

/G

Análisis de
riesgos complejos

2025

Informe de Impacto
y Vulnerabilidad al
Cambio Climático
en Gipuzkoa



Jasangarritasuna · Sostenibilidad



Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa



Análisis de
riesgos complejos

Informe de Impacto
y Vulnerabilidad al
Cambio Climático
en Gipuzkoa

AGRADECIMIENTOS

Desde Naturklima queremos agradecer la colaboración del grupo de expertos que ha constituido el grupo de trabajo para la identificación de relaciones entre los diversos riesgos climáticos, imprescindible para la elaboración de este Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa – Análisis de riesgos complejos. Todos ellos han aportado una ayuda de incalculable valor a nuestro informe. Quisiéramos agradecer especialmente a cada uno de ellos por compartir su tiempo y conocimiento con nosotros.

Manex Aranburu – Goimen Landa Garapen Elkartea
Ainara Artetxe – NEIKER
Iker Azurmendi – Departamento de Sostenibilidad (DFG)
Josean Belzunce – Ayuntamiento de Irún
Carlos Cabido – Sociedad de Ciencias Aranzadi
Irene Cárdaba – Departamento de Cultura, Turismo, Juventud y Deporte (DFG)
Mikel Cepeda – KREAN, S. Coop.
Miguel Ángel Corcuera – Añarbeko Urak
Guillem Chust – AZTI
Miren Elosegui – ADEGI
Sergio Fernández – Ayuntamiento de Donostia
Gorka Goikoetxea – Cámara de Gipuzkoa
Manuel González – AZTI
Josune Hernantes – Escuela de Ingeniería de la Universidad de Navarra - TECNUN
Jesús Ibarluzea – EHU
Leire Labaka – Escuela de Ingeniería de la Universidad de Navarra - TECNUN
Gorka Landeras – NEIKER
Ángel Lertxundi – BASOINSA SL
Maitane Lizeaga – Federación Mercantil de Gipuzkoa: Gipuzkoa Merkatariak
Xabier Otxoa - BIDEGI
Yurre Peñagarikano – URKOME
Iñaki Puga – Departamento de Sostenibilidad (DFG)
Mikel Sarriegi – BASOINSA SL

El Informe ha sido realizado por Naturklima, con la asistencia técnica de Tecnalia.

ÍNDICE

Parte I

El clima desde la escala global a la local en 2024.....09

0. Resumen ejecutivo.....	10
1. Introducción.....	11
2. Contexto Global.....	12
3. Gipuzkoa en 2024.....	28

Parte II

Riesgos complejos: Análisis de interdependencias entre riesgos clave del cambio climático.....49

1. Introducción.....	51
2. Metodología.....	55
2.1. Fase I. Identificación de riesgos clave.....	56
2.2. Fase II. Proceso participativo: co-creación de las relaciones.....	56
2.3. Fase III. Modelo de riesgos complejos.....	59
2.4. Problemáticas y limitaciones del estudio.....	62
3. Riesgos clave en Gipuzkoa.....	63
3.1. Identificación de riesgos clave.....	63
3.2. Riesgos clave.....	65
4. Resultados de las métricas del modelo de riesgos complejos.....	88
4.1. Centralidad de Grado de salida.....	90
4.2. Centralidad de Grado de entrada.....	91
4.3. Centralidad de Cercanía.....	93
4.4. Centralidad de Intermediación.....	94
5. Relaciones directas entre riesgos.....	95
5.1. Agua y recursos hídricos.....	95
5.2. Patrimonio natural y biodiversidad.....	98
5.3. Costas y medio marino.....	100
5.4. Salud.....	102
5.5. Medio urbano.....	104
5.6. Agricultura, ganadería, forestal y pesca.....	108
5.7. Patrimonio cultural.....	113
5.8. Energía.....	114
5.9. Transporte.....	116
5.10. Turismo.....	119
5.11. Industria y servicios.....	120
5.12. Financiero.....	123
6. Conclusiones.....	126

Anexos.....131

Anexo I.....	132
Anexo II.....	140
Anexo III.....	143
Glosario.....	144
Referencias.....	148



Naturklima

Aldaketa Klimatikoaren | Fundación de Cambio
Gipuzkoako Fundazioa | Climático de Gipuzkoa



Jasangarritasuna · Sostenibilidad

/G

Informe de Impacto
y Vulnerabilidad al
Cambio Climático
en Gipuzkoa



**José Ignacio
Asensio Bazterra**

Presidente de Naturklima
y diputado de Sostenibilidad

Vivimos un momento decisivo en la lucha contra el cambio climático. Un tiempo en el que la evidencia científica nos exige actuar con visión de conjunto, anticipación y responsabilidad compartida.

El sexto Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa representa un paso esencial en esa dirección. Comprender no solo los efectos sectoriales del cambio climático, sino también las interdependencias entre ellos, que los agravan y multiplican.

El verano de 2025 ha supuesto un punto de inflexión en ese sentido. La emergencia climática se ha manifestado con una crudeza inédita; incendios devastadores, olas de calor más prolongadas y temperaturas extremas que solo en Euskadi se han cobrado la vida de más de un centenar de personas. Ha sido uno de los años más cálidos del siglo en Gipuzkoa, con un aumento de las noches tropicales y un descenso en los días fríos y noches de helada. Al mismo tiempo, el nivel del mar continúa subiendo, y podría aumentar hasta 70 centímetros a final de siglo, poniendo en riesgo puertos, playas y zonas costeras.

Este año, el informe elaborado por Naturklima profundiza por primera vez en el análisis de los riesgos complejos, aquellos que no actúan de forma aislada, sino que están interconectados. Porque los impactos del cambio climático no ocurren por separado. Una ola de calor puede afectar a la salud, al consumo eléctrico, a la disponibilidad de agua o a la producción agrícola; una sequía puede dañar los cultivos, reducir la producción de alimentos, afectar al empleo y provocar tensiones en los precios. Y son sólo algunos ejemplos.

El estudio demuestra que los impactos del cambio climático no son un problema ambiental aislado, sino una cuestión que afecta directamente a la economía, al empleo, a la salud y a la calidad de vida de las personas. Los efectos sobre nuestra costa, sobre las ciudades o sobre los recursos hídricos pueden desencadenar una reacción en cadena que impacte en los sectores industrial, turístico, agrícola o de servicios. Todo está conectado.

Este diagnóstico confirma también que la adaptación al cambio climático es un reto estratégico, no solo ambiental, también económico y social. La resiliencia del territorio depende de nuestra capacidad para anticiparnos, planificar y actuar de forma coordinada y con una visión integral. Por ello, este informe no es solo el resultado de un estudio científico, es una herramienta de gobernanza, que pone el conocimiento al servicio de las decisiones públicas.

Este Informe nos sitúa como referente europeo en el análisis de riesgos climáticos en red, y nos recuerda que la mejor forma de cuidar el planeta es cuidar de las personas.

Porque, no lo olvidemos, todo está interconectado. En las siguientes páginas descubriremos las claves de esa conexión.

Gipuzkoa avanza hacia un modelo de territorio más preparado y más consciente, que entiende la sostenibilidad como un principio de prosperidad compartida. Tenemos que actuar con visión de conjunto para anticiparnos y adaptarnos a una emergencia climática que ya nos ha alcanzado.

/G

Informe de Impacto
y Vulnerabilidad al
Cambio Climático
en Gipuzkoa





El clima desde la escala global a la local en 2024

TEMPERATURA

- 2024, a escala global, fue el año más cálido registrado, con una temperatura media $+1,55 \pm 0,12$ °C superior a la de la época preindustrial (1850-1900). Es el primer año en el que la temperatura global superó en 1,5 °C la media del periodo preindustrial, definido en el Acuerdo de París.
- La temperatura media en Gipuzkoa ha aumentado a una tasa de 0,35 °C por década desde 1971, una tasa consistente con el cambio observado en la temperatura media en Europa.
- La década más reciente (2015-2024) ha sido en Gipuzkoa, de media, +0,60 °C más cálida que el periodo 1991-2020 y +1,10 °C más cálida que el periodo 1971-2000.
- Cinco años en la última década (2015-2024) se encuentran entre los diez más cálidos registrados en el territorio desde 1971.
- La temperatura media en 2024 en Gipuzkoa fue de 13,86 °C, +0,80 °C por encima de la media 1991-2020 y +1,30 °C respecto al periodo 1971-2000.

PRECIPITACIÓN

- La precipitación acumulada anual en Gipuzkoa no muestra tendencias significativas en el periodo 1971-2024. Únicamente se observan cambios significativos en la precipitación total de la primavera, un descenso del -6,00 % en el periodo 1971-2024. En el resto de estaciones se observan incrementos, aunque no significativos.
- La última década (2015-2024) ha sido un +6,00 % más húmeda que el periodo 1991-2020 y +6,10 % que 1971-2000.
- Cinco de los diez años más húmedos en Gipuzkoa en la serie desde 1971 han ocurrido después de 2010.
- En 2024 la precipitación acumulada fue en torno a un +15,00 % superior a la del periodo 1991-2020. Fue el cuarto año más húmedo en lo que llevamos de siglo XXI.

OCÉANO

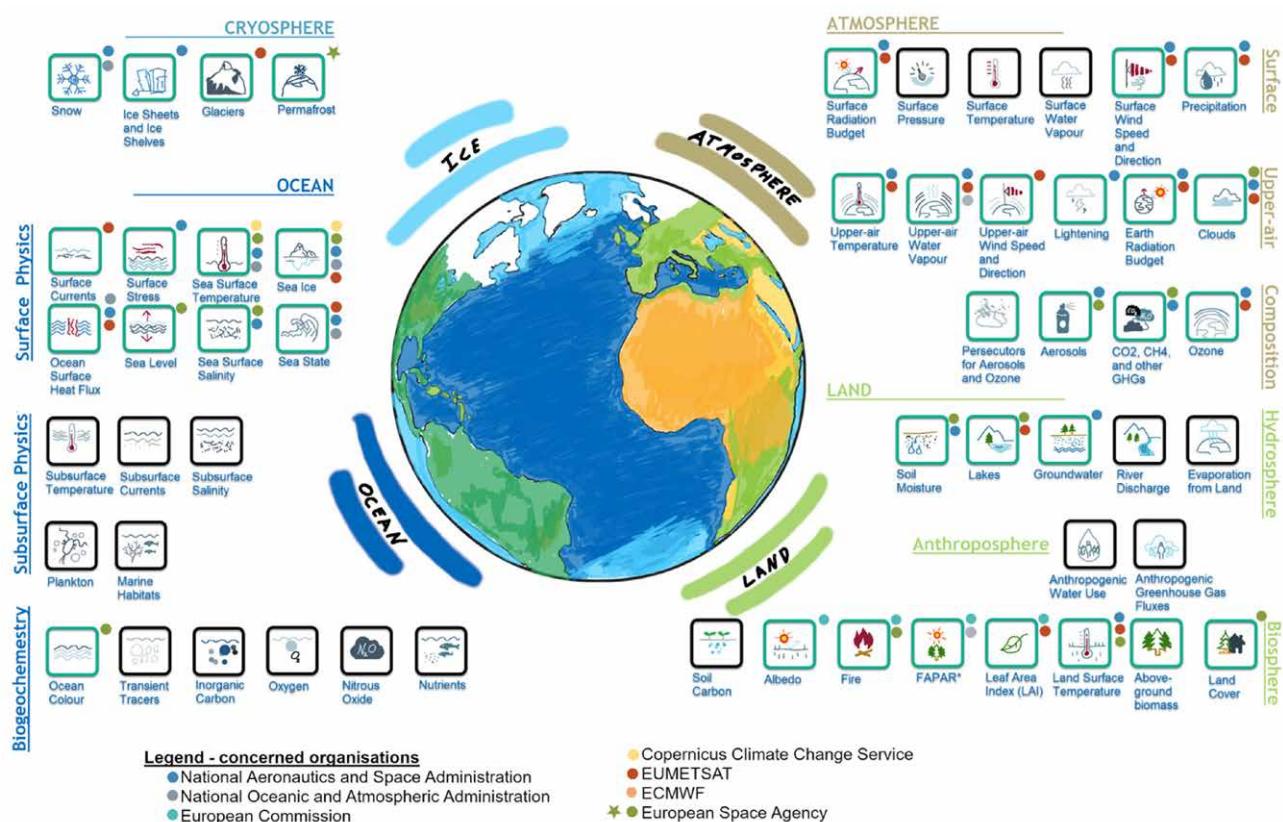
- La temperatura del mar está aumentando desde la década de 1980 en el golfo de Vizcaya a una tasa de entre 0,14 °C y 0,26 °C por década.
- El nivel medio del mar en el golfo de Vizcaya está ascendiendo a una tasa de entre 1,01 y 3,40 cm por década desde la década de 1990. Este ascenso se está acelerando en las últimas tres décadas.
- Se observa una acidificación de las aguas costeras. El pH del agua de mar está descendiendo entre 0,05 y 0,07 unidades de pH por década en el periodo 2002-2022 en la costa vasca.

“La historia del clima se está escribiendo ante nuestros ojos. No estamos hablando de solo uno o dos años de temperaturas récord, sino de una serie completa de diez años. Y esta ha ido acompañada de condiciones meteorológicas extremas de efectos devastadores, subida del nivel del mar y fusión de los hielos, circunstancias que se han visto exacerbadas por unas concentraciones sin precedentes de gases de efecto invernadero fruto de la actividad humana” (Celeste Saulo, Secretaria General de la Organización Meteorológica Mundial).

1. INTRODUCCIÓN

Las propiedades físicas y biogeoquímicas del sistema climático están cambiando como consecuencia del desequilibrio en el balance energético de la Tierra provocado por la acumulación de los gases de efecto invernadero de origen antropogénico en la atmósfera. Este desequilibrio energético da lugar a un calentamiento generalizado con múltiples impactos sobre los distintos sistemas naturales y socioeconómicos. Para conocer la magnitud y la distribución espacial de estos impactos se han definido unas variables o indicadores, las denominadas *Variables Climáticas Esenciales* (ECVs, por sus siglas en inglés) definidas por el Sistema Mundial de Observación del Clima. Divididas en variables atmosféricas, oceánicas

y terrestres, constituyen un conjunto de 54 variables físicas, químicas y biológicas que contribuyen a la caracterización del clima de la Tierra, proporcionando una imagen global del cambio climático. Entre estas variables o indicadores se encuentran, por ejemplo, la temperatura media de la superficie global, el contenido en calor del océano global, la acidificación del océano, el nivel medio del mar global, el equilibrio de la masa de los glaciares, la extensión del hielo marino en el Ártico y Antártico y la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero, los 7 indicadores utilizados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) para resumir el estado del clima.



1. Fig. Variables climáticas esenciales y organizaciones involucradas en la recopilación de los datos necesarios para el cálculo de dichos indicadores. Fuente: Lisboa et al. (2024).



La monitorización continua de estas Variables Climáticas Esenciales permite la detección de tendencias, patrones y anomalías en el sistema climático, proporcionando información esencial de su estado, comportamiento e impactos potenciales en los ecosistemas, la sociedad y economía. Es decir, ofrecen una perspectiva integral sobre el estado del clima y los cambios potenciales en todos los componentes del sistema climático.

En este informe se recoge un resumen del estado del clima en 2024 junto con un análisis histórico de diversos indicadores climáticos a nivel global y a escala del T.H. de Gipuzkoa. Para contextualizar las condiciones actuales se presentan estadísticas comparadas con distintos períodos de referencia. Estos períodos de referencia suelen abarcar 30 o más años y sirven como referencia para el análisis climático actual. Los principales períodos de referencia utilizados son 1981–2010, ya que es el más adecuado de acuerdo a los datos climatológicos disponibles en Gipuzkoa (1971–2016) y el periodo de referencia base 1971–2000. No obstante, cuando ha sido posible, también se ha empleado el periodo más reciente, 1991–2020. Además, se ha considerado la última década (2015–2024), que, si bien no es un periodo de referencia estándar, proporciona información valiosa sobre la evolución más reciente del clima. La comparación de este periodo con los períodos de referencia de 30 años y los registros históricos permite analizar tanto variaciones de corto plazo como tendencias climáticas a largo plazo, ofreciendo una visión detallada del comportamiento climático reciente y su relación con los patrones históricos.

El análisis de tendencias y variaciones en Gipuzkoa se basa en los escenarios climáticos en Euskadi y en series de datos elaborados por Neiker, Grupo de Meteorología de Santander (Universidad de Cantabria) y Predictia, para

Ihobe-Gobierno Vasco, con financiación de los programas: KLIMATEK I+B+G del Gobierno Vasco (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático: "ESCENARIOS" y "ESCENARIOS II") y LIFE de la Unión Europea (LIFE18 IPC/ES/000001, "LIFE-IP URBAN KLIMA 2050"). Estos se acompañan con datos de los observatorios meteorológicos de Igeldo y Hondarribia-Malkarroa ya que ambos proporcionan largas series temporales, de más de 30 años (comenzando en 1929 y 1956, respectivamente). También se han analizado los datos diarios de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación acumulada en 24 horas de la rejilla observational con interpolación óptima ROCIO_IBEB de AEMET de alta resolución, aproximadamente 5 km, para el periodo 1970–2022 (AEMET, 2025). Finalmente, para el seguimiento de los indicadores anuales de los últimos 24 años se considera la red de estaciones meteorológicas de la CAPV que utiliza la Agencia Vasca de Meteorología – Euskalmet.

Asimismo, se incluye un breve resumen de los cambios observados en los principales indicadores marinos de cambio climático para el golfo de Vizcaya: temperatura del agua, nivel medio del mar y pH. Un análisis más detallado de estas variables, junto con los cambios observados en el resto de los indicadores de cambio climático e impacto definidos para el litoral guipuzcoano se publican en el Informe del Observatorio marino-costero.

Por último, en el Anexo I se incluye una actualización de los indicadores del cuadro de mando utilizado para la monitorización, seguimiento y evaluación de la situación y evolución de los efectos del cambio climático en Gipuzkoa, así como el efecto de las medidas de adaptación implementadas. Se incluye la serie histórica disponible para el periodo 2010–2024.

2. CONTEXTO GLOBAL

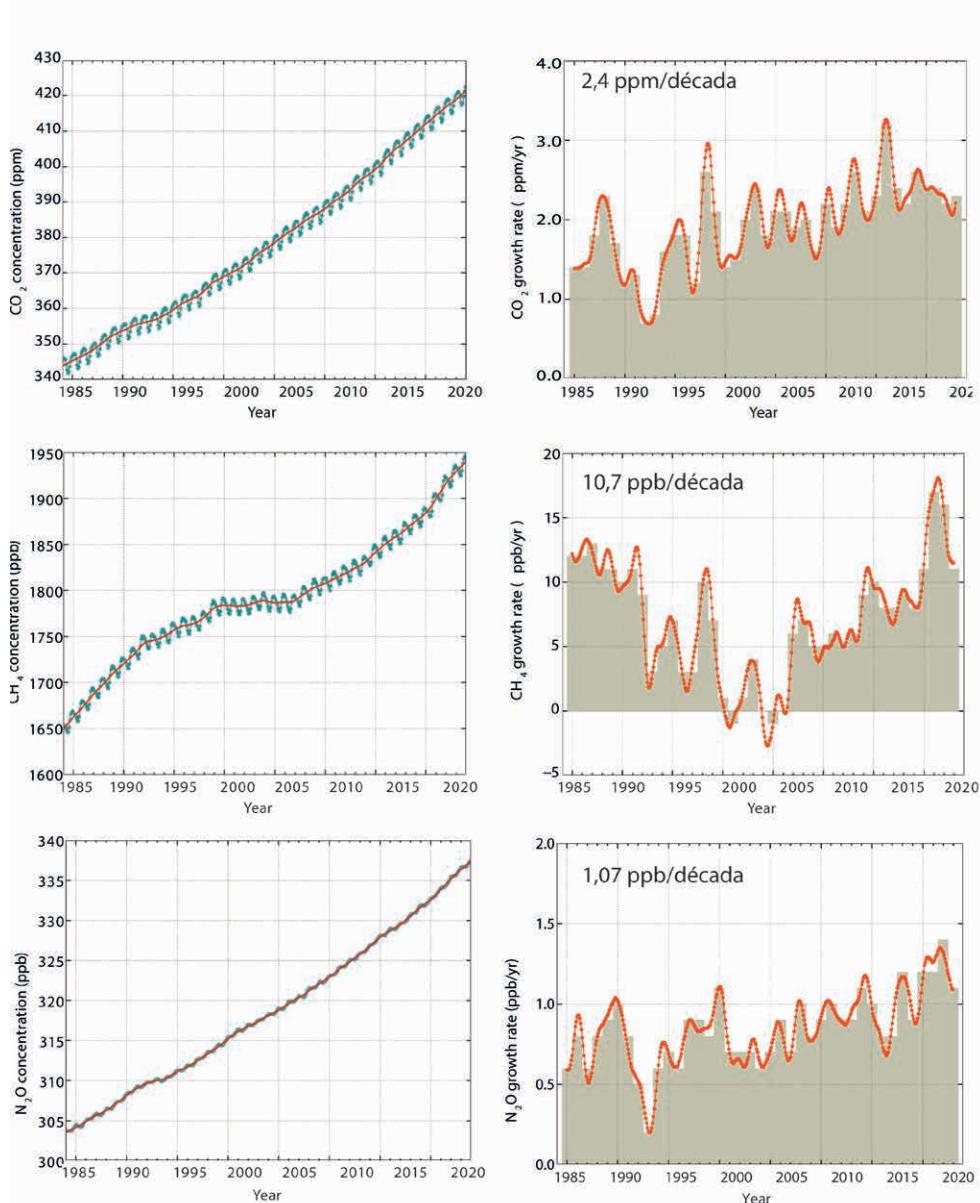
2.1. GASES DE EFECTO INVERNADERO

El aumento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera es el principal impulsor del cambio climático. La principal fuente de emisión de los GEI es la quema de combustibles fósiles, lo que ha provocado que, desde el principio de la Revolución Industrial, la concentración de estos gases en la atmósfera

se haya incrementado año tras año. Esta acumulación continua ha provocado desequilibrios en el balance energético de la capa superior de la atmósfera contribuyendo a un forzamiento radiativo positivo y, por tanto, a un calentamiento inequívoco (Zeng et al., 2015; Turner et al., 2019; Matthews & Wynes, 2022).

Aunque ciertos GEI surgen naturalmente, su emisión a la atmósfera está influenciada directa o indirectamente por las actividades humanas. Los principales gases que surgen naturalmente son el vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), ozono (O_3), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O). Otros como los clorofluorocarbonos (CFC) y el hexafluoruro de azufre (SF_6), en cambio, surgen únicamente como consecuencia de las actividades antropogénicas. De todos ellos, los que mayor impacto climático tienen son el CO_2 , CH_4 y N_2O , cuyas concentraciones atmosféricas alcanzaron nuevos récords en 2023 y 2024.

El aumento de CO_2 atmosférico está directamente relacionado con la cantidad de emisiones de carbono al ser el resultado neto de emisiones totales de carbono que superan los sumideros de carbono de los océanos y de la biosfera terrestre. Los datos preliminares indican que las emisiones globales de CO_2 alcanzaron un nuevo máximo en 2024, superando en un 0,8 % las emisiones de 2023. Las emisiones totales de CO_2 en 2024 ascendieron a 41,6 billones de toneladas (Gt CO_2) (Friedlingstein et al., 2025), de las cuales aproximadamente el 10 % corresponden a emisiones derivadas del cambio de uso del suelo.



2. Fig. Evolución de la concentración media mensual y tasa de crecimiento anual correspondiente de CO_2 , CH_4 y N_2O para el periodo 1984-2023. Fuente: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2023. Fuente: WMO (2024).

Los datos preliminares indican que la concentración atmosférica de CO₂ en 2023 fue 420,0 ppm y se espera que los datos para 2024 lo superen, alcanzando 422,5 ppm (Friedlingstein et al., 2025). El incremento en 2023 fue un +2,3 % con respecto al año anterior y un +52 % superior a la de la época preindustrial (278,3 ppm en 1750) (Lan et al., 2025). La concentración interanual (entre el 1 de enero y 31 de diciembre de 2023) aumentó en +2,8 ppm, el cuarto mayor incremento desde que comenzaron los registros modernos en la década de 1950 (OMM, 2024). Aunque las tasas de crecimiento de las emisiones de CO₂ se han ralentizado en las últimas décadas en comparación con la década de 2000, las emisiones siguen siendo elevadas. Esto ha resultado en el mayor crecimiento medio decadal en la última década (2014–2023), de +2,4 ppm por año (OMM, 2024).

La concentración atmosférica media de CH₄ alcanzó un nuevo récord en 2023, 1.934 ± 2 ppb. Esto supone un incremento del +265,8 % con respecto a la época preindustrial (antes de 1750) y un incremento aproximado de

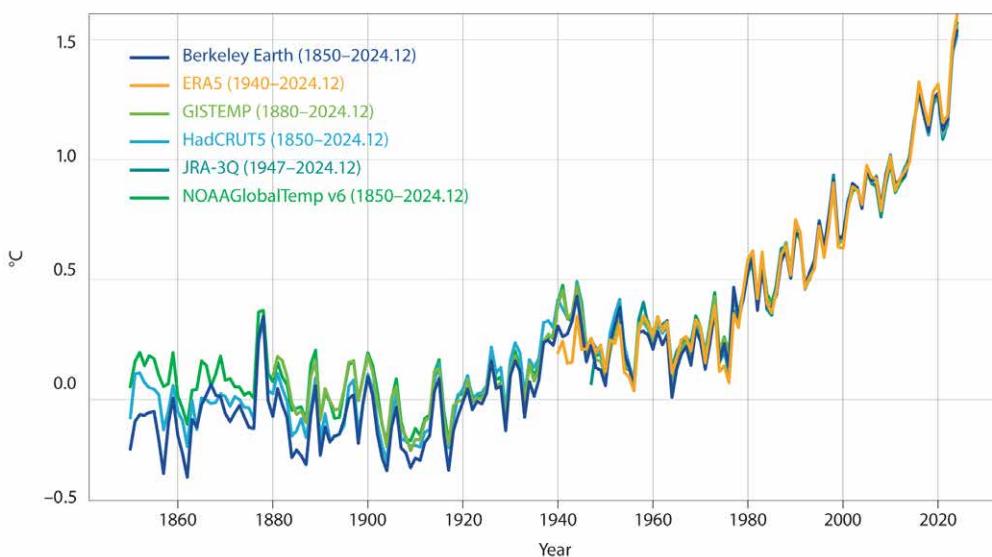
+11 ppb con respecto al último dato disponible de 2023. Esta tasa de crecimiento anual es ligeramente inferior a la registrada entre 2021 y 2022 (+16 ppb por año) y ligeramente superior al aumento medio anual de +10,7 ppb en la última década. Desde 2007, el CH₄ presenta una tasa ascendente (OMM, 2025).

La concentración media en 2023 de N₂O fue de 336,9 ± 0,1 ppb, un incremento de +1,1 ppb respecto a 2022 y un +125 % respecto a los niveles preindustriales (270,1 ppb) (OMM, 2024). El aumento anual fue inferior al registrado entre 2021 y 2022 y ligeramente superior a la tasa media anual de incremento en la última década de +1,07 ppb por año. Aunque los datos definitivos para todo el año 2024 se encuentran en proceso de consolidación, las tendencias observadas en mediciones a largo plazo realizadas por organizaciones como la NOAA y la OMM sugieren que la concentración atmosférica media de óxido nitroso (N₂O) en 2024 alcanzó un máximo histórico, 337,69 ppb.

2.2. TEMPERATURA

Las variaciones en la temperatura global representan un factor clave para evaluar la magnitud del cambio climático y sus efectos potenciales. Desde finales del siglo XIX, la temperatura superficial del planeta ha mostrado un aumento sostenido, acelerándose significativamente a partir de 1970. Desde 1980, cada una de las décadas ha sido más cálida que la anterior, siendo la

última (2015–2024) la más cálida. De acuerdo al reanálisis ERA-5, la tasa media de calentamiento es de +0,21 ± 0,03 °C por década en el periodo 1979–2024, calentamiento que se ha intensificado en los últimos 30 años, como evidencia el incremento de dicha tasa a +0,26 ± 0,05 °C por década en el periodo 1995–2024.



3. Fig. Evolución de la anomalía de temperatura media global respecto al periodo 1850–1900 para distintas bases de datos. Fuente: OMM (2024).

En este escenario de tendencia ascendente, el 2024 fue el año más cálido registrado en los últimos 175 años (OMM, 2024). La temperatura media global anual fue de 15,10 °C, +0,12 °C por encima del récord histórico de 2023 (C3S, 2025). Asimismo, se registró un nuevo máximo en la temperatura media diaria, 17,16 °C registrado el 22 de julio. El análisis integrado de seis conjuntos de datos realizado por la OMM indica que la temperatura media global anual fue $+1,55 \pm 0,13$ °C superior a la de la época preindustrial (1850–1900). Así, 2024 fue el primer año natural

en el que la temperatura media mundial excedió en más de +1,5 °C el promedio de dicho periodo. La temperatura media combinada para 2023 y 2024 fue +1,54 °C superior a la del nivel preindustrial. Uno o dos años que superen el umbral de 1,5 °C el nivel preindustrial no implica que se hayan sobrepasado los objetivos del Acuerdo de París. Sin embargo, con la tasa anual de calentamiento a más de 0,2 °C por década, es muy probable que se supere dicho objetivo durante la década de 2030 (C3S, 2025).

“ En 2024, la temperatura media global alcanzó un récord histórico de 15,10 °C, superando en 1,55 °C los niveles preindustriales (1850–1900). Este incremento marca la primera vez que se sobrepasa el umbral crítico de 1,5 °C establecido en el Acuerdo de París. (OMM, 2025) ”

Aunque el aumento sostenido de las temperaturas está impulsado por el calentamiento global de origen antropogénico, junto a esta tendencia a largo plazo las fluctuaciones anuales responden también a la variabilidad natural. Entre los factores que influyen en estos cambios, los ciclos de calentamiento y enfriamiento asociados a El Niño y La Niña representan una de las principales fuentes de variabilidad interna de un año a otro, registrándose los años más calurosos durante episodios de El Niño.

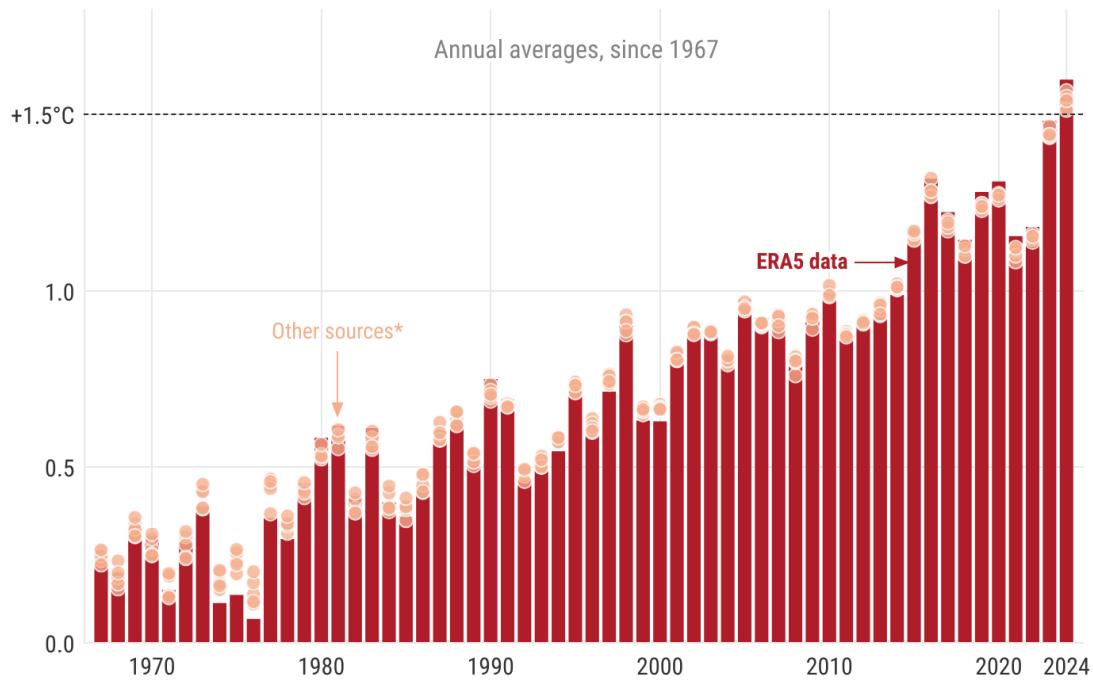
A la excepcionalidad de los dos últimos años, 2023 y 2024 especialmente cálidos, han contribuido distintos factores como el calentamiento global, que se está acelerando, un evento de El Niño, aunque no excepcional, y una fase inusualmente cálida en los océanos. El año 2024

estuvo marcado por la transición hacia unas condiciones neutras tras un periodo de casi dos años bajo la influencia de El Niño. Además del Niño, una fracción significativa del calentamiento en 2023 y 2024 parece estar asociado a la temperatura superficial del mar, que registró nuevos valores de récord (Cheng et al., 2025). Otros factores que también pudieron haber influido en uno o ambos años incluyen la erupción del volcán Hunga Tonga-Hunga Ha'apai en enero de 2022, menores emisiones de dióxido de azufre por parte del transporte marítimo, reducción de nubes de bajo nivel, máximo del ciclo solar o el mecanismo de retroalimentación entre aumento de la temperatura y vapor de agua en la atmósfera (C3S, 2025).



Global surface temperature: increase above pre-industrial

Reference period: pre-industrial (1850–1900) • Credit: C3S/ECMWF



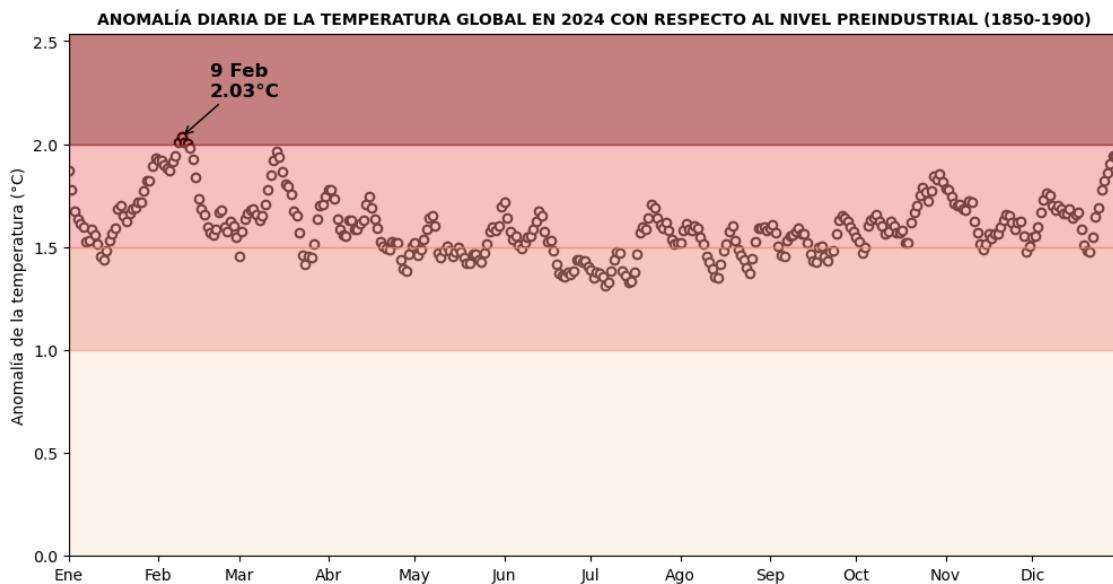
*Other sources comprise JRA-3Q, GISTEMPv4, NOAAGlobalTempv6, Berkeley Earth, HadCRUT5.

PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION

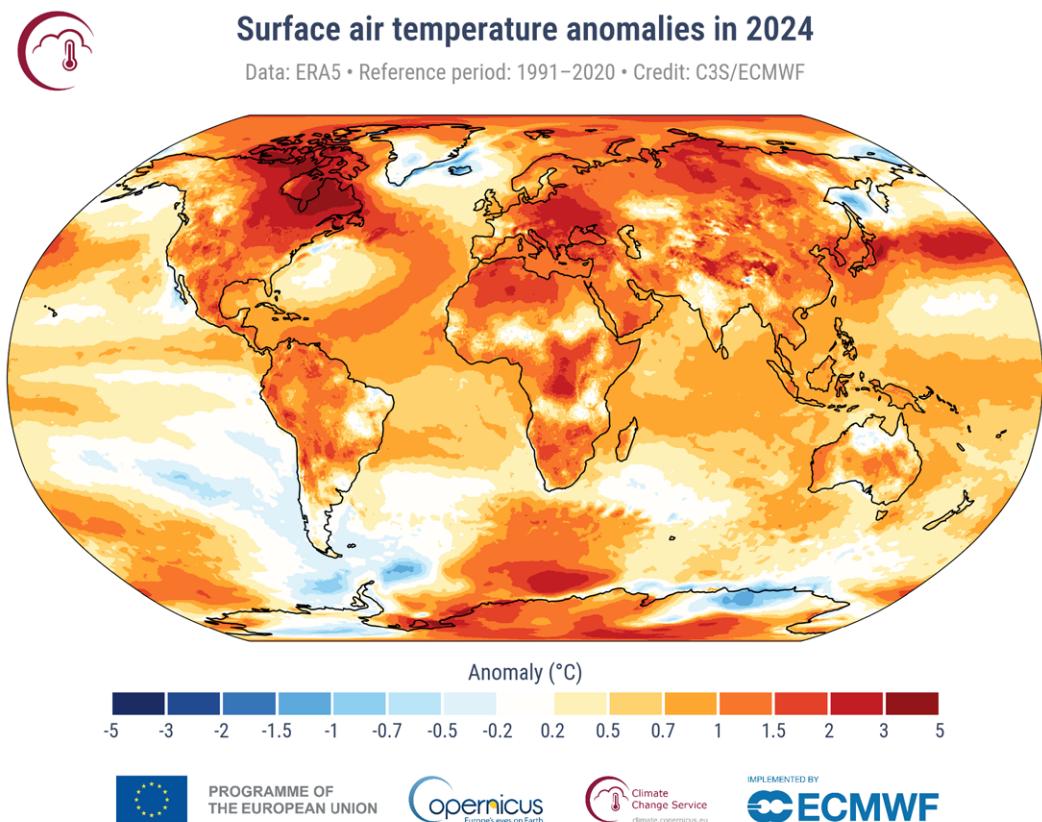
4. Fig. Aumento de la temperatura promedio del aire en superficie ($^{\circ}\text{C}$) con respecto al periodo preindustrial (1850–1900). Los resultados mostrados están basados en varios conjuntos de datos globales de temperatura promedia desde 1967. Crédito: C3S/ECMWF.

En 2024, durante 11 meses consecutivos, la temperatura media mensual global estuvo por encima de $+1,5^{\circ}\text{C}$ en comparación con los niveles preindustriales, evidenciando la magnitud y persistencia del calentamiento global. En tres de las cuatro estaciones se registraron temperaturas récord para la época del año: el invierno boreal (diciembre 2023 - febrero 2024), la primavera boreal (marzo - mayo) y el verano boreal (junio - agosto) con temperaturas $+0,78^{\circ}\text{C}$, $+0,68^{\circ}\text{C}$ y $+0,69^{\circ}\text{C}$, respectivamente, respecto a las medias registradas en el periodo de referencia 1991–2020.

Durante todos los días del año, la temperatura media global se mantuvo entre $+1,0^{\circ}\text{C}$ y $+2,0^{\circ}\text{C}$ superior a la del periodo preindustrial (1850–1900). El 75 % de los días la anomalía superó los $+1,5^{\circ}\text{C}$ y durante 4 días consecutivos (8–11 de febrero) se superó la temperatura de referencia en $+2^{\circ}\text{C}$.



5. Fig. Anomalía diaria de la temperatura promedio mundial en 2024 con respecto al periodo de referencia preindustrial (1850-1900). El gráfico destaca los incrementos de temperatura dentro de cuatro rangos: 0-1,0 $^{\circ}\text{C}$; 1,0-1,5 $^{\circ}\text{C}$; 1,5-2,0 $^{\circ}\text{C}$ y por encima de 2,0 $^{\circ}\text{C}$. Fuente: elaboración propia a partir de los datos ERA5.



6. Fig. Anomalía de la temperatura del aire en superficie para 2024 en relación al periodo de referencia 1991-2020. Crédito: C3S/ECMWF (2025).



GLOBAL	NASA-GISS (°C)	HadCRUT4 (°C)	NOAA-Global Temp (°C)	ERA5 (°C)	JRA-55 (°C)
SUPERFICIE TERRESTRE	+0,78	+0,73	+0,83	+0,85	+0,76
SUPERFICIE OCEÁNICA	+0,43	+0,47	+0,43	+0,50	+0,48
SUPERFICIE (PROMEDIO)	+0,56	+0,56	+0,55	+0,60	+0,56

1. Tabla. Anomalía en el promedio de la temperatura (°C) en 2023 en la superficie terrestre, oceánica y combinada relativa al periodo 1991–2020. Fuente: Blunden & Boyer (2024).

El incremento de temperatura media en Europa en las últimas cuatro décadas ha sido mucho mayor que en cualquier otro continente. El valor promedio de la temperatura media del continente durante los últimos cinco años se situó +2,3 °C por encima de los niveles preindustriales, es decir, un +1,0 °C superior al correspondiente incremento medio global. Desde la década de 1910, la tasa de ascenso de la temperatura media ha sido de +0,16 °C por década, tasa que se ha triplicado a +0,45°C por década desde 1975 (NOAA, 2025).

2024 fue el año más cálido registrado en el continente, con una temperatura media de 10,69 °C y una anomalía de +1,47 °C con respecto a la del periodo de referencia 1991–2020 y +2,92 °C del periodo 1850–1900. La excepcionalidad de estas temperaturas tan elevadas se debió principalmente a los valores récord alcanzados en las áreas central, oriental y suroriental del continente en todas las estaciones del año. La primavera y el verano de 2024 fueron los más calurosos jamás registrados. La primavera superó en +0,36 °C el récord previo establecido en 2014, mientras que el verano fue +0,20 °C más cálido que el anterior récord de 2022. Las temperaturas invernales

registradas indican que el invierno (diciembre 2023–febrero 2024) fue el segundo más cálido en la historia, con una anomalía de temperatura de +1,44 °C por encima del promedio de 1991–2020, aunque -1,40 °C por debajo del invierno 2019–2020, el más cálido registrado hasta la fecha. Finalmente, el otoño fue el tercero más cálido desde que existen registros, con una temperatura media +1,25 °C por encima de la referencia 1991–2020, aunque -0,21 °C por debajo del otoño más cálido registrado en 2020 (C3S, 2025).

En la España peninsular, el año 2024 fue extremadamente cálido, con una temperatura media de 15,0 °C, +1,1 °C por encima de la media anual para el periodo de referencia 1991–2020. Fue el tercer año más cálido de la serie histórica 1961–2024, únicamente por detrás de 2022 y 2023. Los diez años más cálidos de la serie pertenecen al siglo XXI (AEMET, 2025). En 2024 fueron frecuentes los episodios de temperaturas más altas de lo normal y en verano se registraron tres olas de calor.

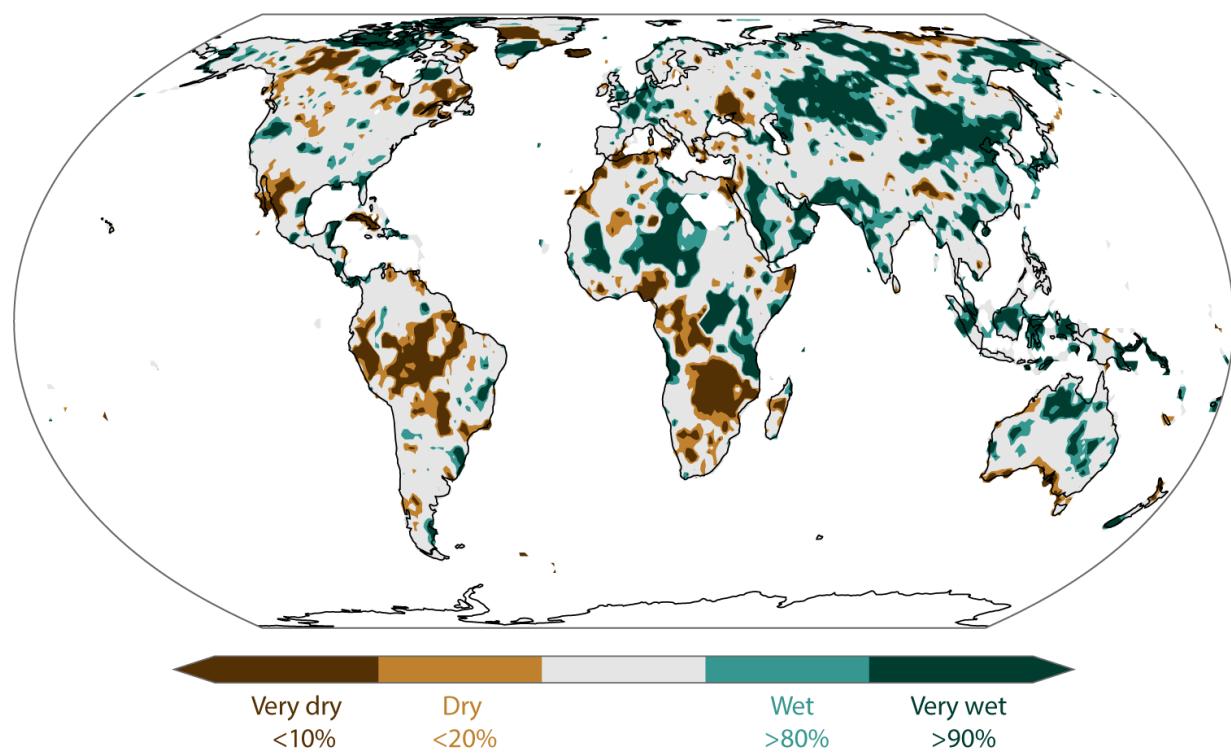
2.3. PRECIPITACIÓN

La precipitación global y su distribución en el tiempo y espacio son clave en los ciclos de agua y energía de la Tierra. Es un componente esencial del ciclo hidrológico global y una variable climática esencial, fundamental para monitorizar la variabilidad y el cambio climático, esto es, para comprender las alteraciones en el ciclo hidrológico asociadas al cambio climático. La capacidad de retención de agua en la atmósfera y la circulación atmosférica y oceánica que impulsan las precipitaciones están cambiando.

El calentamiento global afecta a los patrones de precipitación global a largo plazo (Gu & Adler, 2023, 2024) junto con El Niño-Oscilación del Sur. Estos y otros factores dan lugar a la magnitud de la precipitación global y el patrón de precipitaciones en un año cualquiera.

Mientras que la temperatura media global presenta una clara tendencia ascendente, la precipitación global ha aumentado muy ligeramente, y no significativamente, en el periodo 1979–2024, a una tasa de aproximadamente +0,84 mm por década (NOAA, 2025).

En 2024 la precipitación total fue +14,90 mm superior a la media del periodo 1991–2020 (NOAA, 2025) y un +0,09 mm/día con respecto al valor de 2,81 mm/día observado para el periodo 1983–2023 (Adler & Gu, 2025). El récord de temperatura media global en 2024, incluso sin un evento de El Niño significativo, pudo afectar a la evaporación y precipitación dando así lugar a valores altos de precipitación anual, así como para seguir impulsando el patrón de tendencias de precipitación asociada al calentamiento global.



7. Fig. Precipitación total en 2024, expresada como una cantidad del periodo de referencia 1991–2020, para las zonas que hubieran estado en el 20 % más seco (marrón) y el 20 % más húmedo (verde) de los años durante el periodo de referencia, con tonos más oscuros de marrón y verde indicando el más seco y más húmedo 10 %, respectivamente. Fuente: Global Rain Climatology Centre (GPCC), Deutscher Wetterdienst.



Por regiones, la precipitación anual fue superior a la media en el Sahel africano, registrándose condiciones generalizadas de humedad sin precedentes. Asia central, incluida grandes extensiones de Kazajstán y Rusia central, este de Mongolia y el noreste de China también registraron condiciones generalizadas de humedad muy superiores al promedio, viéndose afectadas por períodos de fuertes lluvias e inundaciones.

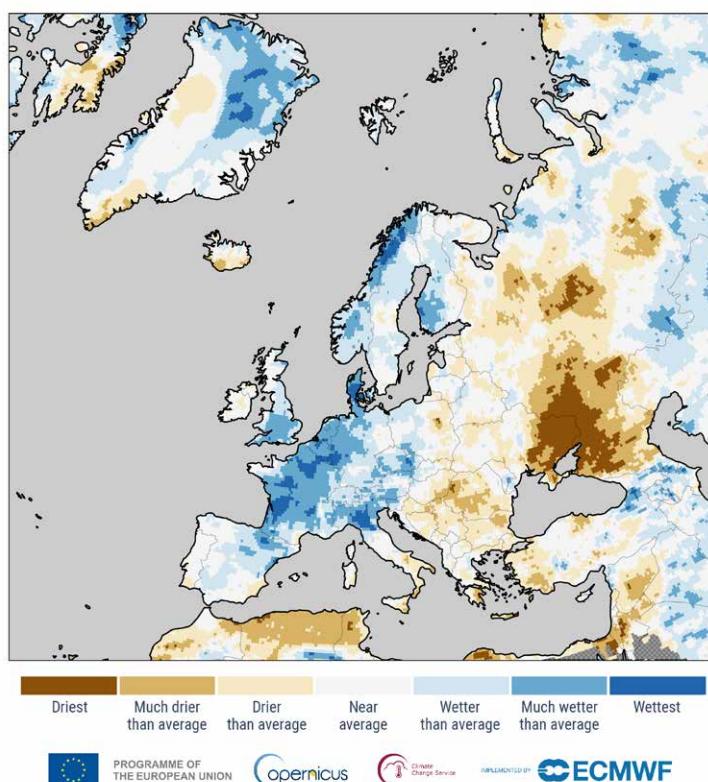
En cambio, los principales déficits de precipitación respecto a la media, fueron registrados en gran parte de Canadá, el oeste de EEUU y México. Las condiciones secas más extremas se produjeron en gran parte de América del Sur, sobre todo en grandes zonas de Brasil y Bolivia y Perú, registrándose en dichas zonas el año más seco o casi más seco jamás registrado. Otras áreas más secas que el promedio incluyeron el sur y suroeste de África, registrándose condiciones de sequía récord o casi récord en países como Zimbabue y Zambia, así como en partes extensas de Camerún, la República del Congo y Gabón

(C3S, 2025). En la zona austral, la costa sur de Australia, partes septentrionales de Nueva Zelanda, Nueva Caledonia y las islas centrales y orientales de la Polinesia registraron acumulados de precipitación inferiores a lo normal.

En 2024, Europa experimentó, en términos generales, una precipitación anual superior a la media, entre un +1,9 % y +5 % por encima del periodo promedio en función de la base de datos analizada, y con un marcado contraste entre las condiciones del este y del oeste del continente. En el oeste se registraron condiciones generalizadas más húmedas de lo normal. Las precipitaciones observadas en Francia, el norte de Italia, Bélgica, los Países Bajos, Luxemburgo, Dinamarca y el norte de Fenoscandia indican que 2024 fue uno de los diez años más húmedos desde 1950. En cambio, al este y sureste del continente, así como en partes de Ucrania y zonas limítrofes con Rusia se registraron condiciones más secas respecto al periodo de referencia 1991–2020.

Anomalies and extremes in annual precipitation in 2024

Data: ERA5 (1979–2024) • Reference period: 1991–2020 • Credit: C3S/ECMWF



8. Fig. Anomalías y extremos en la precipitación anual en 2024. Las categorías extremas ('más húmedo' y 'más seco') están referenciadas respecto al periodo 1979–2024. Las demás categorías indican cómo se compara la precipitación registrada con la distribución habitual del periodo de referencia 1991–2020: "Mucho más húmedo/más seco que el promedio" significa que la precipitación fue superior o inferior al 90 % de los valores históricos; "Más húmedo/más seco que el promedio" indica que fue superior o inferior al 66 % de los valores del periodo de referencia; y "Cerca del promedio" se refiere a precipitaciones dentro del 33 % central de los valores, es decir, en torno a la media. Datos: ERA5. Crédito: C3S/ECMWF (2025).

En la España peninsular, 2024 fue en su conjunto un año húmedo, con una precipitación media de 669,1 mm, valor que representa un +105 % del valor normal observado en el periodo de referencia 1991–2020. La precipitación fue superior al valor normal en prácticamente toda la Península y Baleares. Cabe destacar como episodio muy extremo el ocurrido el 29 de octubre en la provincia

de Valencia como consecuencia de la presencia de una DANA (Depresión Aislada en Niveles Altos). Durante este episodio se alcanzaron registros históricos de 771 mm en 24 h (185 mm en 1 h) con catastróficas consecuencias económicas (16.600 millones de euros - 1,3 % del PIB de España -) y humanas (230 personas fallecidas en total en las provincias de Valencia, Cuenca, Albacete y Málaga).

“

El aumento de las temperaturas globales está alterando profundamente los patrones de evaporación del suelo y de precipitación. Estos cambios ya no son proyecciones futuras, sino realidades que estamos viviendo.

(Sonia Seneviratne, experta del IPCC)

”

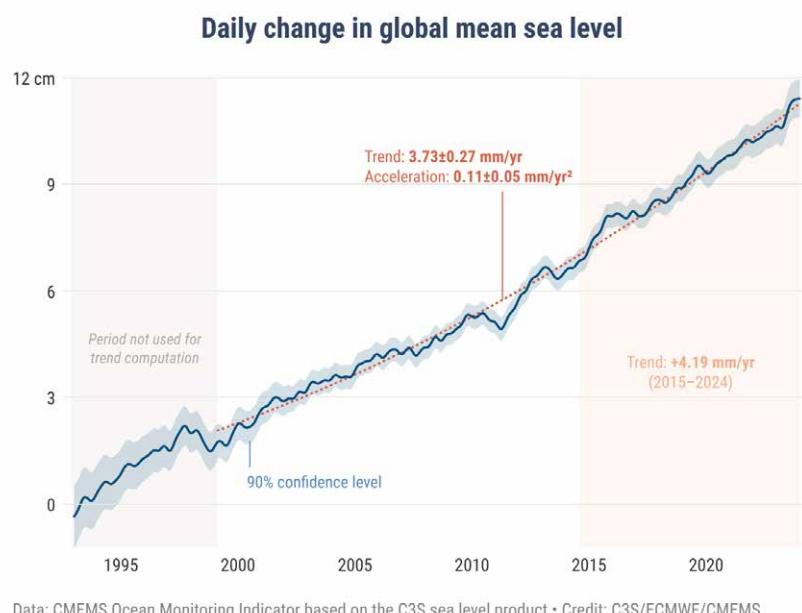
2.4. NIVEL DEL MAR

El cambio en el nivel medio del mar es un indicador esencial de la evolución del clima, ya que, es un indicador que refleja tanto la expansión térmica del océano como respuesta a su calentamiento, como el aumento de la masa oceánica debido al deshielo de las capas de hielo y los glaciares (IPCC-AR6, 2021). Alrededor del 30 % de este aumento se atribuye a la expansión térmica de los océanos debido a la absorción de calor oceánico, el 60 % a la fusión del hielo de los glaciares antárticos y de Groenlandia, y el restante 10 % a pequeños cambios (negativos) en los depósitos de agua terrestres (WCRP Global Sea Level Budget Group, 2018).

Se estima que desde 1993 (considerando las medidas satelitales) el nivel medio del mar a escala global ha aumentado en $+3,4 \pm 0,3$ mm por año, esto es, aproximadamente 10,3 cm en los últimos 30 años (ESOTC, 2024). La tasa de ascenso a largo plazo se ha duplicado con creces desde el inicio del registro satelital, pasando de $2,1 \pm 1,1$ mm por año entre 1993 y 2003 a $4,3 \pm 0,6$ mm por año entre 2013 y 2023, siendo la tasa de aceleración desde 1993 de $1,1 \pm 0,5$ mm año $^{-1}$ por década en los últimos 30 años.

La aceleración del aumento del nivel del mar desde la década de 1970 se debe a la combinación de la expansión térmica del océano y al aumento de la pérdida de masa de hielo de Groenlandia (Frederikse et al., 2020).

En 2024 el nivel medio del mar global alcanzó un nuevo récord, alcanzando su punto máximo durante el invierno 2023/2024 del hemisferio norte (WMO, 2025). Representa el onceavo año consecutivo en el que se supera el nivel del año anterior. Las variaciones anuales en el nivel medio global del mar muestran variaciones relacionadas principalmente con la oscilación de El Niño. Los episodios de El Niño se caracterizan por una precipitación superior a la media sobre los océanos tropicales que conducen a un nivel del mar superior a la media, mientras que, durante La Niña, las precipitaciones superiores a la media sobre los continentes tropicales dan lugar a un nivel del mar inferior a la media (Cazenave et al., 2014). El Niño elevó temporalmente el nivel medio global del mar a principios del año 2024. El retorno a condiciones neutrales provocó la disminución temporal del nivel medio del mar en la segunda mitad del año, aunque pueden haber influido otros factores.



9. Fig. Cambio diario en el nivel medio del mar global, medido por altimetría satelital, de enero de 1993 a julio de 2024 (línea azul sólida), incertidumbre asociada a un nivel de confianza del 90 % (sombreado azul) y aceleración durante 1999–2024 (línea de puntos rojos). Fuente: C3S/ECMWF/CMEMS (2025).

Esta tendencia del nivel del mar no es uniforme, con regiones en las que aumenta a un ritmo más rápido o lento que la tasa media global (Cazenave & Moreira, 2022). La principal causa es la expansión térmica no uniforme de los océanos asociada a cambios tanto en la circulación oceánica forzada por el viento como los flujos de calor atmósfera-océano, que modifican la temperatura y salinidad y provocan asimismo la redistribución de la masa de agua oceánica (Meyssignac et al., 2017). Por ello, a pesar de que

el incremento medio global en el periodo 1993–2023 es de unos +10,3 cm, en algunas regiones este incremento ha alcanzado valores de entre 15 y 20 cm. En Europa, en la mayoría de los mares la subida del nivel medio del mar se encuentra entre 2 y 4 mm por año en los últimos 30 años (Nichols et al., 2021). En la región Irlanda-Golfo de Vizcaya la tasa de ascenso es de $4,00 \pm 0,08$ mm por año en el periodo 1993–2023 (Copernicus Marine Service, 2025).

2.5. TEMPERATURA Y CALOR DEL OCÉANO

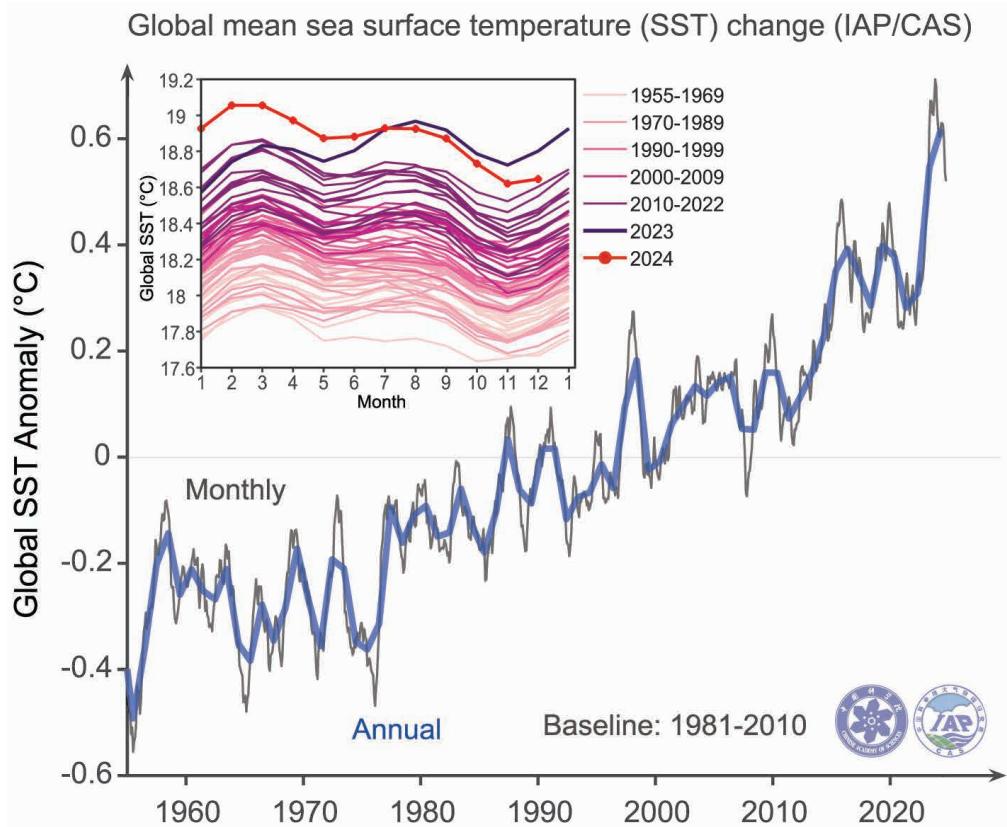
El incremento de la temperatura superficial de los océanos observada desde la década de 1950 es inequívoco. El conjunto de simulaciones climáticas globales muestra una relación casi lineal entre la tasa de temperatura media global y el cambio del contenido de calor oceánico global (Jevrejeva et al., 2020).

El desequilibrio energético de la tierra debido al forzamiento antropogénico está provocando que aproximadamente el 89 % del calor generado por los GEI se acumule principalmente en los océanos, incrementando la temperatura y contenido en calor del océano. Por tanto, estos son indicadores climáticos clave para monitorizar el calentamiento global (von Schuckmann et al., 2023; Cheng et al., 2024).

La temperatura superficial oceánica media global se ha incrementado desde al menos la década de 1950, a una tasa de $+0,12 \pm 0,01$ °C por década desde 1958. Desde 1982, la tasa de calentamiento es de $0,15 \pm 0,02$ °C por década (Cheng et al., 2025). La media de los últimos 5 años es de unos $+0,3$ °C respecto al periodo 1991–2020.

En 2024 se alcanzó un máximo histórico desde que existen registros. Continuando la tendencia creciente observada entre los meses de abril a diciembre de 2023, las anomalías excepcionalmente elevadas continuaron hasta julio de 2024, registrándose la mayor anomalía superficial del océano global registrada hasta el momento durante la fase final de un evento de El Niño. Con el paso a unas condiciones neutrales de El Niño, la temperatura superficial del mar comenzó a disminuir respecto a los valores de 2023 (Cheng et al., 2025). La temperatura superficial media global para 2024 en su conjunto estuvo $+0,61 \pm 0,02$ °C por encima de la media 1981–2010 (Cheng et al., 2025). Con respecto al año 2023, la anomalía promedio anual observada fue ligeramente menor a la esperada ($+0,06 \pm 0,11$ °C) debido a la disminución de la temperatura superficial observada entre los meses de julio y diciembre. Esta disminución, aunque se mantuvo muy por encima de las temperaturas observadas en todos los años anteriores a 2023, es consecuencia de la transición de El Niño hacia condiciones más neutras (CMS, 2024).

