real.

### 3.4.3 Evaluación de los beneficios

Para estimar los beneficios del SAOC nos centraremos en el cálculo del número de muertes evitadas. Para calcular el número total de muertes que se evitarían (**ME**) gracias al funcionamiento de un SAOC, se multiplica la mortalidad esperada **M** (Ecuación 1) por la efectividad del SAOC. La efectividad potencial del SAOC se obtiene a partir de un estudio que analizó la efectividad del plan de alerta y prevención de los efectos del exceso de calor sobre la salud aprobado en Francia en 2006 (Fouillet et al., 2008). Los autores compararon el exceso de fallecimientos observados con lo que habría ocurrido en caso de no haberse implementado el plan y concluyeron que la efectividad puede variar entre el 60%, el 65% y el 78%. Estos resultados están en línea con los de otros estudios (por ejemplo, Ebi et al., 2004).

Una vez definida la efectividad, aplicamos la misma al número total de fallecimientos. Para estimar los beneficios multiplicamos las muertes evitadas, en términos de VVE y AVPP, por el valor económico de dichas variables (ver Sección 3.3).

### 3.4.4 Ratio coste-beneficio

El ratio coste-beneficio se calcula a partir de la Ecuación 7:

$$RCB = \sum_t \frac{(ME_{t,l} \cdot V_{t,l})}{[CF_1 + (N_{t,l} \cdot CV_{t,l})]} \quad (7)$$

Donde **ME** es la mortalidad evitada calculada año a año en función de las proyecciones de temperatura máxima (concretamente, en función del número de días de ola de calor y de la diferencia entre la temperatura máxima y la temperatura umbral,  $\Delta T$ );  $V_{t,l}$  es el valor de VVE y AVPP ajustados e incorporando el incremento en el PIB per cápita bajo los escenarios socioeconómicos SSP2 y SSP5;  $N_{t,l}$  es el número de días con ola de calor, es decir, el número de días en que la temperatura máxima diaria supera la temperatura umbral;  $CF_1$  son los costes fijos y  $CV_{t,l}$  son los costes variables por día de ola de calor, que incluyen los costes de alerta;  $t$  es el periodo temporal analizado, desde 2020 a 2100



( $t = 0,80$ ) y  $l$  es la localidad. Estos costes están ajustados para las proyecciones 2020-2100 teniendo en cuenta el incremento del PIB per cápita y de población correspondientes a cada escenario.

Es importante subrayar que los costes de hospitalización estimados para Bilbao y Donostia-San Sebastián no se han incluido en el ratio coste-beneficio del SAOC puesto que representan el coste del impacto y no del sistema de prevención propiamente dicho.

Nótese también que la estimación del ratio coste-beneficio se ha realizado para una tasa de descuento de 0%, no obstante, como los costes y beneficios ocurren al mismo tiempo (año a año), ésto no afecta a la relación entre los mismos.

## 4 Resultados

### 4.1 Impactos en la mortalidad

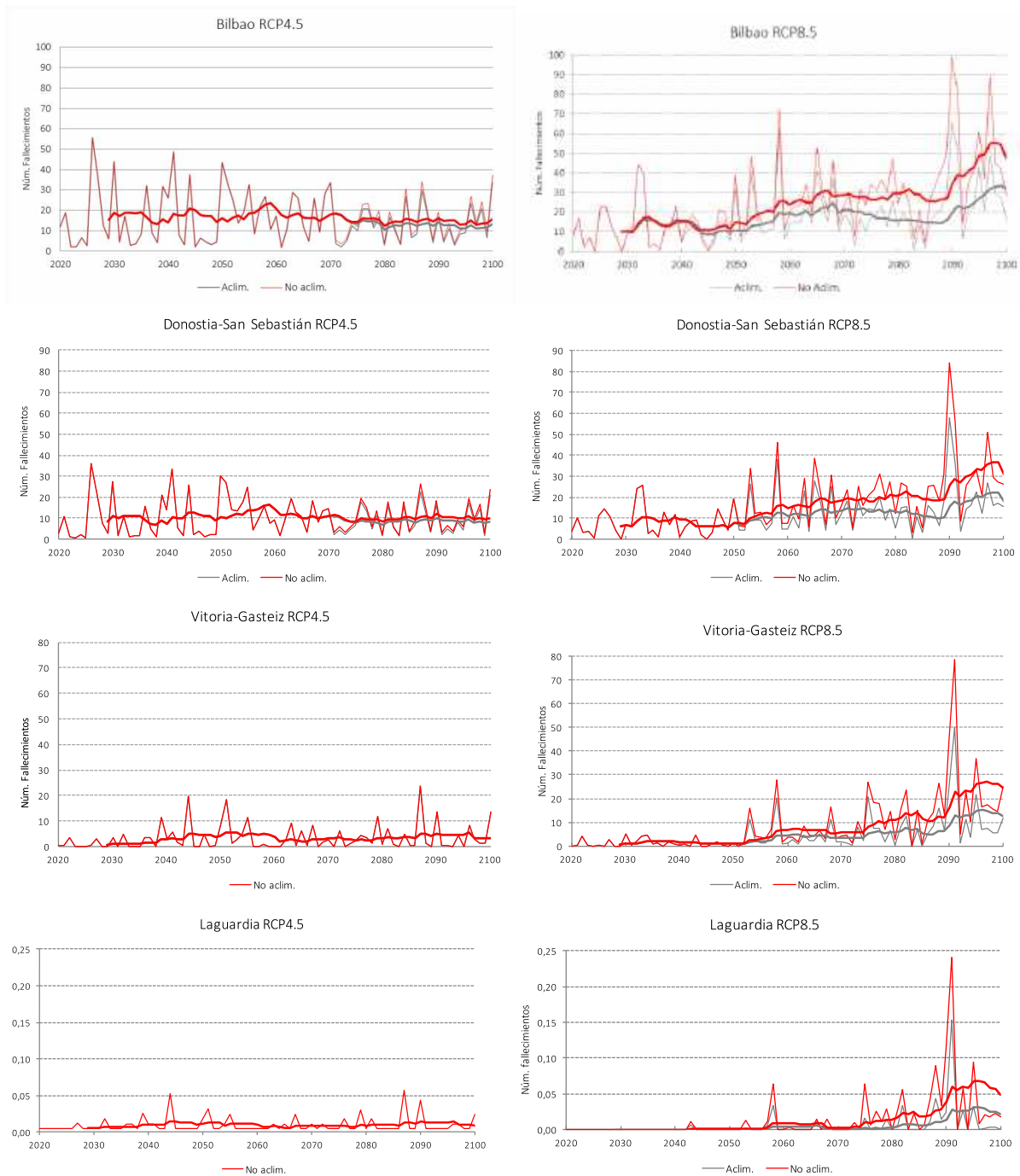
En este apartado se presentan los impactos de las olas de calor sobre la salud de las personas en términos del número de personas fallecidas por año bajo diferentes escenarios socioeconómicos, tal y como se observa en la Figura 9, para las cuatro ciudades vascas analizadas. El impacto sobre la mortalidad depende de las proyecciones de población y de la temperatura en el tiempo. En relación con la señal de temperatura, esta depende a su vez del número de días con ola de calor (días en que  $T_{\max} > T_{\text{umb}}$ ) y también la variación de la temperatura máxima, concretamente, la variación entre la temperatura máxima respecto de la temperatura umbral, es decir, la variación de  $\Delta T$ .

En Bilbao y Donostia-San Sebastián, en el escenario RCP4.5, se observa una ligera tendencia de reducción de los impactos de mortalidad a finales de siglo. Esto puede deberse, en primer lugar, a una reducción de la población en Euskadi<sup>10</sup>, que se traduce en una reducción de la mortalidad de base durante los eventos de ola de calor. En segundo lugar, aunque se da un ligero aumento en la variación anual de la temperatura máxima (Figura 3) y de  $\Delta T$  (Figura 7), no se da un aumento significativo en el número de días de ola de calor (Figura 5).