“ Los cambios en la temperatura del océano serán irreversibles durante siglos o milenios, lo que significa que, incluso aunque se reduzcan significativamente las emisiones, el calentamiento oceánico persistirá durante generaciones. (OMM, 2025) ”



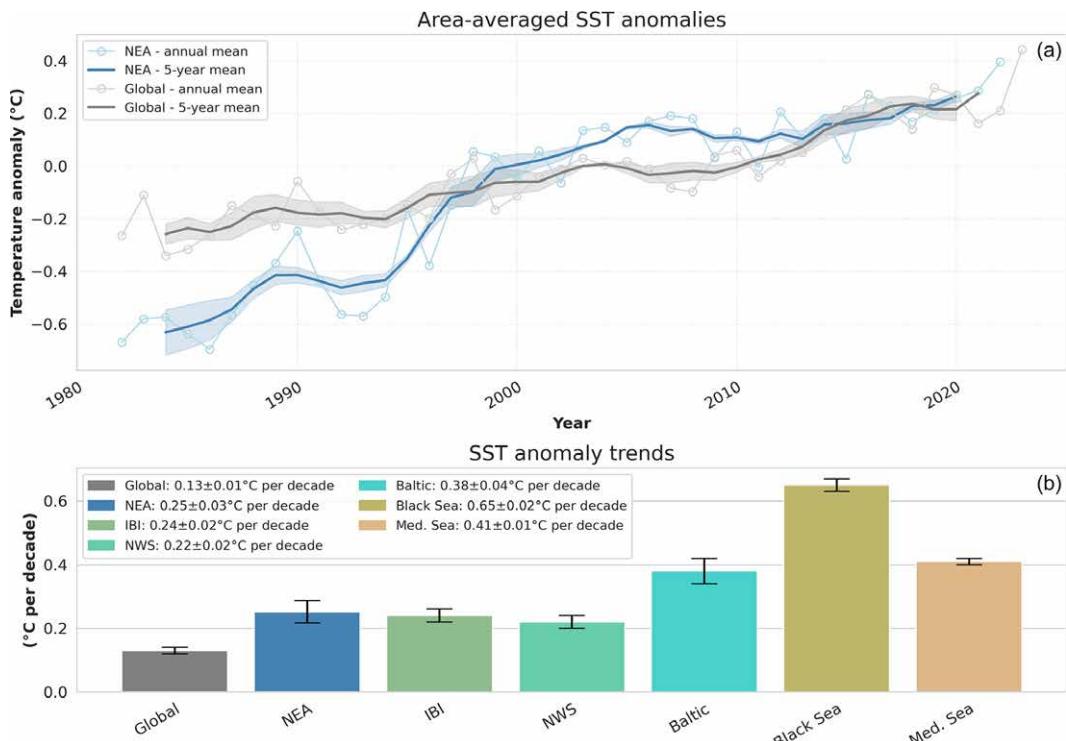
10. Fig. Anomalía de la temperatura superficial global del océano entre 1955 y 2024 respecto al periodo de referencia 1981–2010. La línea azul es el valor anual y la gris el valor mensual. Fuente: Cheng et al. (2025).

	REGIÓN	2000–2023 (°C década ⁻¹)	1950–2023 (°C década ⁻¹)
HadSST.4.0.1.0	Global	0,19 ± 0,06	0,12 ± 0,02
DOISST v2.1	Global	0,20 ± 0,05	N/A
ERSSTv5	Global	0,17 ± 0,06	0,11 ± 0,01
ERSSTv5	Atlántico Norte (30°–60°N)	0,21 ± 0,10	0,13 ± 0,05

2. Tabla. Tendencias lineales de las temperaturas oceánica superficiales. Fuente: Blunden & Boyer (2024).

La temperatura superficial del océano ha aumentado en la mayoría de las regiones oceánicas en las últimas tres décadas. Sin embargo, este aumento no es uniforme. En Europa, todos los mares vienen experimentando un calentamiento desde finales del siglo XIX, y especialmente a partir de 1970, siendo los de la última década los años más cálidos del registro. El océano Atlántico nororiental y los

mares adyacentes han experimentado un calentamiento constante, con un aumento de la temperatura de la superficie del mar a una tasa de $0,25 \pm 0,03$ °C por década desde 1982, duplicando la tendencia media global. Este calentamiento está siendo más pronunciado en algunas cuencas como la del Mar Mediterráneo, el Mar Negro o el Mar Báltico (von Schuckmann et al., 2024).



11. Fig. (a) Datos anuales (en claro) y pentaanuales (en negrita) de las anomalías de temperatura media de la superficie del mar a nivel global (gris) y en el noroeste del Océano Atlántico y mares adyacentes (azul), relativas al periodo de referencia 1991–2020. (b) Tendencias lineales (en °C por década) de la temperatura media de la superficie del mar durante el periodo 1982–2023 en el océano global, el noreste del Atlántico y mares adyacentes (NEA), la región Iberia-Vizcaya-Irlanda (IBI), la plataforma noroccidental europea (NWS), el mar Báltico, el mar Negro y el mar Mediterráneo. Fuente: von Schuckmann et al. (2024).

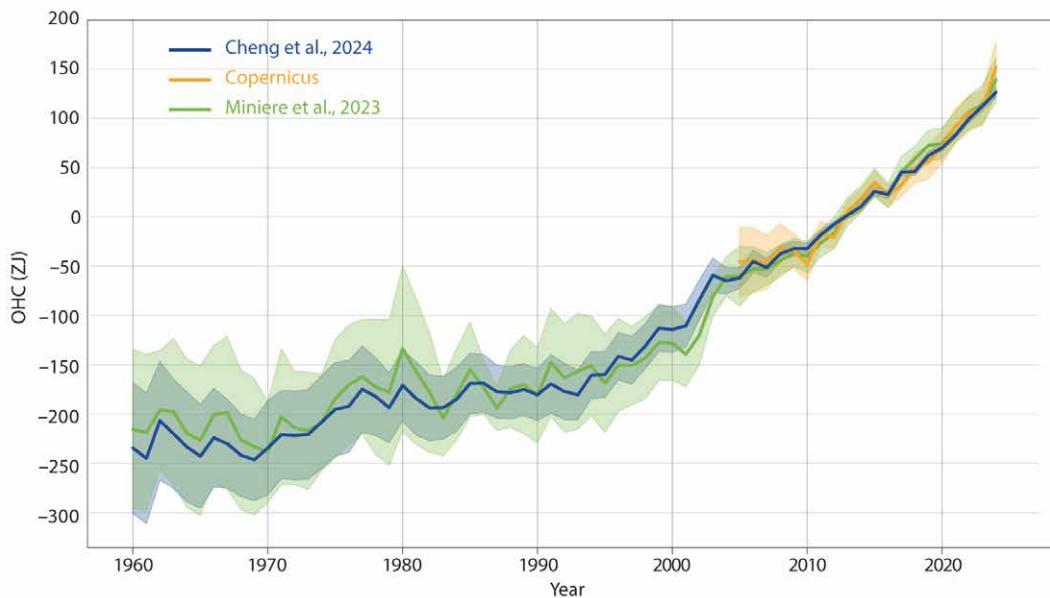
Estos incrementos en la temperatura han venido acompañados del incremento en la frecuencia e intensidad de las olas de calor marinas, tanto a nivel global como en los mares europeos, habiéndose duplicado la frecuencia de ocurrencia, intensidad y extensión superficial durante las cuatro últimas décadas (Oliver et al., 2018). En agosto de 2024, uno de estos provocó que, por ejemplo, en el mar Mediterráneo se alcanzase un pico de temperatura de 28,7 °C. Esta temperatura superó el récord anterior de 28,3 °C registrado en julio de 2023.

Como se ha mencionado previamente, el océano ha captado la mayor parte del exceso de calor producido por los gases de efecto invernadero de origen antropogénico. Este calor almacenado se mide a través del contenido calórico del océano, un indicador que, al presentar menos variaciones que la temperatura terrestre, facilita una evaluación más precisa del calentamiento global (von Schuckmann et al., 2016; Wijffels et al., 2016; Cheng et al., 2018).

El contenido en calor en los primeros 2000 m del océano global ha aumentado de media en $+6,4 \pm 0,3$ ZJ

por año en el periodo 1958–2024 (Cheng et al., 2025). En el periodo 1958–1985 la tendencia fue de $+2,9 \pm 0,5$ ZJ por año, habiéndose multiplicado entre dos y tres veces desde finales de 1980 ($9,0 \pm 0,5$ ZJ por año desde 1986). Este aumento en la tasa en las últimas décadas indica una aceleración multidecadal del calentamiento del océano (Cheng et al., 2024; Storto & Yang, 2024). En 2024 se alcanzó el año con mayor contenido en calor en el océano, superando en $+16 \pm 8$ ZJ el del año 2023. Los últimos cinco años consecutivos han sido los más cálidos registrados.

El aumento del contenido de calor se observa en la mayoría de los océanos y mares, aunque algunas regiones, como gran parte del Atlántico, el Pacífico Norte, el Pacífico Occidental y los océanos del Sur, experimentan un calentamiento acelerado con respecto al promedio global. El Océano Atlántico Norte es una de las pocas áreas que muestran un descenso en el contenido en calor. En la región Iberia-Irlanda-Golfo de Vizcaya el contenido en calor en los primeros 2000 m no presenta ninguna tendencia en el periodo 1993–2022 (Copernicus Marine Service, 2025).



12. Fig. Contenido calorífico anual de los océanos a escala mundial hasta los 2000 m de profundidad entre 1960 y 2024, expresado en zettajulios (10^{21} J). El área sombreada indica el intervalo de incertidumbre 2 sigma calculado para cada estimación. Fuente: OMM (2025).

Aunque el calentamiento más pronunciado y rápido se observa en los primeros 2000 metros, el calentamiento se extiende a toda la columna de agua, incluso entre los 4000 y 6000 metros de profundidad, con estimaciones de calentamiento de $0,07 \pm 0,03$ W m $^{-2}$ para las aguas entre

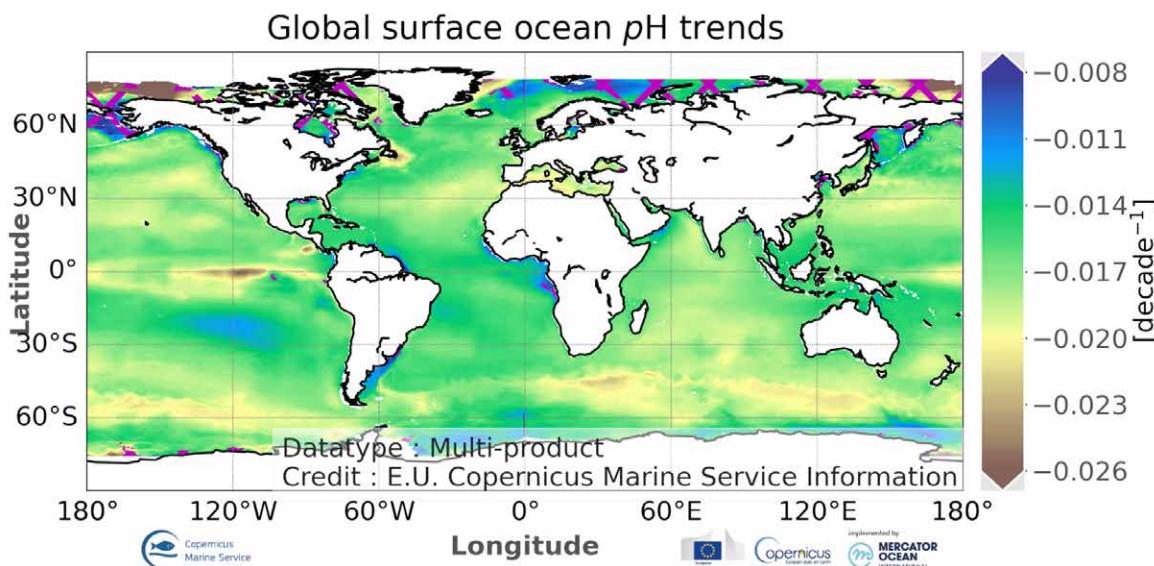
2000–6000 m durante el periodo 1981–2022 (Purkey & Johnson, 2010). En la región del golfo de Vizcaya-Irlanda (IBI) en el periodo 1993–2021 se observa una tendencia al calentamiento en la capa intermedia 700–2000 m de $0,40 \pm 0,39$ W m $^{-2}$ (Pascual-Collar et al., 2023).

“En 2024 se registraron temperaturas excepcionales en la superficie terrestre y marina y niveles insólitos de calor en los océanos.
 (OMM, 2025)”

2.6. CARBONO Y PH DEL OCÉANO

Aproximadamente alrededor del 26 % de las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de las actividades antropogénicas son directamente absorbidas por los océanos, provocando su acidificación al producirse cambios en la química del carbono orgánico del océano (Friedlingstein et al., 2025). El aumento continuo de las emisiones está provocando que la acidificación del océano ocurra en la actualidad a una velocidad sin precedentes en los últimos 66 millones de años (Zeebe et al., 2016).

La acidificación ha provocado la disminución del pH a una tasa de $-0,017 \pm 0,001$ unidades por década en el periodo 1985–2023 (Copernicus Marine Service Information, 2025), situándose hoy 0,1 unidades por debajo de los valores previos a la época preindustrial, correspondiendo a un incremento en la acidificación en torno al 30 % (Petton et al., 2023).



13. Fig. Tendencia global del pH superficial del océano (μ [década^{-1}]) calculada para el periodo 1985–2022. El sombreado cruzado cubre las regiones donde las tendencias del pH están asociadas con las estimaciones de incertidumbre más altas ($> 10\% |\mu|$). Créditos: E.U. Copernicus Marine Service Information (2022).

La tasa a la que se produce la acidificación del océano varía entre regiones y a lo largo de la columna de agua (Bates et al., 2014). Esta variabilidad es especialmente evidente en ambientes costeros menos profundos y más productivos y propensos a las descargas terrestres. Las complejas interacciones de los procesos físicos, químicos y biológicos a escala local (Meyssignac et al., 2023) provocan que las tasas anuales de cambio del pH superficial

en las zonas costeras puedan ser un orden mayor de magnitud que la que se produce en el océano superficial (Flecha et al., 2022). La acidificación del océano en el noreste del océano Atlántico y mares adyacentes sigue la misma tendencia observada a escala global, mostrando un pronunciado descenso del pH superficial desde 1985 a una tasa promedio de entre $-0,020$ y $-0,012$ unidades de pH (von Schuckmann et al., 2024).



3. GIPUZKOA EN 2024

3.1. TEMPERATURA

La temperatura media anual en Gipuzkoa está ascendiendo significativamente a una tasa de $+0,35^{\circ}\text{C}$ por década desde 1971. Sin embargo, esta tendencia no es uniforme a lo largo de todas estas décadas, mostrando en general un periodo frío antes de 1990. Desde la década de 1990 se observa un claro incremento de la temperatura media, un ligero periodo más frío entre 2004 y 2013 con años cálidos intercalados, y finalmente una intensificación del calentamiento los últimos 5 años en los que, salvo en 2021, la temperatura media ha sido $+0,50^{\circ}\text{C}$ e incluso $+1,00^{\circ}\text{C}$ superior a la del periodo normal 1991–2020. Las mayores anomalías se registraron en 2022 ($+1,30^{\circ}\text{C}$) y 2023 ($+1,00^{\circ}\text{C}$), los dos años más cálidos registrados hasta el momento. Durante la última década (2015–2024) la temperatura media se ha incrementado en $+0,60^{\circ}\text{C}$ respecto al periodo normal 1991–2020 y $+1,10^{\circ}\text{C}$ por encima del periodo base 1971–2000.

Al analizar las series históricas más largas del territorio, las correspondientes a los observatorios de Igeldo y

Hondarribia-Malkarroa, se observa que la tasa de variación de la temperatura media anual es de $+0,13^{\circ}\text{C}$ y $+0,34^{\circ}\text{C}$ por década respectivamente, considerando las series temporales completas en cada uno de ellos (1929–2024 y 1956–2024). La tendencia de la temperatura anual desde 1971 es de $+0,35^{\circ}\text{C}$ por década en Igeldo y $+0,40^{\circ}\text{C}$ por década en Hondarribia-Malkarroa, significativa en ambos casos. Tras un ligero periodo frío entre los años 2007–2010, desde 2010 en 11 años la temperatura media ha sido superior a la del periodo 1991–2020. Destacan entre ellos los últimos cinco años en los que, por ejemplo, en Igeldo, a excepción del año 2021, la temperatura media fue más de $+0,50^{\circ}\text{C}$ superior a la del periodo normal 1991–2020, e incluso más de $+1,00^{\circ}\text{C}$ superior durante los años 2022 y 2023, los dos años más cálidos registrados. Estas anomalías se registran en todas las estaciones meteorológicas del territorio. Por tanto, todas estas estadísticas reflejan la variabilidad anual y decadal del clima en Gipuzkoa, además del calentamiento continuo debido al cambio climático.

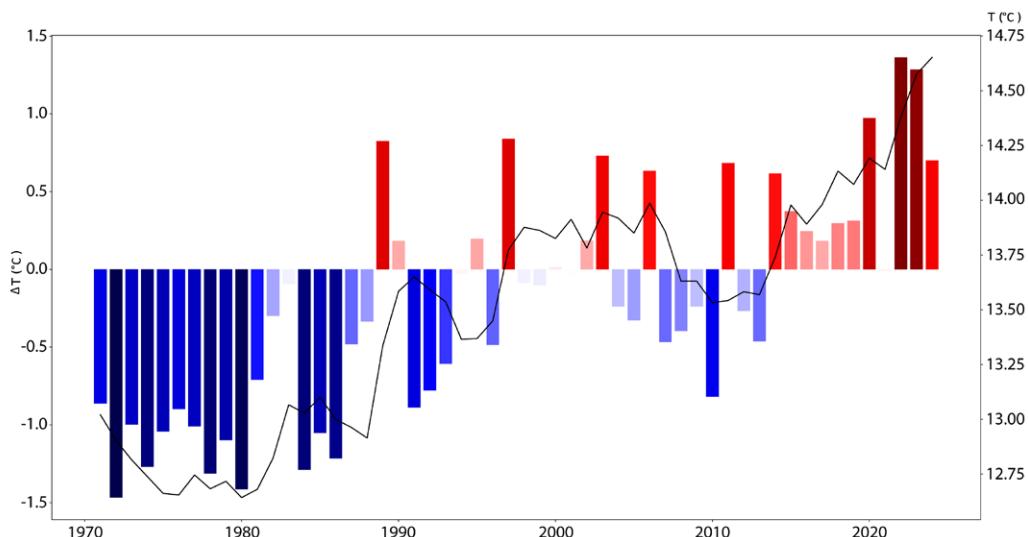
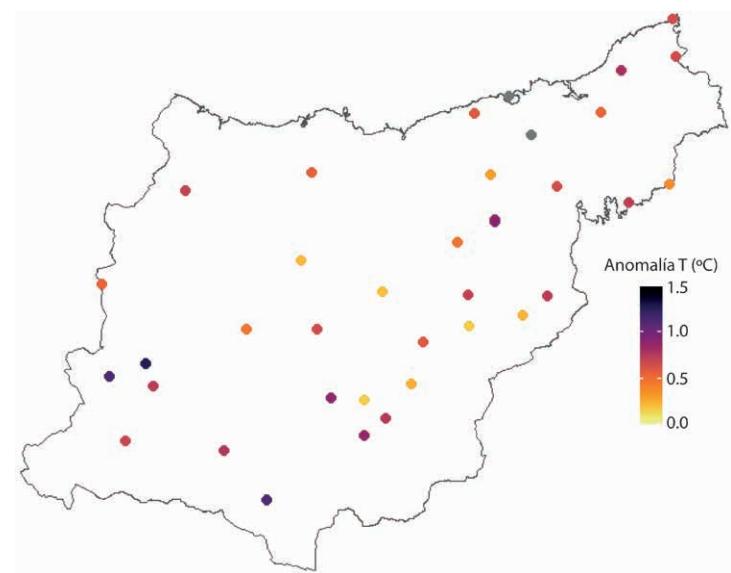


Fig. Anomalía de la temperatura media en Igeldo respecto al periodo normal 1991–2020 (barras) y promedios de 5 años de la temperatura media anual desde 1971 (línea negra).

La temperatura media en Gipuzkoa en 2024 fue de $13,86^{\circ}\text{C}$, esto es aproximadamente $+0,80^{\circ}\text{C}$ por encima de la media del periodo 1991–2020. 2024 fue el quinto año más cálido de la serie histórica, por detrás de 2014, 2020,

2023 y 2022, el más cálido registrado ($14,43^{\circ}\text{C}$). Respecto al periodo de referencia base (1971–2000) la temperatura media fue $+1,30^{\circ}\text{C}$ superior. En el observatorio de Igeldo, la temperatura media fue de $14,49^{\circ}\text{C}$, $+0,70^{\circ}\text{C}$ superior a

la del periodo normal 1991–2020 y +1,29 °C superior a la del periodo 1971–2000. En el observatorio de Hondarribia-Malkarroa, la temperatura media en el año 2024 fue de 15,83 °C, +0,74 °C superior a la del periodo normal 1991–2020 y +1,42 °C superior a la del periodo 1971–2000.



15. Fig. Anomalía de las temperaturas en el año 2024 en la red de estaciones meteorológicas de Gipuzkoa respecto de la media 2001–2020. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Euskalmet.

Respecto a lo que vamos de siglo XXI, en 2024 la temperatura media registrada en la red de estaciones del territorio fue superior a la media del siglo, en torno a +0,50 °C, con anomalías superiores a 1,0°C en estaciones como San Prudentzio, Zegama o Arrasate. Las anomalías mínimas, de en torno a +0,2 °C se registraron en Bidania, Ordizia o Ibai Eder. En este conjunto de estaciones, la anomalía de

la temperatura media anual de la última década (2015–2024) respecto a la década anterior (2005–2014) es de media +0,50 °C y respecto a la primera década del siglo (2001–2010) de +0,75 °C. Respecto a ambos períodos de referencia las anomalías son positivas en la mayoría de estaciones meteorológicas del territorio.

ESTACIÓN	TEMPERATURAS MEDIAS (2001-2010)	TEMPERATURAS MEDIAS (2005-2014)	TEMPERATURAS MEDIAS (2015-2024)	TENDENCIA 2001-2024
AITZU	12,05 ± 0,52	11,88 ± 0,54	12,28 ± 0,48	+0,16
ALTZOLA	13,24 ± 0,43	13,74 ± 1,01	14,06 ± 0,59	+0,64*
AMUNDARAIN	12,90 ± 0,60	12,81 ± 0,55	13,54 ± 0,48	+0,50*
ARRASATE	12,48 ± 0,59	12,74 ± 0,50	13,21 ± 0,69	+0,62*
BELAUNTZA	13,15 ± 0,57	13,15 ± 0,61	13,93 ± 0,42	+0,44*
EREÑOZU	13,27 ± 0,60	13,31 ± 0,56	13,95 ± 0,44	+0,47*
ONATI	12,74 ± 0,55	12,75 ± 0,56	13,56 ± 0,45	+0,62*
ORDIZIA	13,17 ± 0,49	13,46 ± 0,63	13,96 ± 0,44	+0,45*
ZIZURKIL	13,76 ± 0,58	13,96 ± 0,63	14,64 ± 0,38	+0,59*

3. Tabla. Promedios de la temperatura media anual (°C) para tres décadas distintas y la tendencia (°C/década) a lo largo del siglo XXI (2001–2024) en estaciones meteorológicas del territorio. *Indica que las tendencias son estadísticamente significativas.



El incremento de la temperatura media se debe tanto al incremento de la temperatura diaria máxima como mínima, siendo mayor el ascenso de la temperatura máxima (+0,37 °C y +0,34 °C por década, respectivamente en el periodo 1971-2022). Ambas series están estrechamente correlacionadas ($R^2 = 0,90$). En la década más reciente (2015-2024) la temperatura diaria máxima fue +0,62 °C superior a 1991-2020 y +1,16 °C a 1971-2000, mientras que la temperatura mínima fue +0,45 °C y +1,03 más cálida, respectivamente.

De acuerdo a los registros del observatorio de Igeldo, desde el año 1971 hasta la actualidad, la temperatura dia-ria máxima se ha incrementado en +0,34 °C por década

y la temperatura diaria mínima en +0,35 °C por década. En Hondarribia-Malkarroa, para este mismo periodo 1971-2024, las temperaturas diarias máxima y mínima pre-sentan una tendencia de +0,36 y +0,43 °C por década, respectivamente.

La temperatura diaria máxima media en 2024 fue de 18,81 °C, +0,70 °C por encima del periodo normal 1991-2020. La temperatura diaria mínima media fue de 9,90 °C, +0,8 °C por encima de la del periodo normal 1991-2020. En ninguna de las estaciones meteorológicas del territorio se alcanzó la temperatura media histórica máxima.

DÉCADA	Gipuzkoa		Igeldo		Hondarribia-Malkarroa	
	Promedio	Anomalía 1991-2020	Promedio	Anomalía 1991-2020	Promedio	Anomalía 1991-2020
1971-1980	11,20	-1,22	12,65	-1,14	13,71	-1,38
1981-1990	12,28	-0,31	13,34	-0,45	14,60	-0,49
1991-2000	12,36	-0,20	13,60	-0,19	14,92	-0,17
2001-2010	12,34	-0,08	13,69	-0,10	15,00	-0,09
2011-2020	12,82	+0,29	14,08	+0,29	15,35	+0,26
2015-2024			14,36	+0,57	15,64	+0,55

4. Tabla. Promedio de la temperatura media y anomalías (°C) respecto al periodo de referencia 1991-2020 en Gipuzkoa (datos rejilla 5km ROCIO_IBEB) y los registros de los observatorios de Igeldo y Hondarribia-Malkarroa.

DÉCADA	Gipuzkoa		Igeldo		Hondarribia-Malkarroa	
	T máxima	T mínima	T máxima	T mínima	T máxima	T mínima
1971-1980	-1,39	-1,23	-1,02	-1,25	-1,44	-1,31
1981-1990	-0,15	-0,31	-0,39	-0,50	-0,10	-0,88
1991-2000	-0,09	-0,20	-0,26	-0,13	+0,01	-0,34
2001-2010	-0,25	-0,09	-0,12	-0,08	-0,14	-0,03
2011-2020	+0,34	+0,29	+0,38	+0,19	+0,13	+0,38
2015-2024			+0,69	+0,44	+0,48	+0,63

5. Tabla. Anomalía de la temperatura media máxima y media mínima (°C) respecto al periodo de referencia 1991-2020 para Gipuzkoa (datos rejilla 5km ROCIO_IBEB) y los registros de los observatorios de Igeldo y Hondarribia-Malkarroa.

Como la temperatura anual, las series estacionales muestran variabilidad interanual y decadal, con un marcado aumento de la temperatura en las cuatro estaciones desde los años 80. Así, la temperatura, tanto la media como mínima y máxima diaria, están ascendiendo en todas las estaciones del año en el periodo 1971–2022. En primavera se dan las mayores tasas de ascenso de la temperatura media y máxima diaria (Tmedia: +0,48 °C década⁻¹, Tmax: +0,61 °C década⁻¹, Tmin: +0,42 °C década⁻¹), mientras que las menores tasas de ascenso se registran

en invierno (Tmedia: +0,10 °C década⁻¹, Tmax: +0,19 °C década⁻¹, Tmin: +0,13 °C década⁻¹), única estación en la que los ascensos, en general, no son estadísticamente significativos. En otoño, en cambio, la tasa de ascenso de la temperatura mínima es mayor que la de la temperatura máxima, +0,37 °C y +0,28 °C, respectivamente. La temperatura mínima media está aumentando a un mayor ritmo en verano y otoño y a menor ritmo en invierno, única estación en la que el ascenso no es significativo.

COMARCA	Anual		Invierno		Primavera		Verano		Otoño	
	T máxima	T mínima	T máxima	T mínima	T máxima	T mínima	T máxima	T mínima	T máxima	T mínima
BIDASOA BEHEREA / BAJO BIDASOA	+0,36 ⁺	+0,32 ⁺	+0,19	+0,07	+0,57 ⁺	+0,41 ⁺	+0,37 ⁺	+0,39 ⁺	+0,30 ⁺	+0,34 ⁺
DEBABARRENA / BAJO DEBA	+0,35 ⁺	+0,35 ⁺	+0,20	+0,15	+0,58 ⁺	+0,43 ⁺	+0,37 ⁺	+0,40 ⁺	+0,26 ⁺	+0,38 ⁺
DEBAGOIENA / ALTO DEBA	+0,38 ⁺	+0,35 ⁺	+0,22 ⁺	+0,16	+0,59 ⁺	+0,41 ⁺	+0,41 ⁺	+0,38 ⁺	+0,26 ⁺	+0,38 ⁺
DONOSTIALDEA	+0,36 ⁺	+0,33 ⁺	+0,19	+0,10	+0,57 ⁺	+0,42 ⁺	+0,37 ⁺	+0,39 ⁺	+0,30 ⁺	+0,35 ⁺
GOIERRI	+0,38 ⁺	+0,34 ⁺	+0,21	+0,15	+0,59 ⁺	+0,41 ⁺	+0,41 ⁺	+0,39 ⁺	+0,26 ⁺	+0,38 ⁺
TOLOSALDEA	+0,38 ⁺	+0,33 ⁺	+0,20	+0,13	+0,61 ⁺	+0,42 ⁺	+0,40 ⁺	+0,40 ⁺	+0,27 ⁺	+0,38 ⁺
UROLA-KOSTA	+0,36 ⁺	+0,34 ⁺	+0,20	+0,14	+0,60 ⁺	+0,43 ⁺	+0,39 ⁺	+0,41 ⁺	+0,28 ⁺	+0,38 ⁺
GIPUZKOA	+0,37 ⁺	+0,33 ⁺	+0,19 ⁺	+0,13	+0,61 ⁺	+0,42 ⁺	+0,40 ⁺	+0,40 ⁺	+0,28 ⁺	+0,37 ⁺

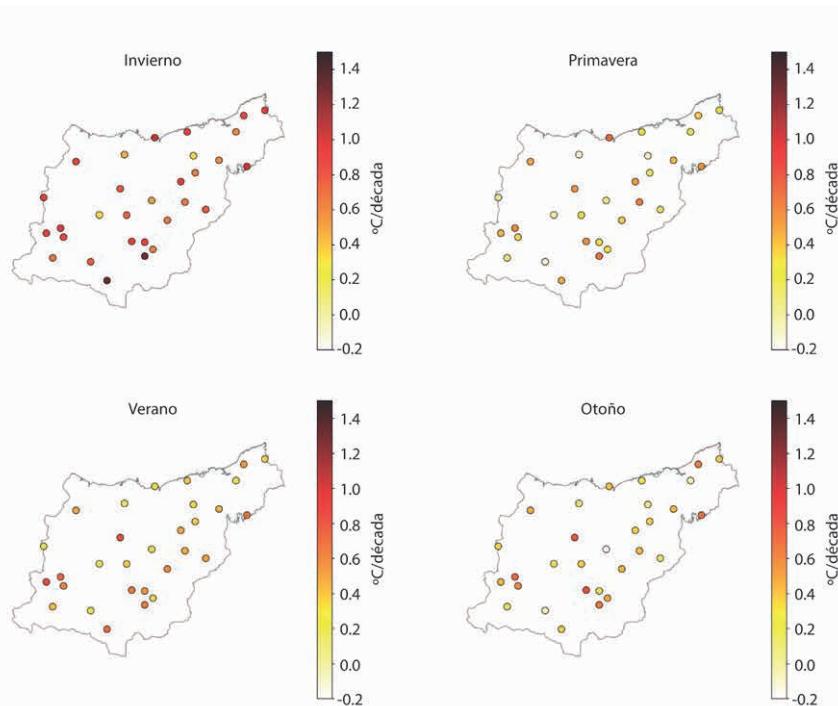
6. Tabla. Tendencia de la temperatura máxima y mínima (°C década⁻¹) anual y estacional para las distintas comarcas en el periodo 1971–2022. +Indica que las tendencias son estadísticamente significativas. Fuente datos: rejilla 5km ROCIO_IBEB (Peral et al., 2027).

Durante la última década (2015–2024) se ha incrementado la temperatura media en todas las estaciones del año. El incremento de la temperatura media respecto al periodo normal 1991–2020 es mayor durante el invierno (anomalía de +0,87 °C y +0,69 °C en Igeldo y Hondarribia-Malkarroa, respectivamente) y otoño (anomalía de +0,62 °C y +0,59 °C en Igeldo y Hondarribia-Malkarroa, respectivamente) y menor en primavera (anomalía de

+0,41 °C y +0,43 °C en Igeldo y Hondarribia-Malkarroa, respectivamente). Esto contrasta con lo ocurrido por ejemplo durante la década 2001–2010, en la que el invierno fue más frío que en el periodo de referencia 1991–2020 (anomalía de -0,55 °C y -0,20 °C en Igeldo y Hondarribia-Malkarroa, respectivamente).

DÉCADA	Igeldo				Hondarribia-Malkarroa			
	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
1971-1980	8,37	10,61	17,50	13,98	8,91	12,13	19,15	14,58
1981-1990	8,69	11,47	18,01	15,16	9,17	13,10	20,07	16,02
1991-2000	9,27	12,15	18,40	14,61	9,40	13,72	20,52	15,72
2001-2010	8,43	12,41	18,87	14,95	9,26	13,94	20,86	16,03
2011-2020	9,24	12,63	18,91	15,52	9,70	14,11	20,87	16,52
2015-2024	9,85	12,81	19,22	15,65	10,15	14,35	21,26	16,68

7. Tabla. Temperatura media estacional por década en las estaciones meteorológicas de Igeldo y Hondarribia-Malkarroa.



16. Fig. Tendencia de la temperatura media estacional en el periodo 2001-2024 en la red de estaciones meteorológicas del territorio. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Euskalmet.

La temperatura media, tanto anual como estacional, está ascendiendo en prácticamente todas las estaciones del territorio en el periodo 2001-2024. Las mayores tasas de ascenso se dan en invierno, siendo significativas los cambios en numerosas estaciones, mientras que las menores y no significativas corresponden a la primavera y verano. En dicho periodo la temperatura media anual también está ascendiendo entre +0,10 °C y +0,70 °C por década.

La temperatura máxima y mínima media diaria también presentan tendencias positivas en el periodo 2001-2024 en la red de estaciones del territorio. La temperatura máxima media anual presenta tasas de ascenso que oscilan entre +0,10 °C y +0,90 °C, siendo la media de en torno a +0,70 °C (estadísticamente significativa). La temperatura mínima diaria presenta una tendencia ascendente media ligeramente inferior, +0,62 °C por década, con tasas que varían en el mismo rango que la temperatura máxima

diaria. A pesar de que en las series desde 1971 las menores tasas de cambio se observan para el invierno, en la serie desde 2001 se observan para esta estación las mayores tasas de cambio, tanto para la temperatura media máxima como mínima, +0,90 °C y +0,72 °C por década, respectivamente, de media en el conjunto de estaciones. En el caso de la temperatura media máxima, en el resto de estaciones del año los cambios no son significativos (+0,54 °C por

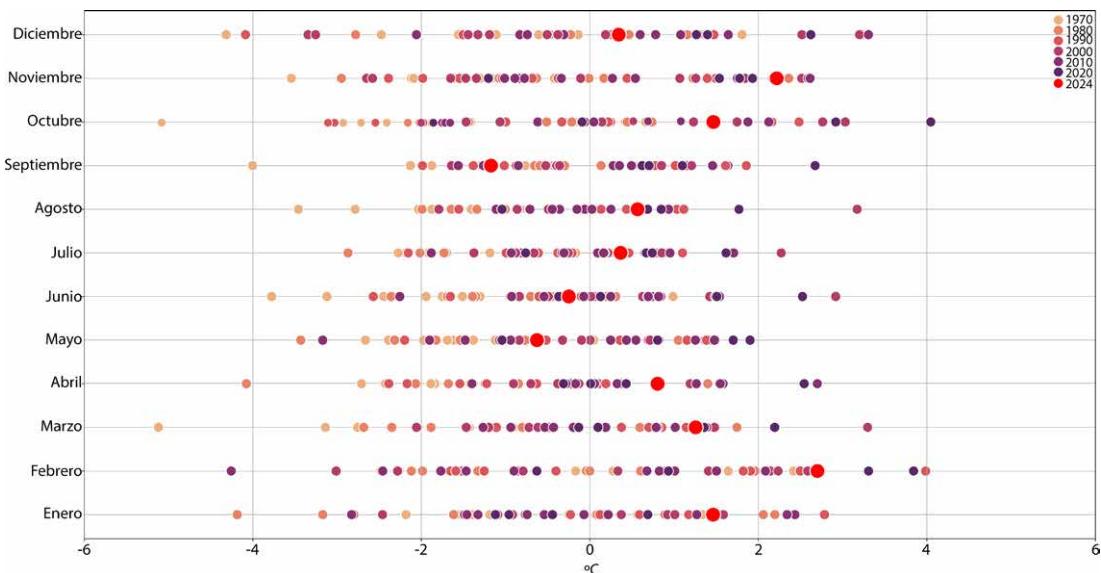
década para la primavera y verano y +0,66 °C para el otoño), mientras que la temperatura media mínima también presenta tendencias de ascenso significativas en verano y otoño (+0,68 °C y +0,64 °C por década respectivamente), aunque no en primavera (+0,46 °C por década).

ESTACIÓN	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Anual
AITZU	+0,32	-0,03	+0,18	+0,17	+0,14
ALTZOLA	+0,93*	+0,47	+0,44	+0,47*	+0,62*
AMUNDARAIN	+0,61	+0,30	+0,48	+0,33	+0,45*
ARRASATE	+0,89*	+0,44	+0,41	+0,83*	+0,62*
BELAUNTZA	+0,65	+0,63	+0,41	+0,45	+0,50*
EREÑOZU	+0,59	+0,42	+0,42	+0,44	+0,50
OÑATI	+0,85*	+0,34	+0,57*	+0,60	+0,60*
ORDIZIA	+0,87*	+0,31	+0,20	+0,54	+0,43*
ZIZURKIL	+0,94*	+0,51	+0,36	+0,46	+0,65*

8. Tabla. Tendencia de la temperatura media estacional y anual ($^{\circ}\text{C década}^{-1}$) en las estaciones meteorológicas indicadas en el periodo 2001–2024.
*Indica que las tendencias son estadísticamente significativas.

En el conjunto del territorio, todos los meses del año presentan una tendencia ascendente de la temperatura media en el periodo 1971–2022, siendo esta significativa en todos ellos menos en enero y febrero. Los meses que presentan tendencias más acusadas son abril (+0,56 °C por década), junio (+0,53 °C por década) y mayo (+0,49 °C por década). En cambio, los meses de invierno son los que presentan una menor tendencia, diciembre (+0,22 °C por década), enero (+0,21 °C por década) y febrero (+0,19 °C por década).

La temperatura media mensual registrada en el periodo 1971–2024 en las estaciones de Igeldo y Hondarribia-Malkarroa presenta una tendencia creciente todos los meses del año, siendo esta significativa salvo en enero y febrero. El incremento más significativo de la temperatura media mensual se observa en los meses de primavera (abril-junio), tendencia media de +0,48 °C por década tanto en Igeldo como Hondarribia. Los menores incrementos se dan en los meses de invierno (diciembre-febrero) tanto en Igeldo como Hondarribia-Malkarroa, con tendencias de +0,24 y +0,26 °C por década, respectivamente.

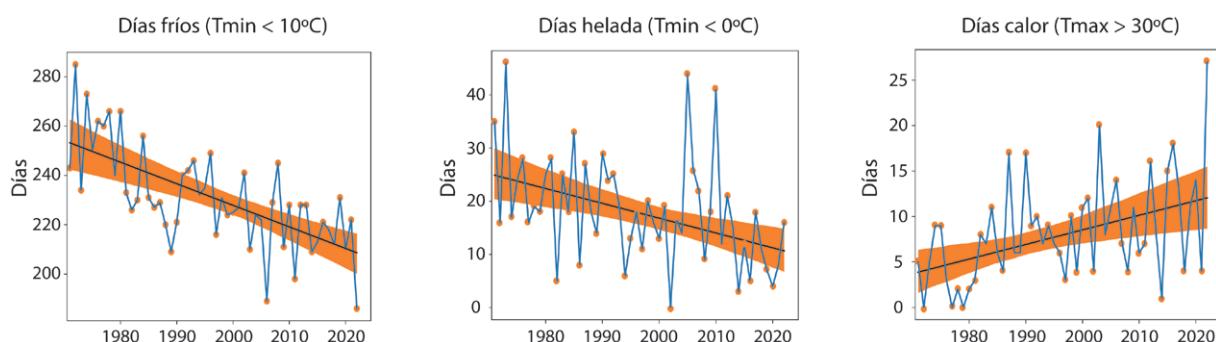


17. Fig. Anomalías mensuales de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) respecto al periodo 1991-2020, desde 1971 a 2024 en Hondarribia-Malkarroa. La escala de color indica la década a la que pertenece. Los puntos en rojo indican los valores para 2024. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la AEMET.

El número de días fríos ($\text{Tmin} < 10^{\circ}\text{C}$) está descendiendo significativamente en Gipuzkoa a una tasa de $-9,00$ días por década desde 1971. Cinco de los diez años con un menor número de días fríos se han registrado después de 2015. En 2024 se registraron de media unos 200 días fríos, el séptimo año con un menor número de días fríos en lo que va de siglo tras 2011, 2022, 2006, 2015, 2023 y 2020. En 2024 se registraron unos 20 días fríos menos que en el periodo 1991-2020 y 40 menos que en el periodo 1971-2000.

El incremento de la temperatura diaria mínima está provocando el descenso del número anual de noches de helada ($\text{Tmin} < 0^{\circ}\text{C}$) y en cambio, el incrementando de noches tropicales ($\text{Tmin} > 20^{\circ}\text{C}$). El número medio de días

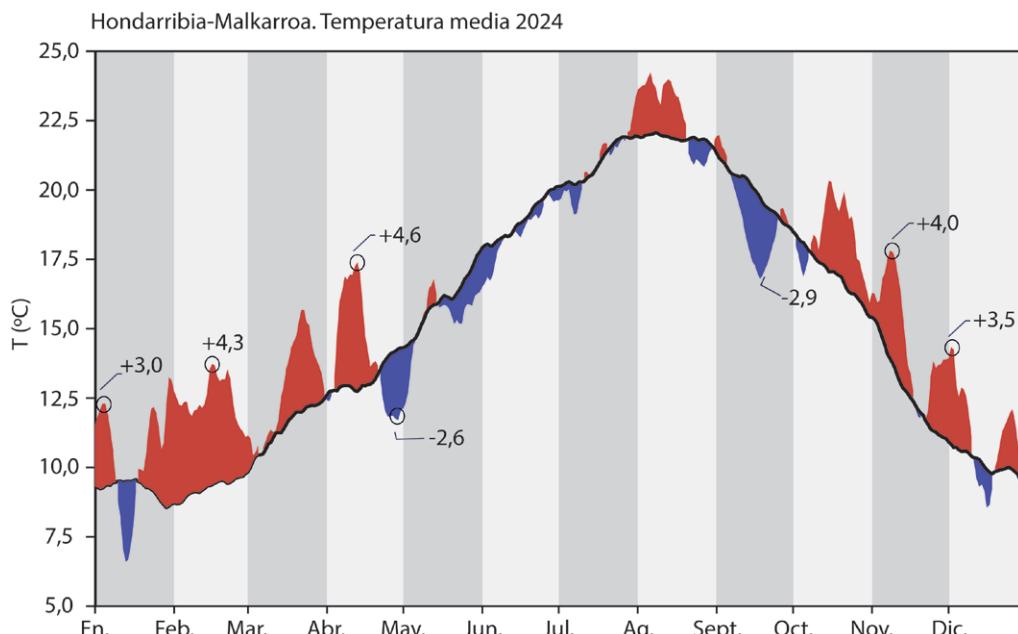
de helada en Gipuzkoa para 2024 fue de 5 días, 11 días por debajo de la media de 1991-2020. El número de días de helada en 2024 fue el más bajo en lo que va de siglo, empataido con 2014. La última década 2015-2024 ha tenido 5 días menos de heladas en comparación con 1991-2020 y 9 días menos que en el periodo 1971-2000. De los 10 últimos años, en cinco de ellos no se han registrado heladas en algunas estaciones litorales como Igeldo, Zarautz o Higer. Este indicador presenta en Gipuzkoa una tendencia negativa de $-2,7$ días menos por década desde 1971. En cambio, el número de noches tropicales en el año presenta una tasa ascendente de entre $+1$ y $+3$ días por década en dicho periodo. En 2024 se registraron de media 3 noches tropicales en el territorio, lejos de las 7 registrada en 2022.



18. Fig. Evolución y tendencia del número de días fríos, días de helada y días de calor en el periodo 1971-2022 en Gipuzkoa. Datos rejilla 5km ROCIO_IBEB. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la AEMET.

La superación de los umbrales de temperatura máxima de 30 °C en el litoral y 31 °C en el interior del territorio se ha asociado con un mayor impacto en la salud (Linares et al., 2024). El incremento de la temperatura máxima diaria está impulsando el aumento de estos días en el territorio, que está ascendiendo significativamente a una media de +1 día por década en el periodo 1971–2022. En la década anterior 2011–2020 de media se superó esta temperatura umbral en 11 días. En la última década 2015–2024 se

superó en 12 días. En 2024 se registraron de media 11 días con temperaturas superiores a 30 °C, más de 20 en estaciones del interior como Oñati o Arrasate y únicamente 2 en el litoral, en estaciones como Miramon o Ereñozu. Estos valores están lejos de los de los años anteriores 2023 y 2022 en los que este umbral se superó de media en 21 y 27 días, respectivamente. 2024 fue el cuarto año con menor número de días en los que se superó dicho umbral en lo que va de siglo tras 2021, 2018 y 2014.



19. Fig. Evolución de la anomalía de la temperatura en la estación de Hondarribia-Malkarroa en 2024 respecto al promedio de referencia 1991–2020. Valores suavizados mediante media móvil de 10 días. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la AEMET.

2024 fue un año muy cálido, en el que nueve meses presentaron anomalías positivas respecto al periodo normal 1991–2020, siendo más intensas en noviembre (+2,57 °C), febrero (+2,34 °C) y enero (+1,98 °C). Los meses más fríos que la media, con temperaturas inferiores al periodo normal 1991–2020, fueron septiembre (-1,31 °C), mayo (-0,89 °C) y junio (-0,44 °C). En ninguno de los meses se registraron temperaturas medias de récord para el mes correspondiente.

El invierno fue en general muy cálido, destacando el mes de febrero, con una anomalía media de en torno a +2,40 °C respecto al periodo normal 1991–2020. En el conjunto de estaciones meteorológicas del territorio, los meses de enero y febrero fueron los cuarto y quinto más cálidos registrados desde 2001, respectivamente. En cuanto a las temperaturas mínimas y máximas medias del invierno, 6,00 °C y 13,70 °C respectivamente, también fueron

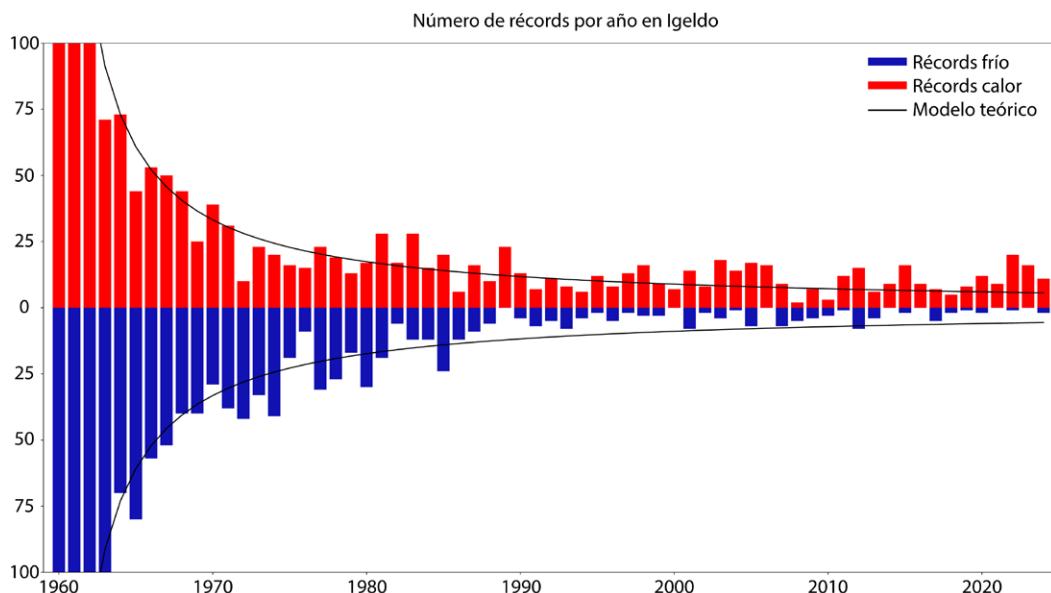
más elevadas de lo normal, +1,70 °C y +1,90 °C, respectivamente. El número de días de heladas (en torno a 7 en el interior y uno o dos en el litoral) también estuvo claramente por debajo de lo normal. El único periodo frío se produjo entre los días 6 y 20 de enero, con heladas generalizadas, incluso en el litoral (ejemplos de temperaturas mínimas registradas el 20 de enero: Lasarte -1,6 °C, Oiartzun -1,8 °C, Ordizia -4,1 °C).

La estación primaveral también fue más cálida de lo normal, con 12,47 °C de media, +0,60 °C por encima del periodo normal 1991–2020 para el conjunto del territorio. Marzo y abril fueron en general cálidos, con temperaturas +1,20 °C y +1,00 °C por encima de lo normal, respectivamente, mientras que mayo fue el primer mes frío desde comienzo del año (-0,80 °C por debajo del periodo normal 1991–2020).

El verano de 2024 se caracterizó por ser cálido, con una temperatura media de 18,93 °C en el conjunto de estaciones del territorio. Siguiendo el comportamiento del mes de mayo, en el mes de junio continuaron las temperaturas por debajo del periodo normal 1991–2020, con una anomalía de temperatura de -0,44 °C y -0,25 °C en las estaciones de Igeldo y Hondarribia-Malkarroa, respectivamente. En cambio, en los meses de julio y agosto se registraron temperaturas por encima de lo normal, entre +0,30 °C y +0,57 °C. En relación con lo que llevamos de siglo, la temperatura media del verano se encuentra en una posición intermedia, -1,84 °C por debajo del verano de 2022, el verano más cálido en lo que llevamos de siglo. A pesar de las temperaturas más cálidas de lo normal, se registraron en torno a 5 días cálidos (lejos de los 30 en 2022), siendo el evento de calor extremo más relevante el del día 11 de agosto, en los que en muchas estaciones la temperatura

máxima superó los 40 °C (Zizurkil 42,2 °C, Ibai Eder, 41,5 °C, Arrasate 41,4 °C, Lasarte 40,8 °C, Behobia 40,5 °C). El número de noches tropicales durante el verano ($T_{min} > 20$ °C), entre dos y seis, también fue muy inferior al de los dos años precedentes.

Las temperaturas medias indican que el otoño fue cálido para el conjunto del territorio con respecto al periodo normal 1991–2020, con una anomalía promedio en el conjunto de las estaciones del territorio de en torno a +0,80 °C. Septiembre fue frío, con una temperatura media de 16,00 °C, siendo el tercer septiembre más frío registrado en lo que vamos de siglo, tras 2001 y 2007. En cambio, octubre y noviembre fueron entre cálidos y muy cálidos, especialmente noviembre, con anomalías de temperatura media superiores a +2,00 °C respecto al periodo normal 1991–2020.



20. Fig. Evolución de los récords diarios de temperatura máxima y mínima diaria en Igeldo. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la AEMET.

En 2024 un total de 11 días fueron los más cálidos para su fecha, esto es, récords históricos, desde que hay datos en el observatorio de Igeldo. En cambio, solamente se produjeron 2 récords de días fríos. En un clima sin alterar, en 2024 teóricamente habrían sido esperables 5 récords de días cálidos y 5 de días fríos. El método empleado asume que, en un clima estacionario, el número anual de récords de días cálidos y días fríos no debería variar demasiado con el paso del tiempo, ajustándose a la misma distribución estadística teórica (C3S, 2019, 2020). Desde 1990, el número de récords de días cálidos es mucho mayor que el valor teórico, y el número de récords de días fríos mucho menor. Esto es coherente con el calentamiento observado

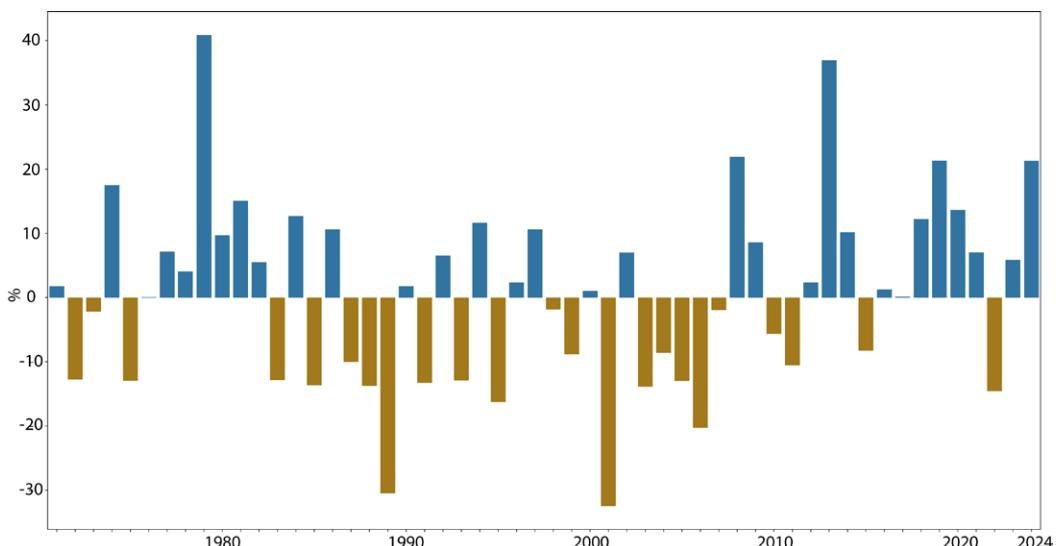
y muestra el incremento de días cálidos mientras que disminuye claramente el de días fríos, aunque siguen produciéndose, una de las consecuencias claras del calentamiento global.

Según este modelo teórico, durante la última década (2015–2023) se deberían de haber producido 60 récords de días cálidos y otros 60 de días fríos (la probabilidad es la misma en ambos casos). Sin embargo, se han producido 113 y 15 récords respectivamente. Esto es, el número de récords de días cálidos multiplica por 7 el de récords de días fríos.

3.2. PRECIPITACIÓN

La precipitación total anual media en Gipuzkoa no presenta ninguna tendencia clara en el periodo 1971–2024 (+0,01 % por década 1971–2022). Esta variable está marcada por una gran variabilidad anual y decadal. La última década (2015–2024) ha sido en torno a un +6,00 % más húmeda que el periodo normal 1991–2020 y un +6,10 % más húmeda que el periodo 1971–2000. La variabilidad

anual de la precipitación total con la tendencia a largo plazo es mucho mayor en comparación con la de la temperatura. Por lo tanto, a pesar de esta última década notablemente más húmeda, la influencia del cambio climático en la ocurrencia de estos valores altos es menos pronunciada.



21. Fig. Anomalía (%) respecto al periodo 1991–2020 de la precipitación anual en el observatorio de Igeldo en el periodo 1971–2024. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la AEMET.

El análisis de las series temporales más largas de precipitación anual disponibles en el territorio, correspondientes a los observatorios de Igeldo y Hondarribia-Malkarroa, no muestran tampoco tendencias significativas, ni en la serie temporal total de cada una de ellas ni en el periodo 1971–2024. En el periodo 1971–2024 la precipitación total

anual se ha incrementado un +0,85 % y +0,63 % por década en Igeldo y Hondarribia-Malkarroa, respectivamente. La última década (2015–2024) ha sido más húmeda que el periodo de referencia 1991–2020 en ambos observatorios, un +5,99 % y +8,45 %, respectivamente.



	Gipuzkoa		Igeldo		Hondarribia-Malkarroa	
DÉCADA	Promedio	Anomalía 1991-2020	Promedio	Anomalía 1991-2020	Promedio	Anomalía 1991-2020
1971-1980	1.787,02	+9,15 %	1.649,63	+5,32 %	1.808,01	+7,08 %
1981-1990	1.557,67	-4,86 %	1.511,30	-3,51 %	1.665,09	-1,38 %
1991-2000	1.613,40	-1,46 %	1.533,46	-2,10 %	1.741,19	+3,13 %
2001-2010	1.567,39	-4,27 %	1.475,17	-5,82 %	1.541,60	-8,69 %
2011-2020	1.730,93	+5,72 %	1.690,37	+7,92 %	1.782,42	-5,57 %
2015-2024			1.660,21	+5,99 %	1.831,02	+8,45 %

9. Tabla. Promedios (mm) y anomalías (%) respecto al periodo de referencia 1991–2020 de la precipitación total anual en Gipuzkoa (datos rejilla 5km ROCIO_IBEB) y los registros de los observatorios de Igeldo y Hondarribia-Malkarroa.

A nivel de comarca, para el periodo 1971–2022 los datos de la rejilla de AEMET (ROCIO_IBEB) indican descensos de la precipitación anual en todas ellas, aunque estos

cambios no son significativos salvo en Debabarrena, donde sí se observa un descenso significativo. Los menores cambios se observan hacia el este del territorio.

COMARCA	Anual	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
BIDASOA BEHERA / BAJO BIDASOA	+0,31	+1,42	-5,65*	+0,50	+4,63
DEBABARRENA / BAJO DEBA	-3,06*	+0,28	-8,83*	+7,17	+0,72
DEBAGOIENA / ALTO DEBA	-0,60	+4,22	-6,26*	-5,31*	+3,06
DONOSTIALDEA / DONOSTIA-SAN SEBASTIÁN	-0,14	+1,13	-5,78*	-0,97	+4,43
GOIERRI	-0,43	+3,97	-5,42*	-5,24*	+3,06
TOLOSALDEA	-0,34	+2,59	-5,78*	-2,71	+3,17
UROLA KOSTA	-1,17	+1,79	-7,11*	-4,08	+2,29
GIPUZKOA	-0,52	+2,46	-6,54*	-4,14	+2,83

10. Tabla. Tendencia decadal de la precipitación acumulada anual y estacional (% cambio por década) en el periodo 1971–2022 para las distintas comarcas. *Indica que las tendencias son estadísticamente significativas. Fuente datos: rejilla 5km ROCIO_IBEB.

La precipitación total media en el Territorio en 2024 fue de 1.740,00 mm, en torno a un +15,00 % respecto a la media 1991–2020. Fue el cuarto año más húmedo del siglo, tras 2013, 2008 y 2019. Respecto al periodo de largo plazo 1971–2000, la precipitación anual fue un +14,00 % superior. En el observatorio de Igeldo la precipitación anual fue de 1.899,8 mm, un +21,29 % mayor a la del periodo 1991–2020 y +21,41 % respecto al periodo 1971–2000. En el observatorio de Hondarribia-Malkarroa, la precipitación anual en 2024 fue de 2.247,20 mm, +33,16 % más que el periodo

normal 1991–2020 y +29,29 % más que en 1971–2000. En este observatorio 2024 fue el segundo año más húmedo del periodo 1971–2024, solo superado por la precipitación acumulada en 1979 (2.292,00 mm).

Respecto a lo que vamos de siglo XXI, la precipitación anual en 2024 fue superior a la media del siglo, en torno a un +20,00 %. La última década (2015–2024) ha sido, de media, un 3,00 % más seca que la década anterior (2005–2014). Sin embargo, se encuentran marcadas

diferencias entre las estaciones meteorológicas del territorio. Por ejemplo, en Lasarte se registra una reducción de un -16,00 %, mientras que en Hondarribia-Malkarroa se observa un incremento del +9,60 %. Respecto a la primera década del siglo (2001-2010) la última década ha sido un +5,0% más húmeda. A pesar de esta tendencia general al

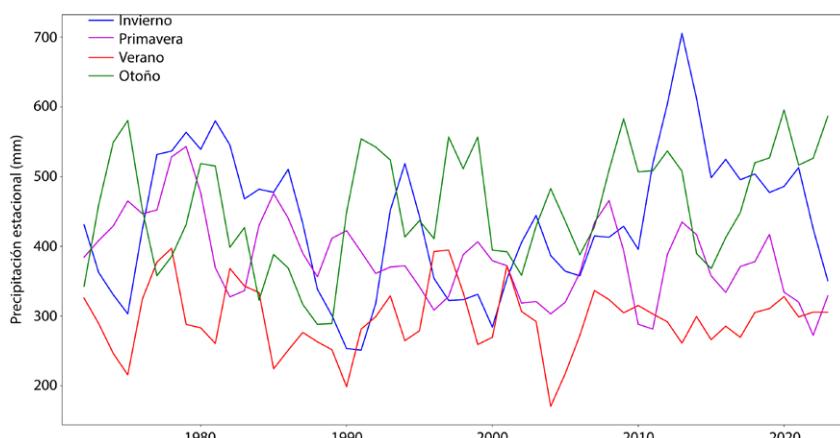
descenso en la precipitación, la gran variabilidad anual y decadal hace necesario que se interpreten estas tendencias en períodos relativamente cortos con precaución, ya que las medias pueden estar fuertemente influidas por años extremos.

ESTACIÓN	P MEDIA (2001-2010)	P MEDIA (2005-2014)	P MEDIA (2015-2024)	TENDENCIA (2001-2024)
AIXOLA	1.430,34	1.523,85	1.474,07	-5,69
ALTZOLA	1.434,98	1.511,33	1.432,62	-1,28
ANDOAIN	1.419,32	1.569,38	1.522,71	-8,17
ARRASATE	1.317,59	1.386,32	1.305,41	+3,26
BELAUNTZA	1.402,45	1.445,37	1.521,68	-6,70
EREÑOZU	1.584,57	1.732,49	1.774,25	-15,24
ONATI	1.222,10	1.232,96	1.176,77	+3,21
ORDIZIA	1.109,32	1.220,98	1.157,77	-2,00
ZIZURKIL	1.328,85	1.396,98	1.382,74	-3,07

11. Tabla. Promedios de la precipitación anual (mm) para tres décadas distintas y la tendencia (mm década^{-1}) a lo largo del siglo XXI (2001-2024) en estaciones meteorológicas del territorio. +Indica que las tendencias son estadísticamente significativas.

Al igual que en la precipitación anual, las series estacionales están dominadas por la variabilidad interanual. La única estación del año en la que en el periodo 1971-2022 se observa una tendencia significativa es la primavera, en la que se observa un descenso de la precipitación a una tasa de alrededor del -6,00 % en la media del territorio, un -5,70 % por década en Hondarribia-Malkarroa y -5,30 % en Igeldo (ambas tendencias significativas). En el resto de estaciones se observan tendencias positivas, aunque no

significativas, siendo mayores en el otoño. Desde comienzos de siglo, se observa una tendencia al incremento de la precipitación durante el invierno y una reducción de la precipitación en primavera, aunque estos cambios no son significativos en la mayoría de estaciones meteorológicas. En verano y otoño hay una mayor variabilidad de las tendencias observadas, con estaciones mostrando tendencias ascendentes y otras descendentes.



22. Fig. Evolución de la precipitación estacional (1971-2024) en Igeldo utilizando un filtro de suavizado. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la AEMET.



En cuanto a las tendencias mensuales, los meses de febrero a mayo presentan una tendencia descendente de la precipitación acumulada en el periodo 1971-2022, siendo este descenso significativo únicamente en abril (-8,00 % por década). Sin embargo, durante la última década, los meses de febrero y marzo han presentado una precipitación superior a la de ambos periodos de referencia. En los meses de verano, junio es el único que presenta una tasa creciente, no significativa, de +6,0 % por década. En la última década, la precipitación durante este mes ha sido en

torno a un 30 % superior con respecto a la del periodo de referencia 1991-2020. De septiembre a diciembre la precipitación mensual presenta una tendencia creciente todos los meses, siendo significativa únicamente en noviembre (+8,0 % por década). La inclusión de septiembre de 2024 ha modificado la tendencia de este mes, que venía siendo seco desde 2011. Octubre ha sido más seco de lo normal en la última década y noviembre mucho más húmedo.

	GIPUZKOA		IGELDO		HONDARRIBIA-MALKARROA		
	1971-2000	1991-2020	1971-2000	1991-2020	1971-2000	1991-2020	
ENERO	47,56	34,77	20,88	18,65	18,37	20,50	
FEBRERO	49,02	40,81	26,04	25,66	2,23	10,11	
MARZO	14,52	17,25	4,70	8,76	2,42	14,63	
ABRIL	-27,88	-11,94	-33,09	-18,67	-32,60	-19,80	
MAYO	-10,55	-3,69	-14,85	-9,12	-10,67	0,80	
JUNIO	2,42	2,04	32,17	29,57	10,69	32,92	
JULIO	-7,77	4,35	-13,17	-12,31	-27,86	-21,50	
AGOSTO	-35,77	-21,68	-10,87	-8,00	-8,13	-5,25	
SEPTIEMBRE	-16,64	-17,81	12,66	10,14	16,46	17,61	
OCTUBRE	-27,14	-20,19	-9,24	-9,07	-15,67	-7,23	
NOVIEMBRE	31,85	11,40	42,78	20,16	56,71	31,91	
DICIEMBRE	2,43	-2,25	12,08	7,24	12,53	6,38	
LEYENDA	8<0%	80%-90%	90-95%	95%-105%	105%-110%	110%-120%	>120%

12. Tabla. Anomalía de la precipitación mensual relativa (%) al periodo 1971-2000 y 1991-2020 en Gipuzkoa y las estaciones meteorológicas de Igeldo y Hondarribia-Malkarroa para la década 2015-2024 (2011-2020 para Gipuzkoa).

El número de días húmedos anuales ($Pr > 1 \text{ mm}$) presenta una tendencia descendente en el periodo 1971-2022 para el conjunto del territorio, -6,60 días por década. En cambio, el número de días con precipitaciones fuertes ($Pr > 10 \text{ mm}$) o el número de días con precipitaciones muy fuertes ($Pr > 20 \text{ mm}$) no presenta tendencias significativas. Tras un ligero descenso en la década anterior (2001-2010) de dichos tres indicadores, durante la

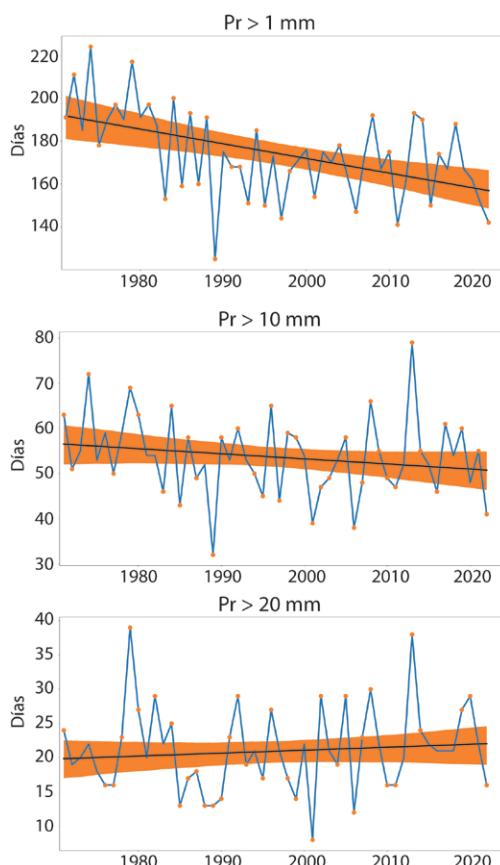
última década (2015-2024) se ha vuelto a valores previos al año 2000. De media en la última década se registraron 186 días húmedos, 54 días de precipitaciones fuertes y 24 de muy fuertes. En las estaciones de Igeldo y Hondarribia-Malkarroa en el periodo 1971-2024 no se observan cambios para ninguno de los tres indicadores asociados con los días de precipitación y su intensidad.

COMARCA	ANUAL	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
BIDASOA BEHEREA / BAJO BIDASOA	-8,4*	-2,10*	-3,33*	-1,42*	-1,25*
DEBABARRENA / BAJO DEBA	-5,66*	-0,87	-3,13*	-1,44*	-0,34
DEBAGOIENA / ALTO DEBA	-5,17*	-1,26	-3,14*	-1,37*	0,00
DONOSTIALDEA	-7,50*	-2,07*	-3,45*	-1,11	-1,00
GOIERRI	-5,52*	-1,38	-3,01*	-1,18*	0,00
TOLOSALDEA	-6,40*	-1,25	-3,41*	-1,25*	-0,60
UROLA-KOSTA	-5,76*	-1,32	-2,95*	-1,00	0,00
GIPUZKOA	-6,57*	-1,66	-3,33*	-1,17	-0,72

13. Tabla. Tendencia del número de días húmedos (días década^{-1}) en las distintas comarcas en el periodo 1971–2022. *Indica que las tendencias son estadísticamente significativas. Fuente de datos: rejilla 5km ROCIO_IBEB.

El número de días húmedos en el periodo 1971–2022 ha descendido significativamente en todas las comarcas. En primavera se han producido los descensos más

significativos, de en torno a tres días por década en todas las comarcas. En el resto de estaciones no se observan descensos significativos.



23. Fig. Número anual de días húmedos ($\text{Pr} > 1 \text{ mm}$), número de días con precipitaciones fuertes ($\text{Pr} > 10 \text{ mm}$) y muy fuertes ($\text{Pr} > 20 \text{ mm}$) en Gipuzkoa en el periodo 1971–2022 y líneas de tendencia. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la AEMET.



En el periodo 1971–2022 la proporción de la precipitación debida a los días húmedos ($Pr < 10 \text{ mm}$) presenta una tendencia significativa negativa, $-0,9\%$ por década. En cambio, la proporción de precipitación debida a los días con precipitación muy fuertes ($Pr > 20 \text{ mm}$) presenta una tendencia creciente, de $+1,88\%$ por década. Al analizar las series temporales en el periodo 1971–2024 en los observatorios de Igeldo y Hondarribia-Malkarroa se observa el mismo signo en la tendencia de cada uno de estos indicadores, pero los cambios no son significativos ($-0,27\%$ y $-0,34\%$ por década para la proporción de precipitación debida a los días húmedos y $+0,83\%$ y $+0,86\%$ por década para los días muy húmedos en Igeldo y Hondarribia-Malkarroa, respectivamente).

En 2024 hubo 189 y 179 días húmedos, 63 y 63 de precipitaciones fuertes y 33 y 40 de muy fuertes en Igeldo y Hondarribia-Malkarroa, respectivamente. Todos ellos, superando en más de 10 días el promedio 1991–2020 en Igeldo y de 6 días en Hondarribia-Malkarroa.

El invierno de 2024 fue húmedo, siendo muy húmedo en el noreste e interior de Gipuzkoa. En la estación de Hondarribia-Malkarroa la precipitación fue un $+22,79\%$ superior a la del periodo normal 1991–2020, llegando a los 594,5 mm. En algunas estaciones del noreste del territorio los acumulados fueron incluso superiores, con estaciones con valores cercanos a los 1.000 mm (Eskas 950,4 mm, Añarbe 942,7 mm). En el interior, entre las comarcas de Urola Kosta y Goierri también se registraron valores elevados (Ibai Eder 636,9 mm, Aitzu 598,0 mm). En enero la precipitación fue inferior a la normal, presentando un carácter seco, salvo en el noreste del territorio donde fue normal, con una precipitación un $-6,28\%$ inferior a la del periodo 1991–2020 en Hondarribia-Malkarroa. Sin embargo, la precipitación disminuyó hacia el este y sur. Por ejemplo, en Igeldo la precipitación fue un $-29,68\%$ inferior a lo normal, el séptimo enero más seco en lo que llevamos de siglo. En cambio, en febrero la precipitación fue superior a la normal, siendo el séptimo febrero más lluvioso en lo que llevamos de siglo en Igeldo ($+25,59\%$ que en el periodo 1991–2020). Durante esta estación el número de días de lluvia fue superior a lo normal en el litoral.

La primavera de 2024, en lo que respecta a la precipitación total, presentó valores próximos a los del periodo normal 1991–2020, algo menores en el interior del territorio ($-1,50\%$ y $+19,46\%$ en Igeldo y Hondarribia-Malkarroa, respectivamente). La distribución de la precipitación en los tres meses de esta estación fue bastante desigual. Marzo fue un mes húmedo con precipitaciones superiores a lo normal, especialmente en el litoral. Por ejemplo, en Hondarribia-Malkarroa la precipitación fue un $+55,51\%$ superior a la del periodo 1991–2020, el cuarto marzo más

lluvioso del siglo XXI. En cambio, abril fue seco, uno de los más secos de la serie histórica, con precipitaciones próximas a un $-30,00\%$ respecto a 1991–2020. Mayo volvió a ser muy húmedo, con precipitaciones entre un $+20,00\%$ y $+45,00\%$ respecto a 1991–2020. Fue el quinto mayo más lluvioso en lo que llevamos de siglo tras 2013, 2002, 2019 y 2020. Los valores más altos se registraron en Donostialdea (Ereñozu 200,00 mm, Andoain 195,20 mm, Lasarte 193,90 mm, Miramon 189,70 mm). El número de días de lluvia durante la primavera fue algo mayor al promedio climatológico 1991–2020.

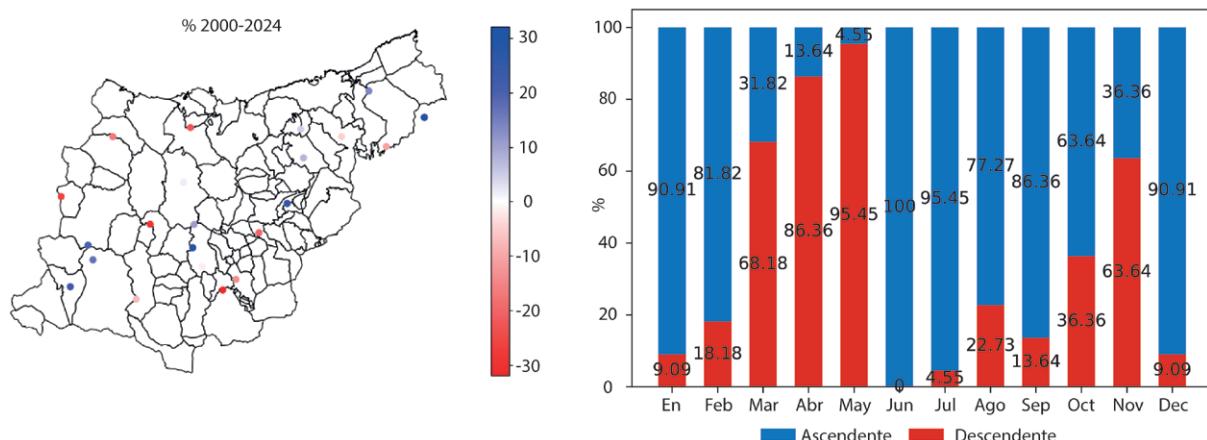
El verano de 2024 fue normal en cuanto a la precipitación, siendo más húmedo en la costa noreste del territorio. En Igeldo la precipitación fue prácticamente igual a la media 1991–2020, mientras que en Hondarribia-Malkarroa fue en torno a un $+15,00\%$ superior. Al igual que en la primavera, también se observan grandes diferencias mensuales. Junio fue húmedo con precipitaciones abundantes en la franja costera y el oeste del territorio (Eskas 247,20 mm, Miramon 197,00 mm, Oiartzun 194,40 mm, Bidania 160,90 mm, Ameraun 160,10 mm). En Igeldo, por ejemplo, se registró hasta un $+96,95\%$ con respecto al valor normal, siendo el segundo junio más lluvioso en lo que vamos de siglo tras 2021. En contraste, julio fue seco, con una precipitación próxima a un $-40,00\%$ del promedio climatológico. Agosto fue húmedo en la franja oeste del territorio y normal en el resto, con una precipitación en torno a un $-10,00\%$ inferior al periodo 1991–2020. El número de días de precipitación fue superior al promedio climatológico.

El otoño fue muy húmedo, especialmente los meses de septiembre y octubre, con precipitaciones superiores a las del periodo normal 1991–2020. Los mayores acumulados se registraron en el nordeste del territorio (Eskas 905,30 mm, Oiartzun 746,40 mm, Añarbe 733,10 mm, Miramon 729,80 mm). Septiembre fue muy húmedo, con una precipitación un $+120,00\%$ superior a la del periodo 1991–2024, siendo el septiembre más lluvioso en lo que vamos de siglo XXI. En las estaciones de Igeldo y Hondarribia-Malkarroa fue, respectivamente, el segundo y primero de sus series históricas completas. Octubre fue también muy húmedo con precipitaciones más del doble de lo habitual, uno de los octubres más lluviosos del siglo tras los de 2000 o 2008. Noviembre presentó diferencias espaciales, siendo normal en la costa noreste (Hondarribia-Malkarroa 226,40 mm, Oiartzun 156,80 mm, Behobia, 145,00 mm, Añarbe 137,40 mm), seco en la franja costera y este del territorio (Igeldo 151,70 mm, Lasarte, 104,50 mm) y muy seco hacia el interior (Aitzu 114,90 mm, Oñati 77,00 mm, Urkulu 70,70 mm). El número de días de precipitación en otoño fue superior al promedio climatológico 1991–2020.

3.3. CAUDALES EN RÍOS

El caudal de los ríos es el volumen de agua que fluye a través de un canal fluvial, medido en un punto dado, en metros cúbicos por segundo. Las variaciones de los caudales de los ríos están determinadas por las precipitaciones y por la temperatura, además de otros factores como la geología o el suelo. El caudal de los ríos puede considerarse un indicador de cambio climático, ya que los cambios en la temperatura y en la distribución de las

precipitaciones puede modificar la distribución del agua en superficie y, en consecuencia, el balance anual de agua en las cuencas hidrográficas. Además, los caudales elevados pueden provocar inundaciones, mientras que los caudales excesivamente bajos pueden afectar negativamente a especies dependientes del agua dulce y de las riberas.



24. Fig. Tendencia, expresada como porcentaje de cambio, del caudal medio anual para el periodo 2000–2024. Distribución mensual de las tendencias de caudal medio para la serie 2000–2024. Fuente: elaboración propia a partir de los datos del Departamento de Obras Hidráulicas de la DFG.

En la mayoría de las estaciones de aforo de la Red de estaciones permanentes de la Diputación Foral de Gipuzkoa el caudal presenta una tendencia creciente, aunque no significativa en el periodo 2000–2024. Únicamente cuatro estaciones presentan tendencias descendentes, no significativas, mientras que en cinco de ellas las tasas ascendentes sí son significativas.

En cuanto a las variaciones mensuales, en la mayoría de estaciones el caudal medio presenta tasas crecientes en enero y febrero, aunque ninguna de las tendencias observadas es significativa. En los meses de primavera (marzo, abril y mayo) en la mayoría de estaciones el caudal tiende a disminuir, con variaciones que oscilan entre un

-15 % y +30 %. En los meses de junio a octubre el caudal presenta también tasas ascendentes, destacando el mes de junio en el que en todas ellas la tendencia es positiva, y significativa en 6 de ellas. En el mes de noviembre más de la mitad de las estaciones presentan una tendencia a la disminución del caudal medio, mientras que en diciembre vuelven a dominar las tendencias positivas.

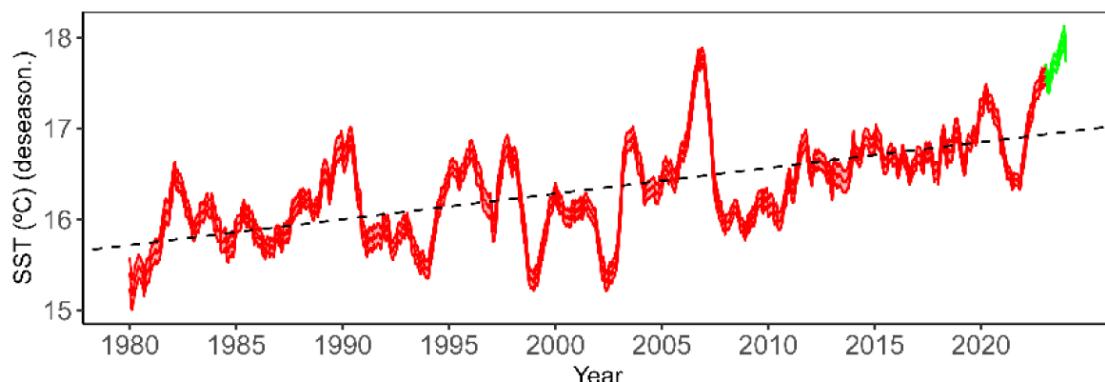
En 2024, el caudal medio anual en las estaciones de aforo fue superior al de los dos últimos años, 2022 y 2023, y en casi la mitad de las estaciones no se registraban caudales medios tan elevados desde 2017.

3.4. TEMPERATURA DEL MAR

La temperatura superficial del océano en el Atlántico nororiental y los mares adyacentes muestra un calentamiento considerable en todas sus subcuencas, incluido el golfo de Vizcaya, a una velocidad que en muchos puntos es más del doble que el promedio global. En este contexto, se observa también un calentamiento del mar a partir de la década de 1980 en la costa vasca. Dependiendo de la localización y las profundidades consideradas, la tasa de calentamiento oscila entre $+0,8^{\circ}\text{C}$ y $+0,28^{\circ}\text{C}$ por década. Estos son valores iguales a las tasas medias de calentamiento de todas las cuencas del Atlántico nororiental, $+0,25^{\circ}\text{C}$ por década desde 1982 (von Schuckmann et al., 2024).

La serie temporal histórica de temperatura superficial del mar en el Aquarium de Donostia-San Sebastián en el periodo 1980–2024 presenta una tendencia creciente significante de $+0,28 \pm 0,03^{\circ}\text{C}$ por década. Para dicho periodo, pero al considerar el golfo de Vizcaya, los datos satelitales indican también una tendencia creciente y significativa, con una tasa de $+0,22 \pm 0,03^{\circ}\text{C}$ por década.

Al considerar la temperatura a diferentes profundidades en la columna de agua, entre 0 y 100 m de profundidad, registrada en una estación situada en el sureste del golfo (aproximadamente a 13,10 km de Pasaia), se detecta una tendencia creciente significativa a una tasa de $+0,18 \pm 0,03^{\circ}\text{C}$ por década para el periodo 1986–2023.



25. Fig. Serie temporal de la temperatura superficial del mar mediante satélite del golfo de Vizcaya en el periodo 1981–2023 (sensor OSTIA).

Al igual que en el océano global, la intensidad, frecuencia y duración de los eventos de ola de calor marina han aumentado en los últimos años en el Atlántico nororiental y los mares adyacentes (von Schuckmann et al., 2024). En 2023 las temperaturas de la superficie del mar y del aire fueron más elevadas de lo normal en el Atlántico Nordeste durante todas las estaciones del año, lo que provocó varias olas de calor marinas a principios de verano y en otoño (ICES, 2024). En junio de 2023, la plataforma noroeste de Europa experimentó anomalías de temperatura superficial sin precedentes, alcanzando al norte de

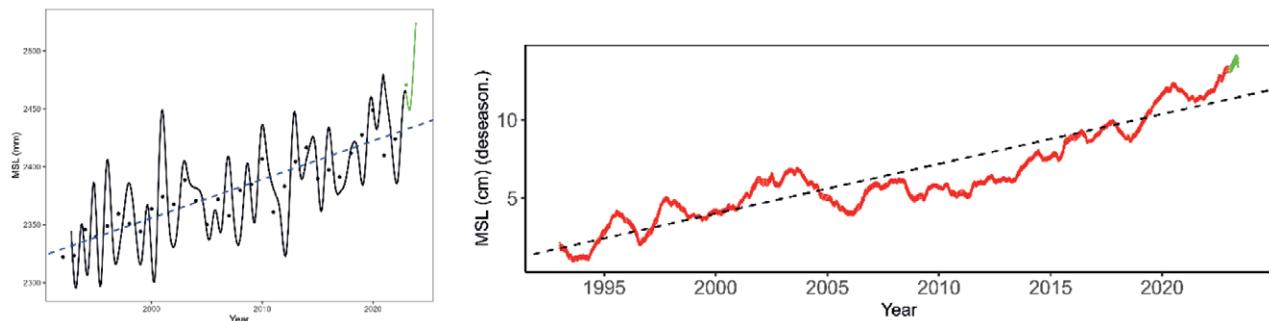
Irlanda anomalías de hasta $+5^{\circ}\text{C}$ por encima de lo normal (Berthou et al., 2024). Durante este periodo, en la estación del Aquarium de Donostia-San Sebastián se registraron un total de 10 olas de calor marina, superando las 6 registradas en 2022. La ola de mayor duración se produjo a finales de mayo y se extendió durante todo junio, con 32 días de duración. En el periodo 1980–2022, los datos de temperatura superficial del mar en el Aquarium de Donostia / San Sebastián indican un aumento significativo del número de olas de calor ($+0,91 \pm 0,19$ olas por década) y de su duración media ($+2,98 \pm 0,90$ días por década).

3.5. NIVEL DEL MAR

Todas las cuencas oceánicas del noreste del océano Atlántico y los mares adyacentes han experimentado un aumento del nivel del mar en los últimos 30 años, incluido el golfo de Vizcaya, donde los sensores satelitales indican que el nivel medio del mar está ascendiendo a una tasa de $+3,18 \pm 0,38$ cm por década en el periodo 1993–2023.

En costa, las series temporales del nivel medio del mar de los mareógrafos del golfo de Vizcaya (Vigo2, Gijón2, Santander2, Brest, A Coruña2, Bilbao3) indican que el nivel medio del mar está ascendiendo significativamente

en todos ellos. Las tasas de ascenso oscilan entre $+1,35 \pm 0,05$ cm por década (en Brest, 1846–2023) y $+3,97 \pm 0,54$ cm por década (en A Coruña, 1992–2023). En general, las tasas de ascenso más elevadas se registran a partir de la década de 1990. El ascenso detectado en la costa y mar del golfo de Vizcaya es consistente con el ascenso a nivel global. Además, la subida del nivel del mar se está acelerando en la región en las últimas tres décadas, respecto al ascenso medio del siglo XX, en coherencia con estudios que analizan periodos más largos (Woppelmann et al., 2006; Dagendorf et al., 2019).



26. Fig. (izq.) Serie temporal en el mareógrafo Bilbao3, con los datos de 2023 en verde. (drcha.) Nivel medio del mar mediante satélite en el golfo de Vizcaya.



3.6. pH DEL MAR

La acidificación ha aumentado en el noreste del Atlántico y mares adyacentes continuamente en los últimos 37 años (von Schuckmann et al., 2024).

En tres estaciones¹ situadas en el litoral vasco, a unos 10 km de la costa, el pH está descendiendo significativamente en todas las profundidades (0-100 m) en el periodo 2002-2022. Las tasas de descenso oscilan entre -0,022 y -0,074 unidades por década. Las tasas de cambio son mayores en las capas más profundas (profundidad 100 m) en comparación con las superiores (0,5 m).

Las tasas de acidificación observadas en la costa vasca son ligeramente superiores a las observadas en el océano

global y noreste del Atlántico ($-0,017 \pm 0,002$ década $^{-1}$) en el periodo 1985-2022 (von Schuckmann et al., 2024), y consistentes con las observadas en la costa, como en la Ría de Vigo (entre -0,025 y -0,042 unidades de pH por década; Cameselle et al., 2024). Esto es consistente con la evaluación OSPAR de la acidificación del océano en el Atlántico Nororiental (-0,01 década $^{-1}$ en el golfo de Vizcaya), según la cual las tendencias son mayores en costa (McGovern et al., 2023). Por tanto, estos resultados indican que los patrones de disminución del pH a largo plazo observados en la costa vasca están impulsados por el aumento de la concentración global de CO₂.

ESTACIÓN	PROFUNDIDAD (m)	TASA TEMPORAL (UNIDADES DÉCADA $^{-1}$)
RF-10	0,5	-0,041 ± 0,0016
	100	-0,027 ± 0,0018
RF-20	0,5	-0,022 ± 0,0018
	100	-0,074 ± 0,0016
RF-30	0,5	-0,061 ± 0,0018
	100	-0,056 ± 0,0018

14. Tabla. Cambios de pH a lo largo del tiempo a distintas profundidades durante 2002-2022 en la costa vasca del golfo de Vizcaya.

¹Estaciones correspondientes al proyecto 'Red de Seguimiento del estado ecológico de las aguas de transición y costeras de la CAPV'.

/G

Informe de Impacto
y Vulnerabilidad al
Cambio Climático
en Gipuzkoa





Riesgos complejos: Análisis de interdependencias entre riesgos clave del cambio climático



1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático representa uno de los mayores desafíos globales del siglo XXI. La evidencia científica es concluyente: la actividad humana ha provocado un cambio rápido y generalizado en todos los componentes del sistema climático, con alteraciones sin precedentes en siglos o incluso milenios (IPCC, 2021). La temperatura media global se ha incrementado en 1,24 °C hasta el periodo 2015–2024 con respecto al periodo preindustrial (1850–1900) (Foster et al., 2025). El año 2024 ha sido el más cálido registrado hasta la fecha superando, transitoriamente, por vez primera el umbral de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales (WMO, 2025). Este calentamiento global, inducido por la actividad humana, está provocando cambios en el sistema climático, tales como cambios en los patrones de precipitación o alteraciones significativas en los océanos: aumento de la temperatura, acidificación o elevación del nivel del mar en aproximadamente 0,2 m desde 1900, tasa que además se está acelerando (IPCC, 2021). Asimismo, se está modificando la frecuencia e intensidad de eventos extremos, como olas de calor, precipitaciones intensas o sequías.

A nivel local, el clima de Gipuzkoa también refleja estas tendencias. La temperatura media anual en la última década (2015–2024) ha aumentado en aproximadamente 1,10 °C con respecto a la media del periodo 1971–2000, y ocho de los diez años más cálidos se han registrado a partir de 2005. En el medio marino, la temperatura superficial del agua muestra una tendencia ascendente de 0,22 °C desde 1980, mientras que el nivel medio del mar asciende a una tasa de 3,2 cm por década. Las proyecciones climáticas regionales, basadas en distintos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, advierten que, salvo una reducción sustancial y sostenida de las emisiones, estos cambios, incluidos los eventos climáticos extremos, continuarán intensificándose en las próximas décadas.

Todos estos cambios en el sistema climático provocan riesgos significativos que afectan a todos los sectores, tanto naturales como socioeconómicos. Según el marco conceptual del IPCC (2022), el riesgo climático se entiende como la posibilidad de que se produzcan consecuencias

adversas en dichos sistemas, resultado de la interacción entre la peligrosidad climática, la exposición y la vulnerabilidad (Fig. 1.1, IPCC, 2022). Se prevé que estos riesgos sean más acusados en determinados sectores particularmente sensibles a las condiciones climáticas, como la agricultura, la ganadería, la pesca, la gestión del agua, la silvicultura, el transporte o el turismo.

Además, la complejidad del riesgo climático se ve amplificada por las interdependencias existentes entre sectores, derivadas de sus vínculos físicos, sociales, ambientales y económicos (Rinaldi et al., 2001). Esta interconectividad da lugar a procesos de propagación del riesgo, en los cuales los impactos originados en un sector pueden amplificar las vulnerabilidades de otros y desencadenar nuevos riesgos o agravar los ya existentes, afectando al conjunto de sistemas naturales, sociales y económicos (Lawrence et al., 2016; Hilly et al., 2018; Rocha et al., 2018; Simpson et al., 2021; IPCC, 2022).

Tradicionalmente, el análisis de riesgo climático se ha centrado en una evaluación sectorial aislada, abordando de manera independiente los riesgos en los distintos sistemas naturales y socioeconómicos. Sin embargo, esta aproximación fragmentada puede subestimar las interacciones entre sectores, las cuales pueden generar nuevos riesgos o ampliar los ya existentes (Harrison et al., 2016; Challinor et al., 2018).

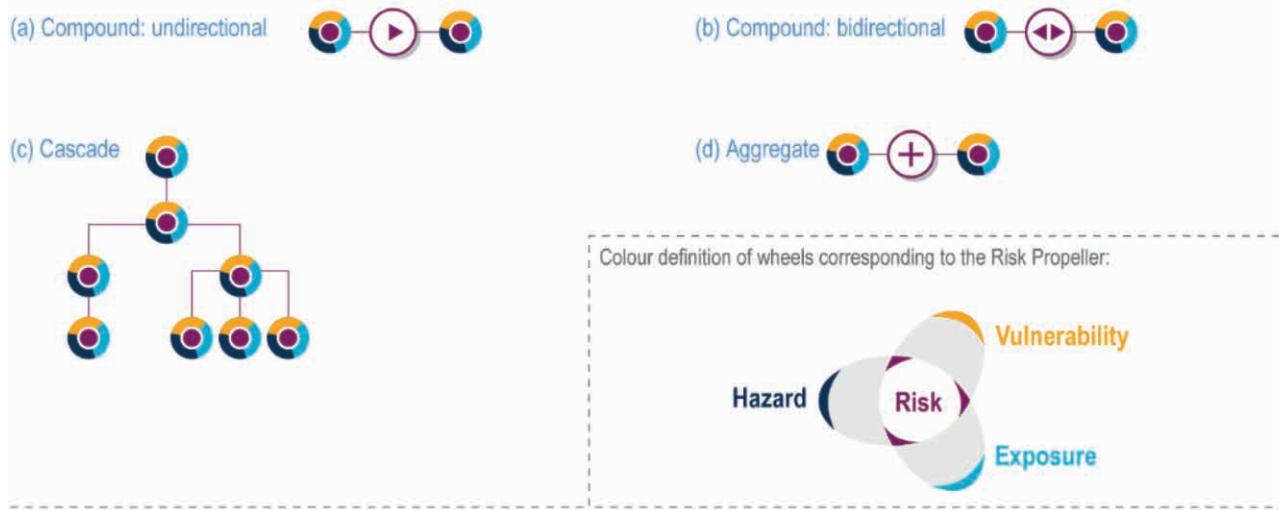
Por ello, para diseñar estrategias de adaptación eficaces y garantizar la resiliencia frente al cambio climático, es fundamental adoptar un enfoque integral que contemple el riesgo en su dimensión compleja y multisectorial. Esta perspectiva implica identificar y caracterizar las interconexiones e interacciones entre riesgos sectoriales, así como su potencial para generar efectos acumulativos, sinérgicos y en cascada (Challinor et al., 2018; Raymond et al., 2020; Simpson et al., 2021; Niggli et al., 2022). Este enfoque facilita la anticipación de perturbaciones que, originadas en un sector específico, pueden propagarse y producir impactos negativos en otros sectores.

“Los riesgos complejos son aquellos que emergen de múltiples factores interrelacionados, como amenazas físicas, condiciones de exposición, vulnerabilidades y respuestas humanas, y que pueden interactuar entre sí dando lugar a impactos compuestos, sistémicos y en cascada.”

(AR6 WGII, 2022)

En este contexto, el marco de riesgo del IPCC (IPCC-AR6, 2022) incorpora el concepto de riesgos climáticos complejos, entendidos como aquellos que resultan de la interacción de múltiples factores de riesgo –climáticos,

socioeconómicos y ecológicos– que pueden amplificarse mutuamente, desencadenar efectos compuestos y propagarse entre sectores interconectados (Fig. 1.1).



1.1. Fig. Potenciales interacciones entre riesgos climáticos (O'Neill et al., 2022, adaptado de Simpson et al., 2021).

Los riesgos agregados surgen de la interacción de riesgos sin peligros climáticos relacionados, mientras que los riesgos compuestos surgen de dos o más peligros relacionados (Simpson et al., 2021). Los efectos en cascada se producen cuando un riesgo inicial, o primario, desencadena una serie de impactos secundarios en otros sectores, generando una cadena de efectos

interdependientes. Asimismo, las dependencias (relaciones unidireccionales) e interdependencias (relaciones bidireccionales) se producen cuando la ocurrencia de un riesgo en un sector genera impactos indirectos en otros sectores interconectados (Maskrey et al., 2023). En la Tabla 1.1., se recogen las principales definiciones utilizadas en el análisis de riesgos climáticos complejos.

TIPOS DE RIESGO COMPLEJO CON DEFINICIÓN DEL IPCC	
RIESGO COMPUSTO (compound risk)	Los riesgos compuestos surgen de la interacción entre amenazas o peligros, que pueden estar caracterizadas por eventos extremos únicos o por eventos múltiples coincidentes o secuenciales que interactúan con sistemas o sectores expuestos.
RIESGO EMERGENTE (emergent risk)	Riesgo que surge de la interacción de fenómenos en un sistema complejo; por ejemplo, el riesgo generado cuando cambios geográficos en la población humana como respuesta al cambio climático conducen a una mayor vulnerabilidad y exposición en la región receptora.

1.1. Tabla. Términos asociados a riesgos complejos con y sin definición del IPCC. Fuente: Simpson et al. (2021).

TIPOS DE RIESGO COMPLEJO SIN DEFINICIÓN DEL IPCC

RIESGO AGREGADO <i>(aggregate risk)</i>	Acumulación de determinantes independientes del riesgo.
RIESGO AMPLIFICADO <i>(amplified risk)</i>	Incremento sustancial del riesgo de base mediante la combinación o concentración de determinantes del riesgo en el tiempo o en el espacio.
RIESGO EN CASCADA <i>(cascading risk)</i>	Un evento o tendencia que desencadena otros; las interacciones pueden ser unidireccionales (por ejemplo, efecto dominó), pero también pueden presentar retroalimentaciones; el riesgo en cascada suele estar asociado al componente de vulnerabilidad del riesgo, como en el caso de infraestructuras críticas.
RIESGO POR INTERACCIÓN <i>(interacting risk)</i>	Combinaciones de amenazas y sus influencias recíprocas entre diferentes factores y coincidencias entre factores de riesgo y motores ambientales.
RIESGO INTERCONECTADO <i>(interconnected risk)</i>	Interacciones complejas entre sistemas humanos, ambientales y tecnológicos con interdependencias físicas que están estrechamente vinculadas con interacciones sociales interconectadas.
RIESGO INTERDEPENDIENTE <i>(interdependent risk)</i>	Sistemas complejos que implican interdependencias que no pueden separarse y que conducen a una variedad de riesgos impredecibles.
RIESGO MÚLTIPLE <i>(multi-risk)</i>	Riesgo total derivado de varios peligros, considerando las posibles interacciones entre amenazas y vulnerabilidades desde perspectivas de multi-peligro y multi-vulnerabilidad.
RIESGO SISTÉMICO <i>(systemic risk)</i>	Riesgo que resulta de conexiones entre diversos riesgos, donde un fallo inicial localizado podría tener efectos desastrosos y causar, en su manifestación más extrema, daños ilimitados.

1.1. Tabla. Términos asociados a riesgos complejos con y sin definición del IPCC. Fuente: Simpson et al. (2021).

El análisis de estos mecanismos de interrelación es clave para mejorar la evaluación del riesgo climático y, en consecuencia, para avanzar en una toma de decisiones más eficaz en materia de adaptación, minimizando el riesgo de maladaptación (Pescaroli and Alexander, 2016; Rocha et al., 2018). Este enfoque holístico permite identificar vulnerabilidades ocultas, retroalimentaciones negativas y riesgos indirectos que no son analizados cuando los riesgos se evalúan de forma aislada. Además, facilita la identificación de riesgos críticos, entendidos como aquellos que actúan como nodos de transmisión de riesgos climáticos, cuya gestión puede contribuir significativamente a la reducción del riesgo global. Comprender estas cuestiones complejas permite aumentar la capacidad de respuesta, priorizar intervenciones estratégicas y fortalecer la coordinación entre los distintos niveles de la gobernanza climática, promoviendo una adaptación más eficaz y coherente.

A nivel europeo, el informe de Evaluación Europea del Riesgo Climático (EUCRA, 2024) destaca la interrelación entre los principales riesgos climáticos a través de los distintos sectores, subrayando la necesidad de adoptar un enfoque sistémico que tenga en cuenta los riesgos complejos y en cascada, con el objetivo de fortalecer la capacidad de adaptación y resiliencia. En esta misma línea, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio climático (PNAC) también reconoce la existencia de interrelaciones sectoriales y la complejidad que estas implican para abordar la adaptación al cambio climático.

En el caso de Gipuzkoa, los análisis de riesgo del cambio climático han analizado, en su mayoría, de forma sectorial la vulnerabilidad y los riesgos de los distintos elementos de los sistemas natural, social y económico del territorio. El Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático elaborado por Naturklima en el año



2020 (Naturklima, 2020) ya señalaba la necesidad de considerar las interacciones entre los distintos sectores y las consecuencias derivadas de dichas interacciones. Aunque dicho informe incluyó una evaluación preliminar de las relaciones intersectoriales, no abordó en profundidad las interdependencias entre riesgos específicos en cada sector.

Sin embargo, para avanzar de manera eficaz en la adaptación y resiliencia del territorio, es necesario tener una visión integral e interconectada del riesgo climático que permita comprender cómo las interacciones pueden originar o amplificar nuevos riesgos en los sistemas natural, social y económico. Esta perspectiva permitirá anticiparse a los riesgos del cambio climático y mejorar así la resiliencia del territorio, contribuyendo al cumplimiento de los objetivos definidos en la Estrategia Guipuzcoana de Lucha contra el Cambio Climático – Klima 2050.

En este contexto, el objetivo de este sexto *Informe de Análisis de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa*, es proporcionar una visión actualizada de los riesgos complejos en Gipuzkoa, esto es, de los riesgos climáticos clave en el territorio, así como de las interrelaciones existentes entre ellos. Si bien no es posible abordar exhaustivamente todos los riesgos climáticos en el

Territorio, este informe se centra en identificar aquellos riesgos sectoriales cuya interacción podría tener efectos críticos para los sistemas naturales, sociales y económicos. Este trabajo representa un primer paso hacia un marco de evaluación de riesgos más coherente y ajustado a las necesidades para una correcta planificación de la adaptación y resiliencia al cambio climático.

Para ello, se ha desarrollado una metodología mixta que combina información cualitativa aportada por un grupo multidisciplinar de personas expertas, con el análisis a través de la construcción de un modelo de riesgos complejos fundamentado en la teoría de grafos. Este enfoque permite representar y evaluar las interdependencias entre riesgos e identificar puntos críticos.

Este segundo bloque se estructura en cuatro apartados principales. En primer lugar, se describe la metodología utilizada para el análisis de riesgos complejo. En segundo lugar, se presentan los riesgos sectoriales clave identificados para los principales sectores naturales, sociales y económicos del territorio. Por último, se analizan los resultados del modelo de riesgos complejos y se sintetizan las principales conclusiones del estudio.

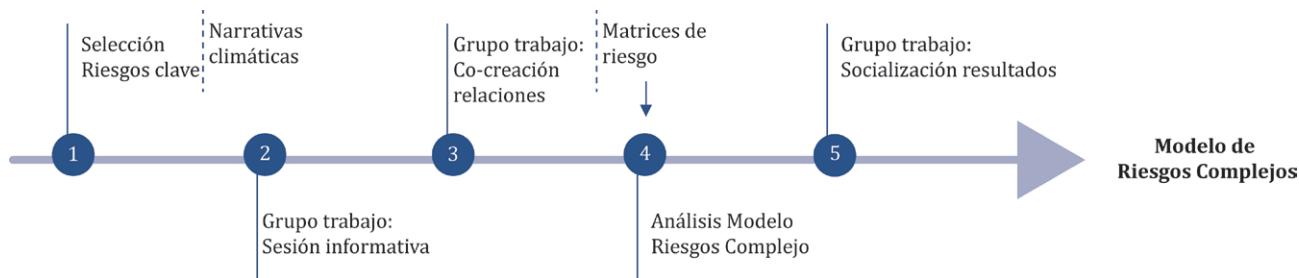
2. METODOLOGÍA

El principal objetivo de este Informe es analizar los riesgos complejos en Gipuzkoa y avanzar así en la comprensión integral de todas las dimensiones del riesgo climático en el territorio. Para ello, se analizan las interrelaciones entre los principales riesgos que afectan tanto a los sectores naturales como a los sociales y económicos.

De forma específica, este Informe se centra en: (1) contribuir a la identificación y análisis de las interdependencias e interconexiones que actúan como vías de transmisión del riesgo climático entre sistemas ecológicos, sociales y económicos, (2) identificar puntos críticos, es decir, aquellos riesgos capaces de desencadenar muchos otros riesgos, así como los que puedan ser consecuencia de diversos riesgos previos, y (3) desarrollar herramientas visuales que faciliten la exploración de estas relaciones y sus posibles efectos en cascada, mejorando la capacidad de interpretación y la toma de decisiones. Todo ello contribuirá a construir una visión holística del riesgo climático, conocimiento fundamental para la planificación de la adaptación y resiliencia al cambio climático.

Para ello, siguiendo la metodología de Navarro et al. (2025) para el análisis de riesgos complejos, se ha diseñado un marco metodológico que combina metodologías mixtas, incluyendo un proceso participativo, técnicas cualitativas y herramientas semi-cuantitativas. La identificación de relaciones entre riesgos se ha basado en el conocimiento experto y las percepciones de agentes clave en el territorio, para lo cual se ha conformado un grupo de trabajo multidisciplinar. La información proporcionada por este grupo de trabajo constituye la base para la construcción de un modelo de riesgos complejos basado en la teoría de grafos. Este modelo permite representar visualmente las interconexiones entre los riesgos climáticos, facilitando así su análisis y la identificación de puntos críticos de propagación del riesgo entre sectores, así como las rutas de propagación. Para ello, el análisis se ha estructurado en tres fases complementarias entre sí (Fig. 2.1):

- I. Identificación de riesgos clave
- II. Proceso participativo: co-creación de las relaciones entre riesgos con agentes relevantes
- III. Modelo de riesgos complejos: modelización y análisis de las interdependencias mediante grafos



2.1. Fig. Esquema de la metodología seguida para el análisis de los riesgos complejos. Fuente: elaboración propia.



2.1. FASE I. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS CLAVE

El cambio climático genera una amplia variedad de riesgos, cuya interrelación puede ser compleja y difícil de evaluar de forma completa. Por ello, en este primer análisis de riesgos complejos se han priorizado aquellos riesgos con mayor relevancia y potencial de impacto en el territorio.

Para la identificación de estos riesgos climáticos clave en Gipuzkoa se ha adoptado un enfoque basado en sectores. En este contexto, se entiende por sector un conjunto de elementos que interactúan o están interrelacionados y que proporcionan funciones de importancia para el territorio. Los sectores considerados en este informe son diversos y se basan, entre otros, en los ámbitos de trabajo de la Estrategia Gipuzkoa Klima 2050, el Plan Nacional de Adaptación o la Evaluación de Riesgos Climáticos de la UE (EUCRA), con el fin de garantizar la alineación y coherencia metodológica. En total se han considerado 12 sectores estratégicos (Tabla 2.1): (1) Agua y recursos hídricos, (2) Patrimonio natural y biodiversidad, (3) Costas y medio marino, (4) Salud, (5) Medio urbano, (6) Agricultura, ganadería, forestal y pesca, (7) Patrimonio cultural, (8) Energía, (9) Transporte, (10) Turismo, (11) Industria y servicios, y (12) Financiero. Cada uno de estos sectores está compuesto por una amplia variedad de elementos naturales, físicos y humanos que conforman el entorno natural, social y económico del territorio y que pueden verse afectados por el cambio climático.

A partir de una revisión de las evidencias existentes (informes sectoriales, literatura académica, proyecciones climáticas, eventos extremos pasados y datos) se han identificado los riesgos actuales y potenciales futuros asociados a los peligros climáticos más relevantes para Gipuzkoa. En total se ha priorizado 30 riesgos clave distribuidos en los 12 sectores, definiéndolos en forma de cadenas de impacto, considerando los distintos elementos de cada sector en riesgo (Tabla 3.3).

Para cada uno de estos riesgos se han elaborado una serie de narrativas climáticas (Capítulo 3). Estas narrativas, concebidas como descripciones estructuradas de las cadenas de impacto, articulan de forma coherente la relación entre una amenaza o peligro climático, los factores condicionantes que determinan la exposición y vulnerabilidad de los elementos del sector y los efectos esperados en los sistemas afectados. Su finalidad es proporcionar información sobre las implicaciones locales del cambio climático. Además, permiten la identificación de posibles conexiones y efectos en cascada entre ellos.

El objetivo de la identificación de riesgos clave y elaboración de narrativas es construir una visión compartida sobre la naturaleza y características de cada riesgo, siendo así el punto de partida para el proceso de co-creación de interdependencias en el marco del grupo de trabajo intersectorial en la Fase II.

2.2. FASE II. PROCESO PARTICIPATIVO: CO-CREACIÓN DE LAS RELACIONES

Dada la naturaleza interdependiente y sistémica de los riesgos climáticos –que afectan simultáneamente a sistemas naturales, humanos y económicos– es imprescindible integrar tanto el conocimiento experto como la experiencia práctica. Para ello, es clave la implicación activa de los agentes del territorio, incluyendo a instituciones públicas, al ámbito del conocimiento científico y técnico, así como al sector privado. La diversidad de perspectivas que aportan estos agentes es fundamental para comprender la dimensión transversal del riesgo climático y avanzar hacia una visión holística que permita identificar las interdependencias entre sectores.

Con este fin, se ha construido un grupo de trabajo multidisciplinar, representativo de diversas áreas de conocimiento y sectores clave. Este grupo ha estado conformado por 25 participantes procedentes de 18 organizaciones (Tabla 2.1, Anexo III), integrando diversos perfiles, incluyendo a técnicos de la administración municipal y foral, asociaciones sectoriales, investigadores y profesionales del sector privado. La selección de los participantes se ha realizado en función de su conocimiento técnico especializado y experiencia en los distintos sectores o riesgos climáticos previamente identificados en la Fase I. Esta diversidad ha sido clave para asegurar la representatividad de los enfoques sectoriales y garantizar un enfoque transversal.

El objetivo principal del grupo de trabajo ha sido la identificación de interdependencias entre los riesgos climáticos ya priorizados (Fase I). Esta información constituye la base para la construcción del modelo de riesgos complejos (Fase III). Este enfoque ha demostrado ser una herramienta eficaz para mejorar la comprensión de las relaciones causales entre fenómenos complejos como el que analizamos en este Informe (Scott et al.,

2016; Ciobanu et al., 2020; Cradock-Henry et al., 2020).

El trabajo con el grupo intersectorial se ha desarrollado en tres fases: (1) sesión informativa, (2) co-creación de relaciones entre riesgos, y (3) socialización de resultados.

2.2.1. SESIÓN INFORMATIVA

En una primera sesión informativa grupal, celebrada de forma online, se han presentado el objetivo general del Informe y la perspectiva adoptada sobre los riesgos complejos, entendidos como aquellos riesgos climáticos que aumentan o surgen de la diversidad de interacciones entre riesgos sectoriales (Simpson et al., 2021).

Durante la sesión, se han presentado los sectores estratégicos previamente identificados y los riesgos clave asociados a cada uno de ellos durante la Fase I. Además, se ha destacado la relevancia del conocimiento generado por el grupo de trabajo como elemento fundamental

para avanzar en el análisis de riesgos complejos. Con ese fin, se ha presentado el objetivo y la metodología del modelo de riesgos complejos basado en grafos (Fase III: modelo de riesgos complejos).

Finalmente, se ha explicado el trabajo a desarrollar por parte de los agentes participantes en esta fase del proceso, concretamente la co-creación de las interrelaciones entre riesgos, así como el procedimiento metodológico a seguir para ello.

2.2.2. CO-CREACIÓN DE RELACIONES

Durante esta fase, los agentes participantes han trabajado en la identificación de interrelaciones entre los riesgos previamente definidos para su sector, basándose en su conocimiento experto y su experiencia contextual. Para ello, se ha utilizado como herramienta principal de análisis una matriz de adyacencia (Figura 2.2). Esta matriz ofrece un enfoque estructurado y semi-cuantitativo para representar la influencia de unos riesgos sobre otros. En definitiva, permite distinguir qué riesgos actúan como desencadenantes y cuáles como consecuencia, poniendo de relieve las relaciones de dependencia entre ellos.

La matriz analiza las interrelaciones entre los 30 riesgos clave identificados en la Fase I, configurando una estructura de 30x30 celdas, donde cada celda representa la posible relación entre un par de riesgos. El eje vertical de la matriz representa los riesgos primarios, es decir, los riesgos iniciales que pueden desencadenar otros. El eje horizontal muestra esos mismos riesgos considerados como riesgos secundarios o receptores, es decir, los riesgos desencadenados o afectados como consecuencia.

Cada agente ha evaluado únicamente aquellos riesgos sobre los que tiene mayor conocimiento, garantizando, como mínimo, la cumplimentación de dos matrices por sector. Las celdas de la matriz se han completado indicando con un “1” la existencia de una relación causal directa (es decir, cuando un riesgo primario puede desencadenar el riesgo receptor), y con un “0” la ausencia de dicha relación. Esta codificación binaria permite simplificar la complejidad del sistema, facilitando el análisis posterior y la construcción de un modelo robusto para el análisis de los riesgos climáticos complejos.

Con el fin de facilitar la identificación sectorial, a cada sector se le ha asignado un código y un color distintivo, y los riesgos han sido codificados en función de su sector correspondiente (por ejemplo, en el sector (1) agua, el riesgo RC.1.1. hace referencia al ‘Riesgo para la demanda urbana por la reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficientes’).



2.2. Fig. Ejemplo de una matriz de adyacencia. En este ejemplo se analizan las interrelaciones del sector Costas y medio marino. En 1 se indica la existencia de relación y con 0 la ausencia. Fuente: Tecnalia (2025).

Para facilitar la cumplimentación de la matriz, se ha proporcionado a los agentes un conjunto de materiales de apoyo, entre los que se han incluido narrativas climáticas (Capítulo 3), para contextualizar y describir detalladamente

cada uno de los 30 riesgos clave considerados, un documento guía con instrucciones metodológicas para completar la matriz correctamente, y un ejemplo ya completo como referencia práctica del proceso (Fig. 2.2).

SECTOR	Nº MATRICES
Agua y recursos hídricos	3
Patrimonio natural y biodiversidad	8
Costas y medio marino	3
Salud	3
Medio urbano	5
Agricultura, ganadería, forestal y pesca	8
Patrimonio cultural	2
Energía	3
Transporte	3
Turismo	3
Industria y servicios	4
Financiero	4
Total	49

2.1. Tabla. Número de matrices completadas por sector.

En total, se han completado 49 matrices de adyacencia, que han permitido identificar 179 relaciones dirigidas entre riesgos (de un total posible de 870).

2.2.3. SOCIALIZACIÓN DE RESULTADOS

Por último, en una segunda sesión grupal celebrada de forma online, se han presentado los resultados del modelo de riesgos complejos al grupo de trabajo. El objetivo de esta sesión ha sido validar que el modelo y sus resultados reflejan adecuadamente la perspectiva y

el conocimiento aportado por los distintos agentes. Asimismo, la sesión ha permitido tener un espacio para la reflexión conjunta sobre la metodología utilizada, las posibles limitaciones del modelo y su capacidad para identificar y representar los riesgos más significativos.

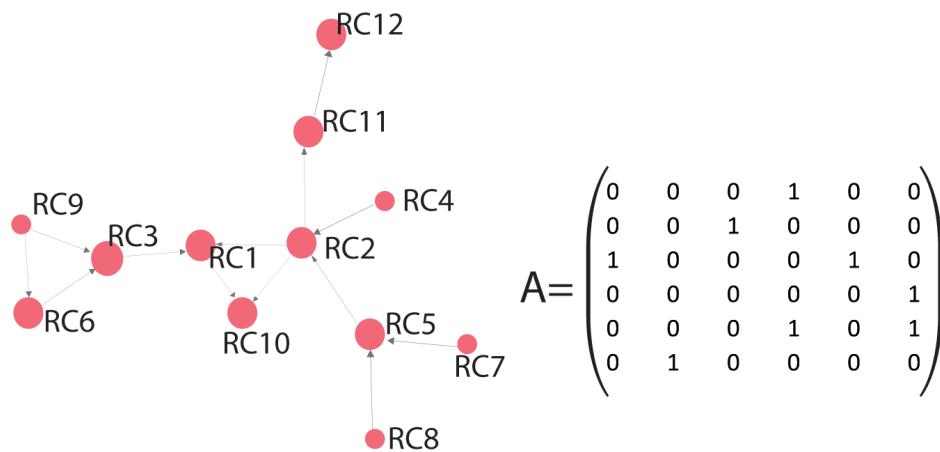
2.3. FASE III. MODELO DE RIESGOS COMPLEJOS

El análisis de las interrelaciones entre riesgos se ha realizado a través de un modelo de riesgos complejos basado en teoría de grafos, desarrollado por Tecnalia. Este modelo permite representar visualmente las interdependencias identificadas por el grupo de trabajo durante la Fase II, proporcionando una herramienta para identificar y analizar las propiedades de la estructura del grafo generado. Gracias a ello, es posible detectar puntos críticos y rutas de propagación del riesgo climático, es decir, comprender el amplio alcance del riesgo climático y posibles puntos de intervención, clave para reforzar la adaptación y resiliencia del territorio.

La teoría de grafos (Wasserman & Faust, 1995) es una rama de las matemáticas con múltiples aplicaciones en campos como la economía, informática, redes sociales o la biología, aunque su aplicación en el ámbito del cambio

climático sigue siendo reciente (Yokohata et al., 2019). Sin embargo, se ha identificado como una herramienta prometedora para comunicar información compleja sobre el riesgo climático (Herring et al., 2016).

La teoría de grafos permite analizar las propiedades de estructuras formadas por un conjunto de nodos o vértices (elementos) y un conjunto de enlaces o aristas (relaciones) que conectan pares de nodos. En este caso, cada nodo representa cada uno de los 30 riesgos climáticos priorizados, mientras que los enlaces indican la existencia de una relación o influencia entre dos riesgos. La construcción de este grafo parte de las matrices de adyacencia completadas en la Fase II, que determinan la existencia de relación y el sentido de esta entre los riesgos (los enlaces).



2.3. Fig. Ejemplo de un grafo dirigido. Cada uno de los nodos (puntos rojos) representa un riesgo y las flechas la dirección de la relación entre pares de riesgos. Ejemplo de matriz de adyacencia para la construcción del grafo. Fuente: Tecnalia (2024).



Una vez estructurado el grafo, su representación gráfica permite observar las conexiones y la direccionalidad de las relaciones entre los distintos nodos (riesgos). Esta

visualización facilita un análisis más detallado de su estructura y características mediante el uso de diversas métricas que evalúan distintas propiedades del grafo.

2.3.1. MÉTRICAS DEL GRAFO

El análisis de grafos permite utilizar distintas métricas para caracterizar la estructura del grafo e identificar la importancia relativa de cada nodo. Estas medidas se dividen en (1) métricas globales del grafo, que describen propiedades topológicas y estructurales del grafo en su

conjunto, que informan de la forma general y grado de interconexión, y (2) métricas de centralidad, que se centran en la importancia relativa de cada nodo según la posición que ocupa dentro del grafo.

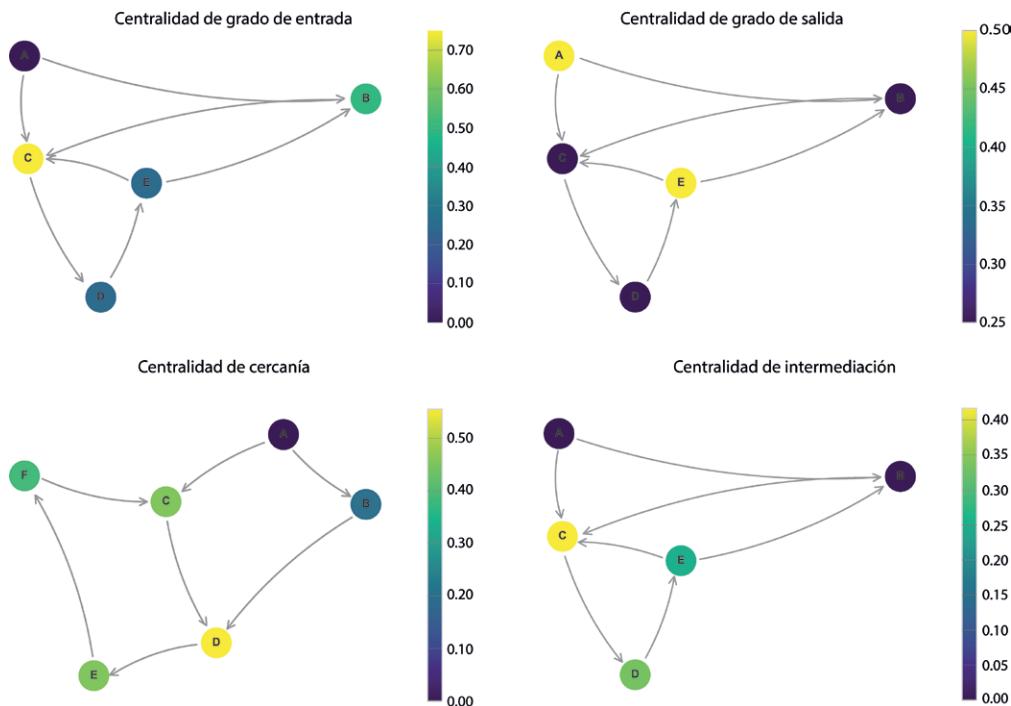
Medidas globales del grafo

- Número de enlaces: indica el número total de conexiones existentes entre los nodos.
- Diámetro: máxima longitud de los caminos más cortos que conectan pares de nodos. Un camino se entiende como la sucesión de enlaces que une dos nodos, y su longitud el número de enlaces que lo componen.
- Densidad: relación de conexiones existentes en un grafo respecto a la cantidad máxima de conexiones que podría tener dicho grafo. Esto indica cómo de conectados están los nodos.

Medidas de centralidad

Distintos índices de centralidad permiten evaluar distintos aspectos de la importancia relativa de un nodo dentro del grafo – como la capacidad de conexión, el papel como intermediario o la proximidad al resto de nodos. En conjunto, estas métricas permiten cuantificar el grado

de influencia de cada riesgo y priorizar aquellos nodos críticos sobre los que una intervención pueda tener mayor efecto en la mejora de la capacidad adaptativa del territorio.



2.4. Fig. Ejemplos de centralidad de grado de entrada, grado de salida, de cercanía e intermediación. Fuente: elaboración propia.

Los aspectos de centralidad analizados han sido:

- Centralidad de grado de entrada: mide cuantos enlaces llegan a un nodo, esto es, cuántos riesgos distintos pueden desencadenar directamente un determinado riesgo. Un riesgo con un alto grado de entrada es aquel que es afectado por muchos otros riesgos. Esto indica que el riesgo puede derivarse de múltiples causas, puede ser fácilmente desencadenado, y puede ser un punto vulnerable o crítico en el sistema.
- Centralidad de grado de salida: mide cuántos riesgos son desencadenados directamente a partir de un riesgo concreto. Un riesgo con un alto grado de salida es aquel que tiene un impacto significativo en otros riesgos y, por tanto, en todo el sistema. Esto indica que el riesgo es un factor clave en la propagación de riesgos, ya que a partir de este se originan muchos otros riesgos.
- Centralidad de cercanía: este índice mide la proximidad (camino más corto o número de enlaces sucesivos) de un nodo respecto del resto de nodos, más allá de aquellos con los que está directamente

conectado. Un riesgo con alta centralidad se caracteriza por poder alcanzar rápidamente a otros riesgos a través de un número reducido de pasos, por lo que pueden ser clave en la rápida propagación del riesgo.

- Centralidad de intermediación: mide la frecuencia con la que un nodo aparece en los caminos más cortos entre pares de nodos del grafo, es decir, las rutas más directas que conectan dos nodos en el grafo utilizando el menor número de pasos o enlaces. La centralidad de intermediación permite la identificación de nodos que actúan como nodos de conexión entre nodos del grafo. Un riesgo con alta centralidad de intermediación es aquel que desempeña el papel de intermediario a lo largo de los caminos entre cualquier pareja de riesgos. Esto indica que el riesgo es un punto crítico en la propagación de efectos entre otros riesgos.

Para cada nodo del grafo se calculan estas medidas de centralidad y, posteriormente, los nodos se ordenan según sus valores. Aquellos que presentan los valores más altos pueden considerarse los más relevantes en relación a la medida de centralidad analizada.

2.4. PROBLEMÁTICAS Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO

La construcción del grafo se ha basado en las relaciones entre pares de riesgos identificadas por el grupo de trabajo en las matrices de adyacencia. Esta metodología, basada en el conocimiento experto, presenta ciertas limitaciones como la subjetividad inherente de alguno de los elementos, incluyendo la valoración de los participantes involucrados. Estas circunstancias pueden introducir sesgos que afecten a la representatividad y fiabilidad del modelo.

Con el objetivo de minimizar la subjetividad y fortalecer la robustez y representatividad de los resultados del modelo, su construcción se ha basado en estrategias orientadas al análisis de grado de consenso y mitigación del efecto de una participación sectorial asimétrica. Entre las principales medidas adoptadas destacan:

- Distribución sectorial de las matrices: cada sector ha sido evaluado, como mínimo, por dos expertos del grupo de trabajo, garantizando una mayor diversidad de perspectivas.
- Evaluación del acuerdo intrasectorial: las matrices recibidas se han agrupado por sectores y se ha determinado el grado de acuerdo intrasectorial respecto a las relaciones entre los riesgos clave.
- Integración de matrices sectoriales. Las matrices sectoriales se han integrado en una única matriz que recoge los promedios de los acuerdos, tanto intra- como intersectoriales.
- Aplicación de un umbral de mínimo consenso. Se ha aplicado un filtro a las relaciones en función de un umbral de acuerdo. Así, aquellas relaciones con un nivel inferior al establecido se excluyen, mientras que aquellas que superan el umbral se han considerado válidas y se ha conservado el valor de “1”.

A pesar de las medidas adoptadas, el estudio presenta algunas limitaciones que deben ser tenidas en cuenta al interpretar los resultados:

- Cobertura parcial de los riesgos: el informe prioriza un conjunto de riesgos seleccionados en función de su relevancia y potencial de impacto en el territorio. Sin embargo, no es un catálogo exhaustivo de todos los posibles riesgos y sus implicaciones.
- Relaciones no ponderadas: el análisis se ha centrado exclusivamente en identificar la existencia o ausencia de relaciones causales entre riesgos climáticos, sin considerar la intensidad o fuerza de dichas relaciones.
- Complejidad de las cadenas de impacto: aunque se ha procurado que las cadenas de impacto sean detalladas y autoexplicativas, algunos riesgos están asociados a múltiples amenazas, lo que puede haber introducido cierta ambigüedad o ruido en la interpretación. El intercambio de información previa, como las narrativas explicativas de todos los riesgos, pretende garantizar que todos los participantes tengan el mismo acceso a la información y una comprensión compartida de cada uno esos mismos riesgos considerados.

A pesar de estas limitaciones, el análisis de riesgos complejos aporta un gran valor al analizar la interrelación entre los riesgos sectoriales que tradicionalmente se han analizado de forma aislada y aporta nueva información para una planificación de la adaptación que pueda abordar la dimensión global del riesgo climático.