En Vitoria-Gasteiz y Laguardia la mortalidad anual media proyectada permanece básicamente constante en el tiempo. Desde el punto de vista de las variables climáticas, en los dos municipios se observa un aumento de la temperatura máxima diaria (Figura 3) y del número de días (Figura 5).  $\Delta T$  parece constante, aunque no está clara su evolución debido, al menos en parte, a que existen varios años en los que las proyecciones no muestran que las temperaturas máximas superen la temperatura umbral (Figura 7).

---

<sup>10</sup> Se recuerda que las proyecciones de población se han obtenido combinando las proyecciones de Eustat hasta 2050 con los escenarios SSP2 y SSP5 a partir de dicha fecha. Más información en la sección 2.4.



**Figura 9.** Proyecciones de mortalidad en los escenarios RCP4.5/SSP2 y RCP8.5/SSP5 en el periodo 2020-2100. La línea roja representa la mortalidad sin aclimatación y la gris las defunciones cuando se dan procesos de aclimatación.

Esto es especialmente relevante en el caso de Laguardia. Como en ambas localidades la población disminuye, de estos resultados parece desprenderse que esta reducción podría tener un peso importante, de forma que si la población no disminuyera en el escenario RCP4.5, es probable que no se observara una disminución del impacto de las olas de calor sobre la salud en el futuro.

Además, en el caso de Bilbao (Figura 9a) se observa una mayor variabilidad en la mortalidad durante las primeras décadas y hasta 2050, mientras que la variabilidad disminuye en la segunda mitad de siglo. Esta tendencia también se puede ver en Donostia-San Sebastián, aunque en menor medida,

mientras que hay una variabilidad muy pequeña en las dos ciudades ubicadas al sur. Este efecto se debe a la proyección de la temperatura máxima diaria para estas dos ciudades en el escenario RCP4.5.

En el escenario de emisión RCP8.5 todas las ciudades muestran un aumento de la mortalidad. En el caso de Bilbao (Figura 9b) la media móvil nos muestra que la mortalidad podría llegar a triplicarse a final de siglo. Aunque el aumento es menor en Donostia-San Sebastián (Figura 9d), también se observa que un aumento importante donde la mortalidad podría duplicarse. En Vitoria-Gasteiz es importante destacar que, aunque en términos netos el impacto sobre la mortalidad es menor que en las dos ciudades anteriores, el aumento sería más drástico (Figura 9f). Un efecto similar se observa en Laguardia (Figura 9h).

El aumento de la mortalidad en las ciudades vascas en el escenario más desfavorable se debe a dos efectos: por un lado la señal de temperatura, tanto en lo relativo al aumento en el número de días de ola de calor al año como al incremento de la temperatura máxima diaria en el tiempo; por otro lado, al aumento de población previsto por las proyecciones (Eustat combinado con SSP5).

Es importante destacar el papel de la aclimatación, representada en la Figura 9 por la línea gris. La aclimatación representa el límite inferior del impacto de la mortalidad, considerando una aclimatación fisiológica óptima. La aclimatación considerada para cada ciudad y escenario se ha resumido en la Tabla 6. El efecto de la aclimatación es significativamente mayor en el escenario RCP8.5, e incluso parece observarse una divergencia entre la mortalidad esperada con y sin aclimatación, que aumenta con el tiempo. Es decir, se observa un efecto creciente de la aclimatación en el tiempo. Esto podría deberse al aumento en el número de días en que se supera la  $T_{umb}$  en el escenario de emisión RCP8.5, así como a la variación de la temperatura ( $\Delta T$ ) con el tiempo.

En general, no hay grandes cambios entre el RCP4.5 y el RCP8.5 hasta mediados de siglo, y esto puede verse también en relación a la aclimatación. Tal y como se comentaba anteriormente, la variabilidad de la mortalidad es mayor a principio de siglo en el RCP4.5 y se reduce con el tiempo, pero en el escenario más negativo se observa lo contrario: la variabilidad aumenta a medida que nos acercamos al final de siglo.

La Tabla 10 presenta la mortalidad proyectada, así como los años de vida potencialmente perdidos (AVPP) en el periodo 2020-2100 para cada una de las ciudades estudiadas y varios escenarios. En primer lugar, los resultados se muestran en función del escenario de emisión, RCP4.5 o RCP8.5. A su vez, se ha considerado el ratio de la mortalidad desplazada (RDM), que representa el porcentaje de mortalidad desplazada en relación al total de defunciones registradas. En este estudio se han considerado dos escenarios, el primero con un RDM de 35% y el segundo de 75% (recordemos que este es el rango que encontramos en la literatura científica). Esto no cambia el total de defunciones, sino que categoriza éstas en función del tipo de mortalidad, desplazada o prematura. No obstante, esta categorización es importante cuando se miden los impactos económicos, porque la evaluación económica de ambas es diferente: se utilizan los AVPP para valorar la mortalidad desplazada debido a que estamos ante una esperanza de vida pequeña, que tal y como hemos visto, puede variar entre varios días hasta un mes, según la literatura. Sin embargo, para estimar el impacto económico de la mortalidad prematura se utiliza un rango de valores: el VVE como límite superior (que proporciona valores mucho más elevados) y los AVPP como límite inferior. Por otro lado, los datos presentados en

la Tabla 10 muestran un rango, donde el límite inferior constituye el escenario donde se da una aclimatación fisiológica, mientras que el límite superior es el escenario si no hay aclimatación.

**Tabla 10.** Mortalidad proyectada y AVPP bajo diferentes escenarios para el periodo 2020-2100.

Ciudad	Escenario	Ratio Mortalidad desplazada	Nº total de defunciones (aclim. Vs no)	Diferencia impacto RCP8.5/RCP4.5	Mortalidad prematura (años perdidos)	Mortalidad desplazada (años perdidos)
Bilbao	RCP4.5	RMD 35%	1.269-1.332	-	2.966-3.113	23-24
	SSP2	RMD 75%			1.141-1.197	50-52
	RCP8.5	RMD 35%	1.429-2.055	+13-54%	3.341-4.805	26-37
	SSP5	RMD 75%			1.285-1.848	56-80
Donostia-San Sebastián	RCP4.5	RMD 35%	806-853	-	2.077-2.196	15-16
	SSP2	RMD 75%			799-845	31-33
	RCP8.5	RMD 35%	955-1.347	+18-58%	2.460-3.470	17-25
	SSP5	RMD 75%			946-1.334	37-53
Vitoria-Gasteiz	RCP4.5	RMD 35%	267		716	5
	SSP2	RMD 75%			275	10
	RCP8.5	RMD 35%	389-679	+46-54%	1.045-1824	7-12
	SSP5	RMD 75%			402-701	15-27
Laguardia	RCP4.5	RMD 35%	0,32		0,86	0,006
	SSP2	RMD 75%			0,33	0,012
	RCP8.5	RMD 35%	0,45-1,15	-	1,2-3,1	0,008-0,021
	SSP5	RMD 75%			0,46-1,18	0,018-0,045

Nota: el límite inferior del rango representa un escenario con aclimatación, es decir: límite inferior: aclimatación; límite superior: SIN aclimatación.

El efecto de la aclimatación es mucho mayor en el RCP8.5, mientras es prácticamente insignificante en el RCP4.5, de acuerdo con la señal de temperatura de cada escenario. A su vez, los impactos en la salud son mayores en el RCP8.5, tal y como se podría prever. Esta diferencia en el impacto de ambos escenarios es en Bilbao entre un 13% y un 54% mayor en el RCP8.5, en función de si hay o no aclimatación. El rango es similar en Donostia-San Sebastián, donde varía entre un 18% y un 58%. En el caso de Vitoria-Gasteiz el rango es menor porque no se prevé aclimatación en el RCP4.5 y el impacto en el RCP8.5 es entre 46-54% mayor que en el escenario de emisión moderado. Como Laguardia es un municipio de 1500 habitantes el impacto es muy pequeño en términos de magnitud, sin embargo la variación relativa es importante tal y como se puede ver en la Figura 9.