3. RIESGOS CLAVE EN GIPUZKOA

3.1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS CLAVE

En el contexto del cambio climático, el riesgo se define como ‘la posibilidad de que se produzcan consecuencias adversas para los sistemas humanos o ecológicos’ (IPCC, 2022). Estas consecuencias adversas pueden incluir la lesión o pérdida de vidas humanas, daños o destrucción de bienes materiales, así como la degradación o interrupción de la prestación de servicios esenciales, incluidos los servicios ecosistémicos. Asimismo, se pueden considerar la pérdida de biodiversidad, el deterioro de los ecosistemas y la degradación de recursos naturales y ambientales. Estos riesgos son el resultado de la combinación de tres componentes clave: peligro o amenaza climática, exposición y vulnerabilidad (IPCC, 2023). Además, los riesgos pueden adquirir un carácter complejo debido a la interrelación entre riesgos.

El cambio climático por tanto genera una amplia variedad de riesgos, cuya interrelación puede ser compleja y difícil de evaluar en su totalidad. Por ello, es necesario

identificar y priorizar aquellos riesgos más relevantes y con mayor potencial de impacto, tanto por su probabilidad de ocurrencia como por sus consecuencias, esto es, los riesgos clave.

Para llevar a cabo esta identificación, se ha partido de la definición de riesgo del IPCC y se ha adoptado un enfoque basado en sectores. Para ello, se han tenido en cuenta los principales sectores y riesgos considerados en la Estrategia Gipuzkoa Klima 2050, incluidos también en el primer Informe de Impacto y Vulnerabilidad de Gipuzkoa (Naturklima, 2020), así como los sectores definidos en el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático o la Evaluación de Riesgos Climáticos de la UE (EUCRA). A partir de este análisis, se han seleccionado 12 sectores potencialmente afectados por el cambio climático (Tabla 3.1) – incluidos los sistemas naturales, humanos y económicos – en los que se han identificado los riesgos clave para Gipuzkoa.

SECTORES	
1. Agua y Recursos Hídricos	7. Patrimonio Cultural
2. Patrimonio Natural y Biodiversidad	8. Energía
3. Costas y Medio Marino	9. Transporte
4. Salud	10. Turismo
5. Medio Urbano	11. Industria y Servicios
6. Agricultura, Ganadería, Forestal y Pesca	12. Financiero

3.1. Tabla. Sectores potencialmente afectados por el cambio climático en Gipuzkoa.

Para cada uno de estos sectores se han identificado, de forma específica para cada uno de ellos, los riesgos clave en Gipuzkoa. Este proceso ha partido de la revisión de la literatura científica y técnica disponible, centrada en estudios de evaluación del riesgo climático a la escala territorial. Asimismo, se han considerado los escenarios de cambio climático (Tabla 3.1), las bases de datos sobre eventos climáticos extremos registrados en el pasado y su impacto sectorial. Esta información se ha complementado

con el conocimiento experto y la experiencia acumulada por los miembros del equipo que ha elaborado el estudio.

En el Anexo II se presenta una revisión detallada de todos los riesgos potenciales identificados para cada uno de los sectores. A partir de este análisis se han priorizado un total de 30 riesgos clave que serán objeto de análisis para el desarrollo del modelo de riesgos complejos (Tabla 3.2).



		RCP4.5			RCP8.5		
		2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100
CALOR Y FRÍO	Temperatura media (°C)	0,8	1,4	1,8	0,8	1,9	3,3
	Grados-días de refrigeración (°C día)	12,2	27,4	30,9	12,9	35,4	81,1
	Grados-días de calefacción (°C día)	-241,6	-396,5	-515,6	-263,9	-533,5	-866,7
	Días de helada	-5,5	-7,4	-9,3	-6,2	-9,6	-12,8
	T min diaria (°C)	0,8	1,4	1,9	0,9	1,9	3,3
	T max diaria (°C)	0,8	1,4	1,8	0,9	2,0	3,4
	Días de ola de calor	1,1	2,4	2,9	1,5	4,4	10,8
HÚMEDO Y SECO	Precipitación total (%)	-1,3	-6,0	-5,0	-3,5	-6,4	-13,4
	Días de lluvia	-2,6	-7,9	-10,7	-4,3	-11,1	-21,3
	Días de precipitación intensa	0,0	-2,6	-4,0	-1,1	-4,0	-8,6
	Máximo precipitación acumulada en 5 días (mm)	-1,1	-0,1	-6,5	1,4	2,8	5,7
	Máximo nº días secos consecutivos (Pr<1mm)	2,5	5,0	6,3	2,7	7,4	14,3
	Duración sequía meteorológica	+	++	++	+	++	+++
	Intensidad sequía meteorológica	-	++	++	+	++	++++
VIENTO	Velocidad viento (m/s)				-0,04	-0,05	-0,07

		SSP2- 4.5		SSP5-8.5	
		2040-2060	2080-2099	2040-2060	2080-2099
MEDIO MARINO	Acidificación del mar	-0,1	-0,2	-0,1	-0,4
	Temperatura del mar superficie (°C)	0,7	1,4	0,8	2,4
	Nivel del mar (cm)	22,9	25,2	50,3	65,4

3.2. Tabla. Cambios proyectados en los impulsores de impacto climático en Gipuzkoa respecto al periodo de referencia 1971-2000.

La identificación y definición de los riesgos en cada sector se ha estructurado en torno a las denominadas *cadenas de impacto* (Zebisch, et al., 2021; Menk et al., 2022), y no solo considerando peligro propiamente dicho. Estas cadenas representan relaciones causa-efecto que permiten visualizar y comprender los factores que caracterizan

la relación entre una amenaza climática y el receptor del posible impacto, facilitando así una conceptualización clara del riesgo. En esta definición se han tenido en cuenta únicamente las amenazas derivadas del cambio climático, sin incluir los efectos de las medidas de mitigación o adaptación.

3.2. RIESGOS CLAVE

Con el objetivo de alcanzar una comprensión completa de los riesgos climáticos clave priorizados en cada sector, se han desarrollado narrativas específicas para cada uno de los sectores. Estas narrativas constituyen relatos estructurados que vinculan las amenazas climáticas con sus posibles riesgos concretos, aportando una visión clara sobre las implicaciones locales del cambio climático (Sillmann et al., 2021). Se trata de una herramienta comunicativa cada vez más utilizada para transmitir información compleja sobre el cambio climático de forma accesible y contextualizada (Jones et al., 2017; Coulter et al., 2019).

En total se han elaborado doce narrativas, una por cada sector analizado. En base a la revisión de la información disponible sobre los riesgos del cambio climático en cada uno de los sectores, se realiza una breve descripción de los principales impactos directos proyectados para distintos escenarios de cambio climático, considerando los factores que determinan la exposición y vulnerabilidad del sector. Asimismo, se describen ejemplos concretos de cómo los impactos climáticos en un determinado sector pueden propagarse o amplificarse en otros sectores debido a relaciones de dependencia o flujos compartidos de recursos, infraestructuras o servicios.

SECTOR	RIESGO CLAVE	
1. Agua y Recursos Hídricos	RC01_01	Riesgo para la demanda urbana por la reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficiente
	RC01_02	Riesgo para la demanda industrial por la reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficiente
	RC01_03	Riesgo para los ecosistemas acuáticos asociado al incremento de la temperatura del agua
2. Patrimonio Natural y Biodiversidad	RC02_01	Riesgo de pérdida de biodiversidad como consecuencia de cambios en los ecosistemas
	RC02_02	Riesgo de pérdida de servicios ecosistémicos debido a cambios en las variables climáticas
3. Costas y Medio Marino	RC03_01	Riesgo de erosión en playas por aumento del nivel del mar y cambios en la intensidad y/o frecuencia de tormentas
	RC03_02	Riesgo de inundación costera por aumento del nivel del mar
4. Salud	RC04_01	Riesgo de mortalidad y morbilidad asociada al calor
	RC04_02	Riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas por cambios en la extensión geográfica de vectores



SECTOR	RIESGO CLAVE
5. Medio Urbano	RC05_01 Riesgo de daño sobre las personas por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos (temperaturas extremas, inundación fluvial, inundación costera)
	RC05_02 Riesgo de daño de las edificaciones por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos (inundación fluvial, inundación costera, deslizamientos)
	RC05_03 Riesgo de daño y desabastecimiento de los sistemas urbanos esenciales (agua, saneamiento, energía, telecomunicaciones) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos (inundación fluvial, costera, deslizamientos)
	RC05_04 Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por el aumento de las temperaturas extremas
6. Agricultura, Ganadería, Forestal y Pesca	RC06_01 Riesgo de disminución de la productividad agraria por el aumento del estrés hídrico y eventos meteorológicos extremos (sequías, lluvias torrenciales, olas de calor)
	RC06_02 Riesgo de disminución de la productividad ganadera por aumento de la temperatura
	RC06_03 Riesgo de disminución de la productividad forestal por cambios en las condiciones climáticas y eventos meteorológicos extremos
	RC06_04 Riesgo de disminución de la productividad forestal por enfermedades y plagas
	RC06_05 Riesgo de disminución de la productividad pesquera por cambios en la distribución de especies o cambios en el stock debido a la modificación de variables oceánicas
7. Patrimonio Cultural	RC07_01 Riesgo de daños en cascos históricos, edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, pinturas rupestres y frescos, debido a cambios en las precipitaciones, inundaciones fluviales y cambio en el contenido en humedad de los materiales
8. Energía	RC08_01 Riesgo de daños a la infraestructura energética por el impacto de eventos meteorológicos extremos (temperatura, tormenta, inundación fluvial)
	RC08_02 Riesgo de reducción de la capacidad de suministro por el impacto de eventos meteorológicos extremos sobre la infraestructura energética
9. Transporte	RC09_01 Riesgo de daño para la infraestructura viaria (taludes, calzada, firmes de carretera y puentes) debido a eventos meteorológicos extremos (temperaturas extremas, inundaciones fluviales, pluviales y costeras, vientos extremos, deslizamientos)
	RC09_02 Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos (temperaturas extremas, inundaciones fluviales, pluviales y costeras, vientos extremos, deslizamientos)
	RC09_03 Riesgo de interrupción del transporte ferroviario debido a eventos extremos (temperaturas extremas, inundaciones fluviales, pluviales y costeras, vientos extremos, deslizamientos)
10. Turismo	RC10_01 Riesgo de pérdida de atractivo turístico debido a la desaparición o degradación de recursos naturales y culturales
11. Industria y Servicios	RC11_01 Riesgo de daño en la infraestructura industrial y de servicios por el impacto físico de los cambios (subida del nivel del mar) o eventos extremos (inundaciones, embates de mar) en los edificios/installaciones
	RC11_02 Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por reducción de materias y recursos esenciales
12. Financiero	RC12_01 Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático
	RC12_02 Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas de bienes (públicos y/o privados) como infraestructuras, inmuebles, etc.
	RC12_03 Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola

3.3. Tabla. Riesgos clave identificados para Gipuzkoa.

3.2.1. AGUA Y RECURSOS HÍDRICOS

El cambio climático representa una amenaza crítica para los recursos hídricos a nivel global, afectando tanto a su disponibilidad como a su calidad. Según el IPCC (Caretta et al., 2022), los sistemas hídricos se encuentran entre los sectores más sensibles al cambio climático debido a su dependencia directa del clima para su funcionamiento y equilibrio.

Los modelos climáticos, a pesar de la gran variabilidad que presentan, indican como probable para Gipuzkoa una

disminución de la precipitación, de la escorrentía, de la disponibilidad de agua, así como un aumento de las precipitaciones extremas, un agravamiento de las sequías y afecciones a los parámetros de calidad del agua. Estos cambios, que inciden tanto en la cantidad como calidad de los recursos hídricos disponibles, tendrán impactos en prácticamente todos los sistemas socioeconómicos y ecológicos por su dependencia del agua.

Riesgo para la demanda urbana e industrial

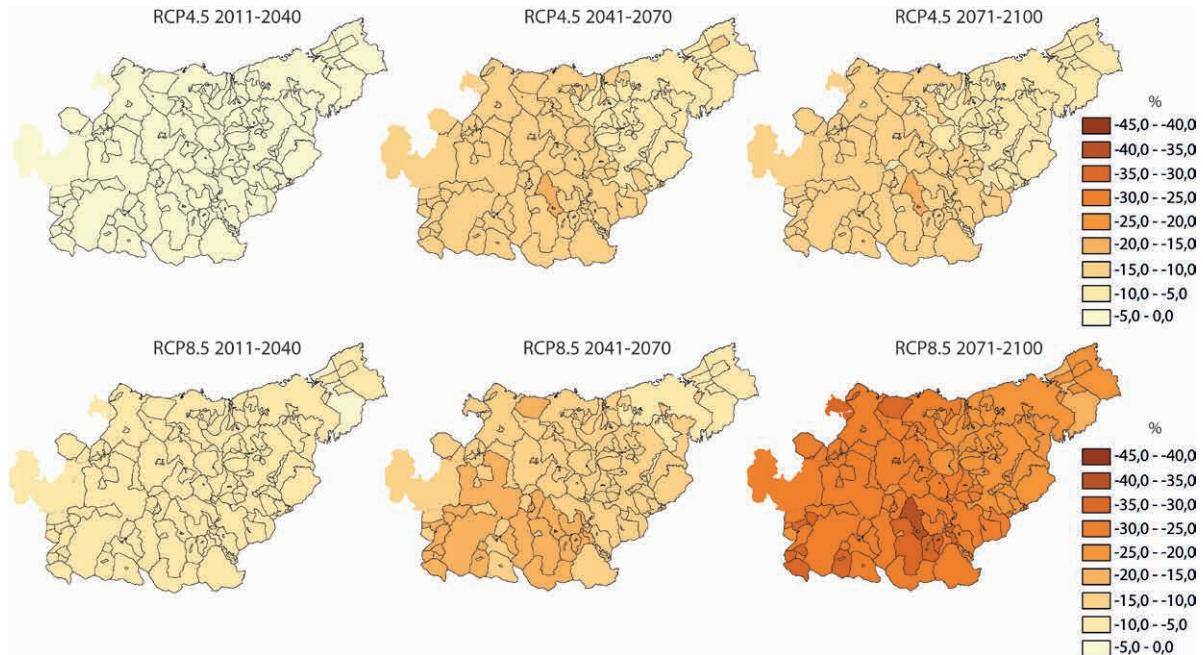
El riesgo para la demanda urbana o industrial, por la reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficiente, hace referencia a situaciones en las que la cantidad de agua, de suficiente calidad, no es capaz de satisfacer las necesidades locales y temporales, afectando a sus distintos usos (urbano, industrial, agrario, producción de energía, etc.).

En Gipuzkoa, se utilizan al año 82,75 hm³ de agua para los principales usos, frente a unos recursos disponibles de unos 4.200 hm³ por año. Por tanto, los principales sistemas de abastecimiento del territorio cumplen, en general, las condiciones de garantía de suministro y servicio, quedando asegurado el abastecimiento de la demanda. No obstante, en determinados sistemas independientes, aislados de los sistemas de regulación como embalses, existen dificultades para garantizar este abastecimiento en situaciones de estiaje.

Las proyecciones para Gipuzkoa indican un descenso de la precipitación y de la escorrentía anual y una

disminución en la disponibilidad de recursos hídricos, reducción que se intensifica conforme avanza el siglo y mayor para el escenario RCP8.5. En el largo plazo (2071-2100) se proyecta una reducción del recurso anual disponibles de entre el -8,6 % y -26,8 %, en función del escenario considerado.

A pesar de estos descensos en la disponibilidad del recurso, no se proyectan situaciones de estrés hídrico a escala anual para el conjunto del territorio. Sin embargo, hay que considerar que la reducción del recurso hídrico disponible en ciertos momentos del año puede ser mayor, especialmente durante el periodo estival. Durante estos meses, especialmente en situaciones puntuales de sequía, en los que la demanda de agua suele además incrementarse, las condiciones de escasez pueden agravarse. Son especialmente vulnerables a esta situación sistemas de abastecimiento de pequeño tamaño e independientes y aislados de los embalses, esto es, pequeños sistemas dependientes de manantiales o regatas.



3.1. Fig. Distribución espacial, en base a unidades de abastecimiento, de los recursos hídricos disponibles para los períodos de impacto 2011–2040, 2041–2070 y 2071–2100 y los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, tasa de cambio respecto a los valores del periodo de referencia 1961–2000 (medias de los 6 modelos). Fuente: Naturklima (2023).

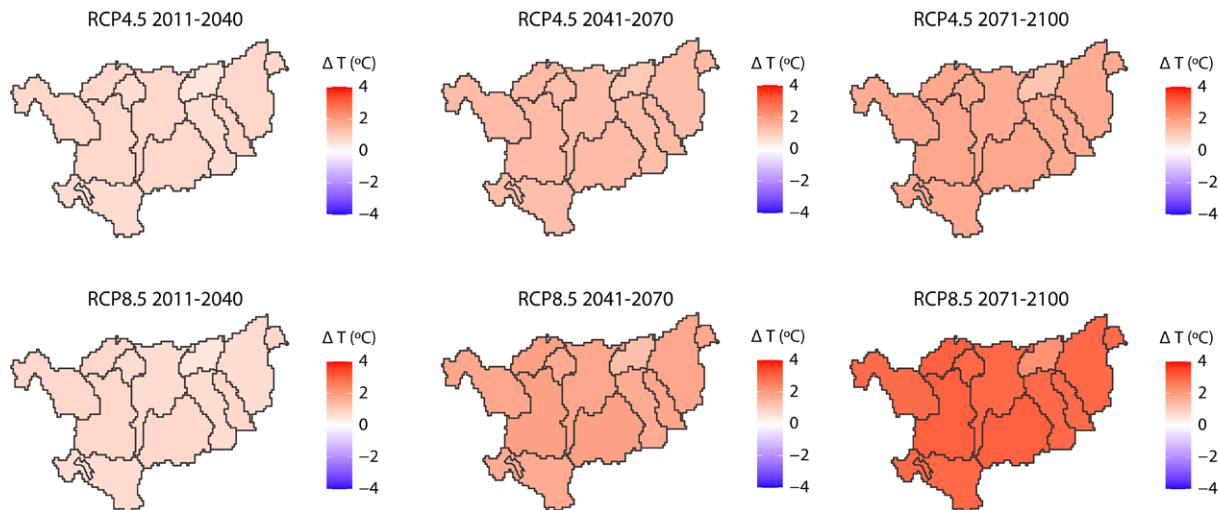
Riesgo para los ecosistemas acuáticos

El riesgo para los ecosistemas acuáticos asociados al incremento de la temperatura del agua se refiere a los impactos negativos que dicha amenaza puede tener sobre las especies y hábitats que dependen de las masas de agua dulce.

Uno de los impactos del cambio climático en los sistemas fluviales es el aumento de la temperatura del agua, una de las variables más importantes para los ecosistemas acuáticos, influyendo tanto en los procesos químicos como biológicos. Asociada al aumento de la temperatura del aire, se proyectan en Gipuzkoa incrementos de la temperatura del agua para los distintos escenarios de cambio climático, que oscilan entre 1,5 °C para el medio plazo

(2041–2070) y entre 1,6 °C y 2,9 °C a largo plazo (2071–2100) en función del escenario considerado.

Este incremento en la temperatura del agua puede tener impactos en el estado de las masas de agua, afectando especialmente a procesos ecológicos, a las especies y hábitats ligados a estos ecosistemas acuáticos. La temperatura también influye en la concentración de gases disueltos como el oxígeno y controla las tasas de crecimiento del fitoplancton, algas e incluso controla el comportamiento de los organismos, como la migración de peces. Todo ello hace que los ecosistemas de agua dulce sean sensibles al aumento de temperatura.



3.2. Fig. Proyecciones de la temperatura media anual del agua en ríos para cada periodo de impacto y escenario (RCP4.5 y RCP8.5) respecto al periodo de referencia 1971-2000 en las subcuenca de Gipuzkoa. Fuente: Naturklima (2023).

3.2.2. PATRIMONIO NATURAL Y BIODIVERSIDAD

Los cambios en el clima afectan tanto a la biodiversidad terrestre como marina. Estos impactos se traducen en alteraciones fisiológicas, demográficas, de

dinámica de interacciones bióticas y de distribución, que modifican el funcionamiento de los ecosistemas y, por tanto, los servicios que nos ofrecen.



3.3. Fig. Ejemplos de servicios ecosistémicos. Fuente: Naturklima (2025).



Riesgo de pérdida de biodiversidad

El riesgo de pérdida de biodiversidad debido a cambios en los ecosistemas se refiere a la probabilidad de que una alteración significativa en la estructura, funcionamiento o composición de un ecosistema natural cause la disminución o desaparición de especies animales, vegetales, así como la pérdida de diversidad genética y de ciertos hábitats.

Los cambios en las condiciones bioclimáticas proyectados como consecuencia del cambio climático tendrán consecuencias sobre todos los ecosistemas del territorio. Entre los principales impactos asociados a este riesgo están la destrucción y/o degradación de hábitats naturales de flora y fauna, especialmente aquellos que se encuentran al borde de su área de distribución, reducciones de poblaciones y/o extinciones localizadas. En general, las especies que ya se encuentran en situación de fragilidad, como las especies amenazadas, son las más vulnerables.

En el informe 'Análisis de riesgo climático de los hábitats terrestres de Euskadi' (Ihobe, 2022) se concluye que, de acuerdo con el escenario climático bajo mayores niveles de emisiones (RCP8.5, periodo 2071–2100), los efectos del cambio climático tendrían un impacto relevante sobre los hábitats terrestres de Gipuzkoa al reducir su área potencial. Entre los hábitats con mayor riesgo climático se encuentran los hayedos xerófilos, hayedos acidófilos o marojales. Las zonas de especial conservación (ZEC) que albergan estos hábitats, como son la ZEC Hernio-Gazume y ZEC Aizkorri-Aratz son por tanto los espacios de la RED Natura 2000 con mayor riesgo.

La modificación y/o destrucción del hábitat tendrá repercusión en las especies que albergan. Son especialmente vulnerables especies con poblaciones únicas o muy reducidas. En el caso de la flora, por ejemplo, *Alyssum loiseleurii* subsp. *loiseleurii*, *Festuca vasconcensis*, *Galium arenarium* y *Herniaria ciliolata* subsp. *robusta*, podrían verse también afectadas por la reducción del área de hábitats como dunas, marismas y humedales costeros.

En cuanto a la fauna, son especialmente vulnerables los invertebrados y peces de ecosistemas dulceacuícolas, anfibios y mamíferos semiacuáticos al depender de los recursos hídricos. Estos incluyen especies que ya están amenazadas en la actualidad, como la ranita meridional (*Hyla meridionalis*), el murciélagos de herradura mediterráneo (*Rhinolophus euryale*), el visón europeo (*Mustela lutreola*) o el desmán del Pirineo (*Galemys pyrenaicus*). Otras especies en situación de fragilidad también presentan una alta vulnerabilidad a los cambios en las condiciones climáticas.

El aumento de la temperatura del mar, la acidificación y aumento del nivel medio del mar también pondrán en riesgo la biodiversidad estuarina y marina. En este sentido, se observan ya cambios en las poblaciones de macroinvertebrados bentónicos y macroalgas y comunidades de sustrato duro de nuestro litoral, favoreciendo más a las especies de aguas cálidas.

Riesgo de pérdida de servicios ecosistémicos

El riesgo de pérdida de servicios ecosistémicos debido a cambios en las variables climáticas se refiere a la probabilidad y magnitud de impactos negativos en los servicios de provisión, regulación, culturales y de soporte. Esto es, el riesgo de minimizar los beneficios que nos brindan los sistemas naturales como resultado de cambios en las variables climáticas.

Las alteraciones en los patrones climáticos modificarán la composición y funcionamiento de los ecosistemas y con ello afectará, entre otros, a la capacidad de los ecosistemas de ofrecer servicios como la producción de agua limpia, de absorción de carbono (sumideros) o la polinización de cultivos por pérdida de hábitats favorables para los artrópodos.

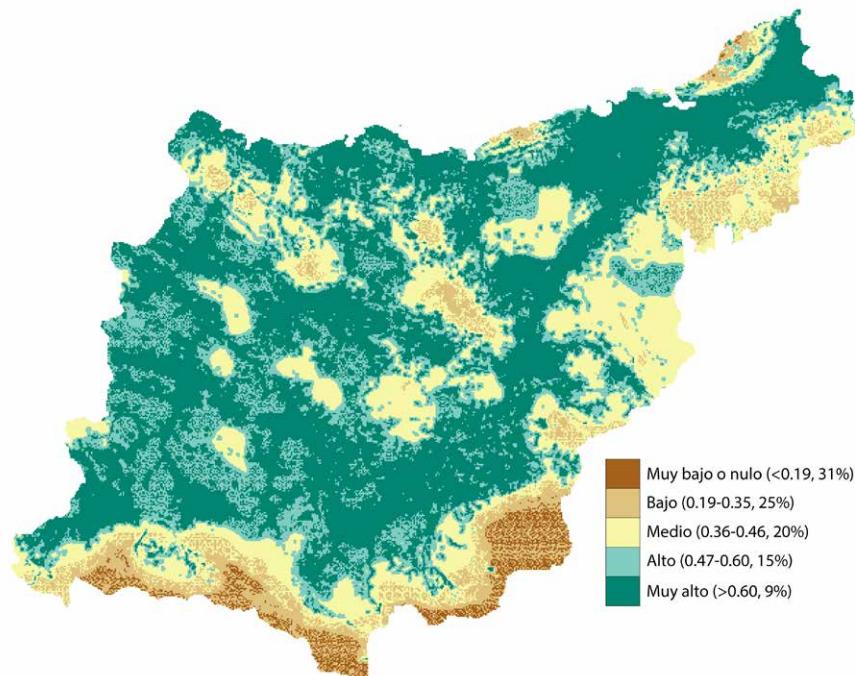
Algunos de los servicios de provisión más relevantes son el abastecimiento de agua dulce y el abastecimiento de alimentos. Las aguas superficiales y subterráneas proporcionan agua dulce para distintos usos humanos. El cambio en las condiciones climáticas podría reducir la cantidad disponible de agua y afectar a su calidad. Los ecosistemas abastecen a la población de una gran cantidad de alimentos, tanto silvestres (ej. peces) como cultivados (ganadería, agricultura). En el caso de la pesca, el cambio en la distribución de especies, como ocurre con el desplazamiento hacia el norte del verdel (Bruge et al., 2016), podría afectar a la actividad pesquera.

Los ecosistemas regulan el clima mediante el almacenamiento de gases de efecto invernadero. El

almacenamiento de carbono en el suelo es un servicio ecosistémico esencial. Sin embargo, el aumento de temperaturas y descenso de humedad podría disminuir la capacidad de almacenar carbono al incrementarse la tasa de mineralización del carbono orgánico contenido en los suelos.

Otro servicio de regulación esencial es el de la polinización. Los polinizadores son vitales para la producción hortícola de forraje, así como para la producción de semillas de numerosos cultivos. El aumento de las temperaturas asociado al cambio climático induce desajustes fenológicos entre la fenología floral y la actividad biológica

de los insectos polinizadores, dando lugar a fenómenos de asincronía que reducen significativamente la eficiencia de la polinización (Irish & Volk, 2023). Esta pérdida de sincronía repercute negativamente tanto en la reproducción de las plantas entomófilas como en la disponibilidad de recursos tróficos para los polinizadores, comprometiendo su viabilidad poblacional. Desde una perspectiva puramente funcional, la pérdida de diversidad de polinizadores se traduce en una afección negativa tanto para las especies vegetales silvestres como para cultivos agrícolas dependientes de estos agentes (IPBES, 2016).



3.4. Fig. Hábitats favorables actuales para la polinización en Gipuzkoa. Fuente: elaboración propia a partir de GeoEuskadi.

3.2.3. COSTAS Y MEDIO MARINO

Las áreas litorales desempeñan un papel estratégico por su elevado valor social, económico y ecológico, constituyendo espacios de intensa interacción entre el medio terrestre y marino. Su comportamiento es altamente dinámico y son sensibles a cualquier alteración.

La subida del nivel medio del mar es uno de los principales impactos del cambio climático. Para nuestro litoral se proyecta, para el escenario más pesimista (RCP8.5), un aumento del nivel del mar en torno a 20-30 cm para el

horizonte 2050 y de entre 51 y 70 cm para el horizonte 2100, incluyendo un escenario más pesimista en el que el ascenso del nivel medio del mar podría ser de hasta 100 cm para finales de siglo XXI (IHOBE, 2022).

Los principales impactos del ascenso del nivel del mar, junto con el impacto del oleaje, son la inundación y erosión costera.

Riesgo de inundación costera por aumento del nivel del mar

El riesgo de inundación costera por aumento del nivel del mar se refiere a la probabilidad y posibles consecuencias de que las zonas costeras sufran inundación, temporal (bajo tormentas, mareas vivas, etc.) o permanente, como resultado de la subida del nivel del mar.

El litoral guipuzcoano se caracteriza por una costa escarpada, con acantilados, playas urbanas y estuarios. Las zonas más vulnerables a la inundación son las áreas bajas y urbanizadas en estuarios, marismas y playas. En base a las proyecciones del nivel medio del mar, la superficie en riesgo de inundación costera se incrementaría aproximadamente en un 4 % en 2050 y entre un 30 % y 48 % en 2100, pudiendo aumentar en un 71 % en el escenario más pesimista (IHOBE, 2022).

Esta inundación tendrá un impacto directo sobre los hábitats, población, infraestructura o actividades económicas expuestas.

En Donostia-San Sebastián destacan especialmente la playa de La Concha y el Paseo Nuevo, así como la Parte Vieja y el entorno del puerto, donde la exposición al riesgo es elevada. Además, el estuario del Urumea presenta una alta susceptibilidad a inundaciones combinadas de origen fluvial y marítimo. En Zarautz, la franja urbana adyacente a la playa constituye una de las zonas con mayor exposición debido a la intensidad de su uso urbano y turístico. La desembocadura del río Oria en el municipio de Orio representa también una zona crítica, principalmente por el riesgo de afectación directa a la zona urbana consolidada y a las infraestructuras portuarias existentes. En los municipios de Deba, Zumaia y Getaria, el riesgo se asocia a la presencia de frentes marítimos urbanizados sometidos a procesos erosivos activos, así como a la existencia de formaciones geológicas de alto valor, como el flysch, amenazadas por el retroceso progresivo de la línea de costa. Por último, el municipio de Pasaia constituye otro punto especialmente vulnerable, dado el carácter estratégico de su bocana y las infraestructuras portuarias.



3.5. Fig. (izq.) Zonas inundables en el frente costero y núcleos urbanos e industriales de Pasaia y Donostia para un periodo de retorno de 100 años bajo el clima presente (en azul) y un escenario de incremento medio del nivel del mar de +100 cm en 2100 (morado). Fuente: visor Kostaegoki. (dcha.) Porcentaje de superficie de playas eventualmente perdida en 2050 para un ascenso del nivel del mar de +26 cm. Fuente: IHOBE (2022).

Riesgo de erosión en playas

La subida del nivel medio del mar, junto con variaciones del oleaje, no solo expone infraestructuras críticas y asentamientos a episodios de inundación más frecuentes y severos, sino que también intensifica los procesos de erosión en playas.

El riesgo de erosión en playas se refiere a las amenazas (subida del nivel del mar, tormentas, episodios de oleaje más frecuente e intensos, etc.) que afectan a los arenales, provocando la pérdida de volumen de arena y retrocesos de la línea de costa.

Los arenales guipuzcoanos se desarrollan mayoritariamente en áreas urbanas densamente edificadas, lo que les confiere un elevado grado de confinamiento tanto físico —debido a estructuras artificiales como paseos marítimos o diques— como funcional, limitando su dinámica natural y, por tanto, su regeneración. La restricción a esta dinámica natural junto con el incremento sostenido del nivel del mar podría dar lugar a retrocesos significativos en dichos arenales.

Considerando únicamente la subida del nivel del mar, se podrían perder hasta 71.274 m² de playa en 2050 y entre 152.514 y 206.064 m² en 2100. Las playas más afectadas según las proyecciones serían las de Gaztetape e Itzurun, que en 2050 podrían perder el 67 % y 50 % de su superficie, respectivamente, y desaparecer completamente en 2100 (IHOBE, 2022). Para el escenario más pesimista (nivel medio del mar +100 cm), se estiman retrocesos medios de 46,6 cm en La Zurriola o de 30,0 cm en la playa de Zarautz. Si sumamos al efecto de aumento del nivel del mar con oleaje, el retroceso a 50 años alcanzaría los 90,0 cm en La Zurriola (de Santiago et al., 2019).

Este retroceso no solo implica una pérdida de superficie útil para el uso recreativo, sino que también expone a infraestructuras y sistemas urbanos a un mayor riesgo de inundación y daños materiales.

3.2.4. SALUD

El cambio climático está intensificando los riesgos para la salud física y mental a nivel global. De acuerdo con el Grupo de Trabajo II del AR6-IPCC (Cissé et al., 2022) la salud humana es uno de los sectores más vulnerables al cambio climático. Los impactos en la salud pueden ser directos – por exposición directa a amenazas como olas de calor, inundaciones, sequías, aumento

del nivel del mar –, e indirectos asociados a cambios en la biodiversidad y ecosistemas, incluyendo cambios en la distribución de enfermedades sensibles al clima como las transmitidas por vectores. Factores condicionantes como la edad o el género, situación socioeconómica, entorno construido, etc., determinan la vulnerabilidad de las personas y el riesgo para su salud.

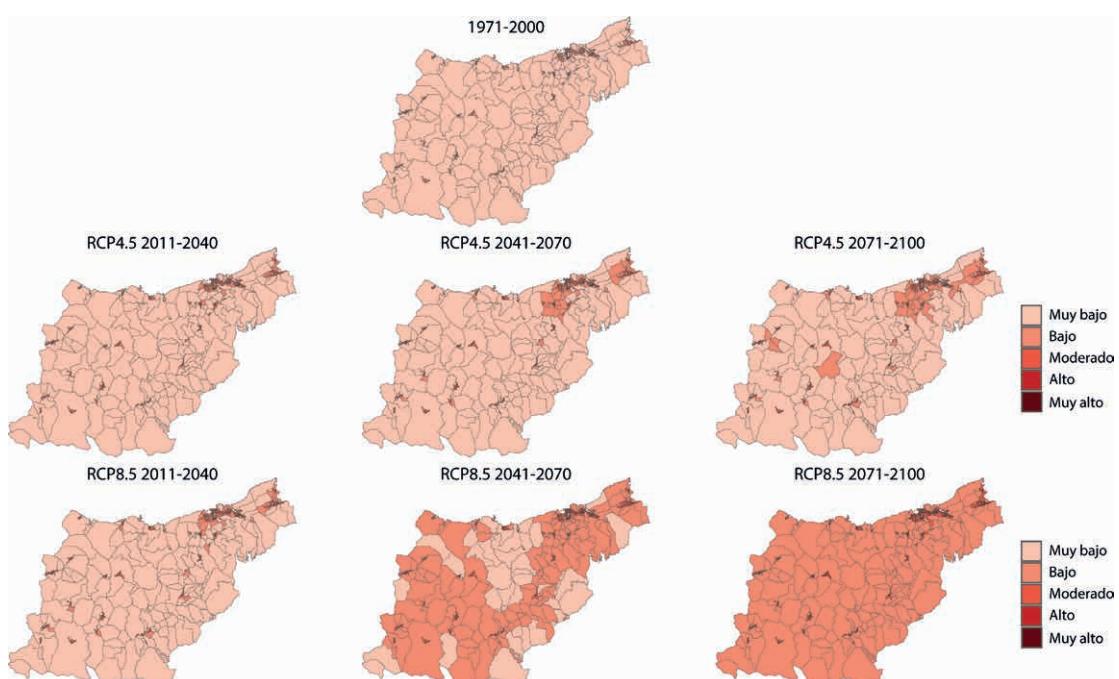
Riesgo de mortalidad y morbilidad asociada al calor

El riesgo de mortalidad y morbilidad asociada al calor se refiere a la probabilidad de que se produzcan fallecimientos (mortalidad) o enfermedades (morbilidad) como consecuencia directa o indirecta de la exposición a temperaturas elevadas.

Durante las últimas décadas, en Gipuzkoa se observa el aumento del número de días cálidos, de noches cálidas, noches tropicales y de los extremos absolutos de temperatura. También se ha incrementado el número de olas de calor y de días de ola de calor. Los modelos climáticos

indican que estos incrementos en los extremos de calor continuarán en las próximas décadas bajo los distintos escenarios de cambio climático, incrementando la exposición de la población a esta amenaza.

Al incrementarse la exposición al calor, se proyecta un incremento del riesgo para la población, siendo mayor el riesgo en el escenario más pesimista y en el largo plazo. El riesgo proyectado es mayor en los entornos urbanos, al estar fuertemente antropizados, con suelos impermeabilizados y pocos espacios verdes por habitante.



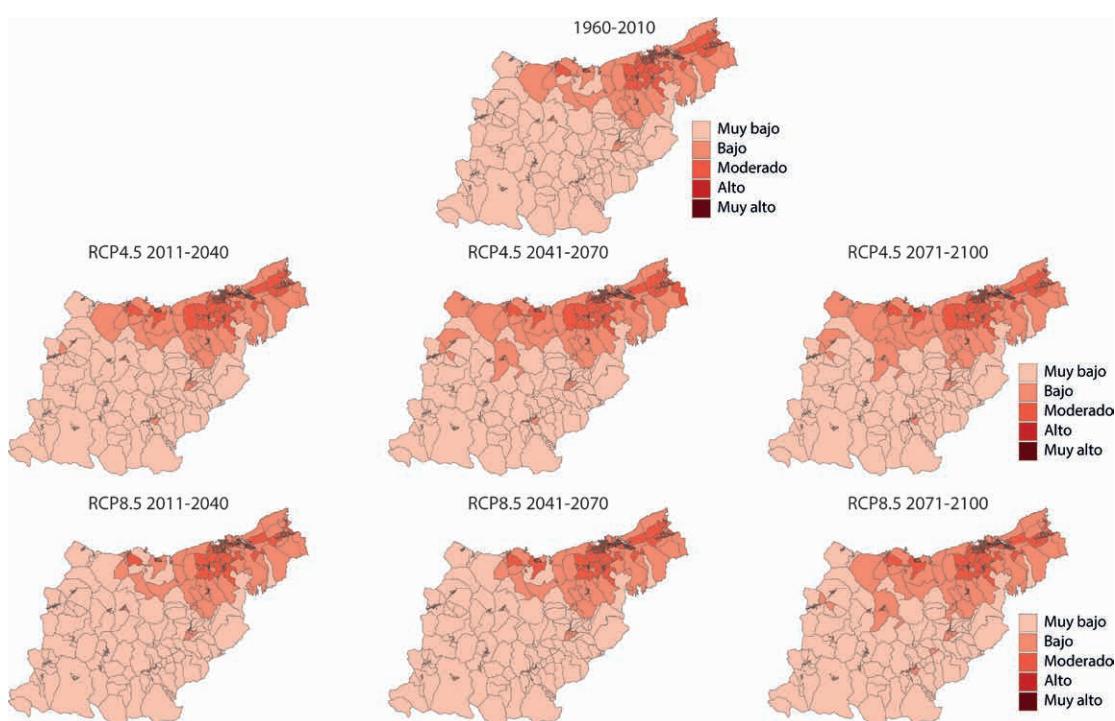
3.6. Fig. Índice de riesgo de la salud de la población al calor extremo para el periodo de referencia 1971-2000 y los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 bajo los escenarios RCP4.5 (más optimista) y RCP8.5. (más pesimista). Fuente: Naturklima (2024).

Riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas por cambios en la extensión geográfica de vectores

El riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas por cambios en la extensión geográfica de vectores se refiere al potencial aumento o modificación del riesgo de propagación de enfermedades infecciosas como resultado de la expansión o desplazamiento de estos vectores biológicos hacia nuevas regiones geográficas como consecuencia de la modificación de las variables climáticas.

El aumento de la temperatura global y los cambios en los niveles de humedad asociados al cambio climático están modificando significativamente las condiciones

ecológicas que determinan la distribución geográfica de numerosos vectores transmisores de enfermedades infecciosas, como mosquitos o garrapatas. Condiciones más cálidas y húmedas favorecen la supervivencia, reproducción y actividad de los vectores, permitiéndoles colonizar nuevas regiones o alteran el comportamiento de ciertas especies endémicas favoreciendo un mayor contacto entre los hospedadores y el ser humano, lo que incrementa el riesgo de transmisión de enfermedades como el dengue, la malaria, el virus del Nilo Occidental o la leishmaniasis.



3.7. Fig. Índice de riesgo de la salud de la población a enfermedades transmitidas por el mosquito tigre para el periodo de referencia 1960-2010 y los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 bajo los escenarios RCP4.5 (más optimista) y RCP8.5. (más pesimista). Fuente: Naturklima (2024).

En Gipuzkoa no se han registrado casos graves de enfermedades vectoriales y la mayoría son casos importados desde regiones donde son endémicas. Sin embargo, el riesgo potencial de transmisión local de este tipo de enfermedades podría incrementarse como consecuencia de alteración de las variables climáticas o cambios en los patrones del hospedador y del propio ser humano. Estos cambios están originando que, por ejemplo, durante los últimos años se venga observando una mayor incidencia

de la enfermedad de Lyme, enfermedad transmitida por una especie endémica en nuestro territorio como es la garrapata europea de la oveja (*Ixodes ricinus*). Este aumento se ha observado durante la última década principalmente en la población que realiza actividades al aire libre como senderismo, caza, trabajos forestales o ganaderos y podría ser consecuencia de ciclos vitales más prolongados como consecuencia de condiciones climáticas más favorables, y de una mayor exposición de la población al hospedador.



3.2.5. MEDIO URBANO

El cambio climático está intensificando la frecuencia y severidad de fenómenos meteorológicos extremos, lo que conlleva una serie de riesgos significativos sobre el medio urbano. Estos riesgos incluyen daños a personas, edificaciones, infraestructuras urbanas críticas – como las

redes de agua, saneamiento, transporte, energía, telecomunicaciones –, desabastecimiento de servicios esenciales, así como la pérdida de confort térmico en el medio urbano. Todo ello afecta a la seguridad de las personas y al correcto funcionamiento de los sistemas urbanos.

Riesgo de daño y desabastecimiento por el aumento en la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos

Las principales amenazas climáticas para el medio urbano son el aumento en la frecuencia e intensidad de eventos de temperatura y precipitación extrema, inundaciones (pluvial, fluvial, costera) y deslizamientos. La mayor intensidad y frecuencia de estos eventos puede incrementar los daños directos sobre viviendas, edificios públicos, infraestructuras críticas o personas.

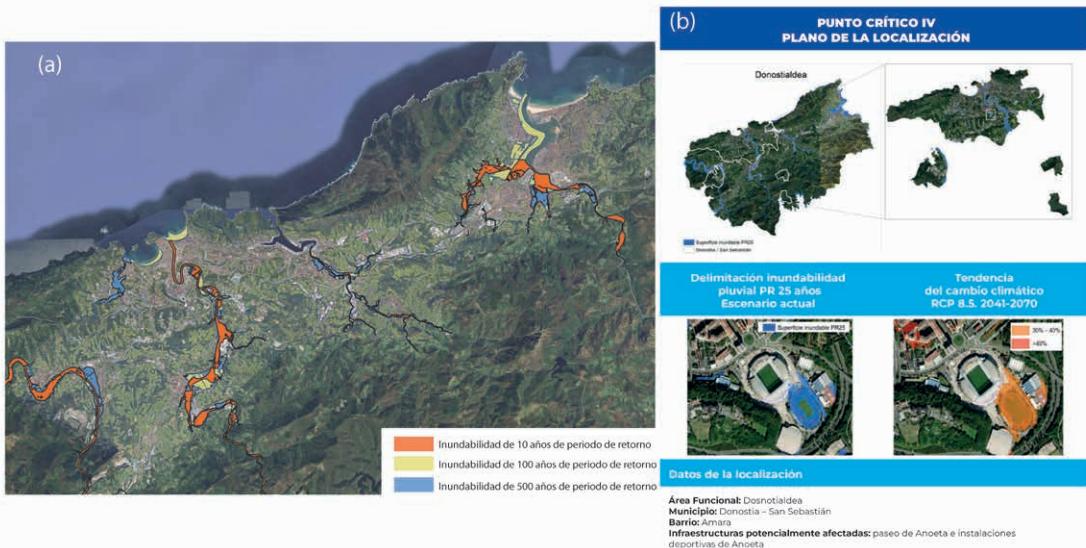
Las olas de calor son cada vez más frecuentes e intensas y agravan el efecto de isla de calor urbana, incrementando los riesgos para el bienestar y salud de las personas, especialmente de los colectivos más vulnerables. Las proyecciones climáticas indican un aumento en el número de días de calor y noches tropicales para los distintos escenarios de cambio climático, lo que intensificará el riesgo para las personas en los entornos más vulnerables, caracterizados por una alta densidad de población y artificialización.

Las inundaciones representan el riesgo climático que mayores impactos económicos y pérdidas humanas han ocasionado. Según las estimaciones realizadas en el marco del Plan de Gestión de inundación, en Gipuzkoa más de 2.000 personas pueden verse afectadas dentro de las zonas inundables y el 25 % de la superficie de las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación con un periodo de retorno de 100 años se corresponden con terrenos urbanos, industriales o de infraestructuras asociadas a las redes urbanas. Esto podría agravarse a futuro ya que las proyecciones climáticas para el horizonte 2100 indican un aumento de los caudales de avenida para períodos de retorno de 100 años, proyectándose un incremento

probable del riesgo de inundación en pequeñas áreas de los tramos bajos del Urola y tramos medios en las cuencas del Deba, Oria y Bidasoa (URA, 2022).

Los daños que pueden sufrir las personas durante las inundaciones están relacionados con la mortalidad debida a ahogamientos, paradas cardiorrespiratorias, hipotermia, traumatismos, lesiones o accidentes relacionados con los vehículos al empeorar las condiciones de circulación. Los impactos materiales incluyen daños en el mobiliario urbano, daños estructurales a edificios (cimientos, vigas, muros de carga, pilares, sótanos, fachadas, cubiertas, ventanas, garaje, etc.), daños a los equipamientos y servicios del edificio, contenido del edificio (mobiliario, electrodomésticos, material comercial/industrial, etc.).

Las infraestructuras críticas – como las redes de transporte, abastecimiento y saneamiento, telecomunicaciones, gas, eléctrica o sanitaria – que dan soporte a servicios esenciales para el mantenimiento de funciones básicas de los entornos urbanos como la salud o economía también pueden verse afectadas por eventos extremos como inundaciones o deslizamientos. Estas infraestructuras pueden sufrir daños directos, como deterioro físico o pérdida temporal de operatividad, o indirectos, derivados de la interrupción de los servicios que prestan, lo que puede generar efectos en cascada sobre otras redes esenciales. Estas pérdidas de funcionalidad en estos sistemas esenciales pueden desencadenar desabastecimiento de agua, cortes de energía, interrupciones en el transporte o problemas en los servicios sanitarios y de emergencias.



3.8. Fig. (a) Mapa de peligrosidad de inundación fluvial en los principales núcleos urbanos de las comarcas Bidasoa Behereia, Oarsoaldea y Donostialdea para distintos períodos de retorno (10, 100 y 500 años) y (b) ejemplo de análisis de inundabilidad pluvial municipal actual y futura (RCP8.5) (zona de Anoeta en Donostia). Fuentes: GeoEuskadi (2025) e Ihobe (2023).

Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico

El riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público hace referencia a la creciente probabilidad de que el aumento de las temperaturas extremas, asociado al cambio climático, provoque condiciones térmicas adversas en calles, plazas, parques y otros entornos urbanos al aire libre.

El aumento de las temperaturas extremas derivado del cambio climático conlleva un riesgo creciente de estrés térmico en los espacios públicos y residenciales, reduciendo el confort y la calidad de vida en el entorno urbano, especialmente durante los meses más cálidos.

Uno de los factores que agrava este riesgo es el fenómeno del ‘efecto isla de calor urbana’, que se manifiesta como un incremento de la temperatura urbana respecto a las zonas rurales circundantes. Este efecto está estrechamente relacionado con las características del entorno

construido – como la alta densidad edificatoria, la escasa vegetación, la acumulación de superficies impermeables y asfaltadas, y la morfología urbana –. El efecto isla de calor se acentúa especialmente durante la noche, al dificultarse la disipación del calor acumulado durante el día, lo que intensifica el impacto del calor en las ciudades.

Este fenómeno tiene importantes repercusiones sobre la salud (golpes de calor, deshidratación, etc.), especialmente en los colectivos más vulnerables, como personas mayores, niños, embarazadas, etc.

Asimismo, la reducción del confort térmico afecta a la funcionalidad urbana y a los hábitos de vida. Por ejemplo, se puede ver reducido el uso del espacio público – reduciendo la movilidad activa, el ocio al aire libre – y provocar el aumento de la demanda energética para la climatización de espacios interiores.

3.2.6. AGRICULTURA, GANADERÍA, FORESTAL Y PESCA

El sector primario – agricultura, ganadería, forestal y pesca – es de los sectores más sensibles y vulnerables a las condiciones climáticas y eventos climáticos extremos. El cambio climático modifica las condiciones adecuadas para la producción agrícola, favorece la introducción y establecimiento de nuevas plagas, aumenta los riesgos físicos y biológicos para los sistemas de producción animal, y altera la red trófica y abundancia de especies de interés pesquero.

La vulnerabilidad de este sector es importante en un territorio como Gipuzkoa, con una elevada dependencia del entorno natural y un ecosistema productivo fragmentado. Asimismo, es importante destacar el papel que este sector juega en la conservación del paisaje y la identidad cultural del territorio.

Riesgo de disminución de la productividad agrícola

El cambio climático pone en riesgo la producción agrícola al modificar las condiciones climáticas que determinan el desarrollo de los cultivos y al desplazar las zonas agroclimáticamente adecuadas para determinadas especies.

El aumento de la temperatura media y la mayor variabilidad de las precipitaciones podrían incrementar el estrés hídrico de los cultivos. Las sequías prolongadas o la reducción de las lluvias en períodos clave del ciclo

agrícola afectan al rendimiento y calidad de cultivos tradicionales como el maíz o la alubia. Por otro lado, los eventos extremos de precipitación y de otros meteoros pueden provocar importantes erosiones en los suelos y causar importantes daños en las cosechas. Finalmente, los eventos extremos de temperatura, tanto de frío como de calor, pueden modificar procesos fisiológicos esenciales, provocando maduraciones aceleradas que impiden un correcto desarrollo del fruto o retrasando las fases de floración y la maduración de hortalizas y frutas.

Riesgo de disminución de la productividad ganadera

La fisiología, comportamiento, salud y bienestar del ganado están estrechamente ligados a las condiciones ambientales. Por ello, el aumento de la temperatura, especialmente durante episodios de calor extremo, representa un riesgo para la productividad del sector ganadero.

El aumento proyectado en la frecuencia y duración de las olas de calor va a incrementar el nivel del riesgo de estrés térmico en animales, con la consiguiente reducción la productividad ganadera. Este estrés provoca alteraciones fisiológicas que conducen a una reducción en la ingesta de alimento, desajustes en la dieta, menor

ganancia de peso y en casos extremos mortalidad animal. Asimismo, se incrementan las necesidades de hidratación (aumento del consumo de agua) y de sombra. Entre otros, se prevé que condiciones extremas de temperatura reduzcan la producción lechera o se incrementen los casos de infecciones y enfermedades respiratorias en el ganado estabulado.

Por otra parte, la sequía y las temperaturas extremas también afectarán a la disponibilidad y calidad del pasto, afectando negativamente a la ganadería extensiva.

Riesgo de disminución de la producción forestal

El sector forestal de Gipuzkoa, fundamental tanto desde el punto de vista ecológico como económico, también enfrenta importantes retos ante las amenazas derivadas del cambio climático. El cambio en las condiciones climáticas puede modificar la composición, estructura y

funcionamiento de los ecosistemas forestales, afectando directamente a su productividad.

Estos cambios pueden influir en el crecimiento, así como en la idoneidad del hábitat para especies arbóreas

comerciales. Especies actualmente dominantes podrían ver reducida su distribución o rendimiento, mientras que otras especies podrían expandirse.

Entre las principales amenazas para el sector forestal están las sequías y olas de calor que pueden conducir a situaciones de estrés hídrico. Esto puede ocasionar la disminución del crecimiento de los árboles, reducciones en la densidad, la pérdida de vigor o mortalidad.

Por otra parte, el cambio climático favorece la aparición, expansión e intensidad de plagas y enfermedades forestales. El incremento de las temperaturas, especialmente la suavización de los inviernos, prolonga el periodo de condiciones óptimas para el desarrollo de organismos patógenos y plagas, reduciendo la eficacia del control natural. Por ejemplo, se ha observado que algunos insectos defoliadores o perforadores son capaces de completar más de dos generaciones al año, aumentando así su capacidad de daño. Además, el cambio en las condiciones climáticas puede favorecer el desplazamiento de plagas y patógenos hacia nuevas áreas geográficas.

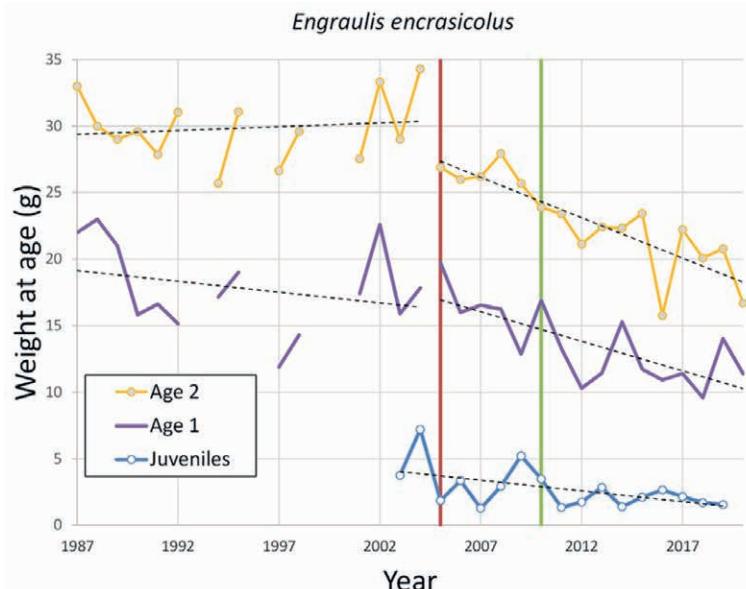
Un ejemplo de la proliferación de estas plagas en Gipuzkoa es la de banda marrón causada por el hongo *Lecanosticta acicola*, y que está teniendo durante los últimos años un alto impacto en el sector forestal del territorio. Se estima que desde 2018, la banda marrón ha afectado a más del 50 % de los pinares de pino insignis del territorio, provocando defoliaciones severas en los árboles. Se estima que las pérdidas económicas para los propietarios forestales superan los 100 millones de euros debido a la necesidad de talas prematuros y a la disminución del valor de la madera.

La disminución de la productividad maderera podría tener repercusión en otras actividades económicas vinculadas como el aserradero, la industria transformadora de la madera, la producción de biomasa, el sector papelero o la construcción en madera. Adicionalmente al impacto económico para el sector, la pérdida de masa forestal puede afectar al resto de los servicios ecosistémicos que proveen los bosques, como son la regulación hídrica, el almacenamiento de carbono o la protección contra la erosión de los suelos.

Riesgo de disminución de la productividad pesquera

El cambio en las condiciones oceanográficas – como la temperatura, acidificación, estratificación y alteración en las corrientes marinas – proyectadas para los distintos escenarios de cambio climático afectarán significativamente a los ecosistemas marinos. Estos cambios modificarán los patrones de distribución geográfica, la fisiología y fenología, crecimiento, reproducción, supervivencia de las primeras fases de vida, los procesos de reclutamiento y, en consecuencia, la abundancia de especies de interés pesquero. Todos estos cambios influirán por tanto en la composición de las comunidades marinas y productividad de estos ecosistemas, poniendo en riesgo la productividad del sector pesquero.

Los impactos del cambio climático dependerán de cómo se modifiquen las condiciones ambientales óptimas para cada especie. Por ejemplo, en el caso del verdel, los modelos proyectan un desplazamiento en su distribución hacia el oeste y el norte (Bruge et al., 2016). En cambio, en el caso de la anchoa, se proyectan incrementos en la densidad de huevos y una expansión de su área de puesta, que podría verse favorecida por el calentamiento del mar (Erauskin-Extramiana e tal., 2019). No obstante, el aumento de la temperatura del mar, junto con otros factores como la abundancia de la población, podría estar asociada con la disminución del peso y longitud por edad observada en la anchoa desde 2000 (Taboada et al., 2023).



3.9. Fig. Variabilidad a lo largo del tiempo del peso medio por edad de la anchoa en el Golfo de Vizcaya. Fuente: Chust et al. (2022).

Por tanto, bajo escenarios de mayor calentamiento, la biomasa de recursos marinos podría disminuir, lo que comprometería el potencial de capturas y, en consecuencia, afectaría de forma directa a la economía del sector pesquero. Este impacto no solo repercutiría en la actividad extractiva, sino también en todas las actividades

económicas asociadas, como el comercio, procesamiento, transporte y actividades de apoyo (construcción de embarcaciones, fabricación de redes, fabricación y reparación de motores, prestación de servicios a embarcaciones, etc.).

3.2.7. PATRIMONIO CULTURAL

El cambio climático puede incrementar significativamente la exposición del patrimonio cultural a factores climáticos adversos como resultado de variaciones graduales en la temperatura, precipitación, humedad, intensidad del viento o subida del nivel del mar, así como por cambios en la frecuencia e intensidad de eventos extremos, como inundaciones, sequías y deslizamientos de tierra. Todos estos cambios pueden agravar los mecanismos físicos, químicos y biológicos responsables de la degradación del patrimonio, al alterar la estructura y/o composición de los materiales afectados.

Los bienes patrimoniales situados al aire libre presentan un mayor nivel de exposición frente a estos peligros climáticos. Por ejemplo, el incremento de eventos de precipitación intensa y la variabilidad de otros factores hídricos – como los ciclos de humedad –, combinados con temperaturas más altas, pueden acelerar procesos

de deterioro tales como la corrosión de metales, la degradación biológica o las deformaciones estructurales de edificaciones.

Los cambios en los niveles de humedad o sequedad pueden afectar los procesos de cristalización y disolución de sales, lo cual puede ser crítico en yacimientos arqueológicos o en pinturas rupestres. Por otra parte, un aumento de la actividad biológica, favorecida por condiciones más cálidas y húmedas, puede propiciar el crecimiento de hongos, mohos o plagas, afectando tanto a materiales orgánicos como inorgánicos, poniendo en riesgo la conservación de determinados materiales. Asimismo, la mayor intensidad del viento y la lluvia impulsada por este puede causar abrasión superficial, facilitar la penetración de agua, incrementar la erosión y provocar daños estructurales.

Los eventos extremos, como inundaciones o deslizamientos de tierra, pueden dañar directamente las estructuras que contienen bienes culturales. Daños ocasionados por el estrés térmico, la erosión o la disolución de materiales calcáreos pueden provocar fisuras, tensiones internas o desprendimientos.

Los bienes patrimoniales ubicados en interiores presentan, en general, una menor exposición a estos peligros climáticos, aunque no están exentos de riesgos.

Las condiciones ambientales interiores, especialmente los ciclos de humedad relativa, también influyen en los procesos de degradación mecánica, química y biológica. El control higrotérmico de estos espacios disminuye su vulnerabilidad, pero, por ejemplo, eventos extremos que impliquen cortes en el suministro eléctrico podrían tener también repercusiones en el patrimonio que albergan.

3.2.8. ENERGÍA

El cambio climático puede afectar a todo el sistema energético – desde la demanda, la generación, el transporte y distribución – comprometiendo su fiabilidad y eficacia.

El sistema energético es vulnerable a numerosos impactos del cambio climático, incluyendo el aumento de la temperatura y eventos de calor extremo como olas de calor, cambios en la radiación, sequías, cambios en

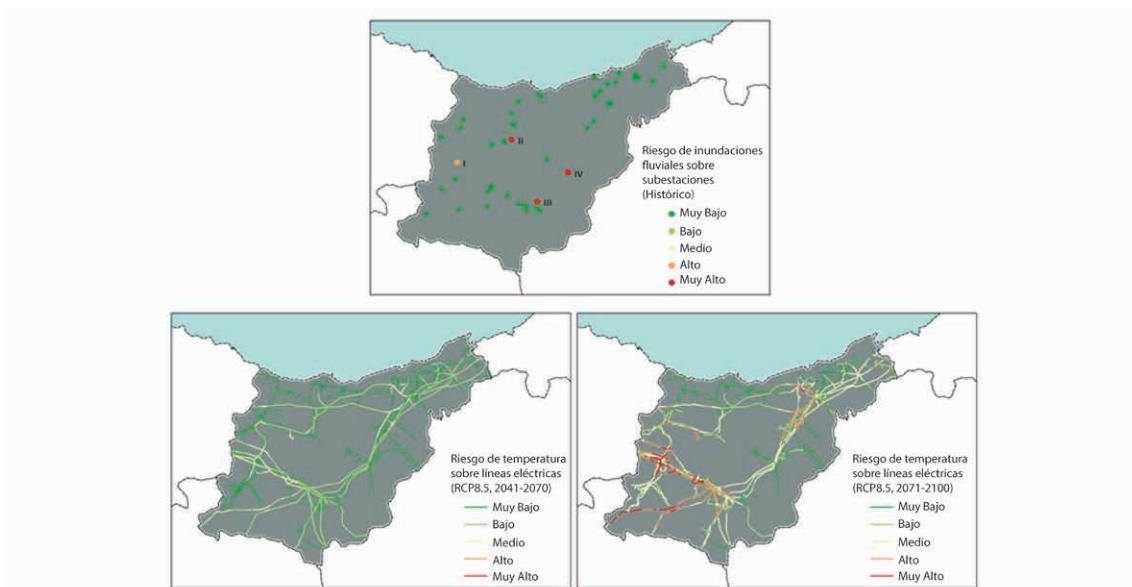
la intensidad y dirección del viento, subida del nivel del mar y eventos extremos incluyendo inundaciones, vientos y tormentas que pueden causar daños directos en la infraestructura energética, tanto en su generación como en su distribución. Las líneas eléctricas, subestaciones, centrales y redes de suministro pueden sufrir daños físicos, interrupciones del servicio y sobrecargas, afectando al abastecimiento energético.

Riesgo de daños a la infraestructura energética por el impacto de eventos meteorológicos extremos (temperaturas, tormenta, inundaciones fluviales)

El riesgo de daño a la infraestructura energética se refiere a la posibilidad de sufrir daños físicos en las infraestructuras del sistema energético, como redes eléctricas, subestaciones, infraestructuras de transporte y distribución y sistemas de energías renovables como consecuencia del impacto de eventos meteorológicos extremos.

Los eventos de precipitación intensa e inundaciones causadas por estas pueden provocar daños a equipos o la inundación de subestaciones eléctricas que se encuentran expuestas. En el Informe de 2022 de Naturklima (Naturklima, 2022) se analizó el riesgo de daño físico de subestaciones eléctricas por inundación fluvial, considerando las zonas inundables para un periodo de retorno de 100 años. En la actualidad 21 centrales y subestaciones eléctricas se encuentran en dichas zonas inundables. En general el riesgo es bajo, ya que son pocas las subestaciones expuestas a inundación. No obstante, en aquellas subestaciones expuestas a inundación, el riesgo es alto y se espera que se incremente para los distintos escenarios de cambio climático al aumentar la frecuencia de inundación.

No se proyectan grandes cambios en la velocidad del viento para los distintos escenarios de cambio climático, aunque existe una gran incertidumbre. Las proyecciones en relación a la ocurrencia de ciclogénesis explosivas tampoco indican que vaya a haber un aumento de la ocurrencia de estos eventos, con la excepción de un leve crecimiento para el escenario RCP8.5 (Herrera et al., 2018). Sin embargo, estos eventos ya ocasionan eventualmente daños en las infraestructuras energéticas, especialmente en sistemas expuestos como redes eléctricas aéreas, torres de alta tensión o subestaciones. Las rachas violentas pueden derribar postes eléctricos, provocar el colapso de torres metálicas, romper cables de transmisión y generar cortocircuitos, lo que interrumpe el suministro eléctrico. Por ejemplo, en octubre de 2024, tras el paso de la borrasca Kirk y también de la borrasca Bert, con rachas de viento que superaron los 120 km/h en las estaciones meteorológica de Zarautz o Jaizkibel, se produjeron algunos cortes de suministro eléctrico en distintos puntos del territorio.



3.10. Fig. Riesgo de inundaciones fluviales sobre las subestaciones eléctricas bajo el periodo histórico y para el periodo de retorno de 100 años. Riesgo de las temperaturas máximas sobre las líneas eléctricas para el periodo 2041-2070 y 2071-2100 bajo el escenario climático RCP8.5. Fuente: Naturklima (2022).

Riesgo de reducción de la capacidad de suministro por el impacto de eventos meteorológicos extremos sobre la infraestructura energética

El riesgo de reducción de la capacidad de suministro hace referencia a la pérdida temporal o sostenida de la capacidad del sistema energético para satisfacer la demanda energética debido a la exposición y vulnerabilidad de las infraestructuras energéticas a eventos meteorológicos extremos.

El aumento de la temperatura máxima, especialmente durante olas de calor en verano, podría reducir la capacidad de generación, incluida la generación renovable, y de las líneas de transmisión eléctricas. En el caso de la energía fotovoltaica, la temperatura por encima de los 25 °C puede afectar al rendimiento de los paneles solares, ya que la eficacia de conversión puede disminuir entre un 0,4 % y un 0,5 %, según el modelo, fabricante y la tecnología (Ebaid et al., 2020). El aumento de la temperatura también afecta a la distribución eléctrica. En el Informe de 2022 de Naturklima se analizó el efecto de eventos extremos de temperatura ($T_{max} > 40^{\circ}\text{C}$) sobre la capacidad de transporte de las redes eléctricas. Para el largo plazo, bajo un escenario con elevados niveles de emisión de GEI, se proyecta una pérdida de entre 0,03 % y 0,04 % en algunas comarcas del territorio.

El viento permite la generación de energía eléctrica a través de los aerogeneradores. Sin embargo, la producción eólica solo se mantiene dentro de un rango óptimo de velocidades del viento. Cuando estas son demasiado bajas o excesivamente altas, como ocurre durante los temporales, la generación se detiene o interrumpe. Las sequías prolongadas pueden afectar a la producción de las centrales minihidráulicas, por reducción de los caudales y a la productividad de los cultivos forestales orientados a la producción de biomasa.

Un suministro de energía estable, sin interrupciones, es fundamental para casi todas las actividades, es por tanto la energía un sector que se encuentra profundamente interconectado con otros sectores. En el caso de Gipuzkoa, la energía eléctrica representó el 24,0 % del consumo final energético en 2023 (Balance energético de Gipuzkoa, 2023). Por ello, cualquier amenaza climática que ponga en riesgo el suministro eléctrico (interrupciones, pérdida de eficiencia o daños a la infraestructura) puede tener efectos en cascada sobre múltiples sectores económicos, así como sobre la salud y bienestar de las personas.

3.2.9. TRANSPORTE

El sistema de transporte está expuesto a una amplia variedad de peligros climáticos, cuya frecuencia e

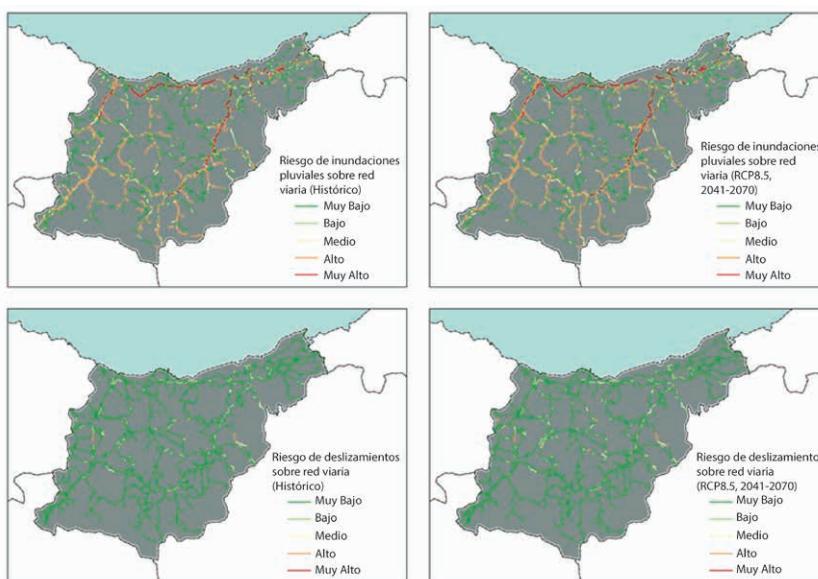
intensidad aumentarán bajo mayores niveles de calentamiento global.

Riesgo de daño a las infraestructuras de transporte: pérdida de operatividad y servicio

Este riesgo se refiere a la afectación física y funcional de la infraestructura del sistema de transporte – carreteras, líneas ferroviarias, estaciones y puentes – como consecuencia de fenómenos meteorológicos extremos – como precipitaciones intensas, inundaciones (pluviales y fluviales), deslizamientos de ladera, temporales marítimos o vientos fuertes.

Muchos de estos peligros, como inundaciones o deslizamientos en masa están directamente asociados a eventos de precipitaciones intensas de corta o media duración.

Aunque existe una alta incertidumbre asociada a las proyecciones de precipitaciones extremas, los escenarios climáticos proyectan una tendencia al aumento de la torrencialidad en Gipuzkoa. Este incremento será más notable conforme avance el siglo y para mayores niveles de calentamiento global. Estas variaciones proyectadas no solo anticipan un incremento en la frecuencia e intensidad de las precipitaciones intensas, sino también una mayor extensión de áreas susceptibles de inundación pluvial y un aumento de la peligrosidad de deslizamientos.



3.11. Fig. Riesgo de inundación pluvial y deslizamiento sobre la red viaria bajo el periodo histórico y bajo el escenario RCP8.5 para los períodos 2041-2070 y 2071-2100. Fuente: Naturklima (2022).

Gran parte de la infraestructura de transporte está ya expuesta a estos peligros climáticos. Más de 1.500 tramos de la red viaria – con longitudes que varían desde pocos metros hasta unos 800 m – y 120 tramos ferroviarios, sumando en total unos 16 km, se encuentran en zonas inundables con períodos de retorno de 100 años. Además, 17 km de la red viaria se encuentran en zonas susceptibles

de sufrir deslizamientos. Esta exposición y vulnerabilidad, ya da lugar en la actualidad a impactos sobre la red de transportes. Por ejemplo, entre los días 9 y 10 de diciembre de 2021, precipitaciones persistentes provocaron un deslizamiento de ladera en Gabiria que afectó a la infraestructura ferroviaria y obligó a suspender el servicio de tren entre Beasain y Brinkola. Asimismo, durante estos días se

registraron números cortes en la red viaria por inundación fluvial, como en Mendaro, donde el acceso al municipio y a su hospital quedó bloqueado.

La inundación en la vía, la caída de árboles o averías eléctricas asociadas a tormentas pueden interrumpir el servicio ferroviario. Estos ejemplos evidencian la exposición del sistema frente a fenómenos extremos que se prevé serán más frecuentes e intensos bajo mayores niveles de calentamiento.

Estos peligros climáticos, intensificados por el cambio climático, pueden comprometer la operatividad y funcionalidad de las redes de transporte. Entre las consecuencias más frecuentes se encuentran las interrupciones del servicio, retrasos operativos, deterioro prematuro de materiales o fallos sistémicos que afectan tanto al transporte de personas como de mercancías.

Riesgo de afección a la circulación

El riesgo de afectación a la circulación se refiere a la probabilidad de que eventos meteorológicos extremos interrumpan, dificulten o comprometan la movilidad. Estos fenómenos pueden provocar cortes de carretera,

inestabilidad en taludes, deterioro del firme, la presencia de obstáculos, etc. Estas condiciones adversas aumentan la peligrosidad para la conducción y el riesgo de accidentes, afectando a la seguridad vial.

3.2.10. TURISMO

Gipuzkoa es un destino turístico de alto valor gracias a la combinación de recursos naturales y culturales. Su patrimonio incluye playas, bosques y espacios protegidos, así como cascos históricos, o edificios de valor histórico (iglesias, ermitas, caseríos, palacios, molinos, etc.).

Sin embargo, el cambio climático representa una amenaza creciente para estos recursos. El aumento sostenido de las temperaturas, los cambios en los patrones de precipitación y humedad, así como la subida del nivel medio del mar pueden provocar una degradación progresiva de los recursos naturales y culturales del territorio. A medida que disminuye la calidad patrimonial, se reduce también el interés de los visitantes, poniendo en riesgo la sostenibilidad económica del sector turístico.

Uno de los ejemplos más claros es el impacto del cambio climático en el litoral. Las playas guipuzcoanas, un potente reclamo turístico del territorio, se enfrentan al riesgo de erosión costera provocado por la subida del nivel del mar. Las proyecciones climáticas indican que, en 2050, con un ascenso del nivel medio del mar de 26 cm, la playa de Zarautz perdería un 31 % de su superficie actual y la de Hondarribia un 11 %. En el caso de las playas de Itzurun o Gaztetape, la pérdida sería total, alcanzando el 100 % (IHOBE, 2022). Estas pérdidas no sólo afectan al disfrute de los visitantes, sino también al valor económico asociado al uso recreativo de estos espacios, con consecuencias

directas para los negocios locales y los servicios vinculados al turismo costero.

Los espacios naturales del interior tampoco son ajenos a los impactos del cambio climático. El aumento de la temperatura y los cambios en los patrones de precipitación podrían reducir la superficie de hábitats para muchas especies de flora y fauna que forman parte del paisaje guipuzcoano. Las zonas de especial conservación como Herri-Gazume y Aizkorri-Aratz albergan hábitats sensibles como los hayedos y robledales, que están expuestos a un elevado riesgo climático (IHOBE, 2022). La transformación de estos ecosistemas afecta al turismo de naturaleza, que incluye actividades como el senderismo o la observación de biodiversidad.

Asimismo, el patrimonio cultural es también vulnerable a los peligros climáticos. Monumentos, cascos históricos o yacimientos arqueológicos podrían deteriorarse con mayor rapidez debido a la humedad, lluvias intensas o eventos meteorológicos extremos. Las visitas a los mercados tradicionales podrían verse en riesgo por el impacto del cambio climático en el sector agroganadero. Todos estos cambios podrían comprometer la experiencia del visitante.

La suma de estos impactos podría repercutir en la competitividad turística de Gipuzkoa. La disminución del atractivo natural y cultura podría reducir el interés de los

turistas. Esto se traduciría en una cadena de efectos intersectoriales que afectan de manera directa e indirecta a la economía local. Unos de los sectores más inmediatamente afectados es el comercio. La reducción de visitantes conlleva una caída en la demanda de alojamientos,

restauración, bares, tiendas locales y servicios de ocio. La pérdida de ingresos en este ámbito puede provocar cierres o reducción del personal.

3.2.11. INDUSTRIA Y SERVICIOS

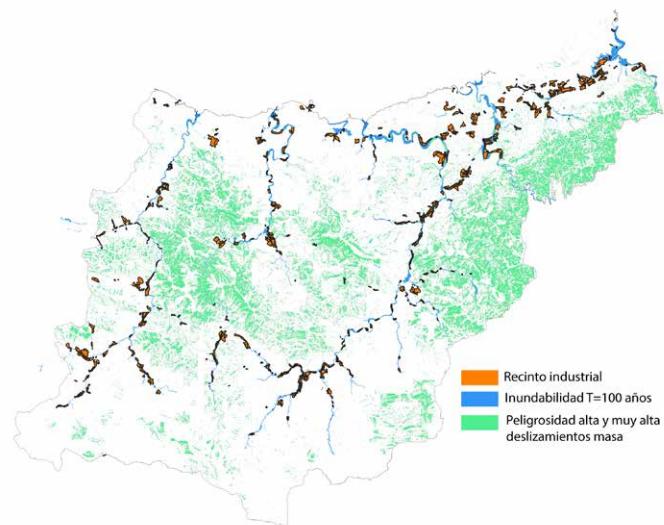
El cambio en las condiciones climáticas – como temperatura, nivel del mar o patrones de precipitación – y un aumento en la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos, genera riesgos físicos tanto directos como indirectos sobre el sector industrial y de servicios, afectando a su infraestructura y a su operatividad.

La magnitud de estos riesgos varía en función de factores como la ubicación geográfica, que determina la exposición a peligros climáticos (deslizamientos, inundaciones), las características constructivas de edificios industriales y la dependencia de recursos críticos, especialmente del agua, que determinarán su vulnerabilidad.

Por ejemplo, fenómenos extremos como inundaciones fluviales o costeras, tormentas intensas u olas de calor pueden causar daños severos en edificios, maquinaria, instalaciones técnicas o redes eléctricas. En Gipuzkoa, 418 hectáreas de recintos industriales se encuentran

actualmente en zonas inundables con un periodo de retorno de 100 años. A esto se suma el riesgo progresivo asociado al aumento del nivel del mar. En la actualidad, 18 hectáreas de suelo industrial están expuesta a la inundación costera, cifra que podría aumentar a 32 hectáreas en 2050 bajo un escenario de ascenso del nivel del mar de 26 cm y a 47 hectáreas a final de siglo con un ascenso de 70 cm del nivel del mar. Las tormentas pueden dañar sistemas eléctricos, tejados o maquinaria exterior, mientras que las olas de calor pueden acelerar el desgaste de los equipos.

Los daños estructurales derivados de estos fenómenos no solo implican reparaciones costosas, sino también una depreciación acelerada de los activos industriales y un aumento de los costes de mantenimiento y seguros. Además, las olas de calor intensas pueden acelerar el desgaste de los equipos y aumentar la necesidad de climatización, afectando a la eficiencia energética.



3.12. Fig. Exposición de los recintos industriales a inundabilidad con periodo de retorno de 100 años y peligrosidad alta y muy alta de deslizamientos en masa. Fuente datos: Udalplan y Geoeuskadi.

A estos impactos físicos se suman los riesgos indirectos que afectan a la operatividad de los procesos industriales y servicios. Los cambios en las condiciones climáticas pueden reducir la disponibilidad de materias primas y recursos esenciales. Un ejemplo es el riesgo de escasez de agua para los procesos industriales durante los períodos de sequía, un recurso esencial para numerosos procesos como la refrigeración, fabricación o limpieza. En el caso de sectores que dependen directamente de recursos naturales, como el sector alimentario, se verán afectados por cambios en la disponibilidad de su materia prima.

Asimismo, las interrupciones en las cadenas de suministro debido a eventos climáticos extremos que afectan

a infraestructuras clave como carreteras, puertos, instalaciones logísticas, o a proveedores, pueden provocar retrasos en la entrega de materias esenciales, interrupciones en el transporte de mercancías o pérdidas en la producción. Estas disruptpciones generan pérdidas económicas inmediatas, incluyendo incremento de costes operativos, gastos extraordinarios de reparación, incumplimiento de contratos y primas de seguros más altas.

A largo plazo, la combinación de una menor eficiencia operativa y una mayor exposición al riesgo climático pueden deteriorar la rentabilidad del negocio e incluso dificultar el acceso a financiación.

3.2.12. SISTEMA FINANCIERO

El cambio climático es un riesgo financiero, con capacidad de generar pérdidas económicas considerables

a través de diversos canales.

Riesgo de corrección de precios de activos

El riesgo de corrección de precios de activos se refiere a la posibilidad de una pérdida de valor de los activos financieros, como consecuencia de una revalorización del riesgo climático por parte de los mercado o inversores.

A medida que aumentan los impactos del cambio climático, los activos físicos y financieros vinculados a sectores vulnerables pueden experimentar una rápida y significativa pérdida de valor. Esta pérdida de valor afecta de forma directa a la estabilidad y rentabilidad de las entidades financieras.

Los activos expuestos a riesgos climáticos – como infraestructuras o inmuebles (residencial, comercial, industrial) expuestas a inundación, deslizamientos, subida del nivel del mar, empresas con alta dependencia de recursos naturales vulnerables – pueden perder valor rápidamente cuando se hacen evidentes los costes de adaptación, reparación o pérdida por productividad. Cuando estos activos se utilizan como garantías de préstamos, su depreciación disminuye la capacidad del banco para recuperar el capital prestado en caso de impago. Esto incrementa

el riesgo de crédito, obligando a aumentar previsiones y puede erosionar la calidad del balance bancario.

Al mismo tiempo, los eventos extremos pueden afectar la capacidad de pago de los prestatarios, ya sea por daños a instalaciones o interrupciones en la producción, por ejemplo, debido a problemas en las cadenas de suministro. Esto se traduce en un aumento de la morosidad y en un deterioro del valor de las garantías respaldadas por préstamos hipotecarios, créditos comerciales o líneas de financiación agrícola.

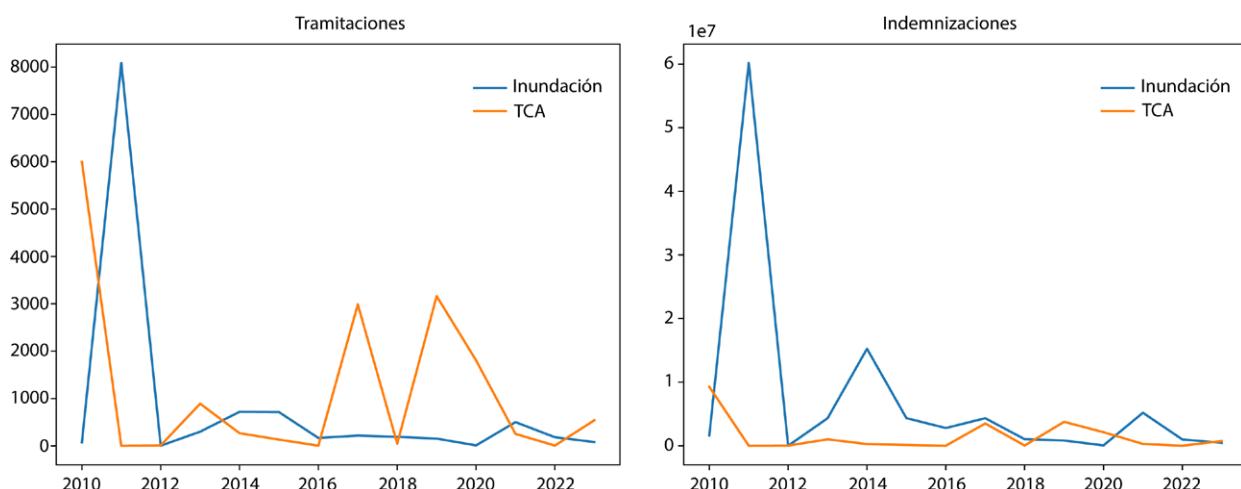
El cambio climático también influye en la valoración de activos financieros. Instrumentos como acciones, bonos o fondos vinculados a empresas con una alta exposición física pueden perder valor si los inversores ajustan sus expectativas ante escenarios climáticos adversos. Esta revalorización negativa puede afectar a la rentabilidad, la liquidez del mercado y la solidez contable de bancos, fondos de inversión, seguradoras y otros factores financieros.

Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas

El riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas se refiere al incremento en la frecuencia, severidad y coste de las reclamaciones que deben afrontar las aseguradas debido a daños cubiertos por sus pólizas como consecuencia de un aumento de los fenómenos meteorológicos extremos asociado al cambio climático.

La mayor intensidad y frecuencia de eventos extremos puede aumentar la siniestralidad, incrementando el volumen y cuantía de las reclamaciones. Es previsible que las aseguradoras vean un incremento de la siniestralidad en los ramos de vida, salud y accidentes por mayores daños sobre los bienes y personas aseguradas.

Durante los últimos años se observa una tendencia decreciente en la cuantía de expedientes e indemnizaciones asociadas a inundaciones en Gipuzkoa. Esto se debe en parte a las obras realizadas durante las últimas décadas en numerosos puntos del territorio para reducir dicho riesgo. A pesar de ello, teniendo en cuenta tanto las inundaciones fluviales como embates de mar, durante 2023 las indemnizaciones asociadas a este peligro climático a las que tuvo que hacer frente el Consorcio de Compensación de Seguros ascendieron a 452.748 euros. Son mucho más numerosos en los últimos años los expedientes asociados a fuertes vientos (TCA, Tempestad Ciclónica Atípica), aunque las indemnizaciones asociadas son mucho menores que en el caso de las inundaciones.



3.13. Fig. Evolución anual del número de expedientes de siniestros registrados y de indemnizaciones (€) por parte del Consorcio de Compensación de Seguros. Fuente datos: Consorcio de Compensación de Seguros.

Dentro del sector asegurador, el ámbito agrícola se destaca como uno de los más vulnerables a las condiciones climáticas y meteorológicas. El incremento de fenómenos extremos y cambios en los patrones climáticos consecuencia del cambio climático, puede afectar negativamente a los cultivos, reduciendo su rendimiento y calidad, e incluso provocando pérdidas totales. Esta situación

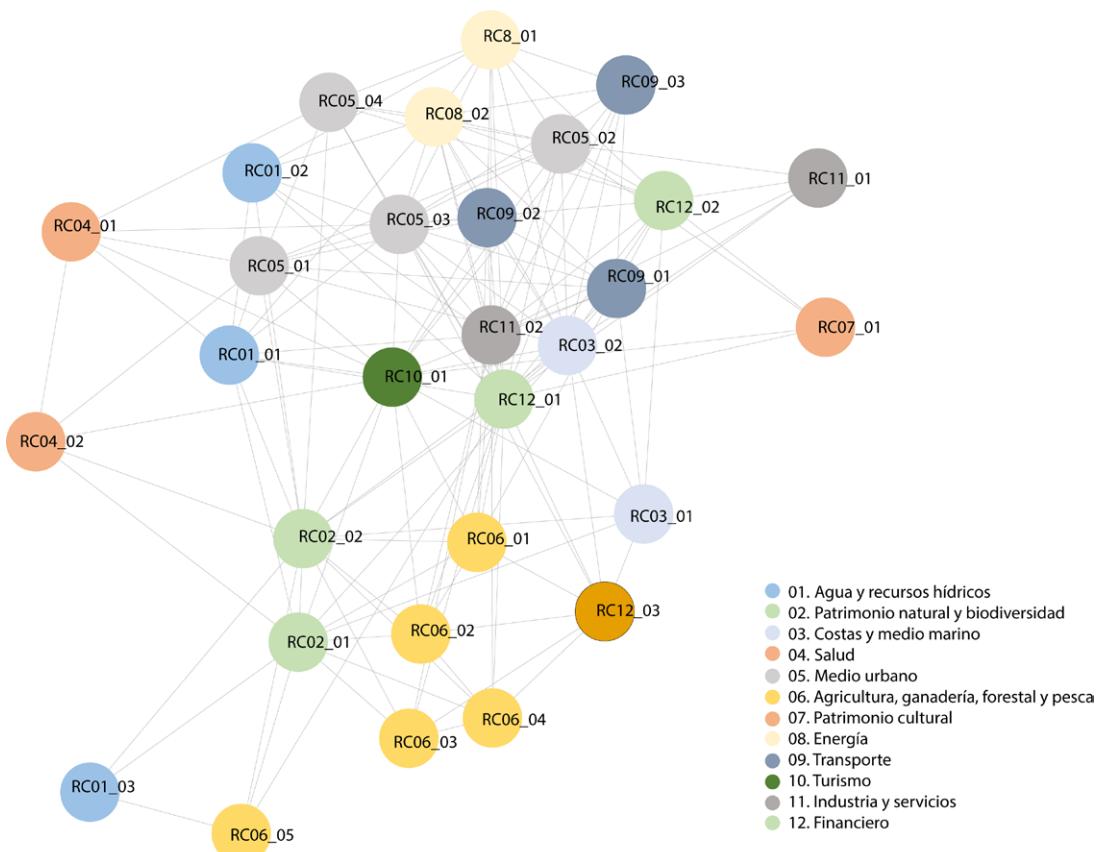
conlleva un aumento significativo en las solicitudes de indemnización por parte de las explotaciones y sistemas de producción cubiertos por seguros agrarios. Si las entidades aseguradoras no ajustan de forma adecuada sus reservas de capital y el cálculo de las primas, podrían enfrentar problemas de solvencia y dificultades para cumplir con sus compromisos frente a los asegurados.

4. RESULTADOS DE LAS MÉTRICAS DEL MODELO DE RIESGOS COMPLEJOS

El modelo de riesgos complejos desarrollado permite representar gráficamente las relaciones entre los distintos riesgos clave en el territorio (Fig. 4.1).

La densidad del grafo es 0,206, lo que significa que representa un 20,6 % de las conexiones posibles entre los pares de riesgos (179 relaciones de las 870 posibles).

La mayor distancia entre dos nodos, es decir, el diámetro del grafo, es de 7. En un grafo compuesto por 30 nodos, este valor indica que los riesgos están conectados entre sí, aunque algunos de ellos están más aislados o débilmente conectados, lo que requiere varios pasos intermedios para alcanzar los nodos más lejanos en el grafo.



4.1. Fig. Modelo de riesgos complejos. Los nodos representan cada uno de los 30 riesgos clave, identificados por su código (Tabla 3.2). Los colores de los nodos corresponden a los distintos sectores. Los enlaces en color gris muestran la existencia de relación entre pares de nodos. Fuente: Tecnia (2025).

Nº DE NODOS	Nº DE ENLACES	DENSIDAD	DIÁMETRO
30	179	0,206	7

4.1. Tabla. Métricas que resumen la estructura global del grafo.

Todas estas medidas globales del grafo indican que existe una interconexión significativa y una interdependencia entre los riesgos identificados.

El modelo desarrollado ha permitido además estimar distintas métricas de centralidad que indican la importancia relativa de cada riesgo en el sistema (Tabla 4.2).

SECTOR	RIESGO	GRADO SALIDA	GRADO ENTRADA	CERCANÍA	INTERMEDIACIÓN
Agua y recursos hídricos	RC01_01	9	4	0,021	64,522
	RC01_02	5	5	0,017	49,433
	RC01_03	3	2	0,015	0,000
Patrimonio natural y biodiversidad	RC02_01	9	9	0,018	63,967
	RC02_02	14	9	0,023	244,732
Costas y medio marino	RC03_01	7	1	0,019	0,000
	RC03_02	16	1	0,024	6,756
Salud	RC04_01	3	5	0,333	7,767
	RC04_02	3	3	0,333	7,172
Medio urbano	RC05_01	2	10	0,250	6,183
	RC05_02	11	2	0,018	63,658
	RC05_03	14	8	0,022	76,175
	RC05_04	5	5	0,014	75,669
Agricultura, ganadería, forestal y pesca	RC06_01	7	6	0,017	199,171
	RC06_02	7	4	0,017	2,198
	RC06_03	6	3	0,017	1,615
	RC06_04	7	3	0,017	1,948
	RC06_05	1	3	0,008	1,191
Patrimonio cultural	RC07_01	3	1	0,008	0,000
Energía	RC08_01	9	3	0,018	2,886
	RC08_02	9	6	0,020	27,358
Transporte	RC09_01	10	2	0,019	4,331
	RC09_02	6	5	0,018	8,342
	RC09_03	3	5	0,008	0,708
Turismo	RC10_01	0	16	0,000	0,000
Industria y servicios	RC11_01	3	2	0,008	0,125
	RC11_02	2	14	0,008	3,780

SECTOR	RIESGO	GRADO SALIDA	GRADO ENTRADA	CERCANÍA	INTERMEDIACIÓN
Financiero	RC12_01	2	22	0,010	157,173
	RC12_02	1	12	0,008	0,200
	RC12_03	2	8	0,012	165,939

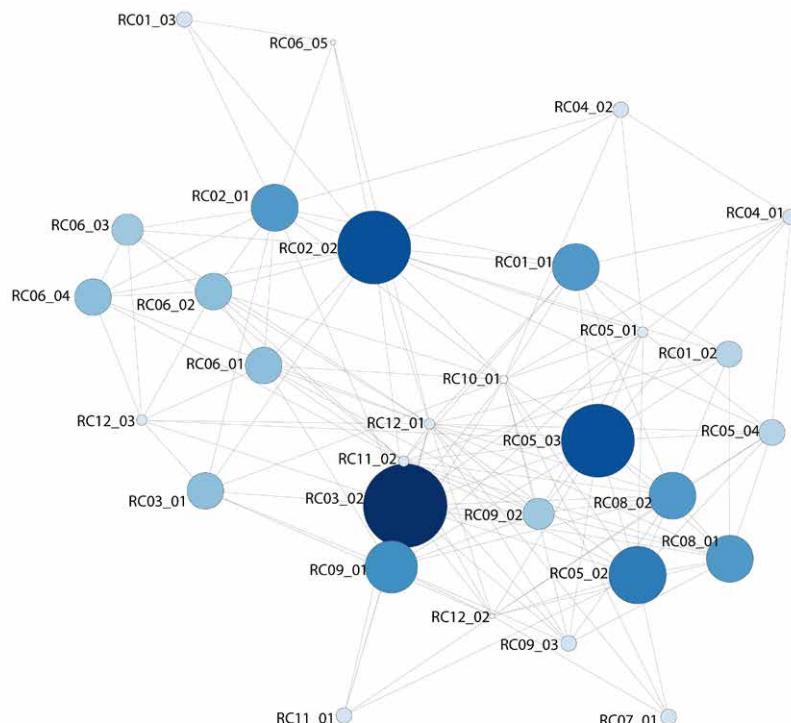
4.2. Tabla. Métricas de los riesgos.

4.1. CENTRALIDAD DE GRADO DE SALIDA

Los riesgos que presentan un mayor grado de salida, esto es, que tienen mayor capacidad de desencadenar o agravar de forma directa otros riesgos, son:

- RC03_02: Riesgo de inundación costera por aumento del nivel del mar.
- RC02_02: Riesgo de pérdida de servicios ecosistémicos debido a cambios en las variables climáticas.

- RC05_03: Riesgo de daño y desabastecimiento de los sistemas urbanos esenciales (agua, saneamiento, energía, telecomunicaciones) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos (inundación fluvial, deslizamientos).
- RC05_02: Riesgo de daño de las edificaciones por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos (inundación fluvial, inundación costera, deslizamientos).



4.2. Fig. Grado de salida. El tamaño y color indican el grado de salida, a mayor tamaño y color oscuro mayor es el grado.
Fuente: Tecnalia (2025).

El riesgo con un mayor grado de salida es el *Riesgo de inundación costera por aumento del nivel del mar*. Esto se debe a que los hábitats, ecosistemas, personas, edificaciones o infraestructuras localizadas en la zona litoral están expuestas a inundación. Cualquier aumento en la exposición conllevaría un aumento del riesgo. Por ejemplo, la inundación de nuevos espacios o la alteración de humedales costeros pueden intensificar la degradación y/o pérdida de ecosistemas costeros, además de intensificar procesos como la erosión de playas. En el caso de los ámbitos social y económico, la inundación costera puede afectar directamente a edificaciones, instalaciones industriales e infraestructuras críticas, incluyendo redes de transporte o suministro energético, provocando alteraciones en numerosos sectores socioeconómicos (Medio urbano, Energía, Transporte, Industria y servicios, Financiero). Por tanto, por su capacidad de generar múltiples consecuencias en diversos sectores, la inundación costera por aumento del nivel del mar es un riesgo clave en la propagación directa de riesgos climáticos.

Otros dos riesgos con un elevado grado de salida son el *Riesgo de pérdida de servicios ecosistémicos*

y el *Riesgo de daño y desabastecimiento de servicios urbanos esenciales*. Ambos están asociados con la provisión de recursos y servicios fundamentales como agua, energía, abastecimiento alimentario, sustento de ecosistemas, etc. Estos servicios son esenciales para el funcionamiento y operatividad de la mayoría de sectores socioeconómicos, incluyendo el sector primario, la industria o el turismo. Por tanto, se espera que también puedan intensificar numerosos riesgos de forma directa, afectando tanto al medio natural como al sistema socioeconómico.

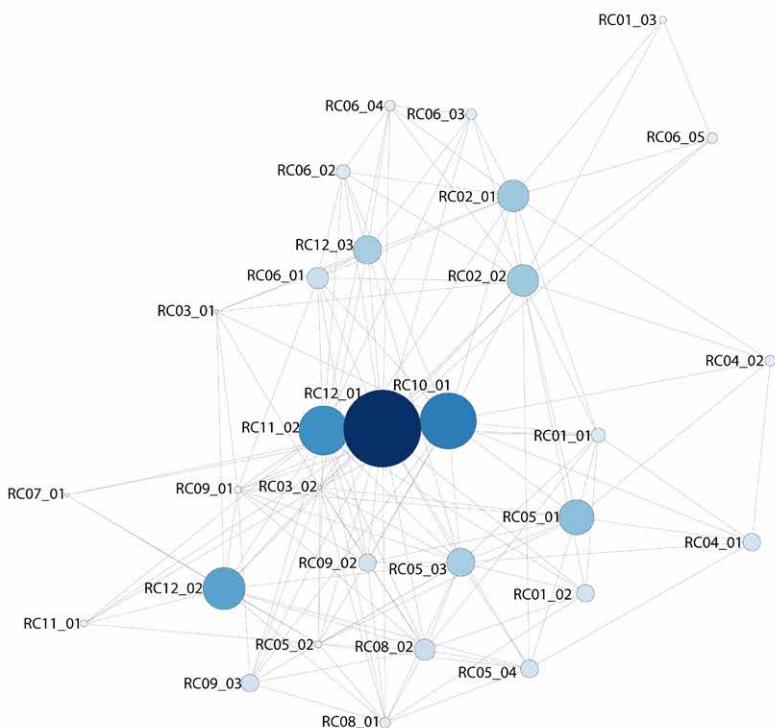
Por último, destaca también con un elevado grado de salida el *Riesgo de daño en edificaciones por eventos extremos*. Los daños sobre edificaciones urbanas pueden tener efecto directo sobre la seguridad de las personas, así como sobre las infraestructuras críticas que prestan servicios urbanos esenciales –como redes de agua, energía, transporte–, e interrumpir las actividades económicas (Turismo, Industria y servicios). Además, las pérdidas generadas repercuten directamente sobre el sector Financiero, tanto por el aumento en los costes de indemnización de bienes asegurados, como por la posible corrección en el valor de los activos afectados.

4.2. CENTRALIDAD DE GRADO DE ENTRADA

Los riesgos con un mayor grado de entrada, esto es, que son desencadenados o agravados por un mayor número de riesgos son:

- RC12_01: Riesgo de corrección de precios por impactos del cambio climático.
- RC10_01: Riesgo de pérdida de atractivo turístico debido a la desaparición o degradación de recursos naturales o culturales.

- RC11_02: Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por reducción de materias y recursos esenciales.
- RC12_02: Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas de bienes (públicos y/o privados) como infraestructuras, inmuebles, etc.



4.3. Fig. Grado de entrada. El tamaño y color indican el grado de entrada, a mayor tamaño y color más oscuro mayor es el grado. Fuente: Tecnalia (2025).

Los riesgos con mayor grado de entrada están relacionados con el ámbito económico, en concreto con los sectores de Finanzas, Turismo, Industria y servicios. Estos sectores presentan una elevada dependencia, tanto directa como indirecta, del estado y funcionamiento de otros sistemas, como los recursos naturales o las infraestructuras críticas. Por tanto, son sectores particularmente vulnerables a una amplia gama de riesgos climáticos originados en otros sectores.

En particular, el sector Financiero se encuentra transversalmente expuesto, ya que presenta relaciones con prácticamente todos los sectores económicos a través de inversiones, préstamos o seguros. Por ello, cualquier riesgo puede trasladarse fácilmente al ámbito financiero. Por ejemplo, una inundación que dañe instalaciones industriales o edificaciones urbanas puede generar impagos de créditos, mientras que una sequía

prolongada que reduzca la productividad agrícola puede provocar la caída del valor de las explotaciones. Estos impactos pueden conllevar una reevaluación del valor de activos económicos afectados, lo que se traduce en correcciones de precios. Además, un aumento de los daños sobre infraestructuras, industrias, viviendas, así como la pérdida de productividad agraria están relacionados con un aumento en las indemnizaciones por pérdidas aseguradas.

En el caso del Turismo, este depende directamente del buen estado de los recursos naturales y culturales (paisaje, ecosistemas, playas, patrimonio cultural, clima, etc.), así como de la disponibilidad y funcionalidad de servicios esenciales como la energía, agua o transporte. Por ello, cualquier alteración que afecte a estos elementos de soporte puede repercutir directamente en la actividad turística.

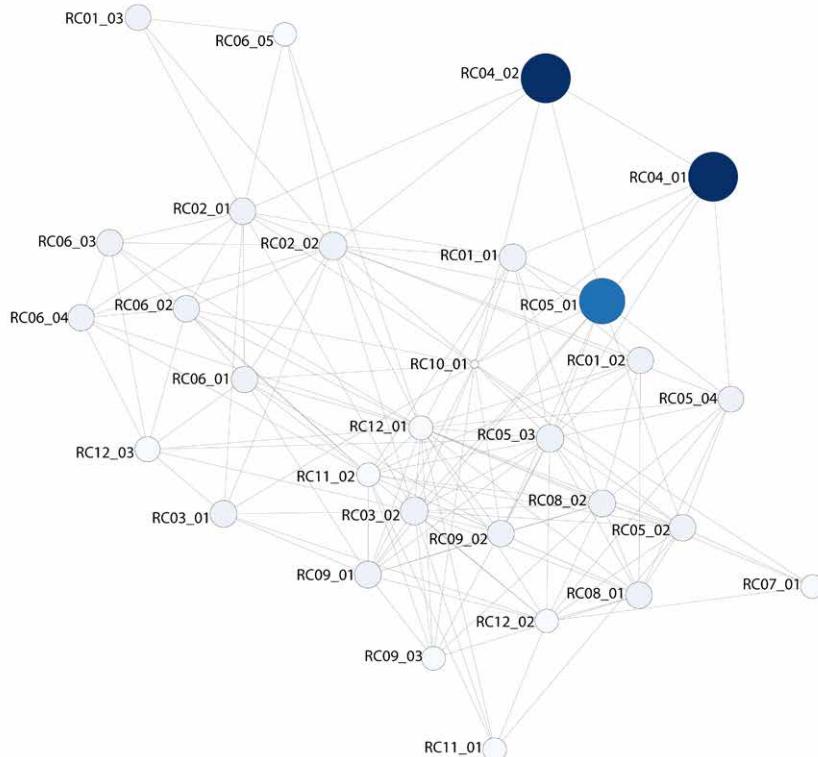
4.3. CENTRALIDAD DE CERCANÍA

La mayoría de los riesgos identificados presentan una baja centralidad de cercanía, lo que indica que, en general, no se desencadenan de forma inmediata, sino que son necesarios varios pasos para conectar los riesgos. Sin embargo, tres riesgos destacan por una mayor cercanía, es decir, que tienen rutas más cortas al resto de nodos y por tanto pueden verse rápidamente afectados por el resto de riesgos. Estos son:

- RC04_01: Riesgo de mortalidad y morbilidad asociada al calor.
- RC04_02: Riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas por cambios en la extensión geográfica de vectores.
- RC05_01: Riesgo de daño sobre las personas por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos.

Estos tres riesgos comparten una característica común: están directamente relacionados con la salud y bienestar de las personas. Su elevada centralidad de cercanía se debe a que los impactos en cualquier sector – los ecosistemas, las infraestructuras o el entorno socioeconómico – pueden tener rápidamente consecuencias sobre la salud humana.

Por ejemplo, los cambios en los ecosistemas y los servicios que estos proveen pueden modificar la distribución geográfica o el comportamiento de vectores infecciosos como los mosquitos, incrementando el riesgo de transmisión de ciertas enfermedades como el dengue o chikungunya. En los entornos urbanos, los eventos meteorológicos extremos – como tormentas, inundaciones u olas de calor – pueden afectar directamente a la salud de la población a través del aumento del estrés térmico, de los daños en infraestructuras o de la interrupción de servicios esenciales como el suministro de agua, de energía eléctrica o transporte, lo cual compromete el confort térmico o la atención médica, agravando los riesgos para la salud.



4.4. Fig. Cercanía. El tamaño y color indican la cercanía, a mayor tamaño y color más oscuro mayor es la cercanía.
Fuente: Tecnalia (2025).

4.4. CENTRALIDAD DE INTERMEDIACIÓN

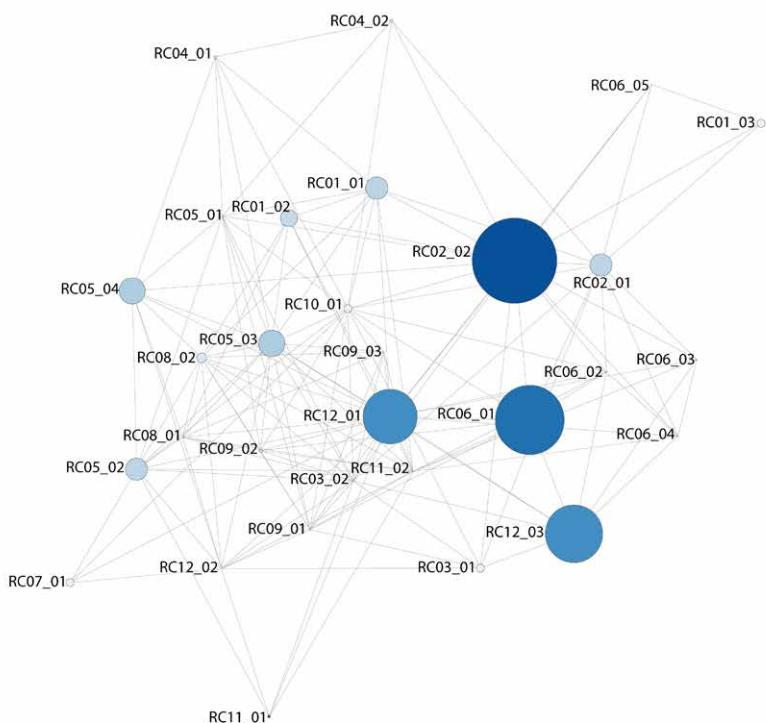
Los riesgos que actúan como conectores clave en la propagación de riesgos, es decir, que presentan una mayor centralidad de intermediación son:

- RC02_02: Riesgo de pérdida de servicios ecosistémicos debido a cambios en las variables climáticas.
- RC06_01: Riesgo de disminución de la productividad agraria por aumento del estrés hídrico y eventos meteorológicos extremos.
- RC12_03: Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola.
- RC12_01: Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático.

Los servicios ecosistémicos proporcionan beneficios fundamentales para la salud y bienestar humano, el funcionamiento de los sectores económicos y el equilibrio de los propios sistemas naturales. Algunos de estos servicios,

como los de aprovisionamiento – de alimentos, madera, materias primas o agua dulce – constituyen la base de sectores económicos como el agrario, el turismo, la industria y servicios. Por su parte, los servicios culturales sustentan el turismo y afectan también al bienestar y salud de las personas. Por otro lado, los servicios de soporte, como la polinización o el ciclo de nutrientes o regulación hídrica, son esenciales para mantener la biodiversidad y resiliencia de los ecosistemas. Por tanto, cualquier modificación, degradación o pérdida de estos servicios puede conectar múltiples riesgos, actuando como nodo de propagación de efectos a otros sectores.

La disminución de la productividad agraria puede afectar a actividades del sector primario como la ganadería (reducción de pastos y forrajes), pero también a sectores interdependientes del sector primario como la industria (escasez de materias primas en la industria agroalimentaria). Estas pérdidas económicas, a su vez, se trasladan al sector financiero, por ejemplo, mediante el aumento de las compensaciones aseguradas.



4.5. Fig. Intermediación. El tamaño y color indican la intermediación, a mayor tamaño y color más claro mayor es la intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).

Los otros dos riesgos con una alta centralidad de intermediación están asociados al sector Financiero. Ambos se caracterizan por estar interrelacionados de forma transversal con prácticamente todos los sectores actuando como puentes de transmisión del riesgo entre ellos.

Por un lado, el riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrario puede desencadenar un incremento de las primas de los seguros agrarios, limitando el acceso a coberturas para muchos agricultores. Esta pérdida de protección financiera incrementa la vulnerabilidad del sector agrario frente a eventos extremos y puede reducir el valor de sus activos agrarios, afectando negativamente a su productividad. Como se ha señalado previamente, esta pérdida de productividad

agraria puede desencadenar a su vez nuevos riesgos en cascada en sectores interdependientes como la industria y servicios.

Por otro lado, el riesgo de corrección de precios de activos asociado a los impactos del cambio climático puede desencadenar riesgos tanto en el propio sector financiero como en otros, por ejemplo, el agrario, el industrial, el energético o el transporte. Fenómenos como eventos meteorológicos extremos pueden provocar la rápida reducción del valor de activos como tierras agrícolas, infraestructuras críticas o instalaciones industriales. Estas correcciones dificultan el acceso a crédito y aumentan el riesgo en numerosos sectores como el agrario o industria y servicios.

5. RELACIONES DIRECTAS ENTRE RIESGOS

Además de las métricas derivadas del modelo de riesgos complejos, para cada sector se han analizado las relaciones directas que establecen sus riesgos, tanto en términos de riesgos de entrada (aquellos por los que pueden amplificarse) como de riesgos de salida (aquellos riesgos de otros sectores que agravarían o intensificarían). Este enfoque permite no solo identificar

las consecuencias directas que puede desencadenar un riesgo, sino también los factores que pueden contribuir a su aparición, completando la visión global presentada en el capítulo anterior. Esto resulta especialmente útil para orientar y priorizar las medidas sectoriales de adaptación, ya que permite identificar puntos críticos de intervención en cada uno de ellos.

5.1. AGUA Y RECURSOS HÍDRICOS

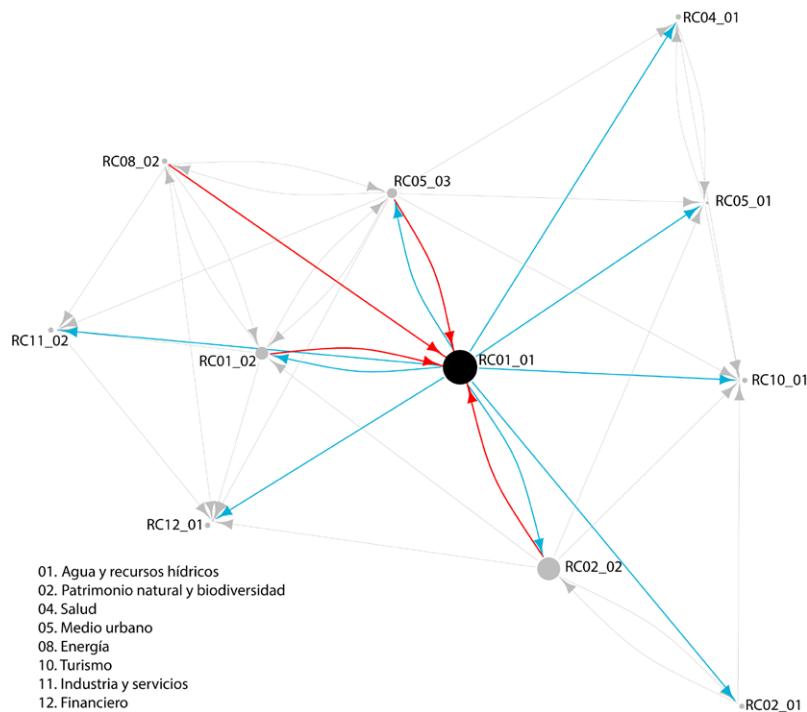
El Riesgo para la demanda de agua, tanto urbana como industrial, por la reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficiente, puede afectar directamente no solo a los distintos usos del agua, sino también a prácticamente todos los sectores socio-económicos y al medio natural.

El agua es un recurso esencial para el mantenimiento de la biodiversidad y el correcto funcionamiento de los ecosistemas, para el desarrollo de numerosos procesos industriales, así como para garantizar la salud y bienestar de las personas. Su escasez o la interrupción del suministro tienen por tanto repercusiones negativas tanto en el medio natural, al comprometer el equilibrio en los ecosistemas y la subsistencia animal y vegetal, como en los sistemas humanos y económicos, al afectar a la producción, los servicios y la calidad de vida.

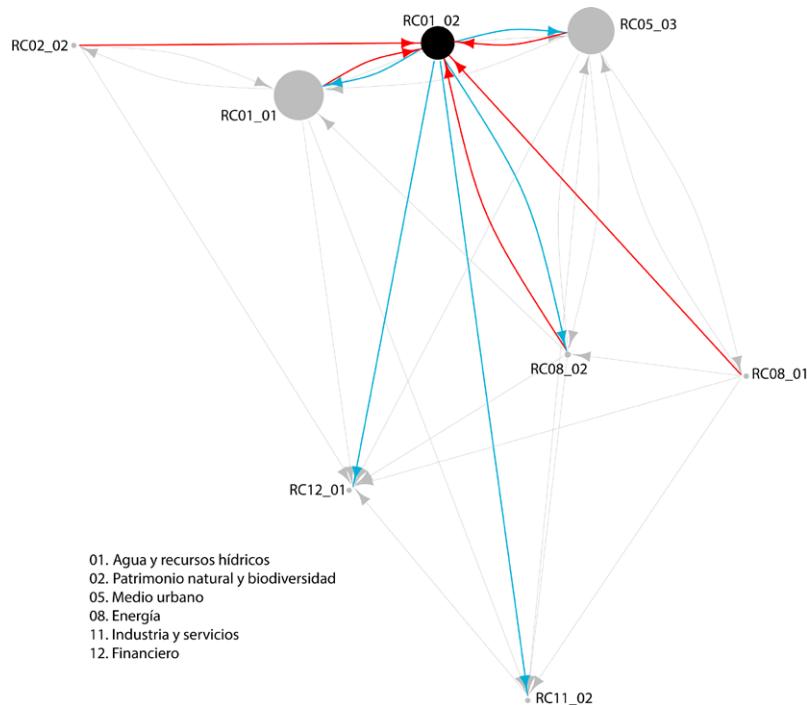
En el ámbito social, el agua es indispensable para mantener las funciones fisiológicas básicas y resulta especialmente crítica durante episodios de calor extremo. La falta de acceso a este recurso en tales condiciones puede incrementar la vulnerabilidad de las personas y derivar en problemas de salud.

En el Medio urbano, la escasez hídrica puede traducirse en situaciones de desabastecimiento, con consecuencias directas para la población y la prestación de servicios básicos.

En el ámbito económico, la reducción de la disponibilidad de agua tiene efectos directos en varios sectores. En el Turismo, puede limitar el funcionamiento de servicios turísticos, como los alojamientos y otras infraestructuras asociadas, reduciendo el atractivo del territorio como destino. En el sector Industrial, el agua es un recurso crítico



5.1. Fig. RC01_01. Riesgo para la demanda urbana por la reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficiente. En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).



5.2. Fig. RC01_02. Riesgo para la demanda industrial por la reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficiente. En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).

para numerosos procesos, por lo que su escasez puede limitar la operatividad y disminuir la producción. Todo ello podría traducirse en la pérdida de valor de activos y en un mayor nivel de riesgo para el sector Financiero.

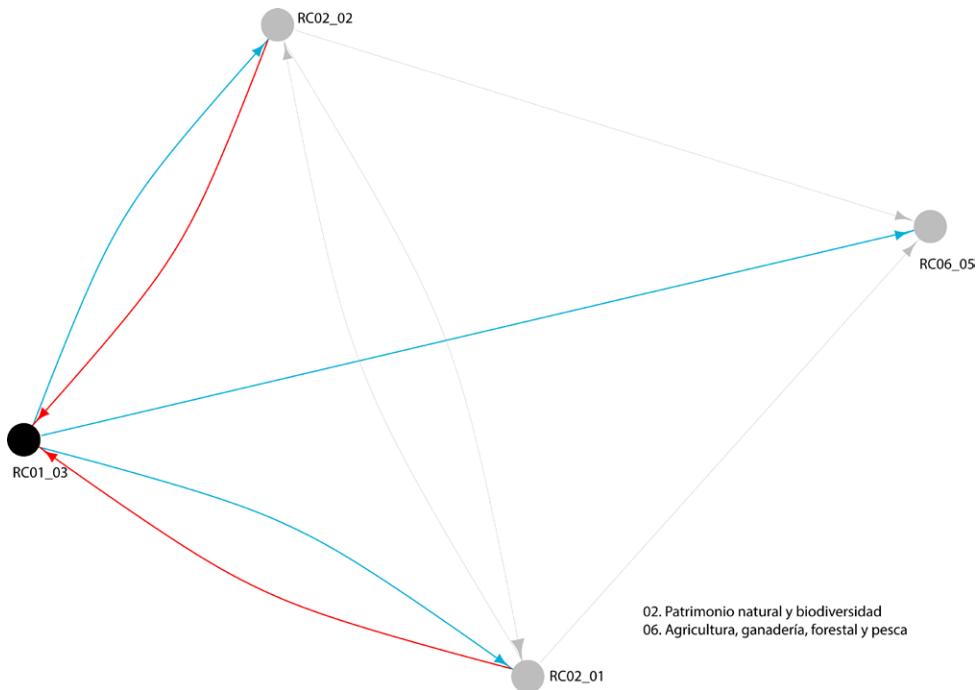
El *Riesgo de demanda por la reducción de recursos hídricos* puede verse afectado por la pérdida de servicios ecosistémicos, por daño o desabastecimiento de servicios urbanos esenciales, la disminución de la capacidad de suministro energético y los conflictos entre los distintos usos del agua.

Los ecosistemas, cuando se conservan en buen estado de funcionamiento, proporcionan múltiples servicios ecosistémicos como el almacenamiento de agua dulce, la regulación de los caudales o la purificación del agua. Estos servicios contribuyen a asegurar la disponibilidad hídrica suficiente y de calidad para el abastecimiento. Sin embargo, estos ecosistemas dependen a su vez de un

volumen de agua suficiente para mantener su funcionalidad y estructura. Se establece una relación bidireccional que implica que la degradación de los ecosistemas puede agravar la escasez hídrica, y viceversa, la falta de agua puede acelerar la pérdida de funcionalidad de los ecosistemas.

En contextos de escasez hídrica, el incremento de la demanda urbana e industrial puede intensificar la competencia de usos por el recurso entre los diferentes sectores, incrementando el riesgo de afectaciones para sus distintos usos.

Por otro lado, el abastecimiento de agua no depende únicamente de la disponibilidad de recurso, sino también de la infraestructura crítica y de la energía necesaria para su extracción, tratamiento y distribución. La reducción o interrupción de estos servicios puede poner en riesgo dicho suministro.



5.3. Fig. RC01_03. Riesgo para los ecosistemas acuáticos asociados al incremento de la temperatura del agua. En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).

El *Riesgo para los ecosistemas acuáticos asociado al incremento de la temperatura del agua* tiene repercusiones directas sobre la biodiversidad, los servicios ecosistémicos que estos proporcionan y la actividad pesquera.

Muchas especies acuáticas son sensibles a cambios de temperatura, por lo que el calentamiento puede alterar su distribución, modificar la composición de las comunidades biológicas y reducir la biodiversidad en las cuencas

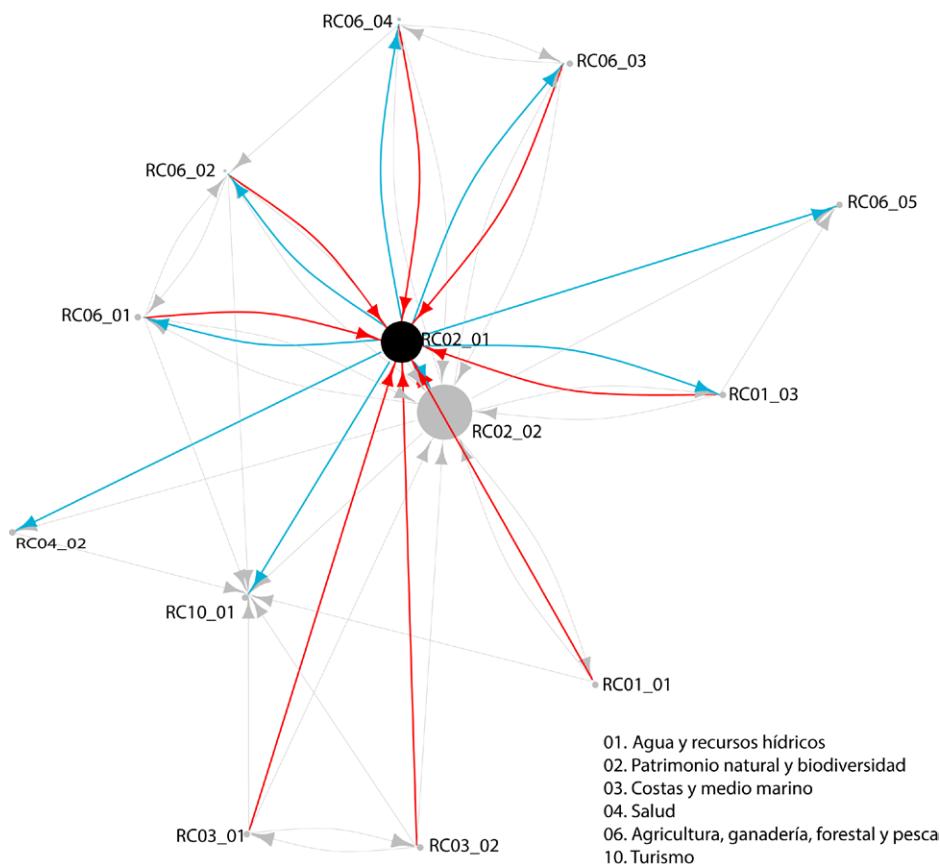
fluviales. La degradación de estos ecosistemas conlleva la pérdida o deterioro de los servicios que prestan, como la purificación del agua, la provisión de hábitats o el soporte a la pesca. A su vez, la pérdida de biodiversidad y de los servicios ecosistémicos incrementa la vulnerabilidad de los propios ecosistemas acuáticos, estableciendo relaciones bidireccionales que amplifican el riesgo.

En conclusión, los riesgos del sector Agua y recursos hídricos tienen un papel clave en la propagación del riesgo, ya que pueden desencadenar o agravar riesgos en un gran número de sectores: Patrimonio natural y biodiversidad, Salud, Medio urbano, Agricultura, ganadería, forestal y pesca, Energía, Turismo, Industria y servicios y Financiero. Asimismo, es un sector vulnerable, que puede verse afectado por los riesgos que se puedan originar en el Patrimonio natural y biodiversidad, Medio urbano y Energía.

5.2. PATRIMONIO NATURAL Y BIODIVERSIDAD

El Riesgo de pérdida de biodiversidad como consecuencia de cambios en los ecosistemas presenta una relación bidireccional con el Riesgo de pérdida de servicios ecosistémicos. La pérdida de biodiversidad afecta directamente a procesos y funciones ecológicas,

acelerando el riesgo de pérdida de los servicios ecosistémicos que estos proporcionan. A su vez, la pérdida o degradación de estos servicios puede reducir la resiliencia de la biodiversidad y por tanto de los ecosistemas ante los impactos del cambio climático.



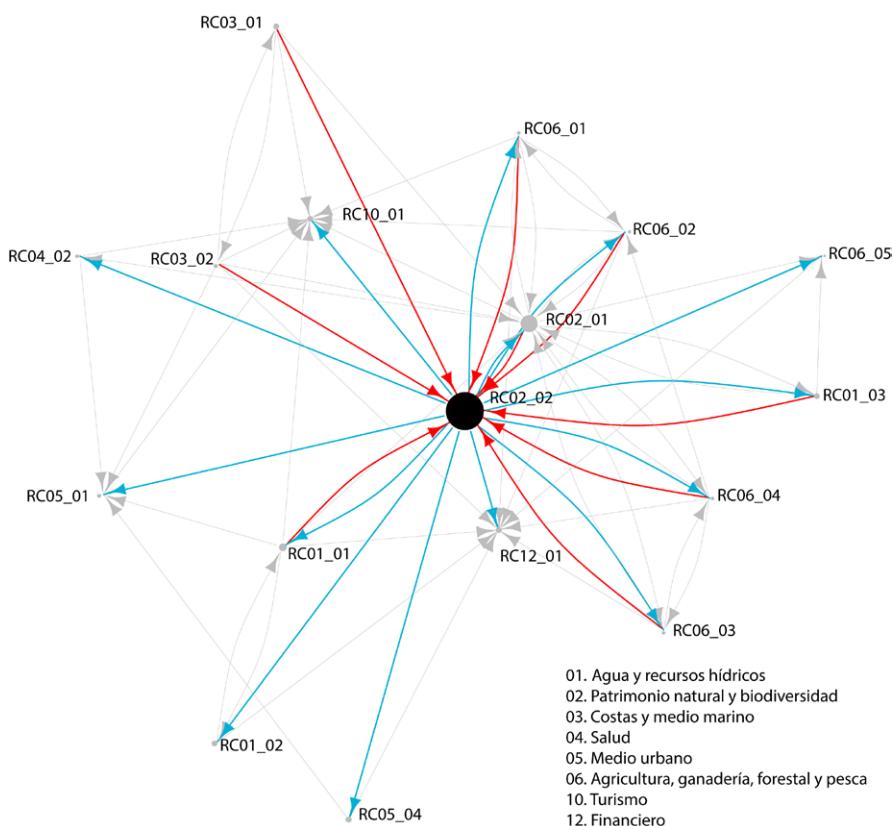
5.4. Fig. RC02_01. Riesgo de pérdida de biodiversidad como consecuencia de cambios en los ecosistemas. En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).

Además de los efectos en el propio medio natural, la pérdida de biodiversidad y de servicios ecosistémicos pueden agravar los riesgos de diversos sectores sociales y económicos:

- Sector primario: las distintas actividades de este sector (agricultura, ganadería, forestal, pesca) dependen directamente de la salud de los ecosistemas y de los servicios que estos proporcionan, como la regulación del agua, la polinización, el control biológico de plagas o la provisión de hábitats. La pérdida de estos servicios, por ejemplo, puede repercutir en el rendimiento de los cultivos, en la exposición del ganado y de las masas forestales a enfermedades, y en la disponibilidad de recursos pesqueros.
- Salud humana: la pérdida de biodiversidad puede favorecer el establecimiento y expansión de especies invasoras, incluyendo vectores infecciosos y patógenos. Esto incrementa el riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas.
- Agua y recursos hídricos: la pérdida de servicios ecosistémicos relacionados con la regulación del

agua puede afectar a la disponibilidad y calidad de recursos hídricos, incrementando el riesgo para sus diferentes usos.

- Medio urbano: la pérdida de biodiversidad en entornos urbanos reduce las zonas verdes y de sombra, disminuyendo la regulación térmica natural. Esto agrava los efectos de eventos extremos de calor y disminuye el confort térmico en el entorno urbano, con repercusiones en la salud de las personas.
- Turismo: paisajes naturales, espacios protegidos y ecosistemas fluviales y costeros constituyen recursos turísticos. Su degradación puede reducir el atractivo del territorio como destino.
- Sector financiero: todas las actividades económicas dependen de algún modo de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Su pérdida puede reducir la disponibilidad de recursos naturales o incrementar los costes de producción. Esto se traduce en una pérdida de valor de los activos y un mayor riesgo para el sector financiero.