La mortalidad es menor en Vitoria-Gasteiz y Laguardia, y puede deberse en primer lugar a que existen varios años en que las proyecciones de temperatura máxima no superan la temperatura umbral. En Laguardia se suma, además, el hecho de que tiene una población de alrededor de 1.500 habitantes, por lo que es razonable que el impacto, en términos netos, sea menor. Sin embargo, es importante destacar que aunque la magnitud del impacto no es importante en términos absolutos, el incremento del impacto desde 2020 hasta 2100 es mucho mayor que en el caso de Bilbao y Donostia-San Sebastián (ver Figura 8f y 8h).

## 4.2 Beneficios económicos de la mortalidad evitada

Los beneficios económicos de un sistema de alerta temprana por ola de calor (SAOC) se deben a la reducción de la mortalidad y de la pérdida de años de vida, que puede alcanzarse gracias a sistemas de alerta a la población, los centros de salud, servicios sociales, etc.

Los beneficios dependen de los siguientes factores, que han sido considerados en esta evaluación:

- La efectividad del SAOC, que se traduce en el número de defunciones evitadas por la existencia e implementación del sistema
- Los escenarios de emisión y socioeconómicos (proyecciones de temperatura, incremento de población y de PIB per cápita)
- Las asunciones de aclimatación fisiológica
- El ratio de la mortalidad desplazada (RMD), que varía entre el 35% y el 75% sobre la mortalidad total
- La valoración de la mortalidad, que puede hacerse tomando como referencia el valor de la vida estadística (VVE) o la pérdida potencial de 1 año de vida (AVPP)

Los beneficios económicos se han estimado tomando en consideración todos estos factores, que se resumen en la Tabla 11. En general podemos afirmar que los beneficios son mayores allí donde el impacto se prevé mayor. Los resultados muestran que la elección del enfoque para la valoración de la mortalidad (VVE versus AVPP) es la componente que implica una mayor variabilidad en los beneficios económicos en todos los casos: el beneficio económico es, aproximadamente, 13 veces mayor en el caso de que se utilice el VVE. El ratio de la mortalidad desplazada es el siguiente factor que condiciona los beneficios (por un factor de 2,6), seguido del escenario de emisión (por un factor aproximado del 1,2-1,3), la opción de aclimatación (por un factor de entre 1-1,4) y la efectividad del SAOC (1,3). Estos resultados son coherentes con el caso de estudio desarrollado en Madrid en el marco del proyecto europeo FP7 BASE (Chiabai et al., submitted).

## 4.3 Costes económicos

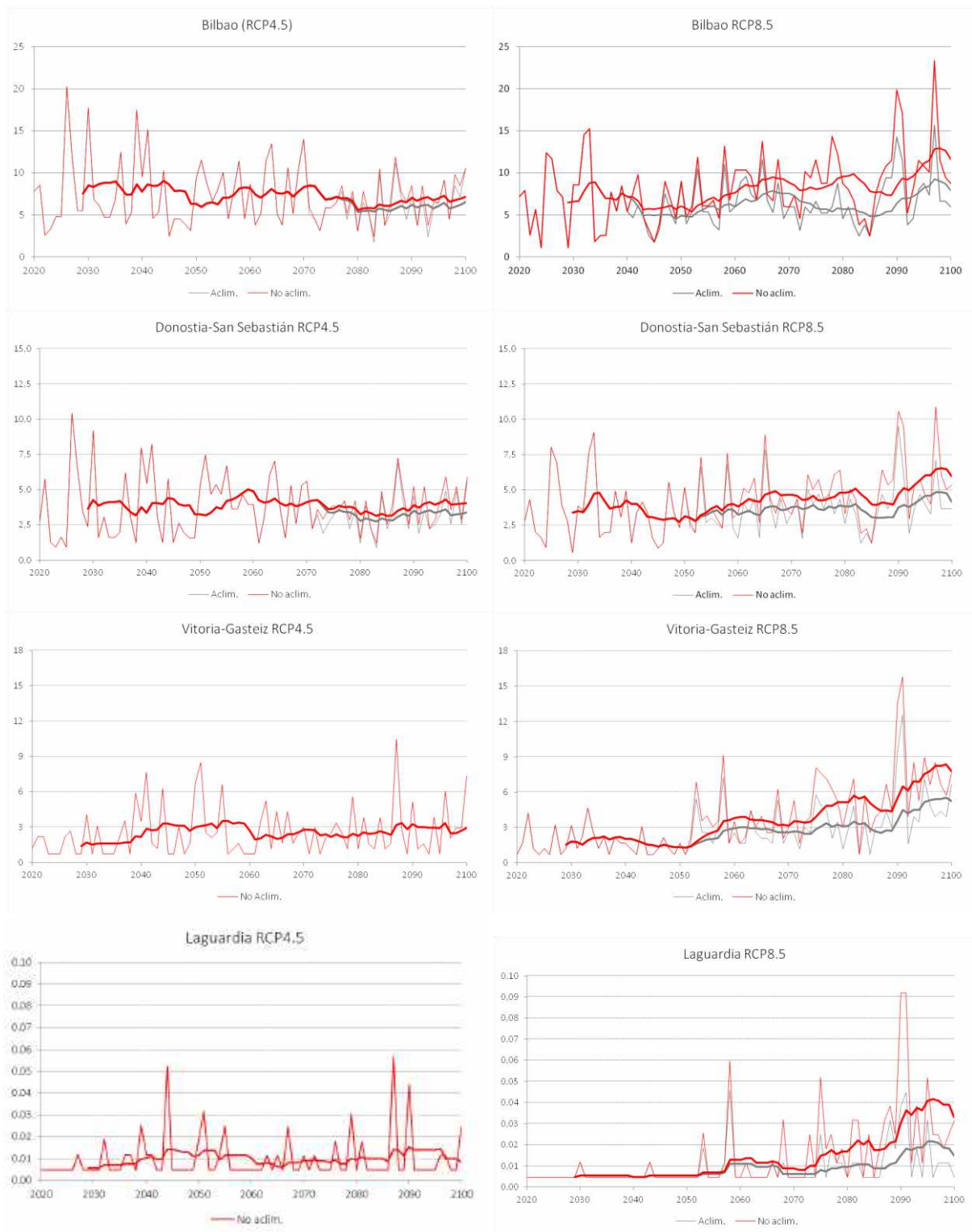
Los costes anuales proyectados del sistema de alerta de calor (SAOC) para el periodo 2020-2100 en cada una de las ciudades vascas analizadas se presentan en la Figura 10. En el escenario de emisión intermedio los costes muestran una ligera tendencia a la baja, que es más acusada en Bilbao y Donostia-San Sebastián (Figura10a y b). La explicación a este fenómeno se debe a que el impacto también muestra una tendencia decreciente, tal y como se mostraba en la Figura 9, puesto que los costes dependen del número de días de ola de calor, pero también de la población, la cual decrece en este escenario de emisión.

Al igual que se ha visto en los impactos, la variabilidad en los costes es mayor hasta 2050, fecha a partir de la cual se va reduciendo. La aclimatación también muestra un efecto pequeño, que va aumentando hacia final de siglo.

**Tabla 11.** Beneficios económicos del sistema de alerta por olas de calor (SAOC) bajo diferentes escenarios, tasa de descuento 0%, periodo 2020-2100 (millones de euros).