5.5. Fig. RC02_02. Riesgo de pérdida de servicios ecosistémicos debido a cambios en las variables climáticas. En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).



Los riesgos en costas y medio marino, tanto la pérdida de playas como la inundación costera, pueden acelerar la degradación o pérdida de hábitats (humedales, dunas, acantilados, etc.) que albergan una gran diversidad biológica.

Tal como se señala en la sección dedicada al sector 'Agua y recursos hídricos', existe una relación bidireccional entre los riesgos que afectan al patrimonio natural y aquellos relacionados con la disponibilidad hídrica. La necesidad de garantizar el abastecimiento para los distintos usos del agua puede implicar la reducción de los caudales ecológicos mínimos necesarios para mantener los ecosistemas acuáticos y la biodiversidad asociada. Esto, a su vez, limita la capacidad de prestar servicios ecosistémicos, lo que agrava el problema de escasez hídrica.

Asimismo, se identifican relaciones bidireccionales con los riesgos en el sector primario. Por un lado, la pérdida

de biodiversidad y servicios ecosistémicos (por ejemplo, polinización) afectan de forma directa a la productividad del sector primario. Por otro lado, la propia pérdida de productividad en este sector puede intensificar los riesgos sobre el patrimonio natural. Entre otros, una menor productividad ganadera o agrícola puede derivar en un uso más intensivo del suelo y recursos naturales, favoreciendo la deforestación, degradación del suelo, pérdida de hábitats y disminución de la biodiversidad.

En resumen, el Patrimonio natural y biodiversidad se encuentra interrelacionado con otros sectores, estableciéndose relaciones bidireccionales con los sectores de Agua y recursos hídricos y Agricultura, ganadería, forestal y pesca. Al mismo tiempo, es vulnerable a los riesgos de Costas y medio marino. Por otra parte, los riesgos de pérdida de biodiversidad y de servicios ecosistémicos pueden agravar directamente los riesgos en Salud y Turismo.

5.3. COSTAS Y MEDIO MARINO

Los dos riesgos clave identificados para Costas y medio marino – *Riesgo de erosión de playas* y *Riesgo de inundación costera por aumento del nivel del mar*– presentan una relación bidireccional. Las playas constituyen el sistema de defensa natural contra las inundaciones marinas, amortiguando el impacto de la subida del nivel del mar. Por tanto, su desaparición, total o parcial, conlleva una pérdida de protección y el incremento del riesgo de inundación. A su vez, un mayor incremento del nivel del mar acelera los procesos de erosión en playas, cerrando un bucle que agrava progresivamente ambos riesgos.

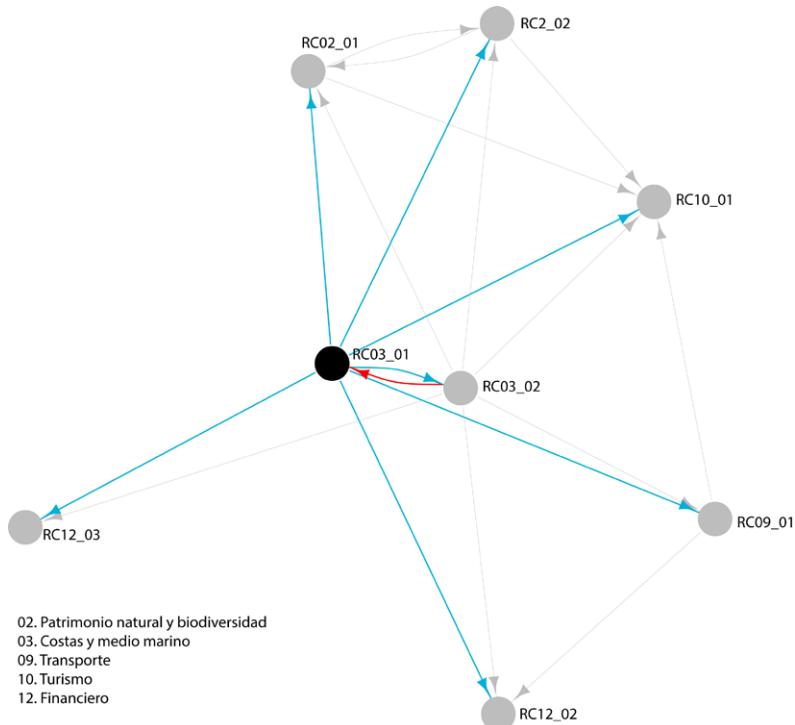
Estos riesgos no se limitan al entorno costero, sino que pueden intensificar riesgos en prácticamente todos los sectores, como refleja su elevado grado de salida (Tabla 4.2). Entre los elementos más vulnerables están el medio natural, las personas, las infraestructuras y los servicios que están expuestos a la dinámica marina.

En el ámbito natural, los riesgos costeros pueden provocar la desaparición de hábitats en playas y zonas litorales (ej. dunas costeras, praderas intermareales, bancos de arena). La erosión y el ascenso del nivel del mar modifican las condiciones físicas y químicas del entorno, aumentando el riesgo de pérdida de especies de flora y fauna.

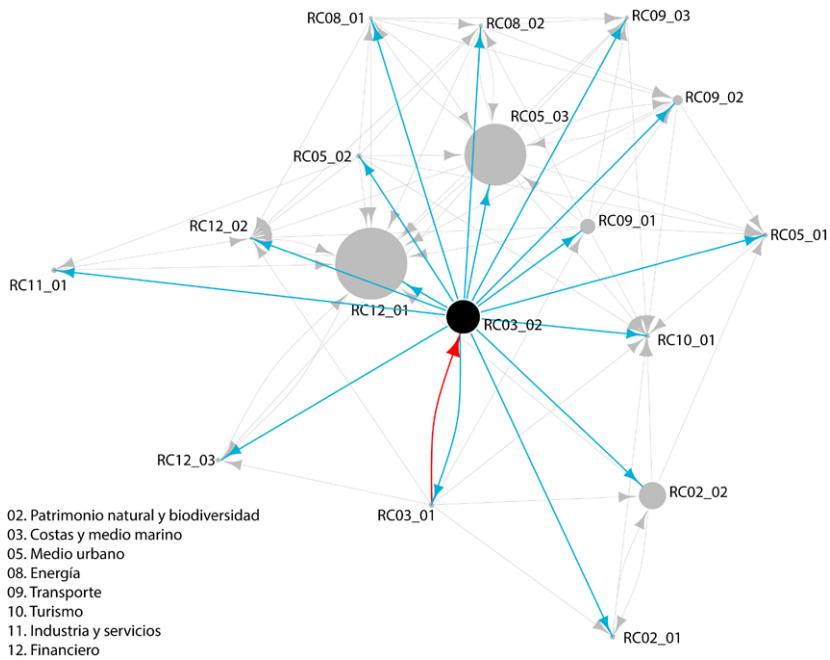
Asimismo, se pierde la capacidad de los ecosistemas de ofrecer servicios esenciales, como la protección natural frente a inundaciones y temporales, absorción de carbono o el papel de refugio para numerosas especies.

En el medio urbano, la inundación costera representa una amenaza directa para la seguridad de las personas, la integridad de edificaciones y equipamientos y el funcionamiento de sistemas esenciales (suministro de agua potable, energía, transporte, telecomunicaciones, etc.). La entrada de agua incrementa el riesgo de daños estructurales en edificios e infraestructuras críticas y con ello el riesgo de interrupción y desabastecimiento de servicios básicos.

Las actividades económicas también podrían ver incrementados sus riesgos. La pérdida de playas y la degradación paisajística podrían reducir considerablemente el atractivo del territorio como destino turístico. En la industria y servicios, instalaciones y activos en zonas expuestas a inundación ven aumentado su riesgo de sufrir daños. Además, la exposición creciente a eventos de inundación puede elevar los costes de aseguramiento y reducir el valor de los activos, intensificando los riesgos del sector financiero.



5.6. Fig. RC03_01. Riesgo de erosión en playas por aumento del nivel del mar y cambios en la intensidad/frecuencia de tormentas. En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnia (2025).



5.7. Fig. RC03_02. Riesgo de inundación costera por aumento del nivel del mar. En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnia (2025).



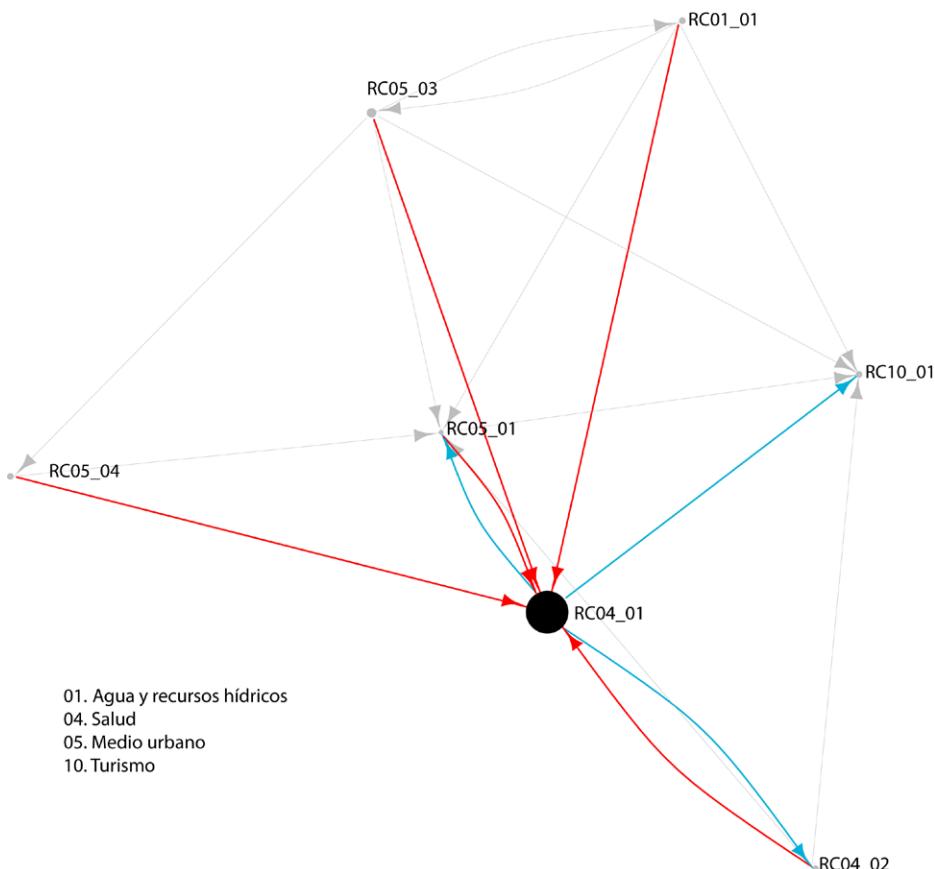
En conclusión, los riesgos en Costas y medio marino pueden afectar directamente tanto al medio natural como a múltiples sectores sociales y económicos, entre ellos el Medio urbano, la Energía, el Transporte, Turismo, Industria

y servicios y el sector Financiero. Sin embargo, Costas y medio marino no ve agravados sus riesgos por impactos en otros sectores, sino que actúa únicamente en la propagación del riesgo hacia el resto de sectores.

5.4. SALUD

El aumento en la frecuencia e intensidad de los episodios de calor extremo supone un riesgo para la salud y bienestar de las personas, especialmente en los entornos urbanos. La elevada densidad de población y la limitada presencia de infraestructura verde incrementa la vulnerabilidad de las personas en dichos entornos. A ello se suma el efecto isla de calor urbana, que intensifica el estrés térmico y reduce el confort durante estos eventos, reforzando los impactos negativos sobre la salud.

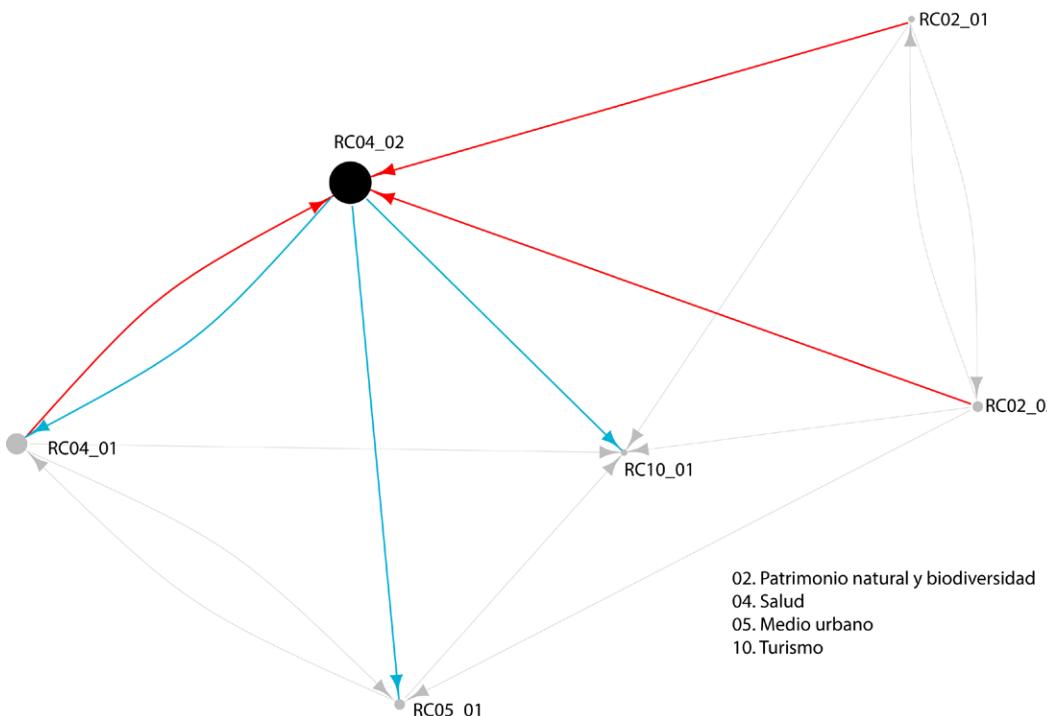
Asimismo, la interrupción de servicios esenciales como el abastecimiento de agua o energía, ya sea por escasez de recurso o por daño en las infraestructuras urbanas críticas, pueden comprometer el suministro de agua potable o el funcionamiento de sistemas de climatización y refrigeración, agravando los riesgos para la salud.



5.8. Fig. RC04_01. Riesgo de mortalidad y morbilidad asociada al calor. En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).

El riesgo de mortalidad y morbilidad asociada al calor se interrelaciona con el riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas. El estrés térmico y debilitamiento inmunológico derivados del calor extremo aumentan la vulnerabilidad de las personas frente a infecciones

transmitidas por vectores. A su vez, la mayor circulación de enfermedades infecciosas o de hospitalizaciones relacionadas con el calor pueden generar una tensión adicional sobre el sistema de salud. Esto puede limitar la respuesta sanitaria frente a ambos riesgos.



5.9. Fig. RC04_02. Riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas por cambios en la extensión geográfica de vectores. En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalía (2025).

El *Riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas por cambios en la extensión geográfica de vectores* puede verse incrementado por los riesgos de pérdida de biodiversidad y de servicios ecosistémicos. La alteración en la estructura, composición y funcionamiento de los ecosistemas reduce su capacidad de regulación natural, lo que podría resultar en la proliferación, propagación y establecimiento de nuevos vectores y parásitos, incrementando con ello la exposición y riesgos para la salud humana.

El sector económico que puede verse directamente afectado por los riesgos en salud es el Turismo. Las condiciones climáticas extremas como olas de calor, así como la aparición o expansión de enfermedades infecciosas transmitidas por vectores, pueden afectar a la percepción de seguridad y bienestar de los visitantes.

Por tanto, los riesgos para la salud pueden verse intensificados por los riesgos asociados al Agua y recursos hídricos, el Medio urbano y el Patrimonio natural y biodiversidad. A su vez, los riesgos en salud repercuten en el Turismo y el Medio urbano, incrementando su vulnerabilidad.

5.5. MEDIO URBANO

En el caso del Medio urbano, las interrelaciones sectoriales varían en función de si los impactos se producen sobre las personas o sobre las edificaciones y sistemas urbanos esenciales que sostienen el medio urbano.

El Riesgo de daño sobre las personas por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos, puede verse modificado principalmente por riesgos asociados a los ámbitos natural y social: Agua y recursos hídricos, Patrimonio natural y biodiversidad, Costas y medio marino, Salud, Transporte y el propio Medio urbano.

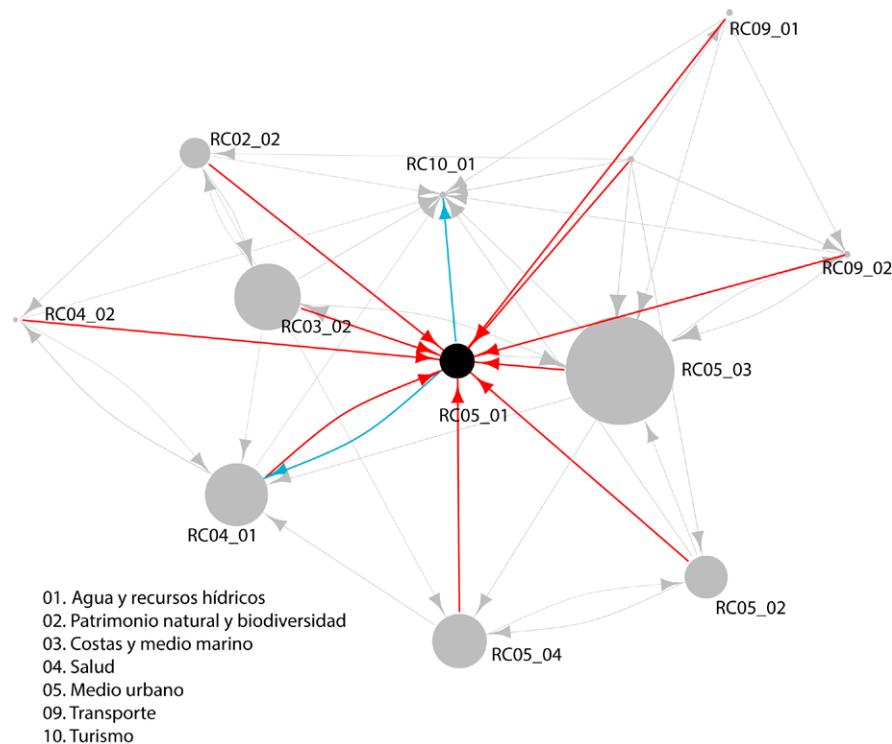
El deterioro de servicios ecosistémicos –como la purificación del aire, protección frente a inundaciones, mitigación del efecto isla de calor urbano– puede resultar en una mayor exposición a inundaciones o estrés térmico, aumentando los riesgos para las personas.

Por otro lado, el riesgo de escasez de agua para el abastecimiento urbano también puede derivar en daño sobre las personas. Por ejemplo, en situaciones de caudales

bajos, una mayor carga de contaminantes en el agua pueden incrementar el riesgo de transmisión de enfermedades.

El resto de riesgos identificados para el medio urbano también pueden agravar el riesgo de daños sobre las personas. El daño estructural a edificaciones e infraestructuras críticas puede provocar la caída de materiales y poner en peligro la seguridad de la población. Además, el desabastecimiento de los sistemas urbanos esenciales (agua, energía, transporte, servicios sanitarios) pueden limitar el acceso a bienes básicos y asistencia sanitaria. Por último, los daños en la infraestructura viaria o afecciones en la circulación terrestre por eventos extremos pueden aumentar el riesgo de sufrir accidentes y obstaculizar las labores de emergencia.

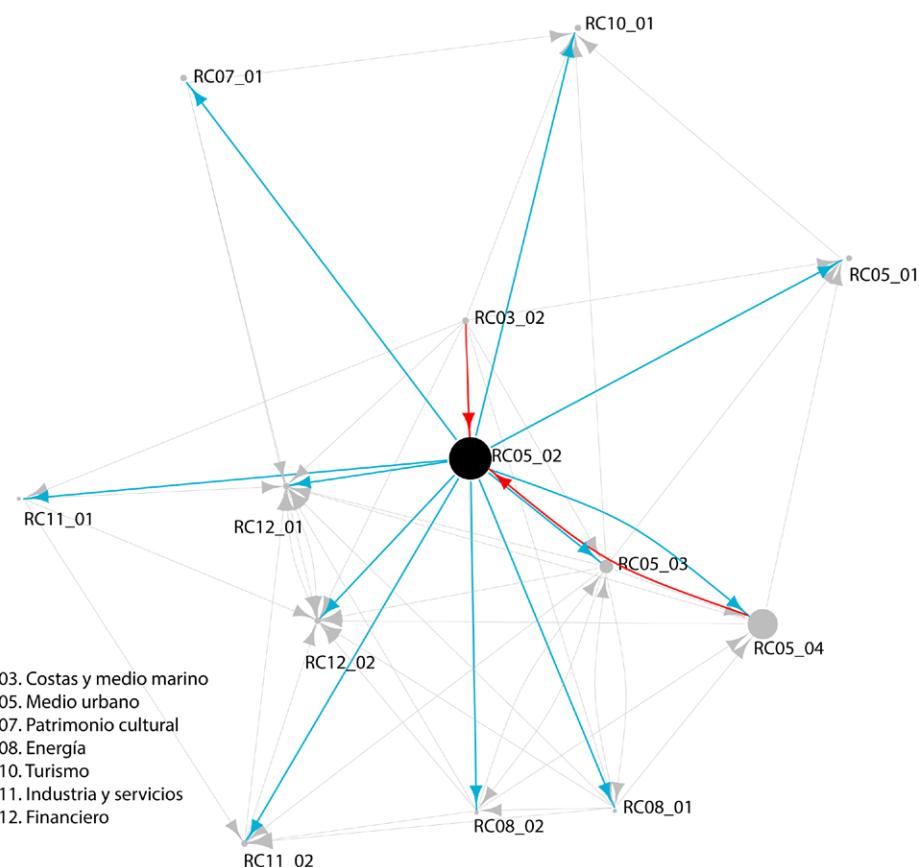
El mayor riesgo de daño sobre las personas, además de relacionarse con la salud, se relaciona con el sector Turismo. La posibilidad de sufrir daños puede disuadir la llegada de visitantes, afectando negativamente al sector turístico.



5.10. Fig. RC05_01. Riesgo de daño sobre las personas por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos (temperaturas extremas, inundación fluvial, inundación costera). En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).

El Riesgo de daño de las edificaciones y el Riesgo de daños y desabastecimiento de los sistemas urbanos esenciales por el aumento en la frecuencia y/o intensidad de eventos extremos pueden verse intensificados por la inundación costera. Las edificaciones e infraestructuras expuestas a este peligro pueden ver comprometida su

integridad estructural, así como la continuidad y funcionalidad de los servicios urbanos que soportan, como las redes de abastecimiento de agua, energía o transporte. Además, el estrés térmico puede acelerar procesos de erosión y degradación de materiales, debilitando las estructuras y aumentando la vulnerabilidad.



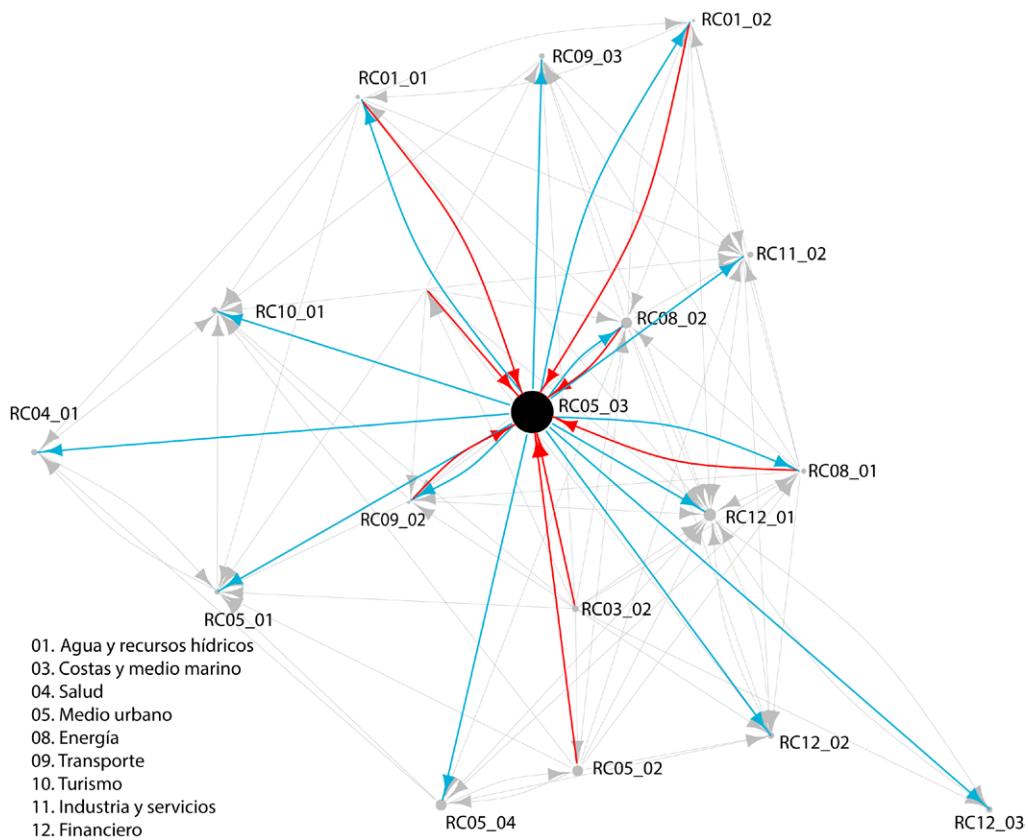
5.11. Fig. RC05_02. Riesgo de daño a las edificaciones por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos (inundación fluvial, inundación costera, deslizamientos). En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación.
Fuente: Tecnalia (2025).

El daño sobre edificaciones puede incrementar el riesgo de daños sobre el Patrimonio cultural. Los eventos extremos pueden dañar edificios históricos, comprometiendo su estabilidad, mientras que la interrupción de servicios esenciales como la energía puede acelerar la degradación de materiales como obras de arte o archivos almacenados.

La industria turística depende de la accesibilidad, infraestructuras y servicios esenciales en buen estado. Los daños en edificaciones y servicios pueden perjudicar la

experiencia de los turistas y afectar a la valoración como destino turístico. De forma similar, la industria y los servicios dependen de estas infraestructuras para su operatividad, por lo que su deterioro incrementa su vulnerabilidad.

El sector financiero también puede ver intensificados sus riesgos climáticos. El aumento en la magnitud y frecuencia de los daños en edificios e infraestructuras se traduce en mayores indemnizaciones aseguradoras y en la pérdida de valor de los activos afectados.



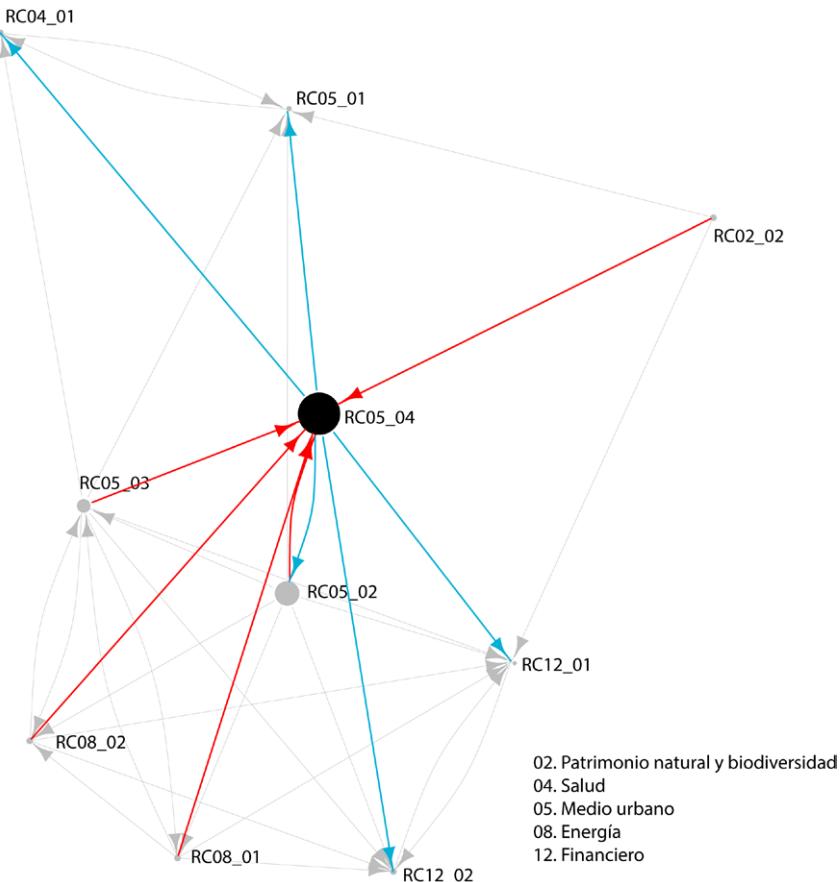
5.12. Fig. RC05_03. Riesgo de daño y desabastecimiento de los sistemas urbanos esenciales (agua, saneamiento, energía, telecomunicaciones) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos (inundación fluvial, deslizamientos). En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).

El *Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico* puede intensificarse como consecuencia directa de la degradación de servicios ecosistémicos. Por ejemplo, la infraestructura verde urbana contribuye a la regulación de la temperatura y a la mitigación de los efectos del calor extremo en espacios públicos. La pérdida de estos espacios naturales y de los servicios que proporcionan incrementan la exposición al calor, amplificando el efecto isla de calor urbana.

En los espacios públicos interiores, el impacto de eventos extremos puede comprometer la capacidad de las edificaciones para mantener condiciones térmicas adecuadas, especialmente durante olas de calor.

Asimismo, las afecciones en la infraestructura energética o en la capacidad de suministro eléctrico, limitan el funcionamiento de los sistemas de ventilación y refrigeración que permiten mantener condiciones adecuadas.

La reducción del confort térmico en el espacio público agrava los riesgos para la salud, elevando el riesgo de mortalidad y morbilidad asociada al calor. Además, puede trasladarse al sector financiero, tanto por la pérdida de valor económico de activos inmobiliarios, que no cuentan con condiciones adecuadas de aislamiento térmico, como por el aumento de los costes de indemnización.



5.13. Fig. RC05_04. Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por el aumento de las temperaturas extremas. En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).

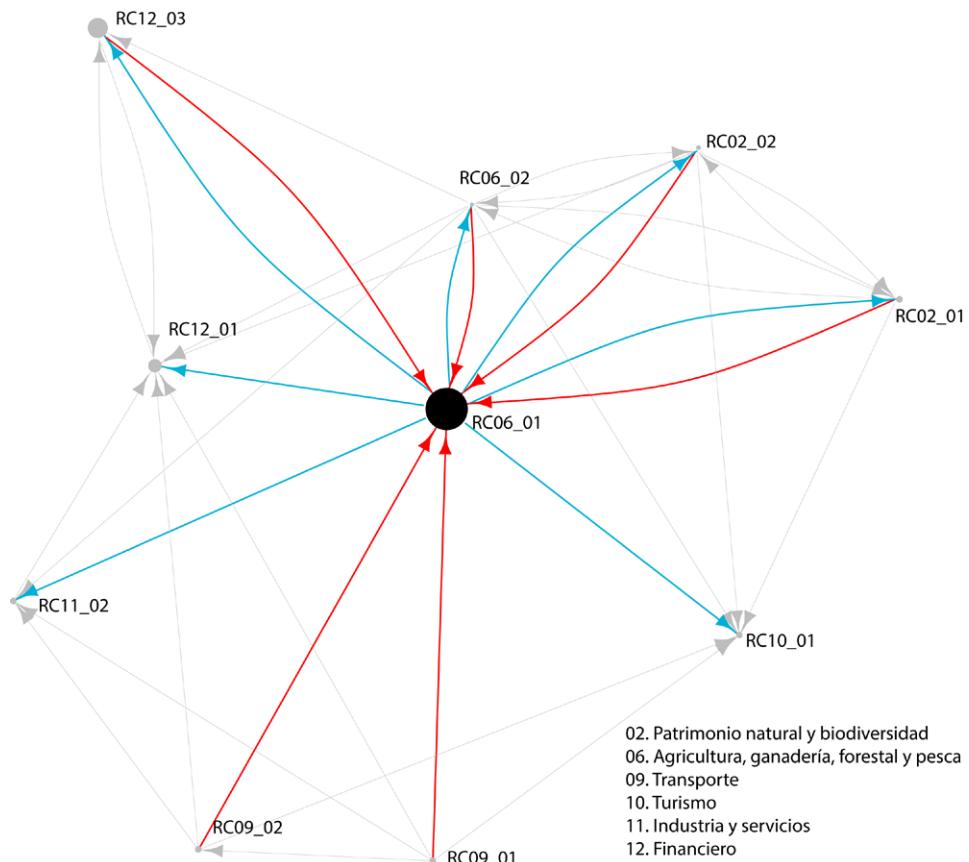
En conclusión, el Medio urbano es un sector clave, caracterizado por una alta interdependencia con otros sectores. Sus riesgos pueden intensificar riesgos en sectores como Salud, Patrimonio cultural, Energía, Transporte, Turismo, Industria y servicios o el sector Financiero. A su vez,

el Medio urbano es altamente vulnerable, ya que sus propios riesgos pueden verse amplificados por los impactos en múltiples sectores, entre ellos el Agua y recursos hídricos, Patrimonio natural y biodiversidad, Costas y medio marino, Salud, Energía y Transporte.

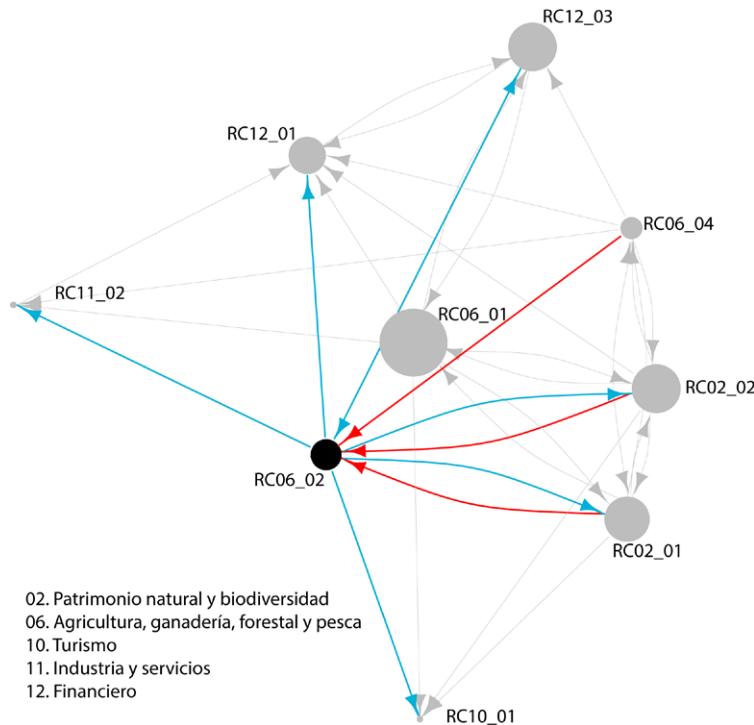
5.6. AGRICULTURA, GANADERÍA, FORESTAL Y PESCA

Los riesgos clave identificados en Agricultura, ganadería, forestal y pesca pueden intensificarse por la pérdida de biodiversidad y servicios ecosistémicos, ya que estos son esenciales para garantizar la polinización, la formación del suelo, los ciclos de nutrientes, la regulación hidrálica, el control natural de plagas y enfermedades o la provisión de alimentos, entre otros. La degradación de estos servicios pone en riesgo la productividad de las distintas actividades de este sector.

A su vez, una menor producción del sector derivada del cambio climático puede afectar al medio natural, ya que estos sistemas también contribuyen a funciones ecosistémicas de relevancia, como el mantenimiento de la calidad del agua, el ciclo de los nutrientes, la formación y rehabilitación de suelo, control de la erosión o la provisión de hábitats.



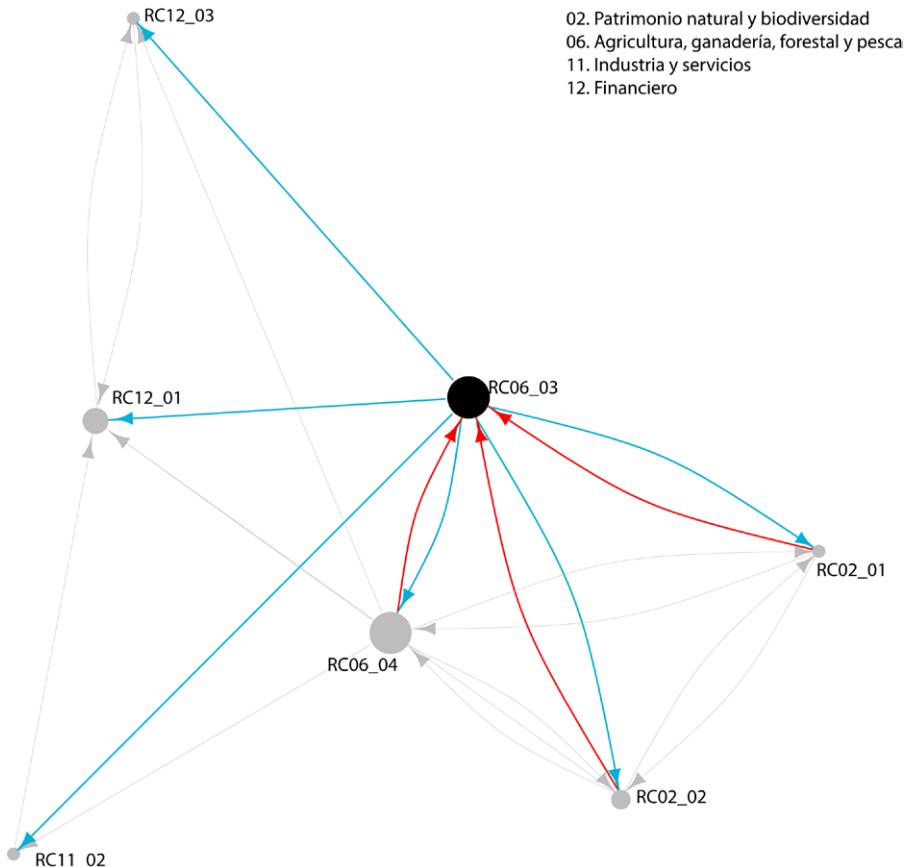
5.14. Fig. RC06_01. Riesgo de disminución de la productividad agraria por aumento del estrés hídrico y eventos meteorológicos extremos (sequía, lluvias torrenciales). En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).



5.15. Fig. RC06_02. Riesgo de disminución de la productividad ganadera por aumento de la temperatura. En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. Fuente: Tecnalia (2025).

Los riesgos de las distintas actividades del sector están interrelacionados. Un ejemplo es la relación bidireccional entre el riesgo de disminución de la producción agrícola y el de pérdida de productividad ganadera. Una menor producción agrícola –debida, por ejemplo, a una sequía u ola de calor– reduce la disponibilidad y calidad de los piensos, heno y forraje, lo que repercute directamente en la

alimentación y salud del ganado y, en consecuencia, en su productividad. A su vez, una pérdida de la productividad ganadera puede repercutir en el mantenimiento de los sistemas agrícolas y forestales, al reducir la fertilización animal de los suelos y disminuir la dispersión, germinación y regeneración de especies pascícolas.



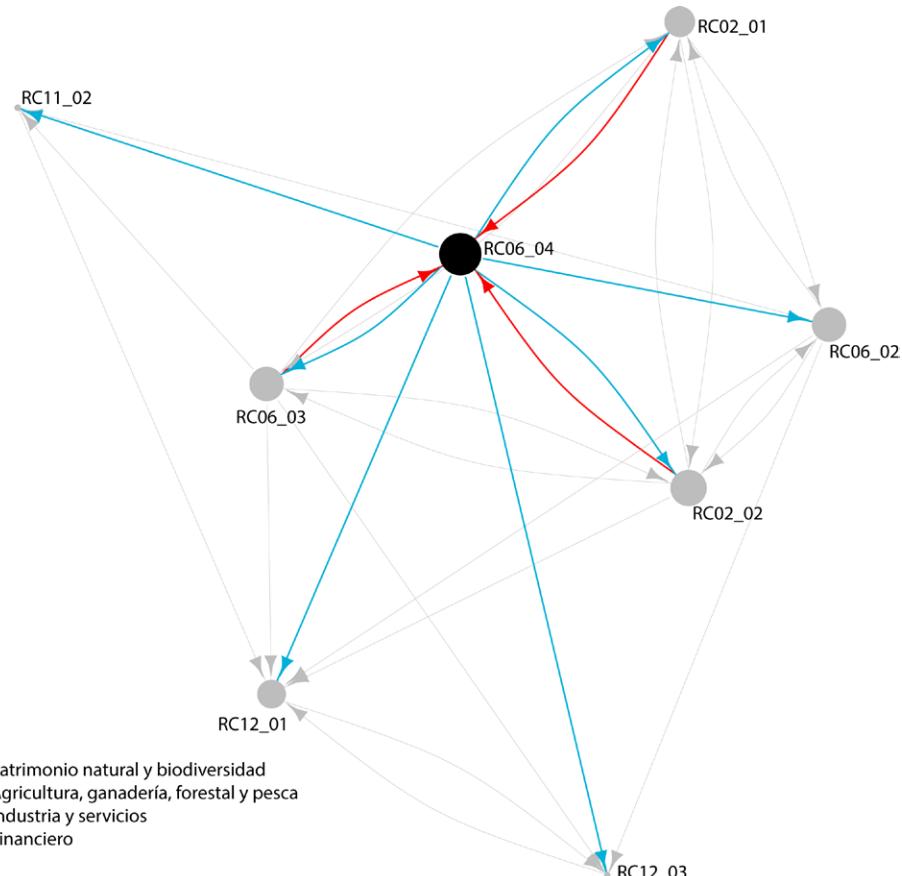
5.16. Fig. RC06_03. Riesgo de disminución de la productividad forestal por cambio en las condiciones climáticas y eventos meteorológicos extremos. En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalía (2025).

También existe una relación bidireccional entre los dos riesgos que afectan a la producción forestal: el cambio en las condiciones climáticas y eventos extremos, y enfermedades y plagas. Por un lado, los ejemplares forestales sometidos a un mayor estrés térmico o hídrico como consecuencia de los cambios en las condiciones climáticas ven reducida su capacidad de resistencia ante plagas y enfermedades. Por otro lado, la expansión de plagas y enfermedades puede llegar a tener un papel relevante en la fragmentación de áreas forestales y simplificación de la biodiversidad, incrementando su vulnerabilidad frente a los peligros climáticos.

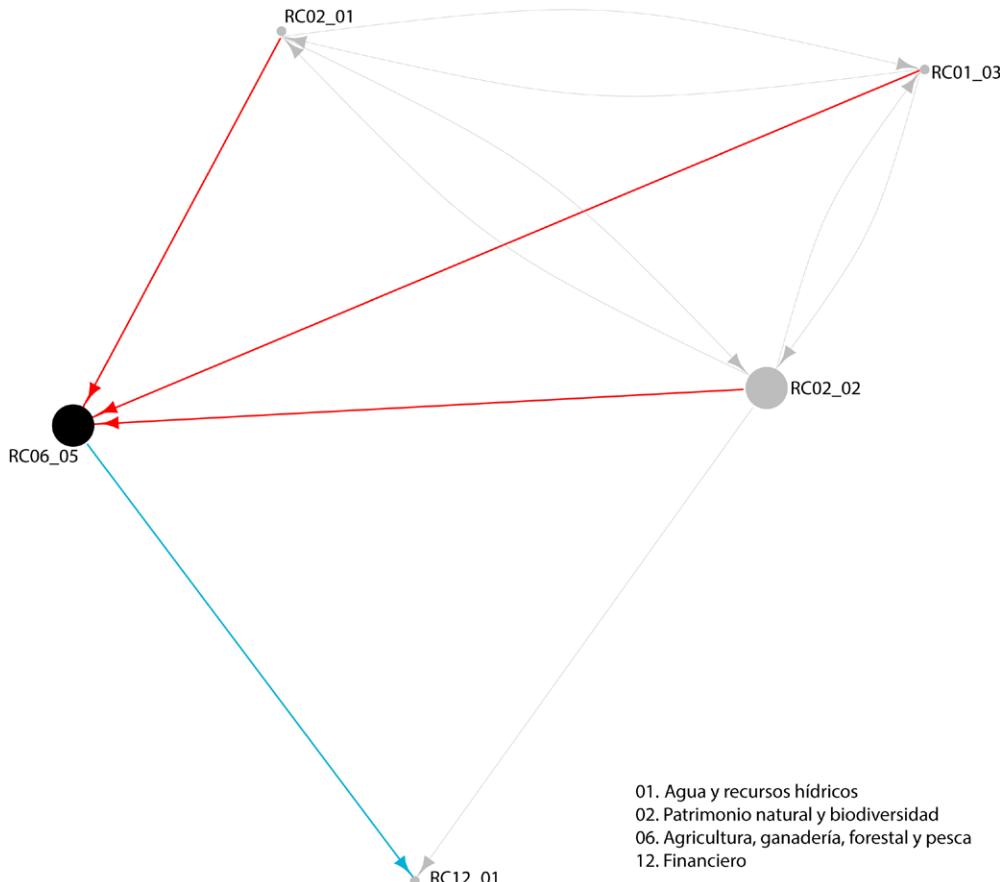
Una menor producción en el sector primario puede agravar los riesgos en el Turismo, Industria y servicios y en el sector Financiero. Muchos de los productos generados

por este sector constituyen materias primas esenciales para industrias como la agroalimentaria, maderera, papelera etc. La reducción de rendimientos y la pérdida de calidad derivadas del cambio climático pueden alterar las cadenas de suministro, generando desabastecimientos y/o incrementos de costes que pueden comprometer la operatividad de los procesos industriales.

El sector primario también contribuye a mantener diversos aspectos paisajísticos, culturales, gastronómicos y recreativos. Por ello, un incremento de los riesgos asociados al cambio climático sobre este sector tiene consecuencias directas sobre el sector turístico del territorio.



5.17. Fig. RC06_04. Riesgo de disminución de la productividad forestal por enfermedades y plagas. En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).



5.18. Fig. RC06_05. Riesgo de disminución de la productividad pesquera por cambios en la distribución de especies o cambios en el stock debido a la modificación de variables oceánicas. En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).

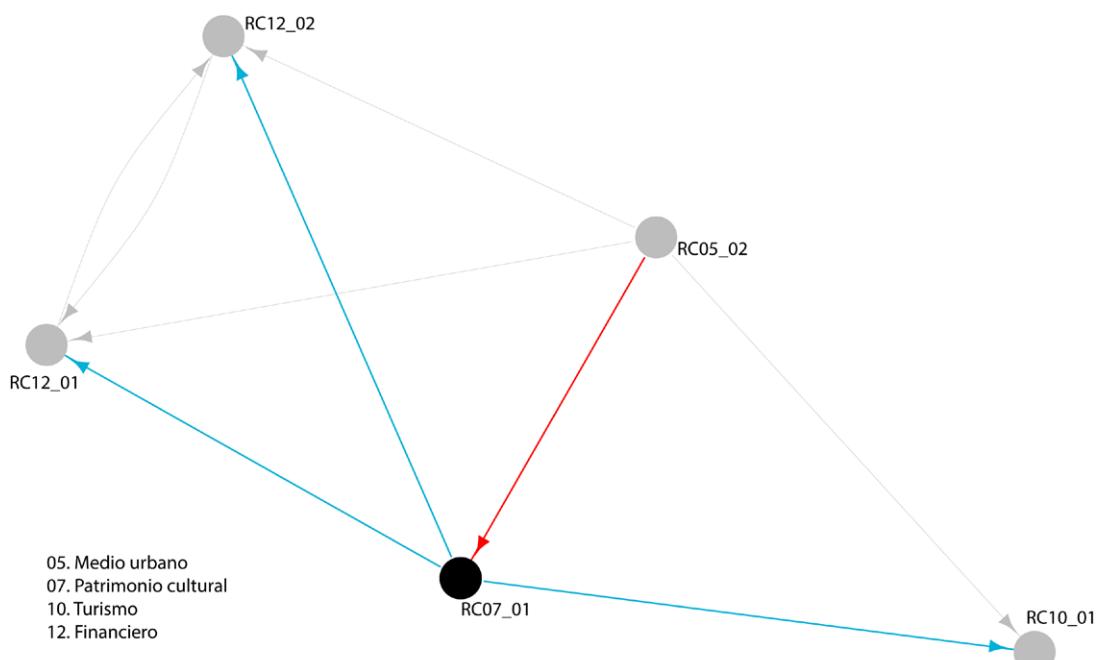
La menor producción en el sector se traduce en pérdidas económicas cada vez más elevadas, que deberán ser asumidas en parte por los sistemas de seguros agrarios, que verán aumentados los costes de compensación. Paralelamente, la exposición a eventos extremos y la pérdida de rentabilidad puede conducir a una pérdida progresiva del valor de los activos agrarios.

En resumen, el sector Agricultura, ganadería, forestal y pesca puede desencadenar riesgos directos en sectores dependientes como el Turismo, Industria y servicios y el sector Financiero. Al mismo tiempo, es un sector vulnerable a los cambios que se puedan producir en el Patrimonio natural y biodiversidad, ya que este sustenta servicios esenciales para mantener su productividad.

5.7. PATRIMONIO CULTURAL

Los impactos de eventos extremos en edificaciones urbanas pueden incrementar el riesgo de daño sobre el patrimonio cultural. Estos fenómenos pueden poner en peligro la estabilidad de edificios con valor histórico y

cultural. Además, el deterioro de las construcciones puede conllevar la pérdida o degradación de bienes materiales sensibles en su interior, como archivos, colecciones documentales, obras de arte, piezas arqueológicas, etc.



5.19. Fig. RC07_01. Riesgo de daños en cascos históricos, edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, pinturas rupestres y frescos, debido a cambios en las precipitaciones, inundaciones fluviales y cambio en el contenido en humedad de los materiales. En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).

El riesgo de daños en cascos históricos, edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, pinturas rupestres y frescos, como consecuencia del cambio climático, está directamente relacionado con distintos sectores económicos. Uno de los más evidentes es el Turismo, ya que muchos de estos elementos constituyen recursos culturales en la oferta turística y de ocio del territorio. Los fenómenos climáticos extremos, así como los cambios en la precipitación y humedad, pueden acelerar el deterioro de estos bienes, afectando tanto a su estructura como a su valor estético, lo que repercute en una posible reducción del número de visitantes.

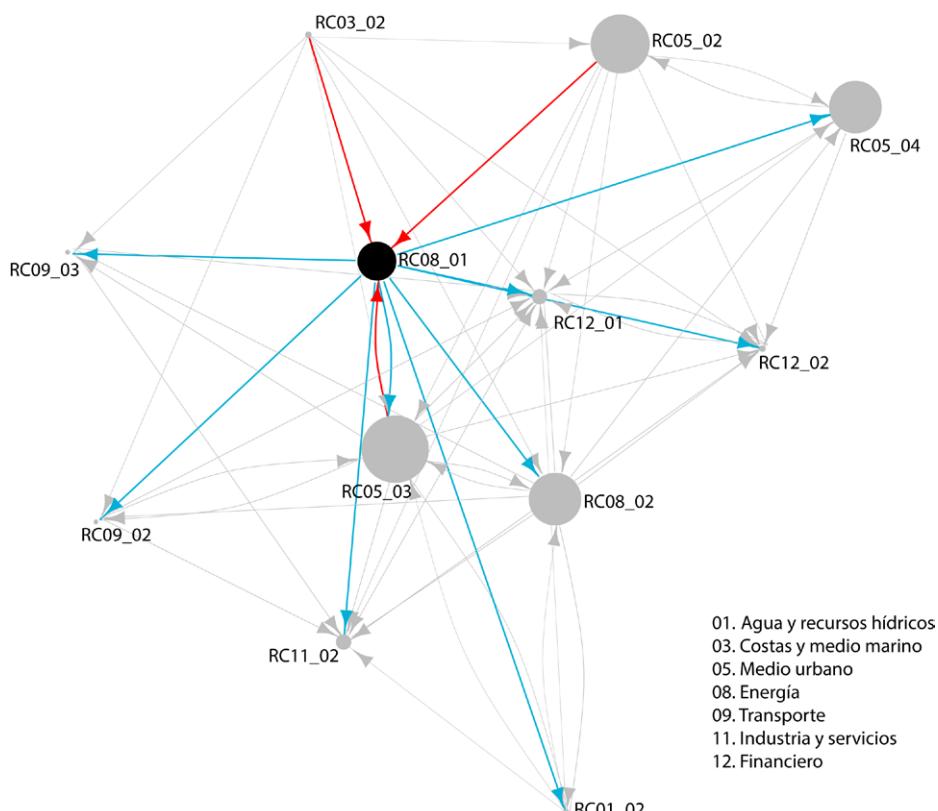
Asimismo, el daño sobre los recursos culturales puede afectar al sector Financiero, tanto por el incremento de las indemnizaciones derivadas de la pérdida de bienes asegurados, como por la disminución de su valor económico como activos.

En conclusión, el riesgo de daño en el Patrimonio cultural puede agravar directamente los riesgos en dos sectores económicos, el Turismo y el sector Financiero. Al mismo tiempo, es un sector vulnerable a los impactos procedentes del Medio urbano, en particular al riesgo de daño en las edificaciones.

5.8. ENERGÍA

Los dos riesgos identificados en el sector energético *Riesgo de daños a la infraestructura energética por el impacto de eventos meteorológicos extremos y Riesgo de reducción de la capacidad de suministro por el impacto de eventos meteorológicos extremos sobre la infraestructura*

energética pueden intensificar directamente los riesgos en sectores dependientes de la energía para su correcto funcionamiento, incluyendo el Medio urbano, el abastecimiento de agua, el Transporte, y la Industria y servicios.



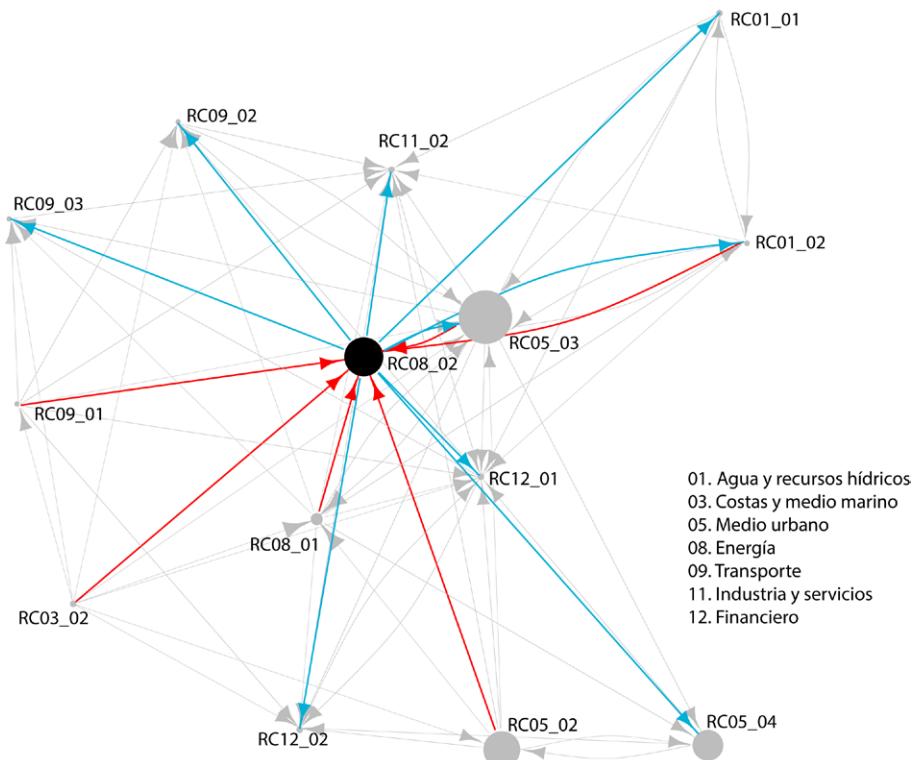
5.20. Fig. RC08_01. Riesgo de daños a la infraestructura energética por el impacto de eventos meteorológicos extremos (temperaturas, tormentas, inundaciones fluviales). En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).

En el Medio urbano la interrupción del suministro energético incrementa de forma directa el riesgo de desabastecimiento de sistemas esenciales, como el agua potable, las telecomunicaciones o el transporte. Esta relación es recíproca, ya que la interrupción de algunos de estos servicios, como las telecomunicaciones, también puede afectar al propio suministro energético.

Además, la falta de suministro eléctrico, especialmente durante episodios extremos como olas de calor –cuando aumenta la demanda energética para el uso de sistemas de refrigeración– impide mantener condiciones térmicas

adecuadas en espacios públicos interiores, incrementando el riesgo de estrés térmico.

La relación energía-agua es bidireccional. Por un lado, el ciclo del agua –desde la captación, potabilización y distribución– requiere suministro energético, por lo que cualquier interrupción pone en riesgo el abastecimiento. Por otro lado, algunas tecnologías de generación eléctrica requieren acceso al agua, de modo que la escasez hídrica o falta de abastecimiento pueden repercutir en la capacidad de generación energética.



5.21. Fig. RC08_02. Riesgo de reducción de la capacidad de suministro por el impacto de eventos meteorológicos extremos sobre la infraestructura energética. En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnilia (2025).

Los impactos en el sector energético pueden repercutir directamente en el Transporte y en la operatividad de la Industria y servicios. La falta de suministro puede interrumpir el funcionamiento de semáforos, sistemas de señalización o servicios ferroviarios, generando riesgos para la circulación. En el caso de industrias y servicios, sistemas de gestión de almacenes, sistemas automatizados, redes digitales, servicios en tiempo real, instalaciones frigoríficas, entre otros, dependen del suministro eléctrico para operar adecuadamente.

Además, también se incrementarían los riesgos para el sector Financiero. El daño en las infraestructuras energéticas puede reducir el valor de los activos y modificar la percepción de solvencia de las empresas gestoras o la valoración de los mercados. Asimismo, los daños ocasionados por la interrupción en el suministro, como daños en equipos, pérdidas de alimentos, paralización de actividades dependientes de la energía, etc., pueden traducirse en un incremento de las reclamaciones a las compañías aseguradoras.

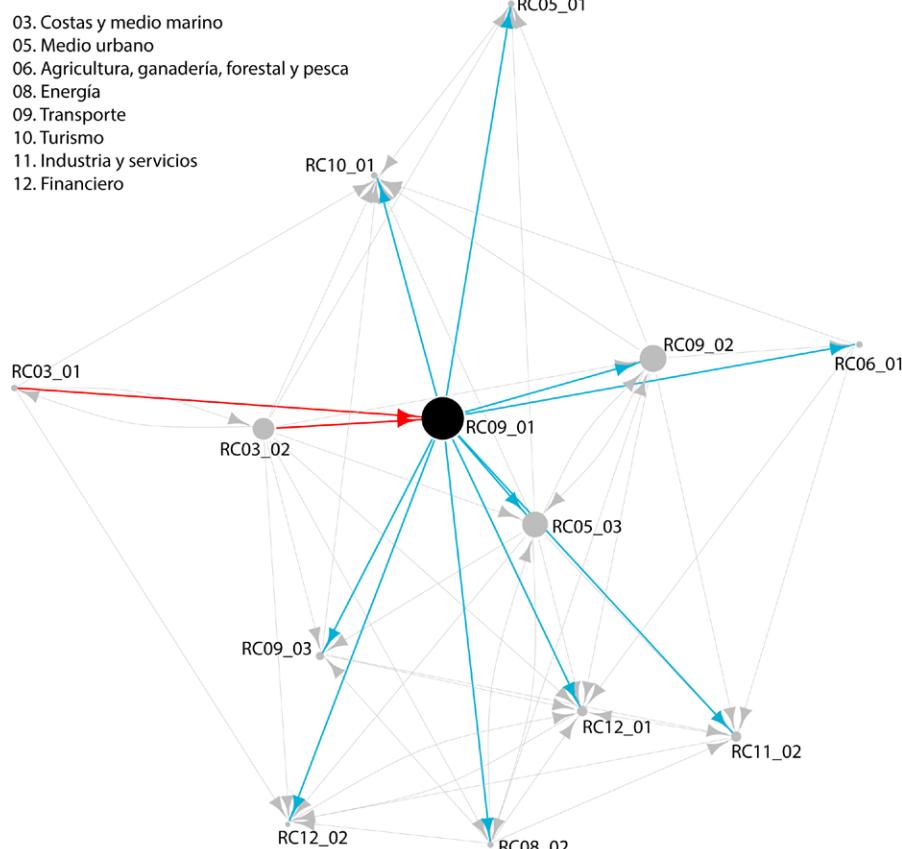
En cuanto a aquellos riesgos que pueden afectar al sector energético, además de los asociados a los recursos hídricos o a sistemas esenciales, el riesgo de inundación costera también es una amenaza para las infraestructuras energéticas situadas en el litoral.

En resumen, los riesgos en el sector energético pueden intensificar los riesgos en el Medio urbano, así como en los sectores de Agua y recursos hídricos, Transporte, Industria y servicios y el sector Financiero. Al mismo tiempo, la energía es un sector vulnerable a los riesgos asociados a muchos de estos sectores (Agua y recursos hídricos, Medio urbano, Transporte), estableciéndose relaciones bidireccionales que amplifican el riesgo. Asimismo, el sector energético es vulnerable a los riesgos asociados a Costas y medio marino.

5.9. TRANSPORTE

Existe una relación directa entre el riesgo de daño a la infraestructura de transporte y la afección a la circulación tanto viaria como ferroviaria. La obstrucción de calzadas, el deterioro de puentes, túneles, u otros elementos críticos supone un riesgo para la seguridad y continuidad de la circulación.

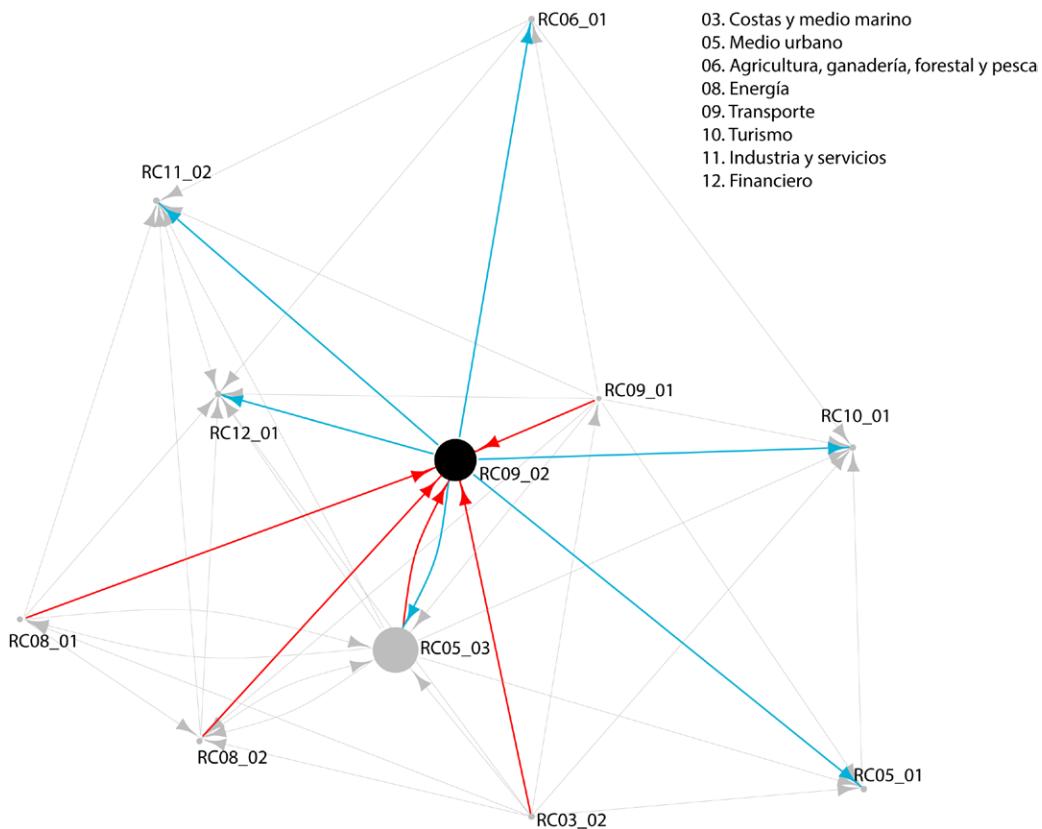
Los impactos en el sector del transporte pueden tener consecuencias directas sobre las personas. Por ejemplo, la presencia de obstáculos en la vía (árboles caídos o balsas de agua) aumentan el riesgo de accidentes. Del mismo modo, estos eventos pueden dar lugar a cortes de carril, de calzada o de una carretera completa, que pueden limitar el acceso a servicios urbanos esenciales, incluyendo los sistemas sanitarios y de emergencia.



5.22. Fig. RC09_01. Riesgo de daño para la infraestructura viaria (taludes, calzadas, firmes de carretera y puentes) debido a eventos meteorológicos extremos (inundaciones fluviales, pluviales y costeras, vientos extremos, deslizamientos). En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).

La red de transporte es un componente clave para el funcionamiento de la cadena de suministro. Cualquier interrupción o afección en su operatividad puede limitar o retrasar la llegada de materias primas y componentes

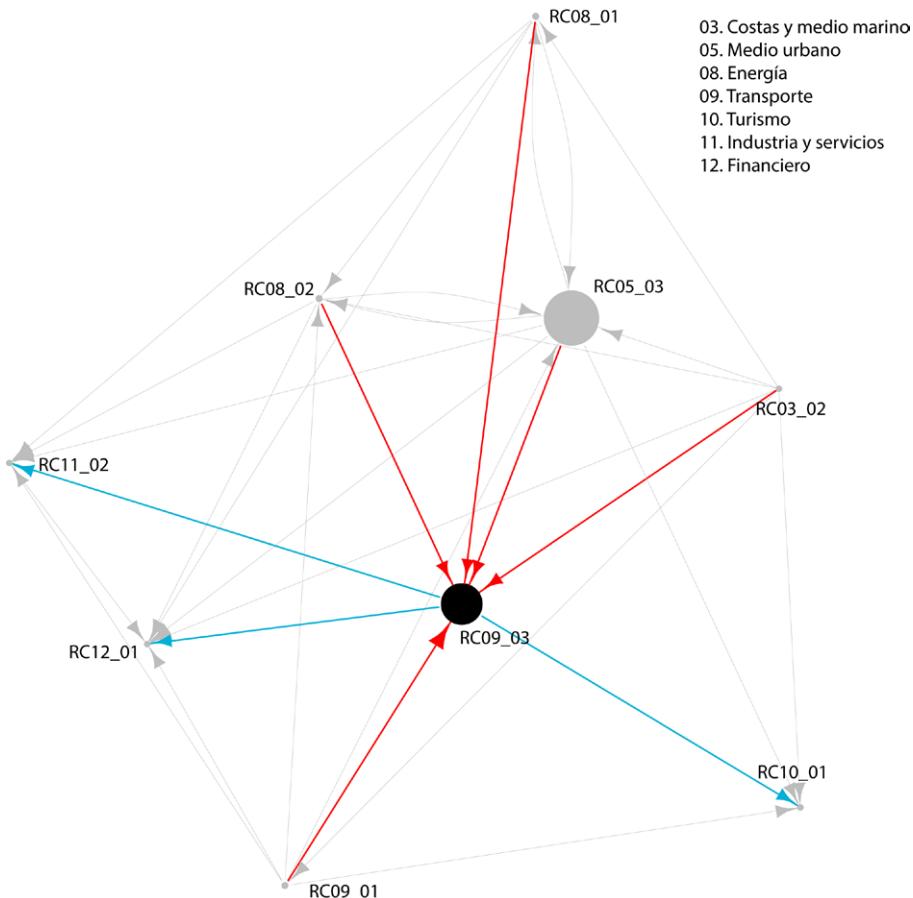
clave, así como la distribución de productos terminados. Estas disruptiones afectan especialmente a sectores como la industria y el sector primario, comprometiendo la continuidad operativa y reduciendo su productividad.



5.23. Fig. RC09_02. Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos (temperaturas extremas, inundaciones fluviales, pluviales y costeras, vientos extremos, deslizamientos). En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).

Los daños o interrupciones en la red de transporte pueden agravar los riesgos para el sector Turismo. Las dificultades de acceso a destinos, la cancelación de rutas o la reducción de frecuencia en los servicios de transporte puede limitar la llegada de visitantes y deteriorar la imagen como destino turístico.

Estos impactos también repercuten en el sector financiero. El daño recurrente y el aumento de los costes de reparación y mantenimiento pueden reducir el valor de los activos físicos. Además, pueden incrementarse los costes de compensación de bienes asegurados.



5.24. Fig. RC09_03. Riesgo de interrupción del transporte ferroviario debido a eventos extremos (temperaturas extremas, inundaciones fluviales, pluviales y costeras, vientos extremos, deslizamientos). En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).

El sector transporte puede ver incrementados sus riesgos por el desabastecimiento de servicios esenciales –como el suministro eléctrico o las telecomunicaciones–, así como las afecciones en el sector energético. Los cortes de suministro eléctrico, por ejemplo, pueden afectar al funcionamiento de semáforos o señales, o incluso paralizar el sistema ferroviario.

Por otro lado, en los tramos de la red de transporte situados en el litoral, la inundación costera representa una

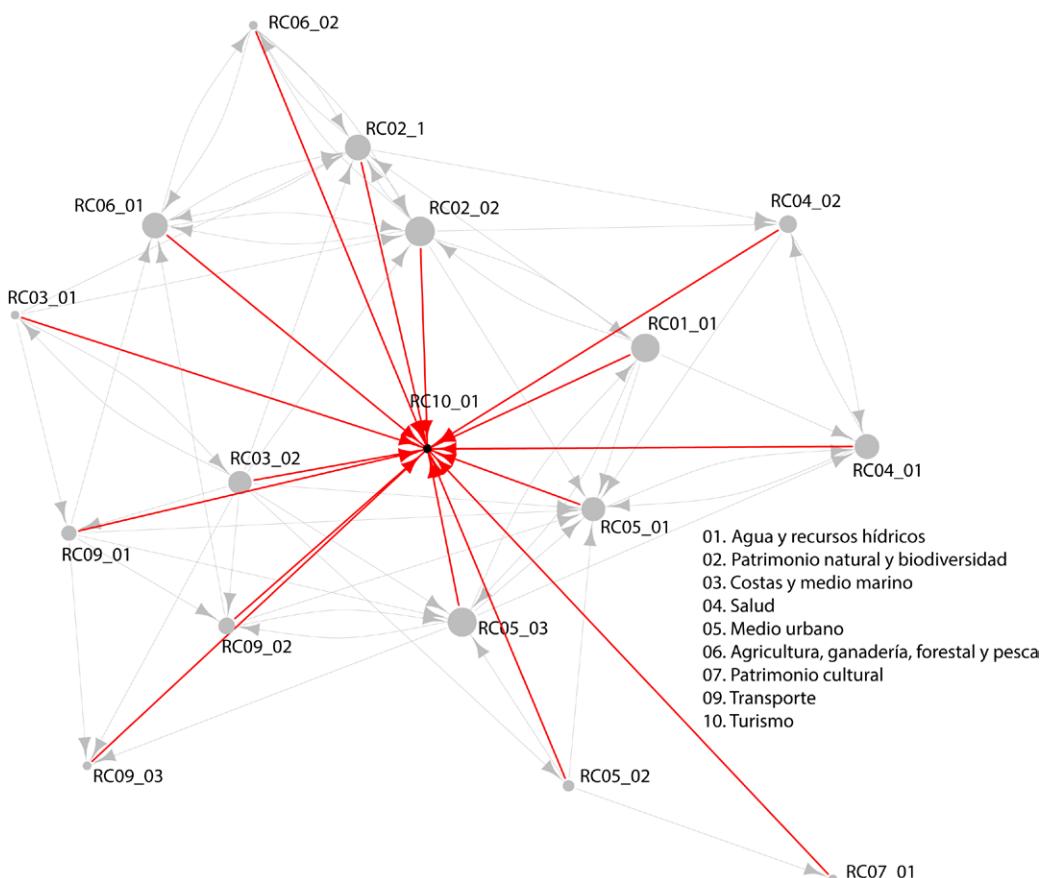
amenaza directa para la integridad de las infraestructuras viarias y ferroviarias, provocando tanto daños físicos como interrupciones en la circulación.

Por tanto, los riesgos en el sector Transporte pueden agravar los riesgos para el Medio urbano, Agricultura, ganadería, forestal y pesca, Energía, Turismo, Industria y servicios y el sector Financiero. A su vez, es un sector vulnerable a los riesgos en Costas y medio marino, el Medio urbano, y la Energía.

5.10. TURISMO

Prácticamente cualquier riesgo que afecte a los recursos turísticos –patrimonio natural y biodiversidad, playas, patrimonio cultural, sector primario–, así como a los servicios esenciales que sustentan la actividad turística –incluyendo agua, energía y transporte– puede

intensificar los riesgos en el sector turístico. Por ello, es un sector altamente vulnerable a los riesgos en prácticamente todos los sectores. Sin embargo, no se han identificado riesgos que puedan intensificarse por los impactos en el sector turismo, se trata de un sector receptor de riesgos.



5.25. Fig. RC10_01. Riesgo de pérdida de atractivo turístico debido a la desaparición o degradación de recursos naturales y culturales. En rojo se indican las relaciones de entrada. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).

El atractivo turístico de un destino está definido por sus recursos turísticos, incluyendo su riqueza natural y paisajística, patrimonio arquitectónico y cultural, el entorno urbano, playas, gastronomía, etc. Cualquier amenaza climática que deteriore, degrade o limite el acceso a estos elementos puede tener efectos directos sobre su capacidad de atracción y en su competitividad como destino turístico.

Además de los recursos turísticos en sí, los destinos turísticos dependen de un conjunto de infraestructuras y servicios básicos que facilitan la llegada, movilidad y estancia de los turistas. El transporte (carreteras, ferrocarril), el suministro eléctrico, el abastecimiento de agua, etc., son elementos clave para garantizar estancias de calidad. Cualquier interrupción en estos servicios –por ejemplo, una tormenta que afecte al suministro eléctrico y al sistema ferroviario– puede afectar a la calidad como destino turístico, reduciendo la demanda.

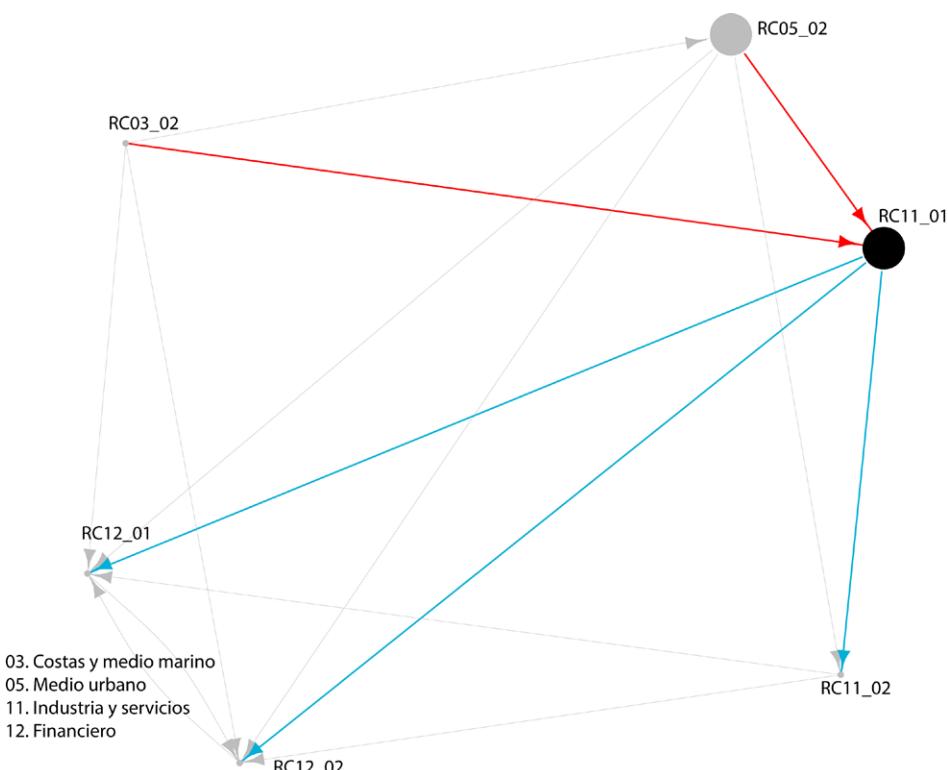
En resumen, el Turismo es un sector especialmente vulnerable a los riesgos en el resto de sectores, incluyendo el Agua y recursos hídricos, Patrimonio natural y

biodiversidad, Costas y medio marino, Salud, Medio urbano, Agricultura, ganadería, forestal y pesca, Patrimonio cultural y Transporte.

5.11. INDUSTRIA Y SERVICIOS

El sector Industria y servicios puede ver directamente incrementados sus riesgos por cualquier impacto que afecte a su infraestructura o su capacidad operativa, como son la escasez de suministros o las afecciones en la cadena logística y productiva. Por ejemplo, la inundación costera por aumento del nivel del mar incrementa

el riesgo de daño en instalaciones expuestas en el litoral, como almacenes o plantas industriales. Del mismo modo, los eventos meteorológicos extremos pueden dañar edificaciones y equipamientos en el medio urbano, incrementando también el riesgo de alteraciones en la actividad industrial y en la prestación de servicios.

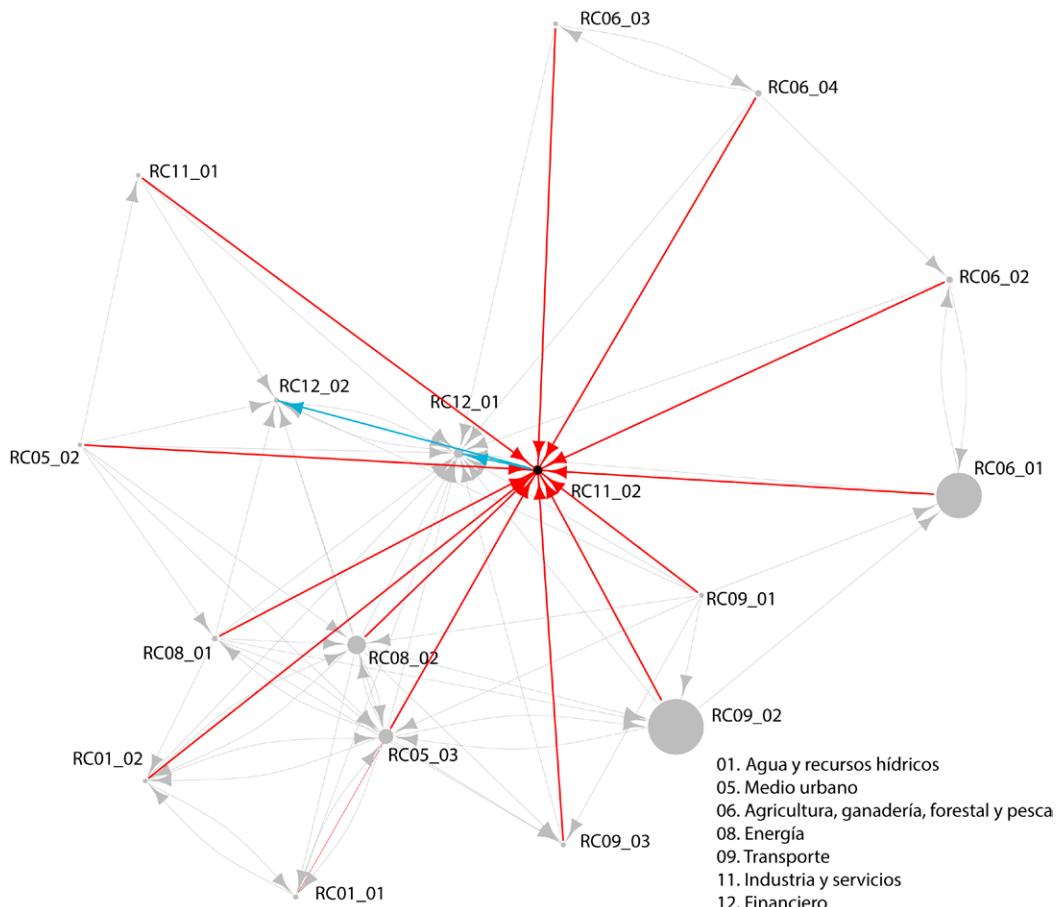


5.26. Fig. RC11_01. Riesgo de daño en la infraestructura industrial y de servicios por el impacto físico de cambios (subida del nivel del mar) o eventos extremos (inundaciones, embates de mar) en los edificios/instalaciones. En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).

Los impactos del cambio climático en la cadena de valor de los productos incrementan los riesgos para la producción industrial. Alteraciones en la producción agrícola, ganadera o forestal pueden reducir la disponibilidad y calidad de materias primas en sectores fuertemente dependientes, como la industria de alimentación y bebidas, la fabricación de muebles o industria del papel, entre otros.

Asimismo, las cadenas de suministro son vulnerables a los daños en la infraestructura y logística de transporte. Afecciones en la red viaria o ferroviaria pueden retrasar o interrumpir la entrega de materias primas y productos terminados, generando retrasos y comprometiendo la continuidad de las operaciones.

Además, los impactos que limitan el suministro energético o el acceso al agua pueden tener efectos directos sobre la operatividad industrial. Un corte eléctrico puede paralizar líneas de producción, afectar procesos automatizados, ocasionar pérdidas de datos, provocar fallos en sistemas informáticos, romper cadenas de frío o interrumpir el funcionamiento de sistemas de ventilación y climatización. Del mismo modo, las restricciones en el abastecimiento de agua urbana e industrial pueden comprometer procesos que dependen directamente de este recurso, como la producción, el enfriamiento de equipos, la limpieza o la generación de energía.



5.27. Fig. RC11_02. Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por reducción de materias primas y recursos esenciales. En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalía (2025).



Cualquier afección en la producción industrial o en la prestación de servicios tendrá repercusiones directas en el sistema financiero. Los daños en la productividad, junto con la pérdida de valor de instalaciones, maquinaria y equipos industriales, reducen el valor económico de los activos en el balance de las organizaciones. Asimismo, una mayor frecuencia de daños o pérdidas por interrupciones en la operatividad pueden elevar los expedientes de reclamación y los costes de indemnización asumidos por las aseguradoras.

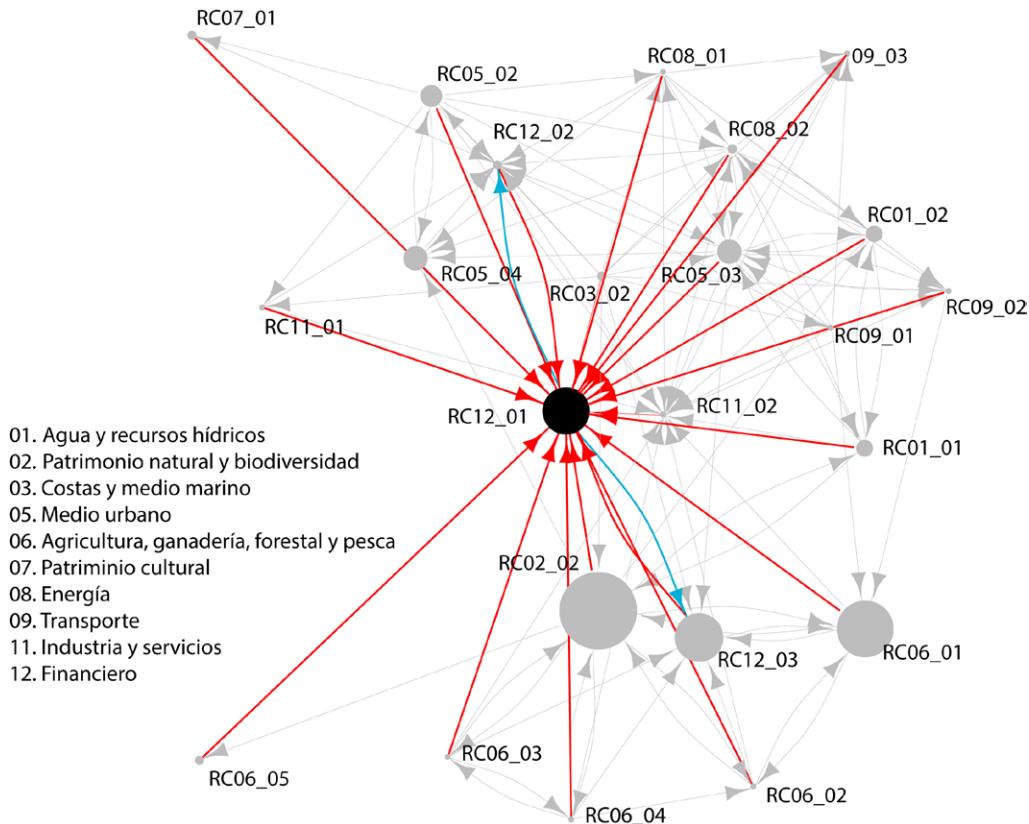
Con todo ello, se puede concluir que el sector Industria y servicios es vulnerable a los riesgos que afecten a sus infraestructuras y cadenas logísticas, en particular aquellos procedentes de Costas y medio marino, Medio urbano, Agua y recursos hídricos, Agricultura, ganadería, forestal y pesca, Energía y Transporte. Al mismo tiempo, los riesgos en este sector pueden intensificar los riesgos en el sector Financiero.

5.12. SECTOR FINANCIERO

El sector Financiero se relaciona con prácticamente todos los sectores económicos, al facilitar la asignación de capital y recursos a través de la financiación, inversión y los sistemas de aseguramiento. En consecuencia, cualquier impacto en los principales sectores económicos puede intensificar los riesgos en este sector.

Eventos climáticos extremos o la inundación debido a la subida del nivel del mar pueden causar daños, reducir la vida útil o incluso destruir edificaciones urbanas, infraestructuras críticas o instalaciones industriales. A ello

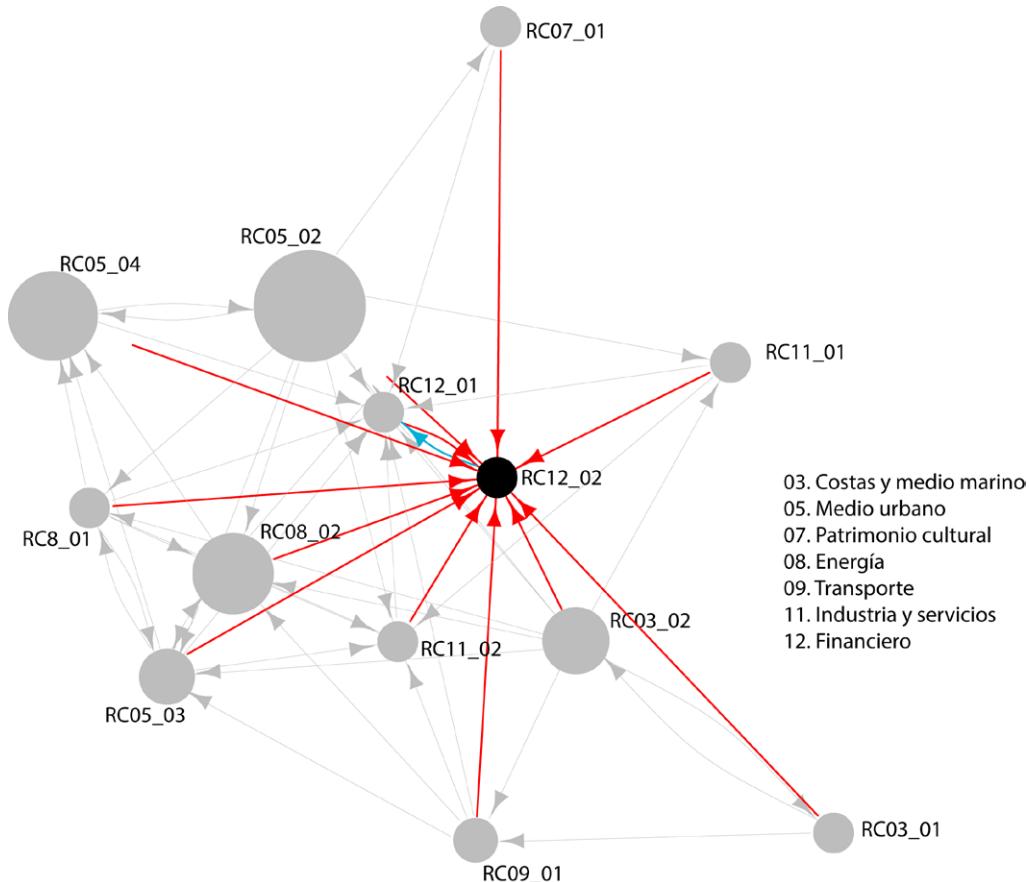
se suma el riesgo de pérdida de productividad industrial por afecciones en la cadena de suministro, o la paralización de servicios esenciales como energía (por daño en la infraestructura energética o pérdida de suministro) o transporte (por destrucción de infraestructuras). Estos impactos pueden generar pérdidas económicas directas, reducir el valor de activos y limitar la capacidad de las organizaciones para cumplir con las obligaciones financieras. En consecuencia, para el sector financiero, puede incrementarse el riesgo de pérdida de valor de las garantías que respaldan los préstamos.



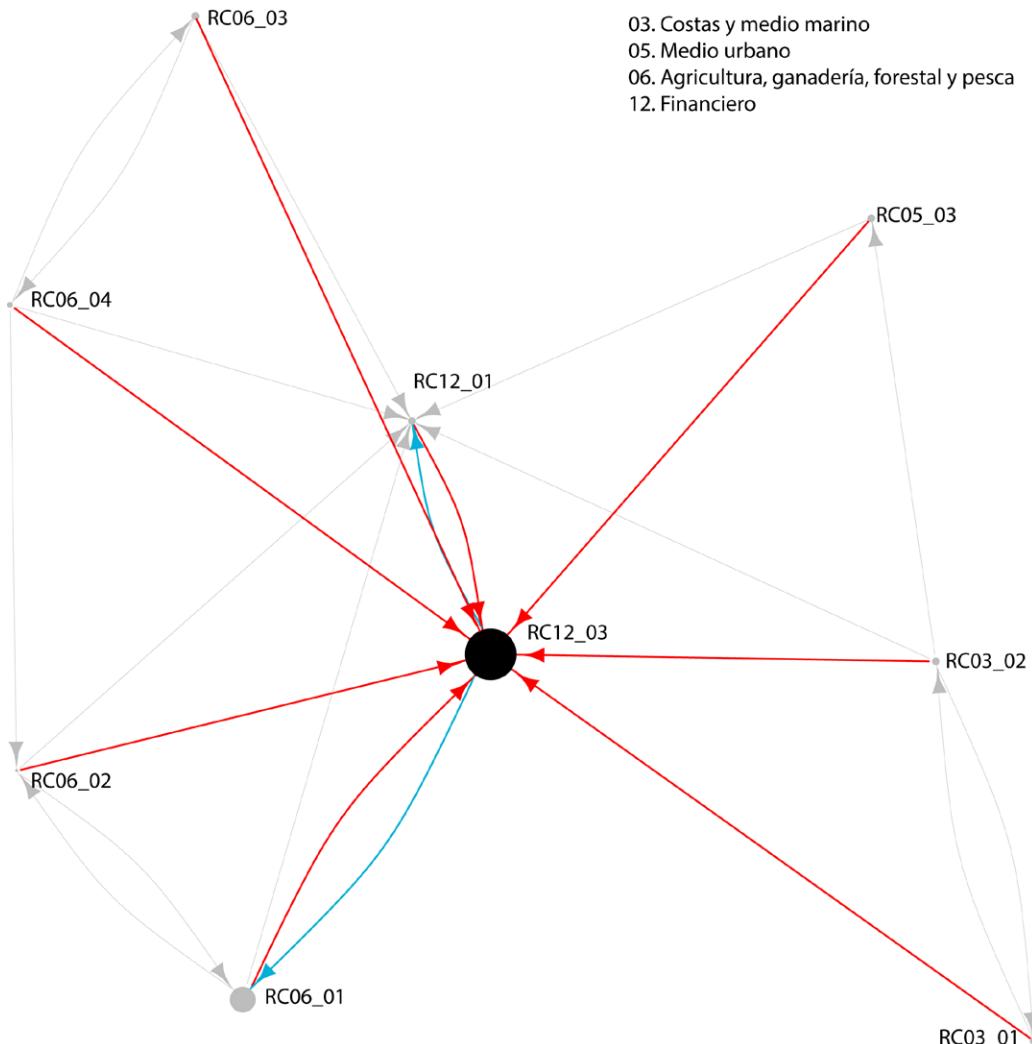
5.28. Fig. RC12_01. Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático. En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).

El aumento en la frecuencia e intensidad de los daños sobre edificaciones, patrimonio cultural, infraestructuras esenciales o instalaciones industriales, junto con las pérdidas económicas derivadas del desabastecimiento de servicios básicos o la interrupción de la actividad industrial, se traduce en un mayor número y severidad de siniestros. Esto podría implicar un incremento de las compensaciones e indemnizaciones por parte de las aseguradoras. De forma paralela, la disminución de la producción agrícola, ganadera, forestal o pesquera puede resultar en un aumento de las reclamaciones.

El sector Financiero, además de verse afectado por los riesgos en otros sectores, puede desencadenar y amplificar los riesgos en su propio sector a través de relaciones bidireccionales. Un aumento de las indemnizaciones por pérdidas aseguradas puede derivar en un incremento de las primas o restricción de las coberturas, dificultando el acceso al seguro o excluyendo a los elementos más expuestos. La falta de cobertura adecuada limita la capacidad de recuperación tras un evento extremo, ya que dificulta afrontar los costes de reconstrucción o restablecimiento. Esto, a su vez, provoca una pérdida de valor de los activos, lo que eleva la percepción del riesgo y puede volver a encarecer o restringir más las coberturas de los seguros.



5.29. Fig. RC12_02. Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas de bienes (públicos y/o privados) como infraestructuras, inmuebles, etc. En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).



5.30. Fig. RC12_03. Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola. En rojo se indican las relaciones de entrada y en azul de salida. El tamaño de los puntos hace referencia a la centralidad de intermediación. Fuente: Tecnalia (2025).

En conclusión, el sector Financiero es un sector muy vulnerable a los riesgos que afectan a sectores clave como Agua y recursos hídricos, Costas y medio marino, Medio urbano, Agricultura, ganadería, forestal y pesca,

Patrimonio cultura, Energía, Transporte e Industria y servicios. Además, los riesgos en este sector pueden amplificar e intensificar los riesgos inherentes al propio sector.



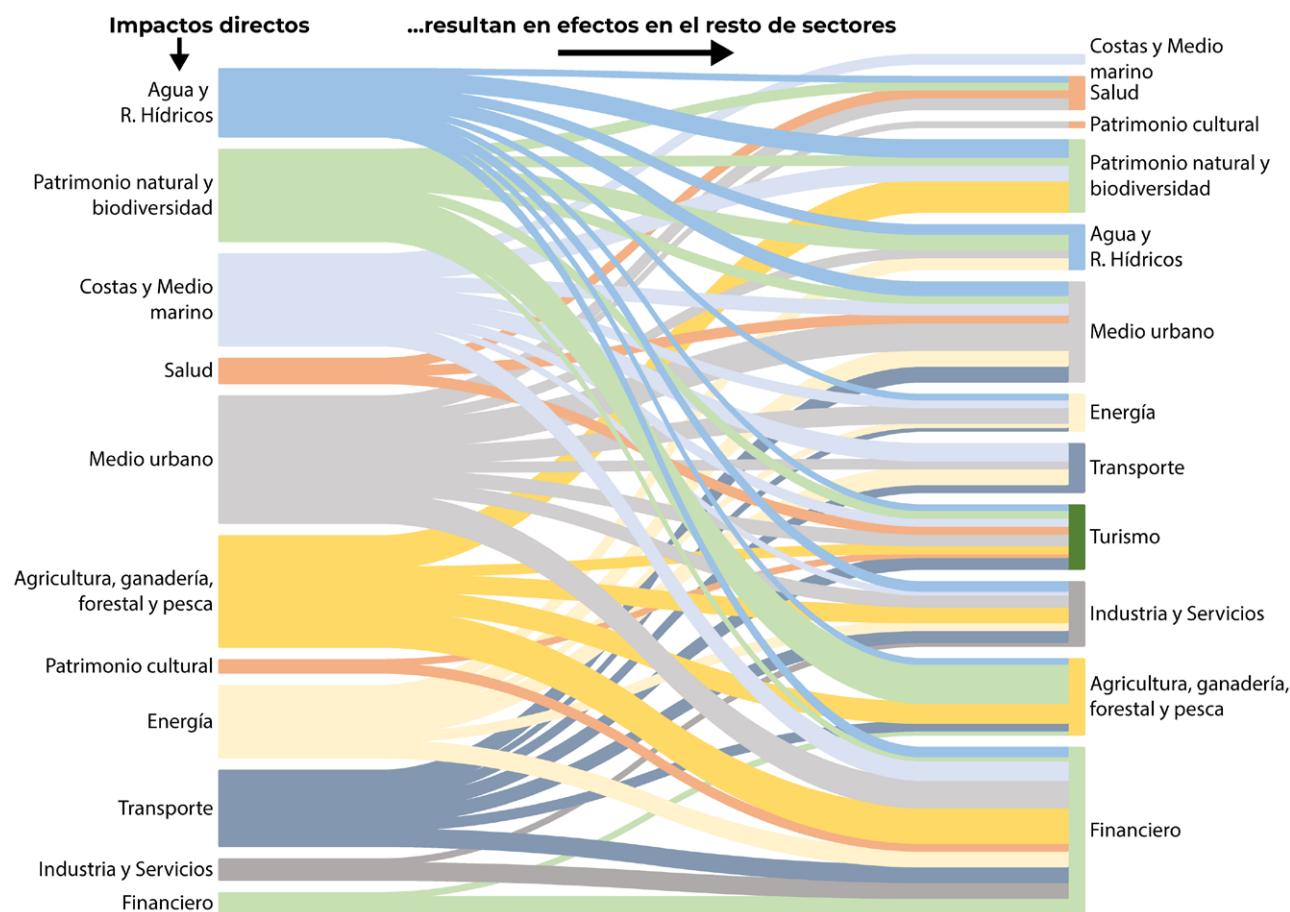
6. CONCLUSIONES

La complejidad de los riesgos climáticos se refleja en las múltiples interconexiones que vinculan los ámbitos natural, social y económico. Cada sector presenta riesgos específicos derivados del cambio climático, pero las interdependencias existentes generan dinámicas de transmisión que pueden desencadenar, modificar o agravar, a su vez, riesgos en otros sectores.

Por ello, si bien es esencial comprender cómo los riesgos climáticos afectan de manera individual a cada sector, cada vez es más crítico incorporar en los análisis de riesgo la dimensión de estas interdependencias. Comprender estas interconexiones es clave para desarrollar

estrategias de adaptación eficaces, que aborden las consecuencias complejas y de gran alcance ante un clima cambiante.

El objetivo de este Informe es analizar las interdependencias de los riesgos clave que afectan a los principales sectores de Gipuzkoa, mostrando la estrecha vinculación existente entre ellos y evidenciando cómo los impactos originados en un sector pueden propagarse y amplificar estos efectos en otros. En concreto, se han analizado las relaciones entre 30 riesgos clave asociados a 12 sectores relevantes del territorio (Fig. 6.1).



6.1. Fig. Las relaciones con otros sectores de los riesgos dentro de un sector. El grosor de la línea es proporcional al número de riesgos relacionados.
Fuente: elaboración propia.

El análisis se ha desarrollado a partir de la identificación inicial de relaciones entre riesgos sectoriales realizada por un grupo de trabajo experto y multidisciplinar compuesto por una representación de agentes territoriales de cada ámbito. Partiendo de esta base, estas interdependencias se han evaluado mediante un modelo de riesgos complejos basado en la teoría de grafos. Este enfoque integra el conocimiento experto con herramientas de la teoría de grafos para representar y comprender la red de interacciones entre riesgos, analizar cómo se organizan y propagan a través de los sectores interconectados, e identificar aquellos riesgos que resultan más críticos para el conjunto del territorio.

En este marco, las medidas de centralidad del grafo resultan fundamentales para evaluar la relevancia de cada riesgo dentro del sistema. En el modelo de riesgos complejos se han considerado cuatro métricas principales: grado de salida, grado de entrada, cercanía e intermediación. Estas métricas permiten identificar los riesgos con mayor capacidad de influir sobre otros, los más expuestos a otros riesgos, los que pueden propagarse más rápidamente y aquellos que actúan como puntos de conexión entre los distintos riesgos, respectivamente. En conjunto, facilitan la identificación de qué riesgos son los más críticos para la resiliencia territorial.

El grafo que representa las relaciones entre los riesgos clave muestra una alta interdependencia entre los distintos riesgos, evidenciando que todos ellos se ven afectados, en mayor o menor medida, por múltiples vías directas e indirectas por los riesgos que se originan en otros sectores. Las principales conclusiones del modelo son:

- Los riesgos de los sectores 'Costas y medio marino', 'Agua y recursos hídricos', y 'Medio urbano' destacan por su elevada capacidad de desencadenar de forma directa otros riesgos (mayor grado de salida).

- Todos los sectores se ven afectados por los riesgos que se originan en otros sectores, siendo especialmente vulnerables los sectores 'Financiero', 'Turismo', 'Medio urbano' e 'Industria y servicios', ya que se ven más afectados de forma directa por riesgos asociados a otros sectores (mayor grado de entrada).
- Los riesgos de los sectores 'Salud' y 'Medio urbano' son los que más rápidamente pueden verse afectados por el resto de los riesgos (mayor cercanía).
- Los riesgos de los sectores 'Patrimonio natural y biodiversidad', 'Agricultura, ganadería, forestal y pesca' y 'Financiero' son puntos críticos en la propagación de efectos a otros riesgos (mayor intermediación).

La evaluación conjunta de todas las métricas de centralidad permite la identificación de los riesgos más críticos en el Territorio (Tabla 6.2). Este enfoque, que considera simultáneamente las diferentes medidas de centralidad, permite obtener una visión global de la importancia de cada riesgo. Metodologías similares se han aplicado en otros ámbitos como estrategia para identificar los nodos más influyentes dentro de sistemas complejos (del Río et al. 2009; Jordán et al., 2003).

Tres riesgos destacan por presentar elevados valores de centralidad: RC02_02: *Riesgo de pérdida de servicios ecosistémicos debido a cambios en las variables climáticas*, RC05_03: *Riesgo de daño y desabastecimiento de los sistemas urbanos esenciales (agua, saneamiento, energía, telecomunicaciones) por aumento de la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos (inundación fluvial, deslizamientos)* y RC01_01: *Riesgo para la demanda urbana por la reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficiente*.

POSICIÓN	GRADO ENTRADA	GRADO SALIDA	CERCANÍA	INTERMEDIACIÓN
1	RC12_01	RC03_02	RC04_01	RC02_02
2	RC10_01	RC02_02	RC04_02	RC06_01
3	RC11_02	RC05_03	RC05_01	RC12_03
4	RC12_02	RC05_02	RC03_02	RC12_01
5	RC05_01	RC09_01	RC02_02	RC05_03
6	RC02_02	RC01_01	RC05_03	RC05_04
7	RC02_01	RC02_01	RC01_01	RC01_01
8	RC05_03	RC08_02	RC08_02	RC02_01
9	RC12_03	RC08_01	RC03_01	RC05_02

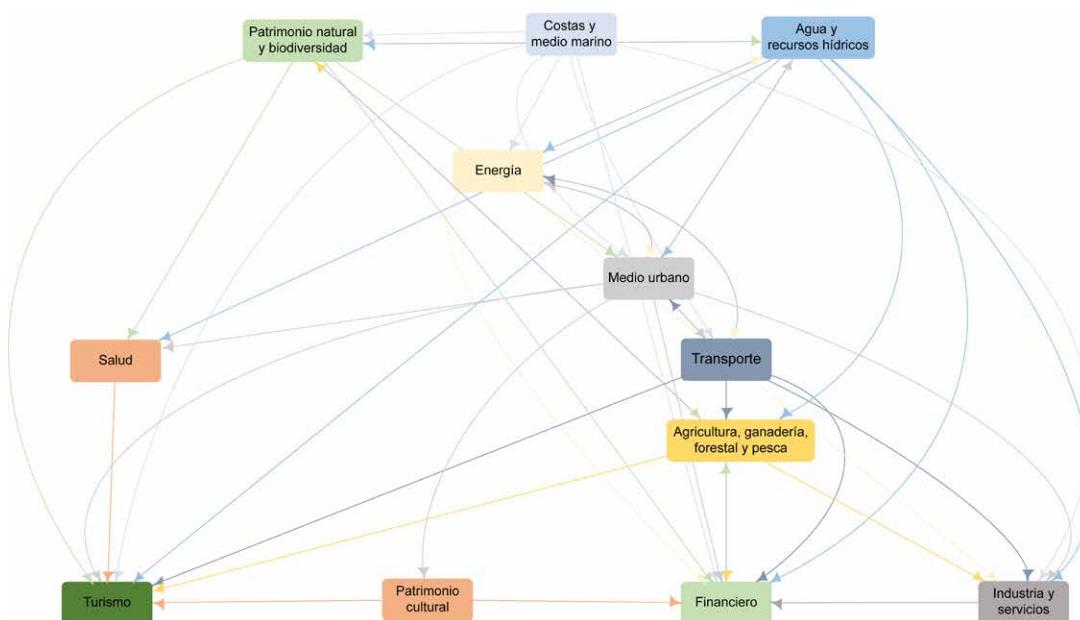
6.1. Tabla. Clasificación de los nueve primeros riesgos según las métricas de centralidad. Los colores indican al sector al que pertenece cada uno de ellos.

El riesgo de pérdida de servicios ecosistémicos destaca entre el resto de riesgos por ser el único que presenta valores elevados (entre los seis primeros) en las cuatro métricas analizadas. Se trata por tanto de un riesgo central, esto es, un punto crítico en la propagación del riesgo, pero que a su vez es altamente vulnerable a aquellos riesgos provenientes de otros sectores.

El riesgo de daño y desabastecimiento de los sistemas urbanos esenciales y el riesgo para la demanda urbana presentan valores elevados para tres de las métricas –grado de salida, cercanía e intermediación–, aunque no así en el caso del grado de entrada. Estas tres métricas en su conjunto indican que estos riesgos son

capaces de modificar o intensificar un gran número de riesgos y que a su vez son importantes nodos de conexión y propagación hacia el resto de los riesgos. Por tanto, juegan también un papel central en la propagación de los riesgos entre los distintos sectores.

Los tres riesgos críticos corresponden a los sectores de (2) Patrimonio natural y biodiversidad, (5) Medio urbano y (1) Agua y recursos hídricos. Los tres proporcionan elementos, materias primas y servicios esenciales para el medio natural, la salud de las personas y los sectores económicos, siendo por ello capaces de desencadenar y propagar riesgos entre los distintos sectores.



6.2. Fig. Diagrama que muestra las relaciones entre sectores. Fuente: elaboración propia.

Al analizar los riesgos agrupados por sectores, se observa que los riesgos de los sectores Agua y recursos hídricos, Costas y medio marino, Patrimonio natural y biodiversidad y los vinculados a servicios esenciales en el Medio urbano son los que presentan un mayor número de conexiones con otros riesgos y sectores. Estos riesgos actúan principalmente como riesgos primarios capaces de afectar a otros sectores, y ejercen una influencia transversal que afecta tanto al medio natural y la salud de las personas como a los sectores económicos.

En el caso del sector Salud, los riesgos muestran una estrecha relación con los asociados al Agua y recursos hídricos, Patrimonio natural y biodiversidad, así como con aquellos vinculados a las condiciones de confort térmico y a los peligros para las personas en el Medio urbano. En su mayoría son factores que inciden en los determinantes de la salud humana, pudiendo intensificar tanto la exposición a amenazas ambientales como la vulnerabilidad de la población.

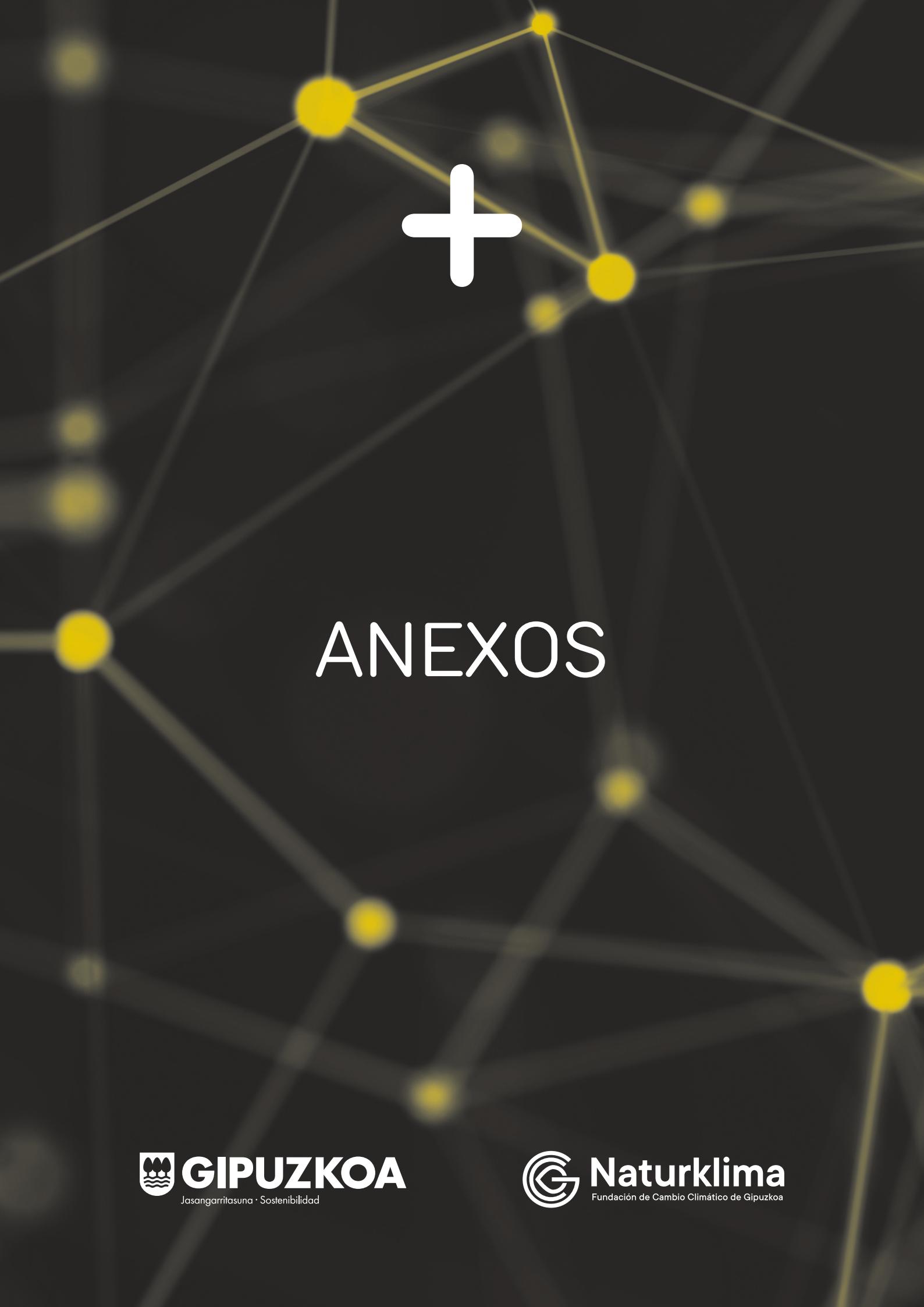
Por su parte, los riesgos del sector Agricultura, ganadería, forestal y pesca se ven principalmente afectados por los asociados al Patrimonio natural y biodiversidad, dado que la productividad del sector depende en gran medida de la provisión de servicios ecosistémicos. A su vez, los riesgos en este sector afectan principalmente a la Industria y servicios, al ser una fuente de materias primas para estos sectores. Asimismo, puede intensificar el riesgo de aumento de compensaciones del seguro agrario al incrementarse el riesgo de daños y pérdidas en las producciones asociadas a eventos climáticos extremos.

Por último, los riesgos vinculados a los sectores económicos –Energía, Transporte, Turismo, Industria y servicios y sector Financiero–, tienden a amplificar los riesgos que afectan al resto de sectores económicos. Los riesgos en estos sectores económicos están estrechamente relacionados entre sí.

/G

Informe de Impacto
y Vulnerabilidad al
Cambio Climático
en Gipuzkoa





ANEXOS

ANEXO I

INDICADORES DE SEGUIMIENTO DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN GIPUZKOA

ANEXO I

INDICADORES DE SEGUIMIENTO DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN GIPUZKOA

Con el objetivo de diseñar un cuadro de mando para la monitorización, seguimiento y evaluación de la situación y evolución de los efectos del cambio climático en Gipuzkoa, así como el efecto de las medidas de adaptación implementadas, se ha definido un sistema de indicadores. Esta batería de indicadores, estructurados en torno a sistemas naturales y socioeconómicos (recursos hídricos, agroforestal, energía, infraestructuras y ordenación del territorio y salud¹), facilitarán la toma de decisiones, todo ello encaminado a mejorar e incrementar la resiliencia del territorio frente al cambio climático.

El objetivo de estos indicadores es:

- Identificar, cuantificar y monitorizar los principales riesgos derivados del cambio climático en los distintos sistemas naturales y socioeconómicos del territorio.
- Favorecer la identificación y adopción de acciones y políticas de adaptación para reducir los impactos del cambio climático.
- Sensibilizar a los principales agentes para lograr su implicación activa en la adaptación al cambio climático, principalmente a través de la difusión de información.

Los indicadores se clasifican, según la información que aportan, en indicadores de Adaptación (A), Exposición (E), Impacto (I), Peligro (P) y Vulnerabilidad (V).

¹Los indicadores de seguimiento del sistema y evolución del sistema marino costero se presentan en los informes Focus.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
VARIABLES CLIMÁTICAS															
Temperatura media anual	P	12,7	14,0	13,1	13,1	14,1	13,7	13,6	13,5	13,5	13,3	13,9	13,2	14,5	14,3
Media de temperaturas mínimas diarias	P	8,7	9,9	8,9	9,1	10,0	9,6	9,5	9,3	9,6	9,1	9,9	9,4	10,2	10,2
Media de temperaturas máximas diarias	P	17,6	18,8	18,2	17,5	19,0	18,7	18,5	18,6	18,0	18,7	19,0	17,7	19,6	19,3
Mínimo de las temperaturas mínimas diarias	P	-4,8	-3,0	-5,2	-2,6	-3,1	-3,8	-1,7	-4,7	-5,7	-2,8	-1,1	-3,1	-2,6	-2,6
Máximo de las temperaturas máximas diarias	P	36,1	38,4	39,6	37,6	35,6	37,4	38,2	37,0	34,9	38,9	38,9	34,2	40,5	38,1
Número de días fríos	P	173	202	203	180	181	194	196	190	216	183	200	169	174	182
Número de días cálidos	P	8	15	8	4	12	14	12	6	10	10	3	19	9	5
Número de olas de calor	P	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	3	0
Número de días de helada	P	25	11	21	12	5	12	6	20	14	9	6	9	15	16
Precipitación media anual	P	1.411,3	1.277,0	1.327,5	2.049,7	1.577,9	1.503,2	1.447,8	1.477,5	1.597,1	1.651,6	1.424,1	1.488,9	1.115,4	1.562,1
Número de noches tropicales	P	12	3,6	4,4	1,4	2,9	1,8	2,7	1,9	1,9	2,9	1,4	7,5	5	3,4
Número de días de lluvia	P	1865	165,0	1880	210,0	213,0	185,8	198,0	185,0	211,0	143,0	187,0	177,0	168,3	189,0
Número de días soleados/despejados	P	31,7	45	38	33	28	38	33	47	29	44	42	36	44	37
Precipitación máxima en 24 horas	P	68,6	114,3	54,1	73,5	53,6	88,5	78,0	71,3	81,6	64,9	60,2	85,8	104,7	72,8
Número máximo de días secos consecutivos	P	17	20	17	16	22	22	19	15	22	18	19	18	22	16
Número máximo de días húmedos consecutivos	P	9	10	13	12	11	10	10	13	19	11	18	9	8	12
Número de días con precipitación > 20 mm	P	14	16	30	22	19	16	21	19	21	19	20	14	21	23
Máximo de precipitación acumulada en 5 días	P	220,6	114,9	188,5	136,3	175,6	131,8	155,6	147,8	153,3	124,5	211,4	136,1	161,0	148,4
Humedad relativa	P	82,4	80,8	82,2	83,3	81,1	81,2	81,7	81,8	84,4	80,2	79,4	81,2	78,8	82,3
Velocidad media del viento	P	10,4	10,0	9,6	10,7	9,8	10,5	10,6	10,2	10,1	9,1	10,4	9,8	9,0	9,9
Número de alertas meteorológicas	P	9	9	9	9	9	10	7	12	9	7	9	9	8	11
Días grados de refrigeración	I	142,8	178,6	142,1	140,5	160,0	150,3	164,7	130,6	150,2	151,0	96,88	228,0	183,6	196,5
Días grados de calefacción	I	947,2	1.133,6	1.119,5	902,8	1.000,2	981,0	1.081,2	1.004,2	969,0	945,1	976,5	895,0	971,3	957,4

ANEXO I

INDICADORES DE SEGUIMIENTO DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN GIPUZKOA

RECURSOS HÍDRICOS		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Caudal medio anual	I															
Endara		0,3	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,6	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
Oiartzun		0,5	4,0	2,8	2,0	2,2	3,6	2,0	2,7	2,5	2,8	2,5	2,6	2,6	2,6	3,1
Añarbe	2,4	2,2	3,3	3,1	3,2	2,3	2,1	3,8	2,2	2,5	2,3	2,6	2,6	2,7	2,7	2,8
Ereñozu	8,6	8,8	14,1	12,4	12,0	8,5	7,2	14,4	7,9	8,7	7,9	10,8	9,1	10,5	10,5	10,5
Estanda	1,0	0,7	2,1	1,1	1,4	0,9	0,6	1,5	0,7	0,8	0,8	1,2	1,0	0,7	0,7	1,3
Agauntza	1,7	1,7	3,3	1,9	2,5	1,7	1,4	2,8	1,5	1,5	1,5	1,9	1,7	1,5	1,5	2,1
Amundarain	0,9	0,9	1,5	1,1	1,2	0,8	0,7	1,5	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	0,9	0,9	1,1
Alegia	6,7	6,3	13,4	7,7	11,3	7,5	5,1	12,7	5,9	6,6	6,0	7,6	7,4	5,4	5,4	8,7
Araxes		3,5	6,6	4,3	4,9	3,7	3,0	6,2	3,3	3,4	3,4	3,1	4,0	4,1	3,8	3,8
Belauntza	1,1	1,3	1,9	1,3	1,7	1,2	1,0	2,0	1,1	1,1	1,1	1,3	1,0	1,2	1,2	1,5
Leitzaran	4,5	4,4	7,5	6,0	6,3	4,6	3,8	7,7	4,1	4,6	4,1	5,0	4,8	5,3	5,5	
Lasarte-Oria	21,3	22,2	40,6	25,8	29,3	21,1	17,5	36,9	18,2	19,7	18,6	25,1	23,0	20,9	20,9	26,6
Aitzu	1,5	1,3	2,6	1,7	2,1	1,5	0,9	2,4	1,2	1,3	1,2	2,2	1,5	1,3	1,3	1,9
Ibaieder	1,3	1,4	2,9	1,5	2,0	1,3	0,9	2,2	1,0	1,0	1,0	1,1	1,6	1,4	1,1	1,7
Matxinbenta	0,2	0,2	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	
Aizarnazabal	6,6	7,4	13,0	7,7	9,4	6,7	5,4	11,1	5,3	6,2	6,2	8,4	7,2	6,6	6,6	8,2
San Prudentzio	2,3	2,0	4,7	2,9	3,9	2,6	1,6	4,0	2,1	2,4	2,3	3,2	2,6	1,7	1,7	2,3
Oñati	2,9	2,6	5,3	3,3	4,0	2,9	2,0	4,6	2,3	2,5	2,3	3,5	3,0	2,4	2,4	3,3
Altzola	10,5	9,4	19,0	12,0	15,4	10,4	6,8	16,5	7,6	9,7	9,3	12,8	10,8	8,7	8,7	11,5
Nivel medio anual del agua	I															
Oiartzun	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4
Ereñozu	0,4	0,4	0,4	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
Estanda	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Agauntza	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,6	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3
Amundarain	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Alegia	0,4	0,4	0,4	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5
Belauntza	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
Lasarte-Oria	0,6	0,6	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6	0,7	0,3
Aitzu	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
Ibaieder	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3
Matxinbenta	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2
Aizarnazabal	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5
San Prudentzio	0,4	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Oñati	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Aixola	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Altzola	0,5	0,5	0,5	0,7	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6
Nivel máximo anual del agua		P																
Oiartzun	1,6	3,0	1,3	1,8	1,4	1,4	1,4	1,3	1,9	2,3	1,1	2,3	1,3	1,2	1,4	2,3	1,2	1,4
Ereñozu	2,0	3,8	1,3	2,3	2,5	3,0	1,7	2,2	2,1	2,0	1,4	3,4	2,3	2,8	2,8	2,3		
Estanda	1,4	1,1	1,0	1,6	1,2	1,4	1,8	1,2	1,3	1,4	1,0	1,8	1,4	1,0	1,8			
Agauntza	1,4	1,5	1,2	1,6	1,2	1,6	1,3	1,5	1,5	1,6	1,2	1,5	1,4	1,0	1,6			
Amundarain	1,2	1,6	1,2	1,3	1,5	1,3	0,9	1,4	1,3	1,3	1,2	1,6	1,3	1,2	1,3			
Alegia	2,3	2,3	1,8	2,8	2,2	3,0	3,1	2,4	2,7	3,1	1,8	3,8	2,9	1,7	3,4			
Belauntza	0,9	1,5	0,8	1,0	0,8	1,1	1,0	1,1	1,2	1,0	0,8	1,1	1,0	1,1	1,1			
Lasarte-Oria	3,2	5,5	2,7	4,2	3,5	4,0	3,9	3,8	4,3	3,4	2,3	4,7	4,1	2,7	4,7			
Aitzu	1,3	1,4	0,9	1,3	1,2	1,5	1,6	1,2	1,3	1,4	1,0	1,8	1,5	1,1	1,4			
Ibaieder	1,0	1,4	0,8	1,3	0,8	1,1	1,3	1,1	1,4	1,0	0,9	1,8	1,2	0,9	1,6			
Matxinbenta	0,7	0,8	0,6	0,7	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8			
Aizarnazabal	1,9	3,7	1,4	2,6	1,7	2,4	2,8	2,4	2,4	18	16	28	2,3	1,8	3,1			
San Prudentzio	1,7	1,5	1,2	2,0	1,5	2,3	2,2	1,7	1,8	1,9	1,5	2,6	2,0	1,5	1,8			
Oñati	1,9	2,3	1,2	1,9	1,5	2,4	2,0	2,2	2,3	2,1	1,4	2,7	2,2	1,4	1,9			
Urkuju	1,1	1,4	0,5	0,7	0,6	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,6	0,9	0,8	0,6	0,6	0,6		
Aixola	0,6	0,6	0,4	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,7						0,4		
Altzola	3,3	4,8	1,9	3,9	2,6	4,7	4,7	3,8	3,5	4,1	2,0	5,5	4,3	3,1	4,2			

ANEXO I

INDICADORES DE SEGUIMIENTO DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN GIPUZKOA

RECURSOS HÍDRICOS		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Número de eventos de inundación		1		1	0	2	1	2	0	1	3	1	0	2	2	1
Número de eventos de embates de mar		1		1	2	1	4	1	4	3	1	4	5	2	1	2
Nivel piezométrico		P														15,44
Eldualean-3		21,8	19,8	10,7	17,9	17,6	23,9	23,4	15,7	20,3	22,8	22,9	24,40	24,40	5,73	
Kilimon-3		6,2	6,0	5,6	6,4	6,0	6,2	6,0	5,6	6,0	6,1	5,8	6,2	6,2	1,64	
Hernani-C		3,4	3,6	3,3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,4	3,5	3,6	3,5	3,5	3,7	-61,41	
Legorreta-5		-62,9		-64,5	-63,0					-31,2	-54,8	-57,0	-57,7	-57,7	5,73	
Aralar-P4		-39,2	-5,0	-55,5	-46,5	-48,6	-47,9	-48,1	-58,2	-48,7	-45,9	-50,0	-43,1	107,71		
DTH-1		109,9	110,0	106,6	107,7	24,2	107,8	108,1	105,4	105,7	105,1	102,8	108,0	36,24		
Jaizkibel-5		38,2	37,6	36,3	35,7	35,9	38,8	36,1	36,2	36,2	35,8	35,8	36,0	36,0	2,6	
Makintxte		5,3	1,5	1,5	2,4	2,6	15,2	22,9	1,5	2,8	15,0	5,0	7,8	7,8	2,2	
Inurritza-3		20	2,0	1,9	1,8	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	2,10	2,1	2,1		
Calidad de las aguas. Porcentaje de masas de agua con estado o potencial ecológico bueno o muy bueno.		V	35%	41%	63%	62%	53%	53%	60%	76%	67%	46%	58%	69%	57,7 %	
Estado ecológico de las aguas de transición y costeras. Porcentaje de masas de agua con estado o potencial ecológico bueno o muy bueno.		I		56%	56%	33%	67%	67%	78%	89%	89%	89%	89%	77,8 %	84,2 %	
Demanda total de agua por habitante (litros/habitante/día)		A	180,86	179,0	177,1	177,1	171,9	174,2	174,0	169,6	172,5	150,0	165,9	140,0	121,2	110,1
Número de habitantes que pueden verse afectados dentro de zonas inundables (hab./año)		E							2.444	2.444	2.444	2.444	3.408	3.408	3.408	
N.º de EDAR en zonas inundables		E							1	1	1	1	1	1	1	