Localidad	Ratio Mortalidad desplazada	Efectividad SAOC	RCP4.5/SSP2		RCP8.5/SSP5	
			Valoración Límite inferior (AVPP)	Valoración Límite superior (VVE/AVPP)	Valoración Límite inferior (AVPP)	Valoración Límite superior (VVE/AVPP)
Bilbao	RMD 35%	Baja	176-185	2.261-2.370	202-290	2.592-3.711
		Media	191-200	2.449-2.567	219-314	2.807-4.020
		Alta	229-240	2.939-3.080	263-377	3.369-4.824
	RMD 75%	Baja	68-71	870-912	78-112	997-1.428
		Media	74-77	942-988	85-121	1.080-1.547
		Alta	89-93	1.131-1.185	102-145	1.296-1.856
Donostia-San Sebastian	RMD 35%	Baja	123-130	1.434-1.515	149-209	1.730-2.430
		Media	134-141	1.554-1.641	161-226	1.874-2.632
		Alta	160-169	1.865-1.969	193-272	2.249-3.159
	RMD 75%	Baja	48-50	552-583	57-81	666-935
		Media	52-54	598-631	62-87	721-1.013
		Alta	62-65	717-758	75-105	865-1.215
Vitoria-Gasteiz	RMD 35%	Baja	42	471	63-109	699-1.216
		Media	56	510	68-118	757-1.317
		Alta	55	612	81-142	908-1.580
	RMD 75%	Baja	16	181	24-42	269-468
		Media	18	196	26-46	291-507
		Alta	21	235	31-55	349-608
Laguardia	RMD 35%	Baja	0,05	0,56	0,07-0,18	0,80-2,40
		Media	0,05	0,61	0,08-0,20	0,87-2,21
		Alta	0,07	0,73	0,09-0,24	1,04-2,66
	RMD 75%	Baja	0,02	0,22	0,03-0,07	0,31-0,79
		Media	0,02	0,24	0,03-0,08	0,33-0,85
		Alta	0,03	0,28	0,04-0,09	0,40-1,02

Nota: el límite inferior del rango representa un escenario con aclimatación, es decir: límite inferior: aclimatación; límite superior: SIN aclimatación.

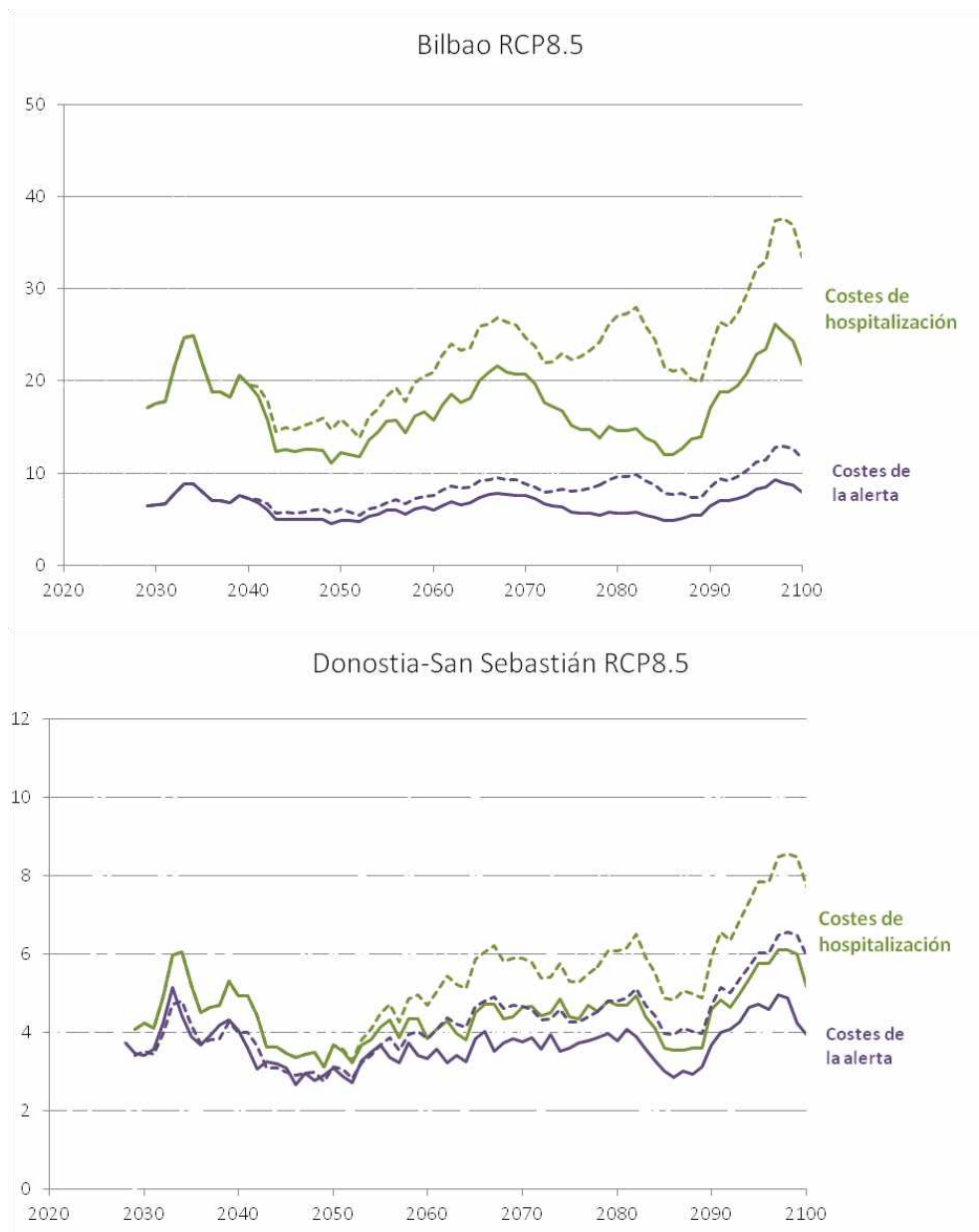


**Figura 10.** Costes anuales proyectados de un sistema de alerta de olas de calor en base a los escenarios RCP4.5/SSP2 y RCP8.5/SSP5, para el periodo 2020-2100, en la Comunidad Autónoma Vasca (millones de euros por año).

En el escenario de emisión más desfavorable (RCP8.5) los costes muestran una tendencia variable con un aumento general en el escenario sin aclimatación. Los costes incorporando el factor de aclimatación no muestran un aumento significativo en Bilbao y Donostia-San Sebastián, pero en el caso de los dos municipios del sur, Vitoria-Gasteiz y Laguardia, sí se da un aumento significativo de los

costes, tanto sin aclimatación como si ésta se incorpora en el análisis. Este resultado está en línea con la evolución del impacto que se ha mostrado en la Figura 9. En relación a la variabilidad en el escenario RCP8.5, se observa que aumenta con el tiempo, al igual que ocurría en el caso de la mortalidad. En Laguardia la variabilidad observada es especialmente elevada a partir de 2050.

Si se comparan los costes del sistema de alerta y los de hospitalización (Figura 11) se observa una mayor variabilidad y tendencia al alza en estos últimos. Es decir, los costes de adaptación, correspondientes al sistema de alerta temprana, son inferiores, crecen menos y presentan una variabilidad menor que los costes esperados de impacto, medidos en términos de hospitalizaciones durante los días de ola de calor.



**Figura 11.** Costes anuales proyectados del sistema de alerta y de hospitalización en el escenario RCP8.5/SSP5 para Bilbao y Donostia-San Sebastián (millones de euros).



Otro efecto interesante es el de los procesos de aclimatación, puesto que se observa que el coste aumenta más sin aclimatación que si ésta se considera. Este resultado parece sugerir que la aclimatación tiene un efecto positivo mayor sobre la salud a medida que aumenta el impacto.

Los costes dependen, por consiguiente, del escenario RCP/SSP (proyecciones de temperatura, crecimiento de población y de PIB per cápita) así como del escenario de aclimatación. Por ejemplo, en Bilbao y Donostia-San Sebastián, tanto los costes del sistema de alerta como los de hospitalización aumentan al final de siglo un 12% en el escenario más desfavorable (RCP8.5) (Tabla 12). Nótese que aunque los costes de hospitalización representan un límite inferior, muestran una tendencia al alza similar a la de los costes del sistema de alerta (Figura 11). En cuanto a los costes del SAOC, aunque éstos aumentan con el tiempo, este incremento contribuye a reducir el impacto de la morbilidad (hospitalizaciones) y de la mortalidad. La reducción del impacto se ha estimado sólo para el caso de la mortalidad, puesto que se disponía de un estudio de referencia (Fouillet et al., 2008).

**Tabla 12.** Costes del sistema de alerta por olas de calor (SAOC) y de hospitalización bajo diferentes escenarios, tasa de descuento 0%, periodo 2020-2100 (millones de euros).

Escenario	Tipo de coste	Bilbao	Donostia-San Sebastián	Vitoria-Gasteiz	Laguardia (miles euros)
RCP4.5	Alerta	0,58-0,60	0,30-0,31	0,21	0,8
SSP2	Hospitalización	1,57-1,63	0,36-0,38	-	-
RCP8,5	Alerta	0,53-0,67	0,30-0,35	0,23-0,31	0,7-1,2
SSP5	Hospitalización	1,41-1,85	0,36-0,43	-	-

Nota: el límite inferior del rango representa un escenario con aclimatación, es decir: límite inferior: aclimatación; límite superior: SIN aclimatación.

No obstante, los costes considerados en esta evaluación son los del sistema de alerta actual a los que hemos tenido acceso y a futuro, especialmente si avanzáramos hacia el escenario RCP8.5, sería conveniente revisar y ampliar las actividades e intervenciones del plan de alerta y prevención, para hacer frente a un impacto más severo que el que se registra en la actualidad. Esto implicaría un mayor coste del sistema de alerta, aunque probablemente también unos mayores beneficios en términos de mortalidad o morbilidad evitada.

#### 4.4 Ratio coste-beneficio

Si se comparan los beneficios económicos con los costes de un sistema de alerta temprana para la prevención de olas de calor, se observa que los beneficios superan ampliamente los costes. La Tabla 13 presenta el ratio entre los costes y beneficios (RCB), que muestra que los sistemas de alerta temprana son medidas muy efectivas, con ratios mucho mayores a 1.

En Bilbao, el RCB varía entre 110 (que implica que los beneficios son 110 veces mayores que los costes) y 5.600, bajo diferentes opciones de valoración (VSL o AVPP), de ratio de mortalidad desplazada (RMD), de escenarios climáticos y socioeconómicos y de si existe o no aclimatación. Los ratios de Donostia-San Sebastián son comparables a los de Bilbao, pero son mucho menores en Vitoria-Gasteiz y Laguardia. Aún así, el ratio más bajo, que se registra en Laguardia, muestra que los beneficios serían 22 veces mayor que los costes. Esto demuestra que los sistemas de alerta y

prevención de fenómenos de ola de calor son medidas de adaptación muy coste-efectivas y pueden considerarse una *medida low regret*. Este tipo de medidas son aquellas que generan beneficios sociales y/o económicos netos bajo las condiciones climáticas actuales y una variedad de escenarios climáticos futuros (IPCC, 2014).

**Tabla 13.** Ratio coste-beneficio (RCB) del sistema de alerta por olas de calor (SAOC) bajo diferentes escenarios, tasa de descuento 0%, periodo 2020-2100.

Ciudad	Ratio Mortalidad desplazada	Efectividad SAOC	RCP4.5/SSP2		RCP8.5/SSP5	
			Valoración Límite inferior (AVPP)	Valoración Límite superior (VVE/AVPP)	Valoración Límite inferior (AVPP)	Valoración Límite superior (VVE/AVPP)
Bilbao	RMD 35%	Baja	305-342	3.905-4.378	334-376	4.285-4.819
		Media	330-370	4.230-4.742	362-407	4.642-5.221
		Alta	396-444	5.076-5.691	435-489	5.571-6.265
	RMD 75%	Baja	118-132	1.502-1.684	129-145	1.649-1.854
		Media	128-143	1.628-1.825	140-157	1.786-2.009
		Alta	153-172	1.953-2.190	168-189	2.143-2.410
Donostia-San Sebastian	RMD 35%	Baja	413-459	4.802-5.337	500-598	5.819-6.959
		Media	447-497	5.202-5.782	542-648	6.303-7.538
		Alta	537-596	6.243-6.939	650-778	7.564-9.046
	RMD 75%	Baja	159-177	1.848-2.053	193-231	2.239-2.677
		Media	173-192	2.002-2.225	209-250	2.425-2.900
		Alta	207-230	2.402-2.670	251-300	2.910-3.480
Vitoria-Gasteiz	RMD 35%	Baja	201	2.245	277-356	3.085-3.973
		Media	218	2.432	300-386	3.342-4.304
		Alta	262	2.919	359-463	4.010-5.165
	RMD 75%	Baja	78	864	107-137	1.187-1.529
		Media	84	936	116-149	1.286-1.656
		Alta	101	1.123	139-179	1.543-1.987
Laguardia	RMD 35%	Baja	64	714	99-155	1.105-1.730
		Media	69	773	107-168	1.197-1.875
		Alta	83	928	129-202	1.437-2.250
	RMD 75%	Baja	25	275	38-60	425-666
		Media	27	298	41-65	461-721
		Alta	32	357	50-78	553-865

Nota: el límite inferior del rango representa un escenario con aclimatación, es decir: límite inferior: aclimatación; límite superior: SIN aclimatación.

Obsérvese que el mayor efecto sobre el ratio coste-beneficio es debido, en primer lugar, al método de valoración seleccionado, es decir, si medimos el impacto económico de la mortalidad en términos del valor de una vida estadística (VVE) o de pérdida de años de vida (AVPP). En segundo lugar, depende del ratio de mortalidad desplazada que utilizamos a partir de la literatura (RMD35% o RMD75%). Sería necesario un estudio a escala de ciudad que sirviera para determinar la mortalidad desplazada y así

disponer de una evaluación local específica. Es importante también destacar que las proyecciones socio-demográficas y las relacionadas a los escenarios climáticos tienen una influencia mucho menor sobre el ratio coste-beneficio. Esto quiere decir que incluso utilizando el RCP8.5 (que es el más desfavorable) los resultados no varían de forma significativa respecto al escenario intermedio RCP4.5. Dicho de otra forma, los resultados sobre el ratio coste-beneficio podrían variar hasta un 10-12% en función de los escenarios climáticos, socio-demográficos y de aclimatación. Sin embargo, utilizar un indicador económico u otro conlleva una variación en el ratio que alcanza un 1280%. El ratio de mortalidad desplazada a su vez tiene un efecto sobre el ratio que alcanza el 260% y la efectividad potencial del SAOC tiene un peso del 30%. Estas conclusiones surgen del análisis de sensibilidad presentado en la Tabla 13. Por ejemplo en el caso de Bilbao, el efecto del escenario climático se calcula a través de la relación entre el ratio en RCP8.5 y RCP4.5 ( $\Delta RCB=376/342=1.099$ ). Es decir en el RCP8.5 el ratio coste-beneficio es un 10% mayor que en el RCP4.5.

## 5 Conclusiones

El estudio que se presenta en este informe es pionero en materia de olas de calor y salud en Euskadi. Se trata del primer estudio que evalúa los impactos en la salud de eventos extremos bajo escenarios de cambio climático en Euskadi, y está orientado a dar soporte a la Estrategia Vasca de Cambio Climático, pero también a otras políticas sectoriales en materia de prevención de impactos sobre la salud. Los resultados del proyecto no se ciñen a la producción de información relevante que puede contribuir a la toma de decisiones, sino que incluye el desarrollo de una metodología adaptada a la Comunidad Autónoma Vasca, que es transferible y replicable.

El desarrollo de esta metodología ha permitido, en primer lugar, evaluar los impactos de las temperaturas extremas sobre el riesgo de mortalidad de la población. En segundo lugar, la aplicación de la metodología a 4 municipios vascos ha dado lugar a la producción de información relevante que puede contribuir a la toma de decisiones en materia de adaptación al cambio climático. Concretamente, se espera que esta información pueda ser de utilidad para la revisión y actualización de los planes de alerta temprana y prevención de los efectos de las olas de calor sobre la salud de las personas en Euskadi.

En relación a los **impactos**, los resultados más destacables se resumen a continuación:

- En el escenario de emisión RCP4.5, no se observa una variación significativa del impacto. En el RCP4.5 Bilbao y Donostia-San Sebastián incluso se observa una pequeña disminución, aunque ésta se debe al descenso de población recogido en los escenarios demográficos. Esto no significa que no exista un impacto, sino que éste sería similar al impacto actual. En este contexto no sólo sigue siendo necesario disponer de sistemas de alerta y prevención de olas de calor, sino que sería interesante analizar la posibilidad de redefinir los umbrales establecidos en base al impacto, no sólo de mortalidad, sino también de morbilidad. Además, es importante ser conscientes de que el escenario de emisión RCP4.5 es un escenario intermedio, que sólo se alcanzará con la puesta en marcha de medidas de mitigación que reduzcan las emisiones a nivel global.

- El escenario de emisión más desfavorable (RCP8.5) representa una situación en la que no se han implementado políticas de mitigación y las emisiones siguen aumentando. En este escenario los impactos permanecen aproximadamente constantes hasta 2050, momento a partir del cual se observa un aumento significativo de los impactos. Éstos muestran una tendencia creciente, de forma que los impactos aumentan con el tiempo. Además, éstos presentan una variabilidad mucho mayor que en el escenario RCP4.5, que las administraciones responsables deberán contemplar.
- Si comparamos ambos escenarios de emisión, en Bilbao el impacto aumentaría entre 13-54%, en función de si existe o no aclimatación fisiológica. En Donostia-San Sebastián, el incremento del impacto estaría entre el 18% y el 58% y en Vitoria-Gasteiz entre 46-54%.
- Los resultados en Vitoria-Gasteiz y Laguardia deben ser tomados con precaución debido a la existencia de un número considerable de valores que faltan en relación a la variación de temperatura ( $\Delta T$ ) y el número de días en que se supera la temperatura umbral. Este hecho también podría indicar que los umbrales establecidos en estas localidades podrían no ser adecuados. En el caso de Laguardia además se añade el hecho de que se trata de un municipio con una población muy pequeña por lo que resulta difícil su comparación con el resto de ciudades.

Los resultados obtenidos en relación a los **costes** de adaptación e impacto, permiten extraer las siguientes conclusiones:

- No se registran costes adicionales en el escenario de emisión RCP4.5. En Bilbao y Donostia-San Sebastián incluso se registra un pequeño descenso que, al igual que en el caso del impacto, se considera atribuible al descenso de la población vasca.
- En el escenario RCP8.5, por el contrario, los costes aumentan en los cuatro municipios en el periodo entre 2020 y 2100. Este aumento es más pronunciado en Vitoria-Gasteiz y Laguardia debido a la combinación de un riesgo mayor (RA) y de un aumento más pronunciado en el número de días de ola de calor, aunque la magnitud del coste es menor en estas dos ciudades.
- Es importante destacar que los costes de adaptación, es decir, los costes del sistema de alerta, aumentan en menor proporción que el impacto. Por ejemplo, en Bilbao y Donostia-San Sebastián, los costes de alerta aumentarían un 13% para hacer frente a un aumento de la mortalidad de entre 13-54% en el caso de Bilbao y 18-58% en el caso de Donostia-San Sebastián. Este incremento de costes iría aparejado a una reducción del impacto de entre un 60% y un 78%. Conviene recordar que los costes incluidos en la presente evaluación son los actuales, pero es razonable pensar que estos aumentarán a futuro, si se incorporan actuaciones adicionales para hacer frente a un impacto mayor.
- Otra conclusión interesante se refiere a los procesos de aclimatación, puesto que se observa que la existencia de aclimatación reduce el impacto y los costes, especialmente a medida que los impactos aumentan.

Por último, la estimación del **ratio entre costes y beneficios** muestra que los sistema de alerta y prevención de fenómenos de ola de calor son medidas altamente coste-efectivas y que pertenecen al grupo de medidas que genera beneficios netos tanto en la situación actual como bajo diferentes

escenarios de cambio climático, también conocidas como *medidas low regret*. De hecho, el ratio coste-beneficio se encuentra entre 25 y 9.000 (Tabla 13). Es importante destacar que la variabilidad de este rango es debida, en primer lugar, al indicador económico de la mortalidad, y en segundo lugar, al peso que la mortalidad desplazada tiene respecto a la prematura. Por tanto, otros factores como las proyecciones climáticas o socio-demográficas tienen una influencia mucho menor en la relación entre costes y beneficios.

Como en cualquier estudio, la evaluación realizada presenta una serie de **limitaciones**, que se describen a continuación:

- En relación a la función epidemiológica y el impacto sobre la salud:
  - Se ha utilizado la función epidemiológica desarrollada por Díaz et al. (2015) ya que ésta era la única disponible para las capitales vascas. Sin embargo, esta función presenta una serie de limitaciones, como es no considerar factores climáticos que pueden ser claves en el contexto de la Comunidad Autónoma Vasca, como la humedad, el viento y la presión atmosférica (especialmente los dos primeros). La función de Díaz et al. (2015) utiliza la misma función para todas las capitales de provincia en España, aunque existe una variabilidad climática y geográfica alta.
  - Las reuniones desarrolladas en el marco del proyecto han servido para identificar otras limitaciones, como la importancia de considerar la temperatura mínima nocturna, clave para la recuperación; el efecto isla de calor, que podría estudiarse a escala de barrio o zona de cada ciudad. Este nivel de detalle requiere un análisis con sistemas de información geográfica que permita entender la influencia de las construcciones, la orientación de las calles, etc.
  - Sólo ha sido posible estimar el impacto sobre la mortalidad, puesto que la función epidemiológica no incluía el análisis de morbilidad. Otros estudios consideran la morbilidad, pero no en el contexto de la Comunidad Autónoma Vasca (por ejemplo, Linares and Diaz, 2008). Investigaciones futuras deberían incorporar el análisis de la morbilidad, en relación a hospitalizaciones por patologías cardiovasculares, respiratorias, golpes de calor, etc. No obstante, las evidencias actuales de la relación entre olas de calor y morbilidad no es concluyente, puesto que ha habido estudios que no han encontrado ninguna relación. Esto también podría deberse a otras causas, como que no siempre se acude al hospital por determinados síntomas.
  - El impacto se ha analizado en función de los días en que las temperaturas máximas superan la temperatura umbral, pero no se ha estudiado la persistencia, es decir, el efecto de temperaturas máximas (y mínimas) elevadas durante varios días consecutivos.
- En cuanto a la evaluación de costes:
  - Existe poca información disponible en relación a los costes de los sistemas de alerta, porque no suele haber un presupuesto o partida específica para tal fin. No resulta fácil hacer una valoración de los costes unitarios cuando éstos se encuentran englobados en conceptos diferentes, lo cual se traduce en la necesidad de realizar una serie de

asunciones. En el caso de OSATU hemos considerado los costes unitarios indicados por la Dirección de Emergencias del Gobierno Vasco y se ha realizado una asunción similar en relación a los costes del Departamento de Salud. Éstos representan, por consiguiente, el límite inferior de los costes, aunque no se espera un aumento drástico al incluir otros conceptos del sistema de alerta.

- Sólo se han considerado los costes del sistema de alerta, aunque otros podrían ser importantes, tales como los costes de impacto (hospitalizaciones), que ocurrirán incluso con un funcionamiento efectivo del sistema de alerta. Sí se han estimado los costes de hospitalización para Bilbao y Donostia, con fines ilustrativos. Los resultados muestran que éstos son mayores que los costes de alerta y presentan una tendencia variable en el tiempo, si la comparamos con una evolución mucho más estable de los costes de alerta. Esto indica claramente que es necesario considerar otros costes en relación a las olas de calor, además de los costes del sistema de alerta, lo cual sólo resulta posible si se cuenta con una función epidemiológica que analice la relación entre morbilidad y exposición a temperaturas extremas.

Por último, el desarrollo del proyecto OSATU ha permitido identificar una serie de **nichos de oportunidad** para futuras investigaciones:

- Se ha identificado la necesidad de contar con un estudio epidemiológico adaptado al contexto climático y geográfico de la Comunidad Autónoma Vasca y que éste incluya, además, otras variables climáticas y geográficas (humedad, velocidad del viento...).
- Sería interesante disponer de un estudio de caracterización del fenómeno de olas de calor en la Comunidad Autónoma del País Vasco, que incorpore las variables climáticas, meteorológicas y geográficas específicas más relevantes en el territorio. Esta caracterización sería fundamental para poder definir el impacto de forma adecuada.
- Sería interesante explorar la posibilidad de un análisis a escala suburbana, para incorporar procesos de islas de calor y los impactos asociados al diseño urbano. Este contexto sería ideal para definir, por ejemplo, experiencias piloto de soluciones basadas en la naturaleza para reducir la temperatura en el medio urbano. Además de paliar los efectos de las olas de calor, este tipo de soluciones aportan otros beneficios adicionales, tales como mejora de la calidad de vida, aumento de la biodiversidad, etc.
- Se ha detectado la necesidad de estudiar la relación entre olas de calor y morbilidad para establecer las temperaturas umbral en base al impacto, para lo cual la colaboración interdepartamental será fundamental, especialmente, entre los departamentos responsables de las políticas de salud, de medio ambiente y de seguridad.

## 6 Referencias

Chiabai, A., Spadaro, J.V., Neumann, M.B., submitted. Economic appraisal of heat warning systems in a changing climate: Evidence from Madrid, Spain. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*.

Chilton, S.M., Covey, J., Jones-Lee, M., Loomes, G., Metcalf, H., 2004. Valuation of health benefits associated with reductions in air pollution: Final Report (No. PB 9413). DEFRA, London, UK.

Christidis, N., Jones, G.S., Stott, P.A., 2015. Dramatically increasing chance of extremely hot summers since the 2003 European heatwave. *Nat. Clim. Change* 5, 46–50. doi:10.1038/nclimate2468

Comisión Europea, 2013. Estrategia de adaptación al cambio climático de la UE (No. COM(2013) 216 final). Comisión Europea, Bruselas.

de Ayala, A., Spadaro, J., 2014. Economic costs of health effects (PURGE FP7 Project No. Report on WP10).

Departamento de Salud, 2006. Plan de Prevención en Situación de Ola de Calor en la CAPV. Gobierno Vasco, Vitoria-Gasteiz.

Desaigues, B., Ami, D., Bartczak, A., Braun-Kohlová, M., Chilton, S., Czajkowski, M., Farreras, V., Hunt, A., Hutchison, M., Ortiz, R.A., Kaderjak, P., Máca, V., Markiewicz, O., Markowska, A., Metcalf, H., Navrud, S., Nielsen, J.S., Ortiz, R., Pellegrini, S., Rabl, A., Riera, R., Scasny, M., Stoeckel, M.-E., Szántó, R., Urban, J., 2011. Economic valuation of air pollution mortality: A 9-country contingent valuation survey of value of a life year (VOLY). *Ecol. Indic.* 11, 902–910. doi:10.1016/j.ecolind.2010.12.006

Dessai, S., 2003. Heat stress and mortality in Lisbon Part II. An assessment of the potential impacts of climate change. *Int. J. Biometeorol.* 48, 37–44. doi:10.1007/s00484-003-0180-4

Díaz, J., Carmona, R., Mirón, I.J., Ortiz, C., León, I., Linares, C., 2015. Geographical variation in relative risks associated with heat: Update of Spain's Heat Wave Prevention Plan. *Environ. Int.* 85, 273–283. doi:10.1016/j.envint.2015.09.022

Ebi, K.L., Teisberg, T.J., Kalkstein, L.S., Robinson, L., Weiher, R.F., 2004. Heat Watch/Warning Systems Save Lives: Estimated Costs and Benefits for Philadelphia 1995–98. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 85, 1067–1073. doi:10.1175/BAMS-85-8-1067

ExternE (2005) Externalities of energy methodology 2005 update. Bickel, P., Friedrich, R. (eds). Directorate-General for Research Sustainable Energy Systems. European Communities, 2005 ; ISBN 92-79-00423-9.

Fischer, E.M., Schär, C., 2010. Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nat. Geosci.* 3, 398–403. doi:10.1038/ngeo866

Fouillet, A., Rey, G., Wagner, V., Laaidi, K., Empereur-Bissonnet, P., Le Tertre, A., Frayssinet, P., Bessemoulin, P., Laurent, F., De Crouy-Chanel, P., Jouglu, E., Hémon, D., 2008. Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *Int. J. Epidemiol.* 37, 309–317. doi:10.1093/ije/dym253

Gobierno Vasco, 2011. Cambio Climático: Impactos y Adaptación en la Comunidad Autónoma del País Vasco. Gobierno Vasco, Vitoria-Gasteiz.

Gosling, S.N., Lowe, J.A., McGregor, G.R., Pelling, M., Malamud, B.D., 2009. Associations between elevated atmospheric temperature and human mortality: a critical review of the literature. *Clim. Change* 92, 299–341. doi:10.1007/s10584-008-9441-x

Hajat, S., Armstrong, B.G., Gouveia, N., Wilkinson, P., 2005. Mortality displacement of heat-related deaths: a comparison of Delhi, São Paulo, and London. *Epidemiol. Camb. Mass* 16, 613–620.

Hunt, A., Ferguson, J., Baccini, M., Watkiss, P., Kendrovski, V., 2016. Climate and weather service provision: Economic appraisal of adaptation to health impacts. *Clim. Serv.* doi:10.1016/j.cliser.2016.10.004

IPCC, 2014. Annex II: Glossary [Agard, J., E.L.F. Schipper, J. Birkmann, M. Campos, C. Dubeux, Y. Nojiri, L. Olsson, B. Osman-Elasha, M. Pelling, M.J. Prather, M.G. Rivera-Ferre, O.C. Ruppel, A. Sallenger, K.R. Smith, A.L. St Clair, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, and T.E. Bilir (eds.)], in: Barros, V.R., Field, C.B., Dokken, D.J., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White, L.L. (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1757–1776.

IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC, 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC, 2000. *Special Report on Emissions Scenarios*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Kalkstein, L.S., Greene, J.S., 1997. An evaluation of climate/mortality relationships in large U.S. cities and the possible impacts of a climate change. *Environ. Health Perspect.* 105, 84–93.

Linares, C., Diaz, J., 2008. Impact of high temperatures on hospital admissions: comparative analysis with previous studies about mortality (Madrid). *Eur. J. Public Health* 18, 317–322. doi:10.1093/eurpub/ckm108

Linares, C., Mirón, I.J., Montero, J.C., Criado-Álvarez, J.J., Tobías, A., Díaz, J., 2014. The Time Trend Temperature–Mortality as a Factor of Uncertainty Analysis of Impacts of Future Heat Waves. *Environ. Health Perspect.* 122, A118–A118. doi:10.1289/ehp.1308042

National Assessment Synthesis Team, 2000. *Climate change impacts on the United States: the potential consequences of climate variability and change*. US Global Change Research Program, Washington D.C., USA.

OECD, 2011. *Valuing mortality risk reductions in regulatory analysis of Environmental, Health and Transport policies: Policy implications*. OECD, Paris.

O'Neill, B.C., Carter, T.R., Ebi, K.L., Edmonds, J., Hallegatte, S., Kemp-Benedict, E., Kriegler, E., Mearns, L., Moss, R., Riahi, K., van Ruijven, B., van Vuuren, D., 2012. *Meeting Report of the Workshop on The Nature and Use of New Socioeconomic Pathways for Climate Change Research*. Boulder, CO.

Osakidetza, 2015. *Tarifas para facturación de servicios sanitarios y docentes de Osakidetza para el año 2016*. Gobierno Vasco, Vitoria-Gasteiz.



Paci, D., 2014. Human health impacts of climate change in Europe report for the PESETA II project., JRC Technical Reports. Publications Office, Luxembourg.

Robine, J.-M., Cheung, S.L.K., Le Roy, S., Van Oyen, H., Griffiths, C., Michel, J.-P., Herrmann, F.R., 2008. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *C. R. Biol.* 331, 171–178. doi:10.1016/j.crv.2007.12.001

Saha, M.V., Davis, R.E., Hondula, D.M., 2014. Mortality displacement as a function of heat event strength in 7 US cities. *Am. J. Epidemiol.* 179, 467–474. doi:10.1093/aje/kwt264

Scoccimaro, E., Gualdi, S., 2014. High-resolution climate data over Europe for the Bottom-up Climate Adaptation Strategies towards a Sustainable Europe (BASE) project (Technical report for the FP-7 BASE Project). Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC), Bologna, Italy.

WMO, WHO, 2015. Heatwaves and health: guidance on warning-system development. WMO, Geneva, Switzerland.

## ANEXO 1. PROYECTOS SIMILARES EN OTROS ENTORNOS, ÁMBITOS GEOGRÁFICOS O SECTORES

En la siguiente tabla se incluye un listado de proyectos locales, nacionales e internacionales que comparten objetivos o metodologías con OSATU.

**Tabla A1.** Proyectos relacionados con los objetivos y metodologías de OSATU

Proyecto	Tema relacionado
<b>BASE (Bottom-up Climate Adaptation Strategies towards a Sustainable Europe )</b> Séptimo Programa Marco de la UE (FP7-ENV-2012) (GA n. 308337) <a href="http://base-adaptation.eu/">http://base-adaptation.eu/</a>	Análisis Coste-Beneficio de impactos en salud por olas de calor en la ciudad de Madrid
<b>PURGE (Public health impacts in URban environments of Greenhouse gas Emissions reduction strategies)</b> Séptimo Programa Marco de la UE (FP7-ENV-2010) <a href="http://www.bc3research.org/projects/purge.html">http://www.bc3research.org/projects/purge.html</a>	Valoración económica de los impactos de la contaminación en la salud en Europa, China e India (estimaciones para el riesgo de mortalidad, morbilidad y distintos criterios de valoración de salud)
<b>ECONADAPT (Economics of climate change adaptation)</b> Séptimo Programa Marco de la UE (FP7-ENV-2013) <a href="http://www.bc3research.org/projects/econadapt.html">http://www.bc3research.org/projects/econadapt.html</a>	Estimación de costes y beneficios de medidas de adaptación a los impactos de eventos extremos (inundaciones fluviales y costeras) en Europa. Caso de estudio en Bilbao.
<b>K-EGOKITZEN (Cambio climático: impactos y adaptación)</b> Convocatoria ETORTEK <a href="http://www.neiker.net/neiker/k-egokitzen">http://www.neiker.net/neiker/k-egokitzen</a>	Desarrollo de escenarios regionalizados, estimación de impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos, el medio costero, el medio urbano, los ecosistemas marinos y los ecosistemas terrestres naturales y agrarios. Identificación preliminar de estrategias de adaptación.
<b>RAMSES (Science for cities in transition)</b> Séptimo Programa Marco de la UE (FP7-ENV-2012) <a href="http://www.ramses-cities.eu/">http://www.ramses-cities.eu/</a>	Cuantificación de evidencias de impactos del cambio climático y los costes y beneficios de una amplia gama de medidas de adaptación en ciudades.
<b>Climate-Trap (raining, Adaptation, Preparedness of the Health Care System to Climate Change)</b> <a href="http://www.climate-trap.eu/">http://www.climate-trap.eu/</a>	Ayuda en el proceso de evaluación e implementación de sistemas de alerta y planes en el sector de la salud con el objeto de hacer frente a los impactos del cambio climático en la salud de la población.
<b>PESETA II (Projection of Economic impacts of climate change in Sectors of the European Union based on bottom-up Analysis)</b> Joint Research Center (JRC) of the European Commission <a href="https://ec.europa.eu/jrc/peseta">https://ec.europa.eu/jrc/peseta</a>	Evaluación multisectorial de los impactos del cambio climático en distintas áreas (entre ellas la salud humana) para Europa en el horizonte 2071-2100.
<b>EUROHEAT (Improving public health responses to extreme weather/heat-waves. Summary for policy-makers)</b> World Health organization (European Commission Directorate-General for Health and Consumers) <a href="http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0009/95913/E92473.pdf">http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0009/95913/E92473.pdf</a>	Análisis de los impactos en la salud de olas de calor en diferentes ciudades europeas y desarrollo de una guía de planes de acción de salud debido a olas de calor.
<b>EXIOPOL (a new environmental accounting framework using externality data and input-output tolos for policy analysis)</b> Sexto Programa Marco de la UE (priority 6.3 Global Change and Ecosystems) <a href="https://feem-projectnet.serversicuro.it/exiopol/index.php">https://feem-projectnet.serversicuro.it/exiopol/index.php</a>	Valoración económica del riesgo de mortalidad (VVE para adultos y niños)

Proyecto	Tema relacionado
<b>HEIMTSA (Health and Environment Integrated Methodology and Toolbox for Scenario Assessment)</b> Sexto Programa Marco de la UE	Metodología para la evaluación de los efectos de distintos escenarios de política en impactos en el medioambiente y salud Valoración económica de impactos en la salud: <ul style="list-style-type: none"> <li>- VVE para adultos y niños</li> <li>- AVPP crónico y agudo</li> <li>- Estimaciones para la morbilidad y distintos criterios de valoración de salud</li> </ul>
<b>CAFÉ (Capacity, F and Effort)</b> Sexto Programa Marco de la UE (Prioridad 8.1)	Valoración económica de impactos en la salud: VVE para adultos y niños <ul style="list-style-type: none"> <li>- AVPP crónico</li> <li>- Estimaciones para morbilidad y distintos criterios de valoración de salud</li> </ul>
<b>ESPROME (Integrated assessment of heavy metal releases in Europe)</b> Sexto Programa Marco de la UE <a href="http://espreme.ier.uni-stuttgart.de/">http://espreme.ier.uni-stuttgart.de/</a>	Valoración económica de impactos en la salud: Años de vida ajustados por discapacidad (AVD) (= años vividos discapacitado + años de vida perdidos) para distintos criterios de valoración de salud (mortalidad + morbilidad)
<b>NEEDS (New Energy Externalities Development for Sustainability)</b> Sexto Programa Marco de la UE <a href="http://www.needs-project.org">http://www.needs-project.org</a>	Valoración económica de impactos en la salud: <ul style="list-style-type: none"> <li>- VVE para adultos y niños</li> <li>- AVPP crónico y agudo</li> <li>- Estimaciones para la morbilidad y distintos criterios de valoración de salud</li> </ul>

Abreviaciones:

VVE: Valor de una Vida Estadística

AVPP: Años de Vida Potencialmente Perdidos



Herri-baltzua

Sociedad Pública del

**EUSKO JAURLARITZA**



**GOBIERNO VASCO**

INGURUMEN, LURRALDE PLANGINTZA  
ETA ETXEBIZITZA SAILA

DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE,  
PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y VIVIENDA

[www.ihobe.eus](http://www.ihobe.eus)

[www.ingurumena.eus](http://www.ingurumena.eus)