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
SECTOR AGROFORESTAL																
Bosque	V	46.825					47.981		47.721	48.299	47.928	48.046	48.091	48.095	48.079	
Bosque de plantación	V	76.558					74.855		72.231	72.359	72.827	72.897	72.913	72.978	73.022	
Bosque de galería	V	956					944		921	921	921	922	921	905	920	
Superficie del territorio bajo figura de protección	A						44.776,8	44.776,8	44.776,8	44.776,8	44.776,8	44.776,8	44.776,8	47.776,8	48.019,5	
Hectáreas anuales quemadas por incendios forestales	I	774	87,3	97,8	87,3	294,0	10,7	37,5	10,8	89,7	49,0	381,0	73,0	55,0	54,9	
Superficie de agricultura ecológica (ha)	E	430,8	456,3	467,5	511,2	561,8	626,8	666,0	750,0	848,0	1224,0	1326,0	1619,0	2636,0	3461,0	
Superficie afectada por plagas forestales	I						5.66,0	4554,0	19.208,0	8.541,0	7.935,0	11.446,0	9.05			
Evapotranspiración de referencia	I		2,1	2,0	1,9	2,1	2,2	2,1	2,0	2,1	2,1	2,0	2,0	2,2	2,1	2,0
Duración o longitud de la estación de crecimiento	I	354,0	337,0	325,0	364,0	343,0	365,0	329,0	351,0	346,0	356,0	346,0	345,0	358,0	353,0	
Porcentaje del Valor añadido bruto de agricultura, ganadería y pesca	V	0,5 %	0,7 %	0,6 %	0,6 %	0,6 %	0,6 %	0,7 %	0,6 %	0,7 %	0,6 %	0,6 %	0,7 %	0,8 %	0,8 %	
ENERGÍA																
Consumo final de energía (ktep)	I	1.979,2	1.950,7	1.888,8	1.888,8	1.852,8	1.868,1	1.860,8	1.981,6	1.934,3	1.912,5	1.642,1	1.787,1	1.813,8	1.728,7	1.688,0
Intensidad energética final ($\times 10^{-4}$)	A	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,6	0,6	0,6

ANEXO I

INDICADORES DE SEGUIMIENTO DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN GIPUZKOA

INFRAESTRUCTURAS Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
INFRAESTRUCTURAS Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO																	
Usos del suelo (ha)																	
Matorral	V	8.023,0								7.497,0		10.252,0	9.722,0	9.592,0	9.472,0	9.431,0	9.366,0
Herbazal	V	2.957,0							3.472,0		3.572,0	3.523,0	3.509,0	3.502,0	3.501,0	3.477,0	3.476,0
Monte sin veg. Superior	V	2.827,0							2.672,0		2.670,0	2.669,0	2.667,0	2.667,0	2.667,0	2.597,0	
Agrícola	V	1.876,0							2.454,0		2.447,0	2.440,0	2.437,0	2.522,0	2.494,0	2.495,0	
Artificial	V	10.024,0							10.612,0		10.609,0	10.624,0	10.625,0	10.624,0	10.799,0	10.805,0	
Agua	V	1.144,0							1.097,0		1.098,0	1.093,0	1.093,0	1.092,0	1.105,0	1.090,0	
Autopistas y autopistas	I	2.140,0							2.288,0		2.294,0	2.293,0	2.301,0	2.302,0	2.340,0	2.342,0	
Minería-escombrares-vertederos	I	589,0							575,0		575,0	580,0	582,0	582,0	590,0	590,0	
Prado con setos / con sebes	V	523,0							487,0		487,0	517,0	517,0	514,0	514,0	514,0	
Prado	V	3.721,0							36.887,0		36.916,0	36.878,0	36.844,0	36.790,0	36.693,0	36.539,0	36.518,0
Pastizal-matorral	V	5.848,0							5.748,0		5.778,0	5.672,0	5.743,0	5.730,0	5.728,0	5.723,0	5.797,0
Porcentaje de población mayor de 65 años	V	19,4%	19,8%	20,1%	20,6%	21,0%	21,3%	21,6%	21,9%	22,2%	22,4%	23,1%	23,1%	23,1%	23,3%	23,3%	25,2%
Porcentaje de población menor de 4 años	V	5,1%	5,1%	5,1%	4,9%	4,8%	4,7%	4,5%	4,3%	3,1%	3,1%	2,2	2,2%	2,2%	2,8%	2,7%	
Daños en los bienes causados por inundación (fluvial + embate de mar)	I	1.608.377	60.152.432	1.536	4.316.597	15.248.260	4.333.894	2.782.096	4.322.464	10.25.520	818.861	51.945	51.183.991	983.757	452.748		
Superficie de espacios libres (parques, jardines y zonas verdes urbanas) por habitante (m²/hab.)	V	51,3	47,8	47,5	46,3	46,3	47,3	43,2	32,4	37,1	36,8	42,9	40,0	40,7	41,1		
Daños en los bienes causados por embates del mar	I	52.018,2	0,0	22.059,0	12.560.394,6	19.596,6	2.113.354,8	23.392,8	11.183,4								
Densidad población	V	354,9	356,3	357,4	357,8	358,9	359,2	360,3	361,0	362,5	364,2	365,4	362,2	352,6	365,4		
Porcentaje de suelo artificializado	V	6,71	6,73	6,72	6,73	6,88	6,87	6,86	6,85	6,86	6,87	6,87	6,88	6,92	6,1	6,1	
Indemnizaciones por desastres naturales (consorcio de compensación de seguros)	I	11.172.770	61.844.556	24.632	5.469.536	15.940.391	4.581.391	2.862.822	8.036.171	10.86.593	4.700.881	2.238.155	5.631.887	1.10.694	3.015.336	1.559.399	
<small>Indemnizaciones asociadas a inundaciones y temporal ciclónica atlántica. Importes en euros actualizados a 31-12-2024.</small>																	

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
SALUD															
Casos autóctonos e importados de paludismo, virus del Niño Occidental, enfermedad de Lyme, etc.	I														
Porcentaje de personas >80 años que vive solas	V														
Número de alertas por altas temperaturas	P	1	3	1	0	1	2	1	0	2	1	0	2	2	2
Defunciones atribuibles a la temperatura (exceso o defecto)	I							49	56	59	45	31	18	15	20
Universal Thermal Climate Index (UTCI)	I	13,2	14,7	13,8	13,5	14,6	14,3	14,2	14,3	14,3	15,0	14,0	15,3	15,3	14,7
Porcentaje de días en los que se supera el valor límite para la protección de la salud humana (O_3) (considerando el peor valor de las estaciones de referencia)	P	11 %	17 %	13 %	6 %	5 %	6 %	7 %	11 %	3 %	3 %	2 %	8 %	0 %	
Porcentaje de días en los que se supera el valor límite diario de PM_{10} (considerando el peor valor de las estaciones de referencia)	P	13 %	11 %	12 %	7 %	1 %	1 %	2 %	4 %	2 %	3 %	4 %	1 %	1 %	
Porcentaje de días en los que se supera el valor límite diario de $PM_{2,5}$ (considerando el peor valor de las estaciones de referencia)	P							21 %	19 %	23 %	24 %	19 %	13 %	12 %	24 %

ANEXO II. RIESGOS CLIMÁTICOS POR SECTORES

SECTOR	Riesgos climáticos
AGUA Y RECURSOS HÍDRICOS	Riesgo para la demanda urbana por la reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficiente
	Riesgo para la demanda industrial por la reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales en cantidad y calidad suficiente
	Riesgo para los ecosistemas acuáticos asociados al incremento de la temperatura del agua
	Riesgo para la demanda agraria por la reducción de la disponibilidad de recursos hídricos superficiales
	Riesgo de daño por sequía de larga duración
	Riesgo de daños por inundación por cambios en la distribución de la precipitación
PATRIMONIO NATURAL Y BIODIVERSIDAD	Riesgo de pérdida de biodiversidad como consecuencia de cambios en los ecosistemas
	Riesgo de pérdida de servicios ecosistémicos debido a cambios en las variables climáticas
	Riesgo para las reservas naturales de carbono y la capacidad de secuestro de carbono por cambios en las condiciones climáticas
	Riesgo de alteraciones en la composición y estructura de los ecosistemas como consecuencia de los cambios medios y extremos del clima
	Riesgo de decaimiento forestal en bosques: defoliaciones, reducciones en el crecimiento y aumento de la mortalidad por cambios en las condiciones climáticas
	Riesgo de mortalidad forestal por sequía
	Riesgo de perturbación de procesos ecológicos esenciales (redes tróficas, polinización, patrones reproductivos y migratorios) debido a cambios fenológicos y otros factores producidos por cambios en las variables climáticas
	Riesgo para las especies por la expansión de plagas y especies invasoras
	Riesgos para los suelos por cambios en las condiciones, incluyendo la aridez
COSTAS Y MEDIO MARINO	Riesgo de erosión en playas por aumento del nivel del mar y cambios en la intensidad/frecuencia de tormentas
	Riesgo de inundación costera por aumento del nivel del mar
	Riesgo para el equilibrio ecológico de los hábitats y comunidades marinas por el aumento de la temperatura media del agua y el efecto de la acidificación
	Riesgo de disminución de la producción primaria pelágica
	Riesgo de proliferación de algas tóxicas

SECTOR	Riesgos climáticos
SALUD	Riesgo de mortalidad y morbilidad asociada al calor
	Riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas por cambios en la extensión geográfica de vectores
	Riesgo de aumento de mortalidad y morbilidad de las personas trabajadoras como consecuencia de un empeoramiento de las condiciones climáticas
	Riesgo de aumento de morbilidad asociada al incremento de la contaminación atmosférica
MEDIO URBANO	Riesgo de daño sobre las personas por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos (temperaturas extremas, inundación fluvial, inundación costera)
	Riesgo de daño de las edificaciones por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos (inundación fluvial, inundación costera, deslizamientos)
	Riesgo de daños de los sistemas urbanos esenciales (agua, saneamiento, energía, telecomunicaciones) por el aumento de la frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos (inundación fluvial, deslizamientos)
	Riesgo de estrés térmico y reducción del confort térmico en el espacio público por el aumento de las temperaturas extremas
AGRICULTURA, GANADERÍA, FORESTAL Y PESCA	Riesgo de disminución de la productividad agraria por aumento del estrés hídrico y eventos meteorológicos extremos (sequía, lluvias torrenciales)
	Riesgo de disminución de la productividad ganadera por aumento de la temperatura
	Riesgo de disminución de la productividad forestal por cambio en las condiciones climáticas y eventos meteorológicos extremos
	Riesgo de disminución de la productividad forestal por enfermedades y plagas
	Riesgo de disminución de la productividad pesquera por cambios en la distribución de especies o cambios en el stock debido a la modificación de variables oceánicas
	Riesgo de pérdida de productividad pesquera por disminución de la talla de especies de interés pesquero
PATRIMONIO CULTURAL	Riesgo de daños en cascos históricos, edificios con valor patrimonial, yacimientos arqueológicos, pinturas rupestres y frescos, debido a cambios en las precipitaciones, inundaciones fluviales y cambio en el contenido en humedad de los materiales
ENERGÍA	Riesgo de daños a la infraestructura energética por el impacto de eventos meteorológicos extremos (temperaturas, tormenta, inundaciones fluviales)
	Riesgo de reducción de la capacidad de suministro por el impacto de eventos meteorológicos extremos sobre la infraestructura energética
	Riesgo de reducción de capacidad de suministro debido al aumento de la demanda energética como consecuencia de las altas temperaturas

SECTOR	Riesgos climáticos
TRANSPORTE	Riesgo de daño para la infraestructura viaria (taludes, calzada, firmes de carretera y puentes) debido a eventos meteorológicos extremos (inundaciones fluviales, pluviales y costeras, vientos extremos, deslizamientos)
	Riesgo de afección a la circulación terrestre por carretera debido a eventos extremos (temperaturas extremas, inundaciones fluviales, pluviales y costeras, vientos extremos, deslizamientos)
	Riesgo de interrupción del transporte ferroviario debido a eventos extremos (temperaturas extremas, inundaciones fluviales, pluviales y costeras, vientos extremos, deslizamientos)
	Riesgo de disminución de la operatividad de los puertos por aumento de la frecuencia de rebase, fallos y roturas de diques debido a la subida del nivel del mar y eventos extremos
TURISMO	Riesgo de pérdida de atractivo turístico debido a la desaparición o degradación de recursos naturales y culturales
	Riesgo de aumento de la percepción de falta de seguridad de los turistas debido a la proliferación de enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos
	Riesgo para la actividad turística por cambios en los calendarios temporales de la actividad
INDUSTRIA Y SERVICIOS	Riesgo de daño en la infraestructura industrial y de servicios por el impacto físico de los cambios (subida del nivel del mar) o eventos extremos (inundaciones, embates de mar) en los edificios/instalaciones
	Riesgo de disminución y/o interrupción de la operatividad de los procesos industriales y servicios por reducción de materias y recursos esenciales
	Riesgo de disminución de la eficiencia de los procesos industriales por el cambio en las condiciones climáticas
FINANCIERO	Riesgo de corrección de precios de activos por impactos del cambio climático
	Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas de bienes (públicos y/o privados) como infraestructuras, inmuebles, etc.
	Riesgo de aumento de compensaciones por pérdidas aseguradas en el sector agrícola

ANEXO III.

GRUPO DE TRABAJO PARA LA CO-CREACIÓN DE INTERRELACIONES

AGUA Y RECURSOS HÍDRICOS	Añarbeko Urak Dpto. Sostenibilidad (DFG) Naturklima
PATRIMONIO NATURAL Y BIODIVERSIDAD	Dpto. Sostenibilidad (DFG) Ayuntamiento de Irún Sociedad de Ciencias Aranzadi AZTI BASOINSA SL
COSTAS Y MEDIO MARINO	Dpto. Sostenibilidad (DFG) AZTI Ayuntamiento de Donostia
SALUD	Dpto. Sostenibilidad (DFG) EHU Naturklima
MEDIO URBANO	Dpto. Sostenibilidad (DFG) KREAN, S. Coop. Ayuntamiento de Donostia Escuela de Ingeniería de la Universidad de Navarra
AGRICULTURA, GANADERÍA, FORESTAL Y PESCA	Goimen Landa Garapen Elkartea Dpto. Sostenibilidad (DFG) AZTI NEIKER URKOME BASOINSA SL
PATRIMONIO CULTURAL	Dpto. Sostenibilidad (DFG) Dpto. de cultura, turismo, juventud y deporte (DFG)
ENERGÍA	Dpto. Sostenibilidad (DFG) ADEGI Naturklima Dpto. Sostenibilidad (DFG)
TRANSPORTE	Dpto. Sostenibilidad (DFG) Naturklima BIDEGI
TURISMO	Dpto. Sostenibilidad (DFG) Federación Mercantil de Gipuzkoa: Gipuzkoako Merkatariak Naturklima
INDUSTRIA Y SERVICIOS	Dpto. Sostenibilidad (DFG) KREAN, S. Coop. ADEGI Cámara de Gipuzkoa
FINANCIERO	Dpto. Sostenibilidad (DFG) ADEGI Escuela de Ingeniería de la Universidad de Navarra

GLOSARIO

Acidificación oceánica: reducción del pH del océano, acompañado de otros cambios químicos (principalmente de los niveles de iones de carbonato y bicarbonato), a lo largo de un periodo prolongado, que es causado principalmente por la absorción de dióxido de carbono (CO_2) de la atmósfera, pero puede también ser causada por otras adiciones químicas o sustracciones del océano.

Adaptación: proceso de ajuste de los sistemas naturales o humanos al clima actual o las proyecciones climáticas futuras y a sus impactos, con el fin de reducir los posibles daños o aprovechar las oportunidades positivas que se puedan presentar.

Anomalía: al referirnos a datos climáticos, las anomalías son los cambios de esa variable con respecto a un valor de referencia, por lo que los resultados pueden presentarse como el cambio en relación con una climatología de referencia que podría ser 1971–2000, por ejemplo, en lugar del valor absoluto.

AR5: 5º Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Se publicó en 2014.

AR6: 6º Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Se publicó en 2021.

Biodiversidad: la biodiversidad, o diversidad biológica, se refiere a la variedad de vida en la Tierra, incluyendo todas las especies de plantas, animales, hongos y microorganismos, así como los complejos ecológicos de los cuales forman parte; esto incluye la diversidad dentro de las especies, entre especies y ecosistemas.

Cadena de impacto: estructura que representa las relaciones causa-efecto y los principales factores y procesos que puedan dar lugar a una amenaza climática determinada, atribuyéndolos al riesgo, vulnerabilidad y exposición de componentes.

Calentamiento global: el calentamiento global se refiere al aumento de la temperatura superficial global relativo a un periodo de referencia, con una media de tiempo suficiente para eliminar las variaciones interanuales (ej., 20 o 30 años).

Calidad del agua: aptitud para satisfacer distintos usos en función de sus características, determinadas generalmente por parámetros fisicoquímicos con unos límites de concentración asociados.

Cambio climático: variación del estado del clima que persiste durante largos períodos de tiempo. El análisis estadístico de las propiedades del clima permite identificar cambios en el valor medio, o bien cambios en la variabilidad de dichas propiedades. Cuando estos cambios persisten durante períodos de al menos diez años, se habla de cambio climático.

Capacidad de adaptación: capacidad de las personas, instituciones, organizaciones y sistemas, mediante el uso de las aptitudes, valores, convicciones, recursos y oportunidades disponibles, para abordar, manejar y superar condiciones adversas a corto o mediano plazo.

Clima: el clima se suele definir en sentido restringido como el estado promedio del tiempo, y, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta miles o millones de años. El período de promedio habitual es de treinta años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial.

Climatología: condiciones meteorológicas promedio de una región a lo largo de un periodo extenso, generalmente de 30 años o más.

Demanda industrial de agua: cantidad de agua que las industrias, no conectadas a las redes urbanas, requieren para llevar a cabo sus procesos productivos.

Demanda urbana de agua: cantidad de agua que se necesita y se utiliza para satisfacer las necesidades de las poblaciones en zonas urbanas, incluyendo tanto el uso doméstico (consumo en hogares, higiene, personal, etc.) como el de servicios públicos, comercios e industrias conectados a la red de suministro.

Escasez hídrica: situación en la que la demanda de agua supera la disponibilidad de recursos hídricos renovables.

Escenario climático: representación plausible y a menudo simplificada del clima, basada en un conjunto internamente coherente de relaciones climatológicas, que se construye para ser utilizada de forma explícita en la investigación de las consecuencias potenciales del cambio climático antropogénico, y que sirve a menudo de insumo para las simulaciones de los impactos. Resultado de simular el clima global con un modelo general de circulación que se ha forzado con un escenario de emisiones.

Escenario de emisiones: representación plausible de la evolución futura de las emisiones de sustancias que son, en potencia, radiativamente activas (por ejemplo, gases de efecto invernadero). En el IPCC-AR5 se han definido cuatro escenarios de emisión denominados Sendas Representativas de Concentración (RCP), que definen su forzamiento radiativo total para el año 2100 que varían entre 2,6 y 8,5 W m⁻². En el IPC-AR6 se han definido varios escenarios de emisiones para el siglo XXI denominados Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP) que describen escenarios globales de evolución social, económica y tecnológica.

Evaluación de riesgos: estimación científica cualitativa o cuantitativa de los riesgos.

Evento extremo: un suceso meteorológico extremo es un suceso que es raro para un lugar determinado y una época del año. La definición de raro puede variar, pero en general, se refiere a un suceso que está por debajo/encima del percentil 10/90 de la correspondiente función de densidad de probabilidad estimada a partir de las observaciones. Cuando un suceso meteorológico extremo persiste durante un cierto tiempo puede clasificarse como suceso extremo climático, especialmente si da lugar a un valor promedio o total que a su vez es extremo.

Exposición: presencia de personas, medios de subsistencia, especies o ecosistemas, funciones ambientales, servicios y recursos, infraestructuras o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente.

Impactos climáticos: consecuencias de los riesgos reales en los sistemas naturales y humanos, donde los riesgos se derivan de las interacciones de los peligros relacionados con el clima (incluidos los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos), la exposición y la vulnerabilidad. Los efectos generalmente se refieren a los efectos en la vida, los medios de vida, la salud y el bienestar, los ecosistemas y las especies, los activos económicos, sociales y culturales, los servicios (incluidos los servicios de los ecosistemas) y la infraestructura.

Impactos en cascada: los impactos en cascada derivados del cambio climático se producen cuando un peligro climático genera una secuencia de eventos secundarios en sistemas naturales y humanos que resultan en perturbaciones físicas, naturales, sociales y económicas, por lo que el impacto resultante es significativamente mayor que el impacto inicial.

Impulsores de impacto climático: condiciones del sistema climático físico (ej. medios, eventos extremos) que afectan a un elemento de la sociedad o de los ecosistemas.

Incertidumbre: un estado de conocimiento incompleto que puede resultar de la falta de información o del desacuerdo sobre lo que se conoce o incluso se sabe. Puede tener muchos tipos de fuentes, desde imprecisión en los datos hasta conceptos o terminología ambiguamente definidos, comprensión incompleta de los procesos críticos o proyecciones inciertas del comportamiento humano.

Indicador: variable cuantitativa, cualitativa o binaria que se puede medir o describir, en respuesta a un criterio definido.

Índice bioclimático: combinación de parámetros climáticos (principalmente temperatura y precipitación) que manifiestan la relación entre el clima y la vegetación o fauna.

Isla de calor urbana: calor relativo de una ciudad respecto de las áreas rurales circundantes, frecuentemente asociado a los cambios en la escorrentía, los efectos en la retención del calor y las variaciones del albedo superficial.

IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Órgano científico de las Naciones Unidas, líder internacional en la evaluación del cambio climático, albergado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Maladaptación: acciones que pueden provocar incrementos del riesgo de efectos negativos relacionados con el clima, incremento de la vulnerabilidad o pérdida de bienestar, ahora o en el futuro.

Matriz de adyacencia: matriz que representa un grafo. Matriz cuadrada de n filas \times n columnas, siendo n el número de nodos del grafo (riesgos en este caso). Cada elemento de la matriz a_{ij} vale 1 cuando hay una arista (interrelación) que une los nodos (riesgos), y en caso contrario el elemento a_{ij} vale 0.

Narrativas climáticas: una forma de dar sentido a una situación o a una serie de acontecimientos a través de la construcción de un conjunto de elementos explicativos. Por lo general, se basa en un razonamiento lógico o causal. En la investigación climática, el término se utiliza tanto en relación con los escenarios como en relación con una trayectoria futura del clima y los sistemas humanos y con un evento meteorológico o climático. En este contexto, las narrativas pueden ser utilizadas para describir futuros o explicaciones posibles plurales y condicionales de una situación actual, en contraste con futuros o explicación simples.

Nivel medio del mar: el nivel superficial del océano en un punto determinado promediado sobre un periodo prolongado de tiempo.

Ola de calor: periodo de tiempo anormalmente e incómodamente caliente.

Ola de calor marina: periodo durante el cual la temperatura del agua es anormalmente cálida para la época del año en relación con las temperaturas históricas, con ese extremo de calidez persistiendo durante días a meses.

Peligro o amenaza: posible aparición de un evento natural o evento físico, tendencia o impacto inducido por el ser humano, que puede causar la pérdida de vidas, lesiones u otros impactos negativos en la salud, así como daños y pérdida de bienes, infraestructuras, medios de vida, prestación de servicios, y recursos ambientales.

Periodo de impacto: periodo de años futuros en los que se analiza el impacto del cambio climático con relación al periodo de control. En este informe se emplean tres períodos de impacto: 2011–2040, 2041–2070 y 2071–2100.

Periodo de referencia: periodo de interés o periodo durante el cual se calculan algunas estadísticas permanentes. Puede utilizarse un periodo de referencia como periodo base o como comparación con un periodo base.

Periodo de retorno: intervalo medio de tiempo expresado en años entre dos sucesos que igualan o superan un determinado valor extremo asociado. Se puede decir también que es el valor del número de años necesarios para que un fenómeno se repita con el mismo valor o superior valor.

Proyección climática: es la respuesta simulada –generalmente mediante el uso de modelos climáticos– del sistema climático a un escenario de emisiones o concentraciones futuras de gases de efecto invernadero y aerosoles. Las proyecciones climáticas se distinguen de las predicciones por su dependencia del escenario de emisión o concentración considerado. Las proyecciones están por lo tanto condicionadas a las suposiciones relativas a los escenarios que pueden o no tener lugar.

RCP: Vías de Concentración Representativa. Escenarios que incluyen series temporales de emisiones y concentraciones del conjunto completo de gases de efecto invernadero y aerosoles y gases químicamente activos, así como los usos del suelo. Cada RCP proporciona solo uno de los muchos escenarios posibles que llevarían a las características específicas de forzamiento radiativo. Para su definición no solo se consideran los niveles de concentración de largo plazo, sino también la trayectoria tomada en el tiempo para alcanzar dicho resultado.

RCP4.5: vía intermedia de estabilización en las cuales el forzamiento radiativo se estabiliza en 4.5 W m^{-2} después de 2100.

RCP8.5: vía alta para la cual el forzamiento radiativo alcanza más de 8.5 W m^{-2} para 2100 y continúa aumentando durante cierto tiempo.

Recursos hídricos: agua dulce existente que puede desempeñar diferentes funciones, desde ambientales a ser usada directamente por el ser humano.

Resiliencia: capacidad para hacer frente a un evento o perturbación peligroso, responder, reorganizarse de manera que se mantenga su función esencial, su identidad y estructura, al tiempo que se mantiene la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación.

Riesgo: el potencial de consecuencias adversas para el ser humano o el sistema ecológico, reconociendo la diversidad de valores y objetivos asociados a dichos sistemas. En el contexto del cambio climático, los riesgos pueden surgir de los potenciales impactos del cambio climático, así como de las respuestas humanas al cambio climático. En el contexto del cambio climático, los riesgos resultan de las interacciones dinámicas entre los peligros relacionados con el clima, con la exposición y la vulnerabilidad del sistema humano o ecológico al peligro.

Riesgos clave: los riesgos clave tienen consecuencias adversas potencialmente graves en los seres humanos y sistemas socio-ecológicos, resultantes de la interacción de los peligros relacionados con el clima con las vulnerabilidades de las sociedades y los sistemas expuestos.

Riesgos complejos: son aquellos riesgos que se originan a partir de múltiples factores climáticos y no climáticos que interactúan, generando impactos combinados, en cascada o sistémicos. Surgen especialmente cuando se cruzan límites críticos, se producen múltiples impactos simultáneos o secuenciales, o cuando las respuestas de adaptación son insuficientes o generan consecuencias no deseadas.

Riesgos compuestos: riesgos que derivan de la interacción de distintos peligros, derivados de eventos extremos únicos o de múltiples eventos coincidentes o secuenciales que interactúan con los sectores expuestos.

Riesgos en cascada: se refiere a la posibilidad de ocurrencia de impactos en cascada, entendidos estos como peligros extremos que generan una secuencia de eventos secundarios que resultan en perturbaciones físicas, naturales, sociales o económicas, de forma que el impacto resultante es significativamente mayor que el impacto inicial.

Sensibilidad: grado en que un sistema resulta afectado, positiva o negativamente, por la variabilidad o el cambio climático. Los efectos pueden ser directos o indirectos.

Serie temporal: caso especial de una matriz de datos en la que los datos están ordenados cronológicamente con preferencia a cualquier otro orden.

Servicios ecosistémicos: procesos o funciones ecológicos con beneficios para los seres humanos y la sociedad, impactando positivamente en la salud, la economía y la calidad de vida. Estos beneficios se pueden clasificar en cuatro categorías principales: provisión, regulación, culturales y de soporte.

Sistema climático: sistema complejo que comprende la atmósfera, la hidrosfera, la criósfera, la litosfera y la biosfera, y las interacciones entre estos componentes que determinan el clima de la Tierra.

Sistema natural: los componentes físicos, fisicoquímicos y biológicos dinámicos del sistema terrestre que operarían independientemente de las actividades humanas.

Sistema socio-ecológico: sistema integrado que incluye las sociedades y los ecosistemas humanos, en el que los humanos forman parte de la naturaleza. Las funciones de este sistema surgen de las interacciones y de la interdependencia de los subsistemas sociales y ecológicos.

Tendencia: en el presente informe, el término tendencia describe un cambio en el valor de una variable, generalmente uniforme, a lo largo del tiempo.

Variabilidad climática: la variabilidad climática se refiere a las variaciones en el estado medio y otros estadísticos (p.ej., desviación estándar, ocurrencia de extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más allá de los sucesos individuales asociados con el tiempo. La variabilidad se produce por procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o por variaciones en los forzamientos externos naturales o antropogénicos (variabilidad externa). Un ejemplo de variabilidad interna es El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, de sus siglas en inglés) o la Oscilación del Atlántico norte (NAO, de sus siglas en inglés). Un ejemplo de variabilidad externa es el ciclo solar de aproximadamente 11 años.

Vector: cualquier agente que transporta y transmite un agente infeccioso a otro organismo vivo. La mayoría de los agentes considerados vectores son organismos, parásitos o microbios intermedios, pero también podría ser un medio inanimado de infección como partículas de polvo o el agua.

Vulnerabilidad: propensión o predisposición a ser afectado negativamente por los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación.

REFERENCIAS

- Adler, R., & Gu, G. (2025). Review of global precipitation for 2024. Earth System Science Interdisciplinary Center. [Internet]. Disponible en: <https://essic.umd.edu/review-of-global-precipitation-for-2024/>
- AEMET. (2025). Informe sobre el estado del clima de España 2024. [Internet]. Disponible en: https://www.aemet.es/documentos/es/conocemas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/Informes_estado_clima/IECLI_2024_completo.pdf
- AEMET. (2025). Rejilla observacional con interpolación óptima (ROCIO). [Internet]. Disponible en: https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/datos_diarios?w=2
- Bates, N.R., Astor, Y.M., Church, M.J., Currie, K., Dore, J.E., González-Dávila, M., Lorenzoni, L., Muller-Karger, F., Olafsson, J., & Santana-Casiano, J.M. (2014). A time-series view of changing ocean chemistry due to ocean uptake of anthropogenic CO₂ and ocean acidification. *Oceanography*, 27(1), 126–141.
- Berthou, S., Renshaw, R., Smyth, T., Tinker, J., Grist, J.P., Wihsloggott, J.U., Jones, S., Inall, M., Nolan, G., Berx, B., Arnold, A., Blunn, L.P., Castillo, J.M., Cotterill, D., Daly, E., Dow, G., Gómez, B., FraserLeonhardt, V., Hirschi, J.J.M., Lewis, H.W., Mahmood, S., & Worsfold, M. (2024). Exceptional atmospheric conditions in June 2023 generated a northwest European marine heatwave which contributed to breaking land temperature records. *Communications Earth & Environment*, 5, 287.
- Blunden, J., & Boyer, T., Eds. (2024). State of the Climate in 2023. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 105 (8), Si-S484.
- Brûge, A., Alvarez, P., Fontán, A., Cotano, U., & Chust, G. (2016). Thermal Niche Tracking and Future Distribution of Atlantic Mackerel Spawning in response to Ocean Warming. *Frontiers in Marine Science*, 3, 86.
- C3S. Copernicus Climate Change Service. (2019). 2018 European State of the Climate (ESOTOC) report. [Internet]. Disponible en: <https://climate.copernicus.eu/ESOTC/2018>
- C3S. Copernicus Climate Change Service. (2020). 2019 European State of the Climate (ESOTOC) report. [Internet]. Disponible en: <https://climate.copernicus.eu/ESOTC/2019>
- C3S. Copernicus Climate Change Service. (2025). 2024 European State of the Climate (ESOTOC) report. [Internet]. Disponible en: <https://climate.copernicus.eu/esoto/2024>
- Cameselle, S., Velo, A., Doval, M.D., Broullón, D., & Pérez, F.F. (2024). Long-term trends of pH, alkalinity, and hydrogen ion concentration in an upwelling-dominated coastal ecosystem: Ría de Vigo, NW Spain. *Scientific Reports*, 14, 17929.
- Caretta, M.A., Mukherji, A., Arfanuzzaman, M., Betts, R.A., Gelfan, A., Hirabayashi, Y., Lissner, J., Liu, T.K., Lopez Gunn, E., Morgan, R., Mwanga, S., & Supratid, S. (2022). Water. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 551–712.
- Cazenave, A., Dieng, H.B., Meyssignac, B., von Schuckmann, K., Decharme, B., & Berthier, E. (2014). The rate of sea-level rise. *Nature Climate Change*, 4, 358–361.
- Cazenave, A., & Moreira, L. (2022). Contemporary sea-level changes from global to local scales: a review. *Proceedings of the Royal Society, A Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 478, 20220049.
- Challinor, A.J., Adger, W.N., Benton, T.G., Conway, D., Joshi, M., & Frame, D. (2018). Transmission of climate risks across sectors and borders. *Philosophical Transactions of the Royal Society A Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 376, 20170301.
- Cheng, L., Abraham, J., Trenberth, K.E., Boyer, T., Mann, M.E., Zhu, J., Wang, F., Yu, F., Locarnini, R., Fasullo, J., Zheng, F., Li, Y., Zhang, B., Wan, L., Chen, X., Wang, D., Feng, L., Song, X., Liu, Y., Reseghetti, F., Simoncelli, S., Gouretski, V., Chen, G., Mishonov, A., Reagan, J., Von Schuckmann, K., Pan, Y., Tan, Z., Zhu, Y., Wei, W., Li, G., Ren, Q., Cao, L., & Lu, Y. (2024). New Record Ocean Temperatures and Related Climate Indicators in 2023. *Advances in Atmospheric Sciences*, 41, 1068–1082.

Cheng, L., Abraham, J., Trenberth, K.E., Reagan, J., Zhang, H.M., Storto, A., Von Schuckmann, K., Pan, Y., Zhu, Y., Mann, M.E., Zhu, J., Wang, F., Yu, F., Locarnini, R., Fasullo, J., Huang, B., Graham, G., Yin, X., Gouretski, V., Zheng, F., Li, Y., Zhang, B., Wan, L., Chen, X., Wang, D., Feng, L., Song, X., Liu, Y., Reseghetti, F., Simoncelli, S., Chen, G., Zhang, R., Mishonov, A., Tan Z., Wei, W., Yuan, H., Li, G., Ren, Q., Cao, L., Lu, Y., Du, J., Lyu, K., Sulaiman, A., Mayer, M., Wang, H., Ma, Z., Bao, S., Yan, H., Liu, Z., Yang, C., Liu, X., Hausfather, Z., Szekely, T & Gues, F. (2025). Record High Temperatures in the Ocean in 2024. *Advances in Atmospheric Sciences*, 42, 1092–1109.

Cheng, L., Trenberth, K.E., Fasullo, J., Abraham, J., Boyer, T.P., von Schuckmann, K., & Zhu, J. (2018). Taking the pulse of the planet. *Eos*, 99, 14–16.

Chust, G., González, M., Fontán, A., Revilla, M., Alvarez, P., Santos, M., Cotano, U., Chiffet, M., Borja, A., Muxika, I., Sagarminaga, Y., Caballero, A., de Santiago, I., Epelde, I., Liria, P., Ibaibarriaga, L., Garnier, R., Franco, J., Villarino, E., Irigoien, X., Fernandes-Salvador, F., Uriarte, A., Esteban, X., Orue-Echevarria, D., Figueira, T., & Uriarte, A. (2022). Climate regime shifts and biodiversity redistribution in the Bay of Biscay. *Science of the Total Environment*, 803, 149622.

Ciobanu, N., & Saysel, A.K. (2020). Using social–ecological inventory and group model building for resilience assessment to climate change in a network governance setting: a case study from Ikel watershed in Moldova. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 1065–1085.

Cissé, G., McLeman, R., Adams, H., Aldunce, P., Bowen, K., Campbell-Lendrum, D., Clayton, S., Ebi, K.L., Hess, J., Huang, C., Liu, Q., McGregor, G., Semenza, J., & Tirado, M.C. (2022). Health, Wellbeing, and the Changing Structure of Communities. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 1041–1170.

Comité Nacional CLIVAR-España. (2025). Informe CLIVAR-Spain sobre el clima en España. [Internet]. Disponible en: <http://clivar.es/wp-content/uploads/2025/02/Libro-INFORME-CLIVAR-SPAIN-clima-en-Espana-v6.pdf>

Copernicus Marine Service. Atlantic Iberian Biscay Mean Sea Level time series and trend from Observations Reprocessing. [Internet]. Disponible en: <https://marine.copernicus.eu/access-data/ocean-monitoring-indicators-atlantic-iberian-biscay-mean-sea-level-time-series-and-trend>

Coulter, L., Serrao-Neumann, S., & Coiacetto, E. (2019). Climate change adaptation narratives: Linking climate knowledge and future thinking. *Futures*, 111, 57–70.

Cradock-Henry, N.A., Connolly, J., Blackett, P., & Lawrence, J. (2020). Elaborating a systems methodology for cascading climate change impacts and implications. *MethodsX*, 7, 100893.

Dangendorf, S., Hay, C., Calafat, F.M., Marcos, M., Piecuch, C.G., Berk, K., & Jensen, J. (2019). Persistent acceleration in global sea-level rise since the 1960s. *Nature Climate Change*, 9, 705–710.

de Santiago, I., Liria, P., Epelde, I., Chust, G., & Gonzalez, M. (2019). Quantifying the climate change impact on pocket beaches by means of a probabilistic approach: the case of Donostia/San Sebastian, Spain. *Coastal sediments*, 1101–1113.

del Rio, G., Koschützki, D., & Coello, G. (2009). How to identify essential genes from molecular networks? *BMC Systems Biology*, 3, 102.

DFG. Diputación Foral de Gipuzkoa. (2024). Balance energético de Gipuzkoa 2023. [Internet]. Disponible en: https://www.gipuzkoa.eus/documents/3767975/66027750/V2_2024398_Balance+energ%C3%A9tico+Gipuzkoa+2023.pdf/4016ad2c-8502-63df-b344-beac38fc21c3?t=1739948838395

Ebaid, M.S.Y., Al-busoul, M., & Ghrair, A.M. (2020). Performance enhancement of photovoltaic panels using two types of nanofluids. *Heat Transfer*, 49, 2789–2812.

Erauskin-Extramiana, M., Alvarez, P., Arrizabalaga, H., Ibaibarriaga, L., Uriarte, A., Cotano, U., Santos, M., Ferrer, L., Cabré, A., Irigoien, X., & Chust, G. (2019). Historical trends and future distribution of anchovy spawning in the Bay of Biscay. *Deep Sea Research*, 159, 169–182.

EEA. European Environment Agency. (2024). European Climate risk Assessment (EUCRA). Publications Office of the European Union. [Internet]. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/european-climate-risk-assessment>

- EEA. European Environment Agency. (2025). European sea surface temperature. [Internet]. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/european-sea-surface-temperature>
- Flecha, S., Giménez-Romero, À., Tintoré, J., Pérez, F.F., Alou-Font, E., Matías, M.A., & Hendriks, I. E. (2022). pH trends and seasonal cycle in the coastal Balearic Sea reconstructed through machine learning. *Scientific Reports*, 12(1), 12956.
- Forster, P.M., Smith, C., Walsh, T., Lamb, W.F., Lamboll, R., Cassou, C., Hauser, M., Hausfather, Z., Lee, J.-Y., Palmer, M.D., von Schuckmann, K., Slanger, A.B.A., Szopa, S., Trewin, B., Yun, J., Gillett, N.P., Jenkins, S., Matthews, H.D., Raghavan, K., Ribes, A., Rogelj, J., Rosen, D., Zhang, X., Allen, M., Aleluia Reis, L., Andrew, R.M., Betts, R.A., Borger, A., Broersma, J.A., Burgess, S.N., Cheng, L., Friedlingstein, P., Domingues, C.M., Gambarini, M., Gasser, T., Gütschow, J., Ishii, M., Kadow, C., Kennedy, J., Killick, R.E., Krummel, P.B., Liné, A., Monselesan, D.P., Morice, C., Mühlé, J., Naik, V., Peters, G.P., Pirani, A., Pongratz, J., Minx, J.C., Rigby, M., Rohde, R., Savita, A., Seneviratne, S.I., Thorne, P., Wells, C., Western, L.M., van der Werf, G.R., Wijffels, S.E., Masson-Delmotte, V., & Zhai, P. (2025). Indicators of Global Climate Change 2024: annual update of key indicators of the state of the climate system and human influence. *Earth System Science Data*, 17, 2641–2680.
- Frederikse, T., Landerer, F., Caron, L., Adhikari, S., Parkes, D., Humphrey, V.W., Dangendorf, S., Hogarth, P., Zanna, L., Cheng, L., & Wu, Y.-H. (2020). The causes of sea-level rise since 1900. *Nature*, 584, 393–397.
- Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M.W., Andrew, R.M., Hauck, J., Landschützer, P., Le Quéré, C., Li, H., Luijkx, I.T., Olsen, A., Peters, G.P., Peters, W., Pongratz, J., Schwingshackl, C., Sitch, S., Canadell, J.G., Ciais, P., Jackson, R.B., Alin, S.R., Arneth, A., Arora, V., Bates, N.R., Becker, M., Bellouin, N., Berghoff, C.F., Bittig, H.C., Bopp, L., Cadule, P., Campbell, K., Chamberlain, M.A., Chandra, N., Chevallier, F., Chini, L.P., Colligan, T., Decayeux, J., Djeutchouang, L.M., Dou, X., Duran Rojas, C., Enyo, K., Evans, W., Fay, A.R., Feely, R.A., Ford, D.J., Foster, A., Gasser, T., Gehlen, M., Gkrizalis, T., Grassi, G., Gregor, L., Gruber, N., Gürses, Ö., Harris, I., Hefner, M., Heinke, J., Hurtt, G.C., Iida, Y., Ilyina, T., Jacobson, A.R., Jain, A.K., Jarníková, T., Jersild, A., Jiang, F., Jin, Z., Kato, E., Keeling, R.F., Klein Goldewijk, K., Knauer, J., Korsbakken, J.I., Lan, X., Lauvset, S.K., Lefèvre, N., Liu, Z., Liu, J., Ma, L., Maksyutov, S., Marland, G., Mayot, N., McGuire, P.C., Metzl, N., Monacci, N.M., Morgan, E.J., Nakaoka, S.-I., Neill, C., Niwa, Y., Nützel, T., Olivier, L., Ono, T., Palmer, P.I., Pierrot, D., Qin, Z., Resplandy, L., Roobaert, A., Rosan, T.M., Rödenbeck, C., Schwinger, J., Smallman, T.L., Smith, S.M., Sospedra-Alfonso, R., Steinhoff, T., Sun, Q., Sutton, A. J., Séférian, R., Takao, S., Tatebe, H., Tian, H., Tilbrook, B., Torres, O., Tourigny, E., Tsujino, H., Tubiello, F., van der Werf, G., Wanninkhof, R., Wang, X., Yang, D., Yang, X., Yu, Z., Yuan, W., Yue, X., Zaehle, S., Zeng, N., & Zeng, J. (2025). Global Carbon Budget 2024. *Earth System Science Data*, 17, 965–1039.
- Gu, G., & Adler, R.F. (2023). Observed Variability and Trends in Global Precipitation During 1979–2020. *Climate Dynamics*, 61, 131–150.
- Gu, G., & Adler, R.F. (2024). Variability and Trends in Tropical Precipitation Intensity in Observations and Climate Models. *Climate Dynamics*, 62, 7429–7443.
- Harrison, P.A., Dunford, R.W., Holman, I.P., & Rounsevell, M.D.A. (2016). Climate change impact modelling needs to include cross-sectoral interactions. *Nature Climate Change*, 6, 885–890.
- Herrera García, S. (2018). Proyecciones regionales de Cambio Climático para vientos extremos en España para el s. XXI: Caracterización de valores de retorno y frecuencia de configuraciones atmosféricas de peligro. [Internet]. Disponible en: https://adaptecca.es/sites/default/files/u50/2018 uc_proyecciones_regionales_cc_vientos_extremos.pdf.
- Herring, J., VanDyke, M.S., Cummins, R.G., & Melton, F. (2016). Communicating Local Climate Risks Online Through an Interactive Data Visualization. *Environmental Communication*, 11(1), 90–105.
- Hilly, G., Vojinovic, Z., Weesakul, S., Sanchez, A., Hoang, D.N., Djordjevic, S., Chen, A.S., & Evans, B. (2018). Methodological Framework for Analysing Cascading Effects from Flood Events: The Case of Sukhumvit Area, Bangkok, Thailand. *Water*, 10(1), 81.
- ICES Working Group of Oceanic Hydrography. (2014). North Atlantic Ocean climate in 2023. [Internet]. Disponible en: <https://www.ices.dk/news-and-events/news-archive/news/Pages/OceanClimate2023.aspx>
- IHOBE. (2022). Análisis de riesgo climático de los hábitats terrestres de Euskadi. Resultados. [Internet]. Disponible en: <https://www.ihobe.eus/publicaciones/analisis-riesgo-climatico-habitats-terrestres-euskadi-resultados>
- IHOBE. (2022). Vulnerabilidad, riesgo y adaptación de la costa del País vasco frente al cambio climático. [Internet]. Disponible en: <https://www.euskadi.eus/documentacion/2022/kostaegoki-vulnerabilidad-riesgo-y-adaptacion-de-la-costa-del-pais-vasco-frente-al-cambio-climatico/web01-a2inguru/es/>

IHOBE. (2023). Inundación pluvial asociada a eventos extremos de precipitación en escenarios de cambio climático en Euskadi. [Internet]. Disponible en: <https://www.ihobe.eus/es/publicaciones/inundacion-pluvial-asociada-a-eventos-extremos-precipitacion-en-escenario-cambio-climatico-en-euskadi>

IPBES. (2016). Summary for policymakers of the assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. Potts, S.G., Imperatriz-Fonseca, V.L., Ngo, H.T., Biesmeijer, J.C., Breeze, T.D., Dicks, L.V., Garibaldi, L.A., Hill, R., Settele, J., Vanbergen, A.J., Aizen, M.A., Cunningham, S.A., Eardley, C., Freitas, B.M., Gallai, N., Kevan, P.G., Kovács-Hostyánszki, A., Kwapong, P.K., Li, J., Li, X., Martins, D.J., Nates-Parra, G., Pettis, J.S., Rader, R., & Viana, B.F. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany.

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp.

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

Irish, B.M., & Volk, G.M. (2023). Climate change affects plant interactions with pollinators, pathogens and pests. In: Volk, G.M., Moreau, T.L., Byrne, P.F., editors. *Conserving and Using Climate-Ready Plant Collections*. Fort Collins, CO: Colorado State University.

Jevrejeva, S., Palanisamy, H., & Jackson, L.P. (2020). Global mean thermosteric sea level projections by 2100 in CMIP6 climate models. *Environmental Research Letters*, 16(1), 014028.

Jones, C., Hine, D.W., & Marks, A.D.G. (2017). The Future is Now: Reducing Psychological Distance to Increase Public Engagement with Climate Change. *Risk Analysis*, 37, 331-341.

Jordán, F., Báldi, A., Orci, K.-M., & Varga, Z. (2003). Characterizing the importance of habitat patches and corridors in maintaining the landscape connectivity of a *Pholidoptera transsylvanica* (Orthoptera) metapopulation. *Landscape Ecology*, 18, 83–92.

Lan, X., Tans, P., & Thoning, K.W. (2025). Trends in globally-averaged CO₂ determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements. [Internet]. Disponible en: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html?doi=10.15138/9n0h-zh07>

Lawrence, J., Blackett, P., Cradock-Henry, N.A., Flood, S., Greenaway, A., & Dunningham, A. (2016). Synthesis Report RA4: Enhancing capacity and increasing coordination to support decision making. Climate Change Impacts and Implications (CCII) for New Zealand to 2100. MBIE contract C01X1225.

Linares, C., López-Bueno, J.A., Navas-Martín, M.A., & Díaz, J. (2024). Determinación de umbrales de mortalidad por ola de calor según regiones isoclimáticas en España. Instituto de Salud Carlos III. [Internet]. Disponible en: <https://repisalud.isciii.es/handle/20.500.12105/17386>

Lisboa, F., Brotas, V., & Santos, F.D. (2024). Earth Observation—An Essential Tool towards Effective Aquatic Ecosystems' Management under a Climate in Change. *Remote Sensing*, 16(14), 2597.

Maskrey, A., Jain, G., & Lavell, A. (2023). The social construction of systemic risk: towards an actionable framework for risk governance. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 32, 4–26.

Matthews, H.D., & Wynes, S. (2022). Current global efforts are insufficient to limit warming to 1.5 °C. *Science*, 376, 1404–1409.

McGovern, E., Schilder, J., Artioli, Y., Birchenough, S., Dupont, S., Findlay, H., Skjelvan, I., Skogen, M.D., Álvarez, M., Büscher, J.V., Chierici, M., Aagaard Christensen, J.P., Diaz, P.L., Grage, A., Gregor, L., Humphreys, M., Järnegren, J., Knockaert, M., Krakau, M., Nogueira, M., Ólafsdóttir, S.R., von Schuckmann, K., Carreiro-Silva, M., Stiasny, M., Walsham, P., Widdicombe, S., Gehlen, M., Chau, T.T., Chevallier, F., Savoye, N., Clark, J., Galli, G., Hordoir, R. & Moffat, C. (2022). Ocean Acidification. In: OSPAR, 2023: *The 2023 Quality Status Report for the North-East Atlantic*. OSPAR Commission, London.

- Menk, L., Terzi, S., Zebisch, M., Rome, E., Lückerath, D., Milde, K., & Kienberger, S. (2022). Climate Change Impact Chains: A Review of Applications, Challenges, and Opportunities for Climate Risk and Vulnerability Assessments. *Weather, Climate, and Society*, 14, 619–636.
- Meyssignac, B., Seneviratne, S., Roca, R., Stephens, G.L., & Rast, M. (2024). Special Issue on Earth's Changing Water and Energy Cycle. *Surveys in Geophysics*, 45, 1715–1720.
- Meyssignac, B., Slanger, A.B.A., Melet, A., Church, J.A., Fettweis, X., Marzeion, B., Agosta, C., Ligtenberg, S.R.M., Spada, G., Richter, K., Palmer, M.D., Roberts, C.D., & Champollion, N. (2017). Evaluating Model Simulations of Twentieth-Century Sea-Level Rise. Part II: Regional Sea-Level Changes. *Journal of Climate*, 30, 8565–8593.
- NASA Jet Propulsion Laboratory. (2025). Satellite record of sea level rise from 1993 to 2024. [Internet]. Disponible en: <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia26189-satellite-record-of-sea-level-rise-from-1993-to-2024/>
- Naturklima. (2020). Informe de Impacto y Vulnerabilidad al cambio climático en Gipuzkoa. [Internet]. Disponible en: <https://naturklima.eus/informe-de-impacto-y-vulnerabilidad-al-cambio-climatico-en-gipuzkoa.htm>
- Naturklima. (2022). Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa – Infraestructuras críticas. [Internet]. Disponible en: <https://naturklima.eus/documentos/documentos/Informe-de-Impacto-y-Vulnerabilidad-2022.pdf>
- Naturklima. (2023). Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa – Recursos Hídricos. [Internet]. Disponible en: https://naturklima.eus/documentos/documentos/Naturklima_Informe_2023_Recursos_Hidricos.pdf
- Naturklima. (2024). Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa – Salud. [Internet]. Disponible en: https://naturklima.eus/documentos/documentos/Naturklima_Informe_2024_salud.pdf
- Navarro, D., Abajo, B., Calvet, M., & Feliu, E. (2025). Análisis de riesgos complejos. En Losada, I., Feliu, E., & Sanz, M. (Eds.), *Evaluación de riesgos e impactos derivados del cambio climático en España (ERICC-2025)*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- Nicholls, R.J., Lincke, D., Hinkel, J., Brown, S., Vafeidis, A.T., Meyssignac, B., Hanson, S.E., Merkes, J.-L., & Fang, J. (2021). A global analysis of subsidence, relative sea-level change and coastal flood exposure. *Nature Climate Change*, 11, 338–342.
- Niggli, L., Huggel, C., Muccione, V., Neukom, R., & Salzmann, N. (2022). Towards improved understanding of cascading and interconnected risks from concurrent weather extremes: Analysis of historical heat and drought extreme events. *PLOS Climate*, 1(8): e0000057.
- NOAA National Centers for Environmental Information. (2025). Annual 2024 Global Climate Report. [Internet]. Disponible en: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202413>
- NOAA National Centers for Environmental Information. (2025). Climate at a Glance: Global Time Series. [Internet]. Disponible en: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/climate-at-a-glance/global/time-series>
- Pascual-Collar, A., Aznar, R., Levier, B., & García-Sotillo, M. (2023). Ocean heat content in the Iberian-Biscay-Ireland regional seas. *State of the Planet*, 1, 9.
- Peral, C., Navascués, B., & Ramos, P. (2017). Serie de precipitación diaria en rejilla con fines climáticos. Nota Técnica no. 24, AEMET. [Internet]. Disponible en: https://www.aemet.es/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/detalles/NT_24_AEMET
- Pescaroli, G., & Alexander, D. (2018). Understanding Compound, Interconnected, Interacting, and Cascading Risks: A Holistic Framework. *Risk Analysis*, 38, 2245–2257.
- Petton, S., Pernet, F., Le Roy, V., Huber, M., Martin, S., Macé, É., Bozec, Y., Loisel, S., Rimmelin-Maury, P., Grossteffan, É., Repecaud, M., Quemener, L., Retho, M., Manac'h, S., Papin, M., Pineau, P., Lacoue-Labarthe, T., Deborde, J., Costes, L., Polsenaere, P., Rigouin, L., Benhamou, J., Gouriou, L., Lequeux, J., Labourdette, N., Savoye, N., Messiaen, G., Foucault, E., Ouisse, V., Richard, M., Lagarde, F., Voron, F., Kempf, V., Mas, S., Giannecchini, L., Vidussi, F., Mostajir, B., Leredde, Y., Alliouane, S., Gattuso, J.-P., & Gazeau, F. (2024). French coastal network for carbonate system monitoring: the CocoriCO₂ dataset. *Earth System Science Data*, 16, 1667–1688.
- Purkey, S.G., & Johnson, G.C. (2010). Warming of global abyssal and deep Southern Ocean waters between the 1990s and 2000s: contributions to global heat and sea level rise budgets. *Journal of Climate*, 23, 6336–6351.
- Raymond, C., Horton, R.M., Zscheischler, J., Martius, O., AghaKouchak, A., Balch, J., Bowen, S.G., Camargo, S.J., Hess, J., Kornhuber, K., Oppenheimer, M., Ruane, A.C., Wahl, T., & White, K. (2020). Understanding and managing connected extreme events. *Nature Climate Change*, 10(7), 611–621.

- Rinaldi, S.M., Peerenboom, J.P., & Kelly, T.K. (2001). Identifying, Understanding, and Analyzing Critical Infrastructure Interdependencies. *IEEE Control Systems Magazine*, 21, 6, 11–25.
- Rocha, J.C., Peterson, G., Bodin, O., & Levin, S. (2018). Cascading regime shifts within and across scales. *Science*, 362, 1379–1383.
- Rohde, R. (2025). Global temperature report for 2024. Berkeley Earth. [Internet]. Disponible en: <https://berkeleyearth.org/global-temperature-report-for-2024/>
- Scott, R.J., Cavana, R.Y., & Cameron, D. (2016). Recent evidence on the effectiveness of group model building. *European Journal of Operational Research*, 249, 908–918.
- Sillmann, J., Shepherd, T.G., van den Hurk, B., Hazeleger, W., Martius, O., Slingo, J., & Zscheischler, J. (2021). Event-based storylines to address climate risk. *Earth's Future*, 9, e2020EF001783.
- Simpson, N.P., Mach, K.J., Constable, A., Hess, J., Hogarth, R., Howden, M., Lawrene, J., Lempert, R.J., Muccione, V., Mackey, B., New, M.G., O'Neill, B., Otto, F., Pörtner, H.-O., Reisinger, A., Roberts, D., Schmidt, D.N., Severinane, S., Strongin, S., van Aalst, M., & Trisos, C.H. (2021). A framework for complex climate change risk assessment. *One Earth*, 4(4), 489–501.
- Storto, A., & Yang, C. (2024). Acceleration of the ocean warming from 1961 to 2022 unveiled by large-ensemble reanalyses. *Nature Communications*, 15, 545.
- Taboada, F., Aldanondo, N., Fontán, A., Cotano, U., Álvarez, P., Erauskin-Extramiana, M., Irigoién, X., Fernández-Salvador, J.A., Boyra, G., Uriarte, A., & Ibaibarriaga, L. (2023). Shrinking body size of European anchovy in the Bay of Biscay. *Global Change Biology*, 30, e17047.
- Tang, T., Shindell, D., Faluvegi, G., Myhre, G., Olivé, D., Voulgarakis, A., Kasoar, M., Andrews, T., Boucher, O., Forster, P.M., Hondnebrog, Ø., Iversen, T., Kirkevåg, A., Lamarque, J.-F., Richardson, T., Samset, B.H., Stjern, C.W., Takemura, T., & Smith, C. (2019). Comparison of effective radiative forcing calculations using multiple methods, drivers, and models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124.
- URA – Agencia Vasca del Agua. (2022). Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental Ciclo de planificación hidrológica 2022–2027. [Internet]. Disponible en: https://www.uragentzia.euskadi.eus/contenidos/informacion/plan_hidrologico_2022_2027/es/def/adjuntos/Anejo-17_Cambio-climatico_20230124.pdf
- von Schuckmann, K., Minière, A., Gues, F., Cuesta-Valero, F.J., Kirchengast, G., Adusumilli, S., Straneo, F., Ablain, M., Allan, R.P., Barker, P.M., Beltrami, H., Blazquez, A., Boyer, T., Cheng, L., Church, J., Desbruyeres, D., Dolman, H., Domingues, C.M., García-García, A., Giglio, D., Gilson, J. E., Gorfer, M., Haimberger, L., Hakuba, M.Z., Hendricks, S., Hosoda, S., Johnson, G.C., Killick, R., King, B., Kolodziejczyk, N., Korosov, A., Krinner, G., Kuusela, M., Landerer, F.W., Langer, M., Lavergne, T., Lawrence, I., Li, Y., Lyman, J., Marti, F., Marzeion, B., Mayer, M., MacDougall, A.H., McDougall, T., Monselesan, D.P., Nitzbon, J., Otosaka, I., Peng, J., Purkey, S., Roemmich, D., Sato, K., Sato, K., Savita, A., Schweiger, A., Shepherd, A., Seneviratne, S.I., Simons, L., Slater, D.A., Slater, T., Steiner, A.K., Suga, T., Szekely, T., Thierry, W., Timmermans, M.-L., Vanderkelen, I., Wijffels, S. E., Wu, T., & Zemp, M. (2023). Heat stored in the Earth system 1960–2020: where does the energy go? *Earth System Science Data*, 15, 1675–1709.
- von Schuckmann, K., Moreira, L., Cancet, M., Gues, F., Autret, E., Baker, J., Bricaud, C., Bourdalle-Badie, R., Castrillo, L., Cheng, L., Chevallier, F., Ciani, D., de Pascual-Collar, A., De Toma, V., Drevillon, M., Fanelli, C., Garric, G., Gehlen, M., Giesen, R., Hodges, K., Iovino, D., Jandt-Scheelke, S., Jansen, E., Juza, M., Karagali, I., Lavergne, T., Masina, S., McAdam, R., Minière, A., Morrison, H., Pantaleit, T.R., Pisano, A., Pujol, M.-I., Stoffelen, A., Thual, S., Van Gennip, S., Veillard, P., Yang, C., & Zuo, H. (2024). The state of the global ocean. In: *8th edition of the Copernicus Ocean State Report (OSR8)*, edited by: von Schuckmann, K., Moreira, L., Grégoire, M., Marcos, M., Stanova, J., Brasseur, P., Garric, G., Lionello, P., Karstensen, J., and Neukermans, G., Copernicus Publications, State Planet, 4–osr8.
- Von Schuckmann, K., Le Trapn, P.-Y., Alvarez-Funjul, E., Axell, L., Balmaseda, M., Breivik, L.-A., Brewin, R.J.W., Bricaud, C., Drevillo, M., Drillet, Y., Dubois, C., Embury, O., Etienne, H., García Sotillo, M., Garric, G., Gasparin, F., Gutknecht, E., Guinehut, S., Hernandez, F., Juza, M., Karlson, B., Korres, G., Legeais, J.-F., Levier, B., Lien, V.S., Morrow, R., Notarstegano, G., Parent, L., Pascual, A., Pérez-Gómez, B., Perruche, C., Pinardi, N., Pisano, A., Poulain, P.-M., Pujol, I.M., Raj, R.P., Raudsepp, U., Roquet, H., Samuelsen, A., Sathyendranath, S., She, J., Simoncelli, S., Solidoro, C., Tinker, J., Tintoré, J., Viktorsson, L., Ablain, M., Almroth-Rosell, E., Bonaduce, A., Clemeti, E., Cossarini, G., Dagneaux, Q., Desportes, C., Dye, S., Fratianni, C., Good, S., Greinier, E., Gourion, J., Hamon, M., Holt, J., Hyder, P., Kennedy, J., Manzano-Muñoz, F., Melet, A., Meyssignac, B., Mulet, S., Nardelli, B.B., O'Dea, E., Olason, E., Paulmier, A., Pérez-González, I., Reid, R., Racault, M.-F., Raitsos, D.E., Ramos, A., Sykes, P., Szekely, T., & Verbrugge, N. (2016). The Copernicus Marine Environment Monitoring Service Ocean State Report. *Journal of Operational Oceanography*, 9, s235–s320.

Wasserman, S., & Faust, K. (1994). Social network analysis: Methods and applications. Cambridge University Press.

Wijffels, S., Roemmich, D., Monselesan, D., Church, J., & Gilson, J. (2016). Ocean temperatures chronicle the ongoing warming of Earth. *Nature Climate Change*, 6, 116–118.

WCRP Global Sea Level Budget Group. (2018). Global sea-level budget 1993–present. *Earth System Science Data*, 10, 1551–1590.

WMO. World Meteorological Organization. (2024). The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2023. [Internet]. Disponible en: <https://library.wmo.int/records/item/69057-no-20-28-october-2024>

WMO. World Meteorological Organization. (2025). State of the Global Climate 2024. [Internet]. Disponible en: https://library.wmo.int/viewer/69455/download?file=WMO-1368-2024_en.pdf&type=pdf&navigator=1

Woppelmann, G., Povreau, N., & Simon, B. (2006). Brest sea level record: a time series construction back to the early eighteenth century. *Ocean Dynamics*, 56, 487–497.

Yokohata, T., Tanaka, K., Nishina, K., Takahashi, K., Emori, S., Kiguchi, M., Iseri, Y., Honda, Y., Okada, M., Masaki, Y., Yamamoto, A., Shigemitsu, M., Yoshimori, M., Sueyoshi, T., Iwase, K., Hanasaki N., Ito, A., Sakurai, G., Iisumi, T., Nishimori, M., Lim, W.H., Miyazaki, C., Okamoto, A., Kanae, S., & Oki, T. (2019). Visualizing the interconnections among climate risks. *Earth's Future*, 7, 85–100.

Zebisch, M., Schneiderbauer, S., Fritzsch, K., Bubeck, P., Kienberger, S., Kahnenborn, W., Schwan, S., & Below, T. (2021). The vulnerability sourcebook and climate impact chains – a standardised framework for a climate vulnerability and risk assessment. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 13, 35–59.

Zeebe, R.E., Ridgwell, A., & Zachos, J.C. (2016). Anthropogenic carbon release rate unprecedented during the past 66 million years. *Nature Geosciences*, 9, 325–329.

Zeng, Z., Chen, A., Ciais, P., Li, Y., Li, L.Z.X., Vautard, R., Zhou, L., Yang, H., Huang, M., & Piao, S. (2015). Regional air pollution brightening reverses the greenhouse gases induced warming-elevation relationship. *Geophysical Research Letters*, 42, 4563–4572.



 **GIPUZKOA**
Jasangarritasuna · Sostenibilidad

 **Naturklima**
Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa