

Informe 2025

ESTADO DEL CLIMA EN EUSKADI

1860

1890

1920

1950

1980

2010

© Ihobe S.A., Marzo 2025

Edita: Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental
Departamento de Industria, Transición Energética y Sostenibilidad
Gobierno Vasco

Alda. Urquijo, 36 6º Planta
48011 Bilbao
Tel: 900 15 08 64

Contenido: Este documento ha sido elaborado por Tecnalia y
Euskalmet para Ihobe

ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN	11
2 MENSAJES CLAVE	13
3 TEMPERATURA.....	15
3.1 Global y Europa.....	15
3.2 Euskadi	18
3.3 Indicadores de temperatura.....	21
3.3.1 Extremos cálidos	21
3.3.2 Extremos fríos	24
3.3.3 Olas de calor	26
4 INSOLACIÓN.....	29
5 PRECIPITACIÓN	31
5.1 Global y Europa.....	31
5.2 Euskadi	32
5.3 Indicadores de precipitación	35
5.3.1 Días húmedos y secos	35
5.3.2 Precipitaciones intensas.....	37
6 OCÉANO	40
6.1 Temperatura superficial del mar	40
6.1.1 Global y Europa	40
6.1.2 Golfo de Bizkaia	41
6.2 Nivel del mar	43
6.2.1 Global y Europa	43
6.2.2 Golfo de Bizkaia	44
6.3 Criosfera.....	46
6.3.1 Hielo marino	46
6.3.2 Capas de hielo de Groenlandia y la Antártida.....	47
7 VIENTO.....	49
8 EVENTOS EXTREMOS E IMPACTOS	51
8.1 Global y Europa.....	51
8.2 Euskadi	54
8.2.1 Inundaciones.....	54
8.2.2 Oleaje e impacto en costa	55

8.2.3	Tempestades ciclónicas atípicas	56
8.2.4	Nevadas	58
8.2.5	Temperaturas extremas	58
9	GASES DE EFECTO INVERNADERO	61
9.1	Global y Europa.....	61
9.2	Euskadi	64
10	TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y ACCIÓN CLIMÁTICA	68
10.1	Principales desarrollos normativos.....	68
10.1.1	Nivel global.....	68
10.1.2	Europa.....	69
10.1.3	Euskadi	69
10.2	Transición energética en Euskadi	70
10.3	Herramientas para la acción climática en Euskadi	74
11	SOBRE ESTE INFORME (MÉTODOS Y DATOS).....	77
11.1	Temperatura y precipitación	77
11.2	Insolación.....	78
11.3	Océano	79
11.4	Viento.....	80
11.5	Eventos extremos e impactos	80
11.6	Emisiones de gases de efecto invernadero	81
11.7	Energía y acción climática.....	81
12	REFERENCIAS Y ENLACES DE INTERÉS	82

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1.1: Calificación climática anual de la CAPV en base a anomalías anuales de precipitación (%) y temperatura media (°C) para el periodo 1970-2023 con respecto al periodo de referencia 1991-2020.	11
Figura 3.1: Diferencia de temperatura media anual global (°C) en el periodo 1850-2023 con respecto al periodo de referencia 1850-1900 para cuatro conjuntos de datos de temperatura global.....	15
Figura 3.2: Anomalía de la temperatura media anual del aire en superficie (°C) para 2023 en comparación con el periodo de referencia 1991-2020.....	16
Figura 3.3: Diferencia de temperatura media anual (°C) para Europa (25°W-40°E, 34°-72°N) sobre tierra con respecto al periodo de referencia 1991-2020 para cuatro conjuntos de datos de temperatura.	17
Figura 3.4: Promedio de la temperatura media anual del aire (°C) en superficie en la CAPV para el periodo de referencia 1991-2020.	18
Figura 3.5: Temperatura media anual (°C) para la CAPV entre 1970 y 2023 (símbolos circulares - EuskalKlim-Tgrid00), entre 1971 y 2016 (símbolos triangulares - Atlas histórico de Euskadi) y entre 2000 y 2023 (símbolos rectangulares - EuskalKlim-Dobs). Las líneas discontinuas señalan las tendencias significativas.	19
Figura 3.6: Diferencia de temperatura media anual (°C) para la CAPV en el periodo 1950-2023 (barras rojas y azules - ERA5-land) y en el periodo 1970-2023 (barras rojas oscuras y azules oscuras - EuskalKlim-Tgrid00) con respecto al periodo de referencia 1991-2020. Las líneas discontinuas señalan las tendencias significativas.	19
Figura 3.7: Temperatura media diaria de la CAPV (°C) para cada día del año 2022 (línea negra discontinua) y 2023 (línea negra discontinua y punteada). La línea gris muestra la media de 1991-2020 para cada día; las líneas roja y azul se corresponden a los valores máximo y mínimo y el sombreado gris indica los valores entre los percentiles 10 y 90 para cada día del año basados en el periodo 1970-2023. Las zonas sombreadas en rojo/azul (naranja/azul claro) indican los valores del año 2022 (2023) superiores/inferiores al percentil 90/10.....	20
Figura 3.8: Número anual de días cálidos para dos conjuntos de datos en el periodo 1950-2023 (barras rosas - ERA5-land) y en el periodo 1970-2023 (barras naranjas - EuskalKlim-Tgrid00) en los que la temperatura media diaria es superior al percentil 90 de las temperaturas medias diarias de una ventana de cinco días centrada en cada día natural del periodo de referencia 1991-2020. Las líneas discontinuas señalan las tendencias significativas del número de días cálidos.	22
Figura 3.9: Número anual de días muy cálidos para dos conjuntos de datos en el periodo 1950-2023 (barras marrones - ERA5-land) y en el periodo 1970-2023 (barras rojas - EuskalKlim-Tgrid00) en los que la temperatura máxima diaria es superior al percentil 90 de las temperaturas máximas diarias de una ventana de cinco días centrada en cada día natural del periodo de referencia 1991-2020. Las líneas discontinuas señalan las tendencias significativas del número de días muy cálidos.....	22
Figura 3.10: Número anual de días de verano para dos conjuntos de datos en el periodo 1950-2023 (barras rosas - ERA5-land) y en el periodo 1970-2023 (barras moradas - EuskalKlim-Tgrid00) en los	

que la temperatura máxima diaria es superior a los 25 °C. Las líneas discontinuas señalan las tendencias significativas del número de días de verano.	23
Figura 3.11: Número anual de noches cálidas para dos conjuntos de datos en el periodo 1950-2023 (barras rojas - ERA5-land) y en el periodo 1970-2023 (barras naranjas - EuskalKlim-Tgrid00) en los que la temperatura mínima diaria es superior al percentil 90 de las temperaturas mínimas diarias de una ventana de cinco días centrada en cada día natural del periodo de referencia 1991-2020. Las líneas discontinuas señalan las tendencias significativas del número de noches cálidas.....	24
Figura 3.12: Número anual de días fríos para dos conjuntos de datos en el periodo 1950-2023 (barras azul oscuras - ERA5-land) y en el periodo 1970-2023 (barras azules claras - EuskalKlim-Tgrid00) en los que la temperatura media diaria es inferior al percentil 10 de las temperaturas medias diarias de una ventana de cinco días centrada en cada día natural del periodo de referencia 1991-2020. Las líneas discontinuas señalan las tendencias significativas del número de días fríos.	25
Figura 3.13: Número anual de días muy fríos para dos conjuntos de datos en el periodo 1950-2023 (barras azules - ERA5-land) y en el periodo 1970-2023 (barras verdes - EuskalKlim-Tgrid00) en los que la temperatura máxima diaria es inferior al percentil 10 de las temperaturas máximas diarias de una ventana de cinco días centrada en cada día natural del periodo de referencia 1991-2020. Las líneas discontinuas señalan las tendencias significativas del número de días muy fríos.....	25
Figura 3.14: Número anual de días de helada para dos conjuntos de datos en el periodo 1950-2023 (barras verdes - ERA5-land) y en el periodo 1970-2023 (barras verdes oscuras - EuskalKlim-Tgrid00) en los que la temperatura mínima diaria es inferior a los 0 °C. Las líneas discontinuas señalan las tendencias significativas del número de días de helada.....	26
Figura 3.15: Número anual de días de ola de calor para dos conjuntos de datos en el periodo 1950-2023 (barras rojas - ERA5-land) y en el periodo 1970-2023 (barras naranjas - EuskalKlim-Tgrid00); episodios de al menos tres días consecutivos en los que la temperatura máxima diaria media para la CAPV de cada día es superior al percentil 90 (ERA5-land: 27 °C y EuskalKlim-Tgrid00: 29 °C) de la temperatura máxima de los días de verano (de mayo a septiembre) calculados para el periodo 1991-2020. Los fragmentos verticales de cada barra anual corresponden a distintos episodios de ola de calor. Las líneas discontinuas señalan las tendencias significativas del número de días de ola de calor.....	27
Figura 3.16: Temperatura máxima promedio de los días de episodios de olas de calor en la CAPV (°C) en el periodo 1970-2023, el tamaño de la burbuja denota la duración del evento.....	27
Figura 4.1: Evolución de las anomalías anuales de la radiación solar (MJ/m ²) (barras marrones y azules oscuras - ERA5-land) para 1950-2023 y la duración de la insolación en la CAPV (horas) (barras amarillas y grises – SARAH-3) para 1983-2023 con respecto al periodo de referencia 1991-2020. Las líneas discontinuas indican las tendencias significativas.	29
Figura 5.1: Evolución de las anomalías anuales de precipitación (%) en Europa (25°W-40°E, 34°-72°N) sobre tierra desde 1950 a 2023. Las anomalías se expresan en porcentaje de la media anual del periodo de referencia 1991-2020. La línea discontinua señala la tendencia significativa.	32
Figura 5.2: Promedio de la precipitación acumulada anualmente (mm) en la CAPV para el periodo de referencia 1991-2020.....	32
Figura 5.3: Evolución anual de la precipitación acumulada (mm) en la CAPV entre 1950 y 2023 (barras azules - ERA5-land), entre 1970 y 2023 (barras verdes – EuskalKlim-Pgrid00), entre 1971 y	

2016 (línea gris y símbolos triangulares - Atlas histórico de Euskadi) y entre 2000 y 2023 (línea negra y símbolos rectangulares - EuskalKlim-Dobs). La línea discontinua indica la media móvil en una ventana 11 años (ERA5-land).....	33
Figura 5.4: Evolución anual de las anomalías de precipitación acumulada (mm) de la CAPV en el periodo 1950-2023 (barras verdes oscuras y marrones - ERA5-land) y en el periodo 1970-2023 (barras verdes y amarillas - EuskalKlim-Pgrid00) con respecto al periodo de referencia 1991-2020. La línea discontinua indica la media móvil en una ventana 11 años (ERA5-land).....	34
Figura 5.5: Precipitación media diaria de la CAPV (mm) para cada día del año 2023 (línea azul sombreada). La línea negra muestra la media de 1991-2020 para cada día; la línea morada muestra los valores máximos y el sombreado gris los valores percentiles 95 y 90 para cada día del año basados en el periodo 1970-2023.....	34
Figura 5.6: Número anual de días en los que la precipitación es superior a (arriba) 1 mm, días de lluvia, (centro) 10 mm, días lluviosos, y (abajo) 20 mm, días muy lluviosos en el periodo 1970-2023 (líneas discontinuas y símbolos circulares EuskalKlim-Pgrid00) y en el periodo 1971-2016 (líneas discontinuas punteadas y símbolos triangulares – Atlas histórico de Euskadi). Las líneas discontinuas señalan la media móvil en una ventana de 11 años.....	36
Figura 5.7: Duración máxima anual de días secos consecutivos (precipitación diaria inferior a 1 mm) (arriba) y número de periodos anuales de más de cinco días secos consecutivos (abajo) en el periodo 1970-2023 (líneas discontinuas y símbolos circulares - EuskalKlim-Pgrid00) y en el periodo 1971-2016 (líneas discontinuas punteadas y símbolos triangulares – Atlas histórico de Euskadi). Las líneas discontinuas señalan la media móvil en una ventana de 11 años.	37
Figura 5.8: Número de periodos de cinco días consecutivos anuales en los que la precipitación es superior a 50 mm/5 días (arriba) y precipitación máxima acumulada en 5 días consecutivos (mm) anualmente (abajo) en el periodo 1970-2023 (líneas discontinuas y símbolos circulares - EuskalKlim-Pgrid00) y en el periodo 1971-2016 (líneas discontinuas punteadas y símbolos triangulares – Atlas histórico de Euskadi). Las líneas discontinuas señalan la media móvil en una ventana de 11 años.	38
Figura 5.9: Número anual de días en el periodo 1970-2023 en los que la precipitación diaria supera el percentil 95 (días muy húmedos - línea azul oscura) y 99 (días extremadamente húmedos - línea morada) de la precipitación en días húmedos (precipitación diaria superior a 1 mm) en una ventana de 91 días centrada en cada día natural del periodo de referencia 1991-2020 (arriba). Porcentaje de precipitación en los días en los que se supera el percentil 95 (días muy húmedos - línea azul oscura) y 99 (días extremadamente húmedos - línea morada) con respecto a la precipitación en días húmedos en una ventana de 91 días centrada en cada día natural del periodo de referencia 1991-2020 (abajo). Las líneas discontinuas señalan la media móvil en una ventana de 11 años.	39
Figura 6.1: Anomalías anuales de la media global de la temperatura superficial del mar (°C) para el periodo 1850-2023 con respecto al periodo de referencia 1991-2020 para tres conjuntos de datos.	41
Figura 6.2: Tendencia global de la temperatura superficial del mar (°C/año) en el periodo 1993-2021.	41
Figura 6.3: Tendencia de la temperatura superficial del mar (°C/década) en la zona IBI (Iberia-Bizkaia-Irlanda) en el periodo 1982-2023.....	42

Figura 6.4: Anomalía de la temperatura superficial del mar (°C) promediada en el golfo de Bizkaia (11°-1°W, 43°-48.5°N) en el periodo 1981-2023: tendencia anual (línea continua) y promedio mensual (línea discontinua punteada). Las anomalías se calculan con respecto al período de referencia 1991-2020. La línea recta discontinua indica la tendencia en el periodo 1981-2023.....	43
Figura 6.5: Serie temporal del nivel medio global del mar de 1880 a 2013 (en comparación con la media de 1993 a 2008), estimado a partir de mareógrafos (verde). Las estimaciones de incertidumbre de una desviación estándar se indican por el sombreado. Serie temporal de referencia del nivel medio global del mar basadas en datos de las misiones TOPEX/Poseidon, Jason-1, Jason-2 y Jason-3, tras eliminar las señales anuales y semestrales y aplicar un filtrado de 2 meses para el periodo 1993-2023 (gris).	44
Figura 6.6: Evolución media regional del nivel del mar (cm) desde enero de 1993 a junio de 2023 en la zona IBI (Iberia-Bizkaia-Irlanda, 20°W-10°E, 26°-48°N), a partir de las observaciones de altímetro por satélite. La línea discontinua indica la tendencia.	45
Figura 6.7: Tendencia relativa del nivel del mar en mareógrafos (m): Brest (arriba izquierda), Donibane Lohizune – St. Jean de Luz (arriba derecha), A Coruña (abajo izquierda) y Santander (abajo derecha).	45
Figura 6.8: Series diarias anuales de la extensión de hielo marino ártico (millones de km ²) desde 1979 hasta 2023. El hielo marino ártico se define como el área del océano cubierta con más de un 15 % de concentración de hielo marino.	46
Figura 6.9: Extensión de hielo marino antártico (millones de km ²) para cada día del 2023 (línea negra). La línea gris muestra la mediana de 1991-2020 para cada día; las líneas grises discontinuas muestran los valores máximos y mínimos y el sombreado gris los valores percentiles para cada día del año basados en el periodo 1979-2023. La línea azul muestra el año 1986 y la línea morada el 2022.	47
Figura 6.10: Balance de masas del hielo en Groenlandia (azul), en la Antártida (verde) y la suma de ambos (gris) para el periodo 1992-2020. Cambio total acumulado de la masa de hielo (gigatoneladas) (izquierda) y contribución a la subida del nivel del mar (mm) (derecha). El sombreado representa la incertidumbre.	48
Figura 7.1: Evolución anual de las anomalías de la velocidad media del viento (%) en superficie para la CAPV y para el periodo 1950-2023 (barras azules oscuras y naranjas - ERA5) y (barras azules claras y marrones - ERA5-land) con respecto al periodo de referencia 1991-2020. Las líneas discontinuas señalan la media móvil en una ventana de 11 años.	49
Figura 8.1: Evolución de pérdidas económicas anuales (millones de €) debido a fenómenos extremos en la Unión Europea (EU-27) en el periodo 1980-2022. La línea discontinua señala la tendencia significativa.	52
Figura 8.2: Porcentajes de pérdidas económicas totales (izquierda), pérdidas económicas aseguradas (centro) y víctimas mortales (derecha) debido a fenómenos extremos en la Unión Europea (EU-27) en el periodo 1980-2022.	53
Figura 8.3: Evolución de partes de daños anuales (arriba) y de indemnizaciones de daños anuales (millones de €) (abajo) debido a inundaciones para cada territorio histórico (barras acumuladas) y la CAPV (línea continua) en el periodo 1994-2021.	55

Figura 8.4: Evolución de partes de daños anuales (arriba) y de indemnizaciones de daños anuales (millones de €) (abajo) debido a tempestades ciclónicas atípicas para cada territorio histórico (barras acumuladas) y la CAPV (línea continua) en el periodo 1994-2021.	57
Figura 8.5: Porcentajes indemnizaciones de daños por inundaciones (izquierda) y tempestades ciclónicas atípicas (derecha) para cada territorio histórico en el periodo 1994-2021.....	57
Figura 8.6: Número de personas fallecidas directamente atribuido a desastres naturales por cada 100 000 habitantes en el periodo 2010-2022, para toda la CAPV (línea amarilla), Álava (barras azules claras), Bizkaia (barras verdes) y Gipuzkoa (barras azules oscuras).	59
Figura 8.7: Estimaciones de excesos de mortalidad atribuibles a un exceso o defecto de la temperatura en le CAPV en el periodo 2015-2023, para todos los grupos de edad (barras naranjas), mayores de 65 años (barras rojas) y mayores de 85 años (barras amarillas).	59
Figura 9.1: Evolución de las concentraciones de gases de efecto invernadero en promedio mensual y tendencia para (arriba) dióxido de carbono (CO ₂) global y en el observatorio de Mauna Loa (ppm), (centro) metano (CH ₄) global (ppb) y (abajo) óxido nitroso (N ₂ O) global (ppb).	62
Figura 9.2: Emisiones anuales de dióxido de carbono (CO ₂) por tipo de combustible o industria (millones de toneladas) (arriba) a nivel global y (abajo) para Europa en el periodo 1950-2022.....	63
Figura 9.3: Evolución de las emisiones totales de gases de efecto invernadero en la CAPV (millones de toneladas de CO ₂ equivalente) en el periodo 1990-2022 (arriba) por tipo de gas y (abajo) por sectores.	64
Figura 9.4: Contribución de los distintos sectores a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Euskadi.	65
Figura 9.5: Evolución del índice de emisiones de los distintos sectores, 1990=100.	65
Figura 9.6: Evolución del índice de emisiones totales de gases de efecto invernadero en la CAPV en el periodo 2005-2023, año 2005=100.	66
Figura 9.7: Evolución de emisiones y objetivos del informe IPCC 1,5 °C (2010=100).	66
Figura 9.8: Evolución de absorciones de CO ₂ en la CAPV (Kt CO ₂ -equivalente/año), incluyendo gases distintos al CO ₂ (signo +, fijaciones; signo -, emisiones) en el periodo 1990-2022. En el periodo 2012-2022 los datos son provisionales a la espera de la publicación de los correspondientes informes forestales.	67
Figura 10.1: Evolución de las emisiones de GEI de Euskadi (millones de toneladas de CO ₂ equivalente) directas (no incluye la energía eléctrica importada) y energéticas en el periodo 1990-2022. En el eje secundario se incluye el peso relativo de las GEI energéticas sobre las emisiones directas totales.....	71
Figura 10.2: Evolución del consumo de energía final por sectores (ktep) en la CAPV en el periodo 2000-2022.	71
Figura 10.3: Consumo de energía final por sector y por tipo de combustible en la CAPV en 2022 en Ktep (arriba) y en porcentajes (abajo).	72
Figura 10.4: Evolución de la intensidad energética de Euskadi (2000 = base 100) (gris), junto con el PIB (naranja) y el consumo final de energía (azul).	73
Figura 10.5: Abastecimiento de electricidad por tecnología (%) en la CAPV en 2022.	73

1 INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN

El cambio climático antropogénico es uno de los principales retos a los que nos enfrentamos como sociedad. Las observaciones y reconstrucciones del clima pasado evidencian el calentamiento global provocado por las actividades humanas, sobre todo a través de las emisiones de gases de efecto invernadero. A escala global la frecuencia y la intensidad de los eventos meteorológicos y climáticos extremos -como el calor extremo, las precipitaciones intensas, las inundaciones costeras, los incendios o las sequías- van en aumento y tienen un gran impacto en la salud y el bienestar de los ciudadanos y los ecosistemas. Europa es el continente que más rápido se está calentando y en Euskadi los años 2022 y 2023 fueron los dos años más cálidos registrados hasta la fecha.

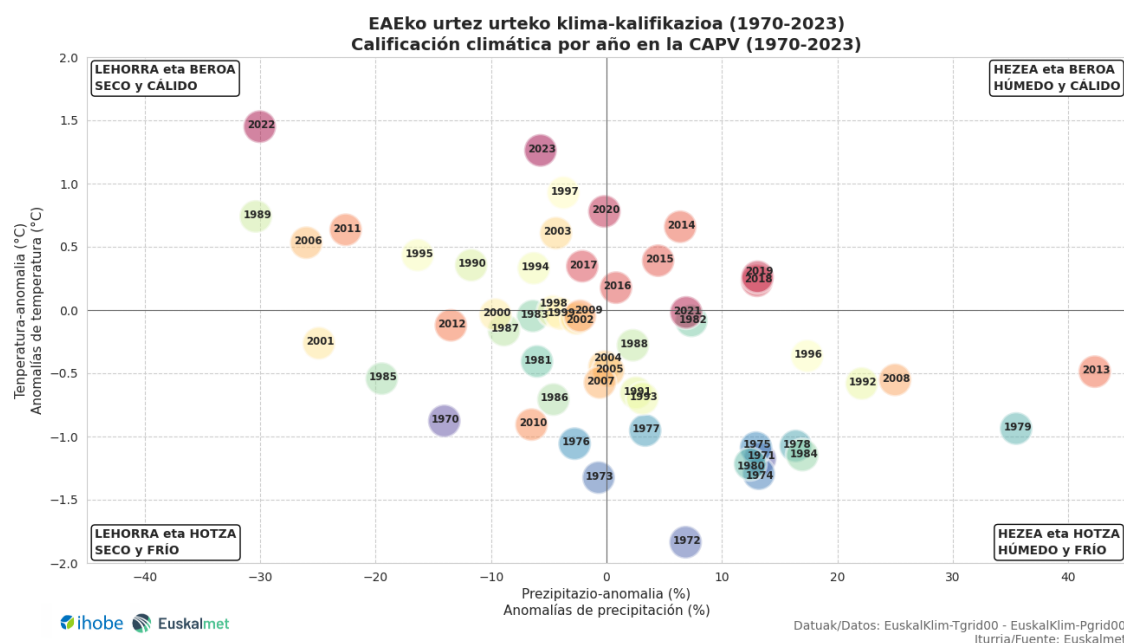


Figura 1.1: Calificación climática anual de la CAPV en base a anomalías anuales de precipitación (%) y temperatura media (°C) para el periodo 1970-2023 con respecto al periodo de referencia 1991-2020.

En Euskadi se pueden diferenciar dos zonas climáticas, una atlántica y una mediterránea, así como una zona de transición. Su clima se halla condicionado por su ubicación geográfica, en la que cobra especial relevancia la influencia del golfo de Bizkaia, su proximidad con los Pirineos y el relativamente elevado gradiente altitudinal, pasando del nivel del mar a altitudes considerables en pocos kilómetros. En consecuencia, el cambio climático en Euskadi merece una atención especial, más allá de la clasificación regional empleada por el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), esto es: norte de Europa, Europa central y oeste, Europa del este y región mediterránea, siendo un claro ejemplo el análisis de la precipitación, que en Euskadi no responde a las tendencias de las áreas mencionadas, lo que evidencia la necesidad de realizar este estudio, como herramienta tanto para el público en general, como para agentes privados e institucionales de Euskadi

Ihobe¹, la sociedad pública de gestión ambiental del Gobierno Vasco, junto con Agencia Vasca de Meteorología- Euskalmet², desempeñan un importante papel en la vigilancia, análisis y comunicación de los cambios observados y futuros del clima de Euskadi. Con más de cuarenta años de historia, Ihobe es un referente en la mejora del medioambiente, integrando la variable ambiental en las políticas públicas vascas y fomentando el desarrollo sostenible del territorio.

Este informe del Estado del Clima elaborado para Ihobe por Tecnalía y Euskalmet sintetiza los conocimientos científicos internacionales y regionales sobre el clima, partiendo de observaciones y análisis que permiten evaluar y comprender los cambios a largo plazo del clima. A su vez, se abordan los impactos del clima y los eventos extremos, así como los aspectos referentes a la transición energética y acción climática en la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV).

Este documento pretende servir como herramienta de conocimiento tanto para el público en general, como para agentes privados e institucionales de Euskadi.

2 MENSAJES CLAVE

Temperatura

2023

Global del aire	+0,6 °C (respecto a 1991-2020)
	+1,45 °C (respecto a 1850-1900)
Europa (en tierra)	+1,1 °C (respecto a 1991-2020)
Euskadi (en tierra)	+1,3 °C (respecto a 1991-2020)

2014-2023

Global del aire	+0,3 °C (2014-2023 respecto a 1991-2020)
	+0,7 °C (2014-2023 respecto a 1971-2000)
Europa (en tierra)	+0,7 °C (2014-2023 respecto a 1991-2020)
	+1,5 °C (2014-2023 respecto a 1971-2000)
Euskadi (en tierra)	+0,6 °C (2014-2023 respecto a 1991-2020)
	+1,1 °C (2014-2023 respecto a 1971-2000)

Indicadores temperatura Euskadi

Días cálidos	↑ 6 días/década (1970-2023)
Días muy cálidos	↑ 6 días/década (1970-2023)
Noches cálidas	↑ 6 días/década (1970-2023)
Días de verano	↑ 4 días/década (1970-2023)
Días de ola de calor	↑ 1 día/década (1970-2023)
Días fríos	↓ entre 8 y 10 días/década (1970-2023)
Días muy fríos	↓ entre 5 y 8 días/década (1970-2023)
Días de helada	↓ entre 2 y 3 días/década (1970-2023)

Insolación

Euskadi	↑ 40 horas/década (1983-2023)
---------	-------------------------------

Temperatura superficial del mar

Global	↑ 0,6 °C (1980-2023)
Golfo de Bizkaia	↑ 1 °C (1981-2023)

Nivel del mar

Global	↑ 3,6 mm/anuales (1993-2023)
Golfo de Bizkaia	↑ 2,5 mm/anuales (1993-2019)

Concentraciones globales de gases de efecto invernadero

Dióxido de carbono (CO ₂)	419 ppm (2023); ↑ 2,2 ppm/anuales (2001-2023)
Metano (CH ₄)	1925 ppb (2023); ↑ 7 ppb/anuales (2001-2023)
Óxido nitroso (N ₂ O)	336 ppb (2023); ↑ 0,9 ppb/anuales (2001-2023)

Emisiones

Global CO ₂	↑ 63 % (1990-2022)
Europa CO ₂	↓ 37 % (1990-2022)
Euskadi emisiones totales	↓ 11 % (1990-2022)

3 TEMPERATURA

- A escala global el 2024 fue el año más cálido registrado en 175 años, seguido del 2023. La temperatura global del 2023 se situó 0,6 °C por encima de la del periodo de referencia 1991-2020 y 1,45 °C por encima de la temperatura del periodo preindustrial 1850-1900.
- En Europa el 2024 fue también el año más cálido registrado, superando el 2020 y el 2023, el segundo y tercer año más cálidos consecutivamente. El 2023 se situó 1,1 °C por encima de la media del periodo 1991-2020. Durante el periodo 1991-2020 Europa se calentó a un ritmo de 0,5 °C por década, más del doble de la media mundial.
- En Euskadi el 2022 y el 2023 fueron los años más cálidos registrados desde 1950, superando en más de 1,4 °C y 1,3 °C la media del periodo 1991-2020.
 - Los días cálidos y muy cálidos y las noches cálidas han aumentado seis días por década desde 1970. Los días de verano han aumentado cuatro días por década.
 - Desde 1970 los días fríos han disminuido entre ocho y diez días por década, los días muy fríos entre cinco y ocho días y los días de helada entre dos y tres días.
 - Los días de olas de calor han aumentado más de un día por década y las temperaturas máximas registradas durante los episodios de calor están ascendiendo.

3.1 Global y Europa

El calentamiento global causado por las actividades humanas es inequívoco. El 2023 fue un año excepcionalmente cálido³. Diversas bases de datos (HadCRUT5, NOAA Global Temp, NASA-GISTEMP y ERA5) muestran que el promedio de la temperatura global en superficie, sobre tierra y mar, dicho año se situó en torno a 1,45 °C por encima de la temperatura del periodo preindustrial de referencia 1850-1900.

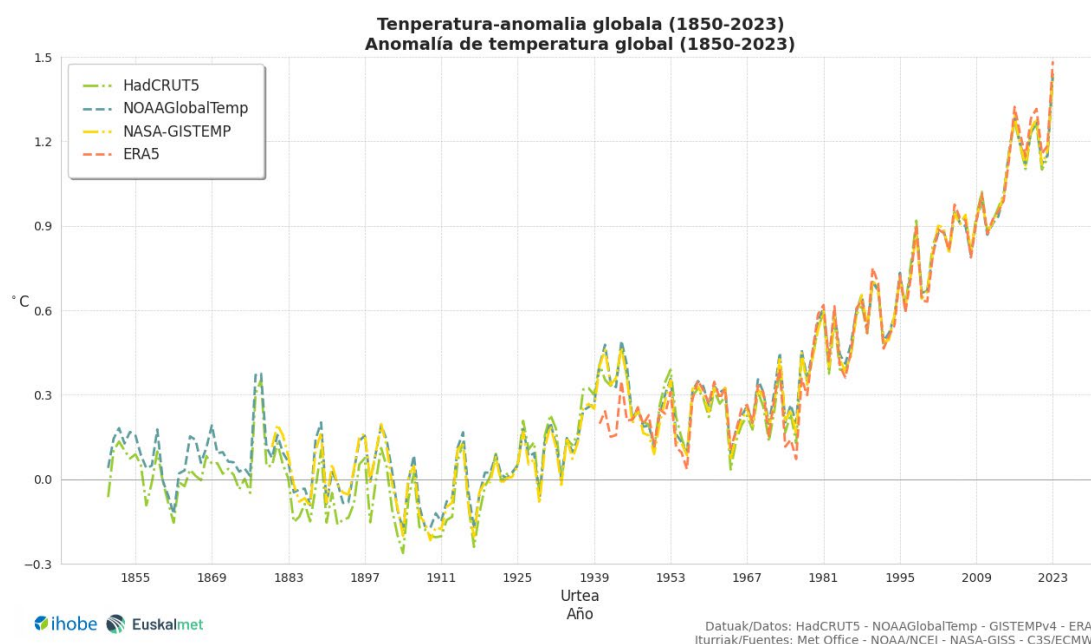


Figura 3.1: Diferencia de temperatura media anual global (°C) en el periodo 1850-2023 con respecto al periodo de referencia 1850-1900 para cuatro conjuntos de datos de temperatura global.

Todos los días del 2023 la temperatura media del planeta superó en 1 °C la temperatura media de 1850-1900⁴ y durante siete meses consecutivos, desde junio y hasta diciembre, se registraron los meses más cálidos en 174 años; durante varios de esos meses la temperatura global fue 1,5 °C superior al promedio preindustrial y en algunas bases de datos casi el 50 % de los días se superó el umbral de 1,5 °C⁴.

La temperatura media anual del planeta en 2023 se situó 0,6 °C por encima de la del periodo de referencia 1991-2020. 1991-2020 es el último periodo de referencia de 30 años definido por la Organización Meteorológica Mundial (WMO)⁵ para calcular las medias climatológicas.

El periodo 2014-2023 fue el más cálido a escala global desde que comenzaron los registros en 1850, en torno a 0,3 °C más cálido que el periodo 1991-2020 y 0,7 °C que el periodo 1971-2000.

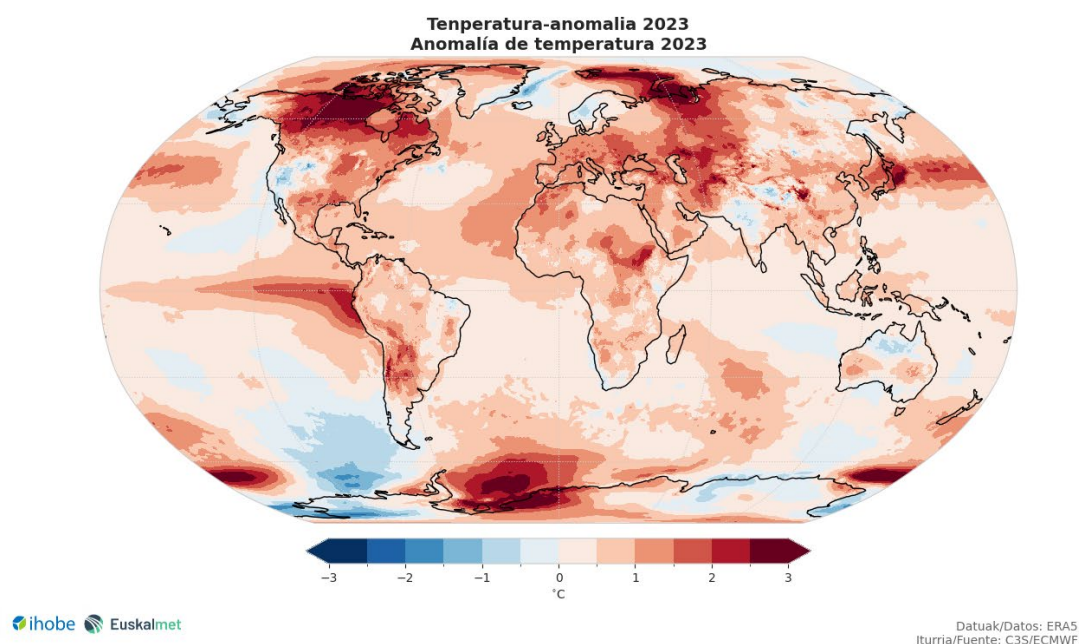


Figura 3.2: Anomalía de la temperatura media anual del aire en superficie (°C) para 2023 en comparación con el periodo de referencia 1991-2020.

El año 2024 se situó 0,72 °C por encima de la media de 1991-2020, en base a datos provisionales de ERA5, siendo la temperatura más alta registrada en este periodo y 0,12 °C más cálida que 2023, situándose el 2024 como el año más cálido registrado y el primer año completo que excede 1,5 °C por encima del registrado en la era preindustrial⁶.

El umbral de 1,5 °C de calentamiento es una cifra muy significativa en el marco del Acuerdo de París⁷ de 2015. El Acuerdo de París es un tratado en el que 195 naciones se comprometieron a hacer frente al cambio climático, con los objetivos de reducir el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C por encima de los niveles preindustriales y proseguir los esfuerzos para limitar el aumento de la temperatura a 1,5 °C para finales de este siglo⁷. No obstante, se ha de tener en cuenta que el umbral de 1,5 °C del Acuerdo de París hace referencia a un periodo climatológico de 20 a 30 años, dado que estos promedios permiten evaluar mejor la tendencia a largo plazo del calentamiento global. Por tanto, que la temperatura media global en superficie supere puntualmente los 1,5 °C de calentamiento no implica que se haya alcanzado el límite fijado en el Acuerdo de París.

Después de tres años consecutivos (2020, 2021 y 2022) del fenómeno de La Niña (la fase fría del patrón de El Niño-Oscilación del Sur, ENSO), durante el 2023 se desarrolló El Niño (su fase cálida). El Niño favorece el aumento de las temperaturas globales y altera los patrones meteorológicos y climáticos. Por ejemplo, el 2016 es el tercer año más cálido a escala global, coincidiendo con un evento de El Niño excepcionalmente fuerte. No obstante, el 2023 fue un año excepcional aun sin contar con el impacto de El Niño, con importantes anomalías cálidas en zonas extratropicales de Asia y América; en promedio el 2023 fue entre 0,15-0,17 °C más cálido que el 2016.

En Europa el 2024 fue también el año más cálido registrado, superando a los años 2020 y 2023, segundo y tercero más cálidos consecutivamente⁶. El promedio de la temperatura en superficie para el conjunto de Europa, solo en tierra, también muestra una tendencia ascendente, con un mayor calentamiento a partir de la década de 1980. La temperatura media anual del 2023 para el conjunto de Europa fue 1,1 °C más alta que la media del periodo de referencia 1991-2020 y más de 2 °C que 1850-1900.

Durante el período 1991-2020 Europa se calentó a un ritmo de 0,5 °C por década, más del doble de la media mundial, de manera que es el continente que más rápido se está calentando⁸. Además, los cinco años más cálidos registrados en Europa hasta el 2023 se produjeron en la última década (2015, 2019, 2020, 2022 y 2023). La década 2014-2023 fue 0,7 °C más cálida que 1991-2020 y 1,5 °C más cálida que 1971-2000.

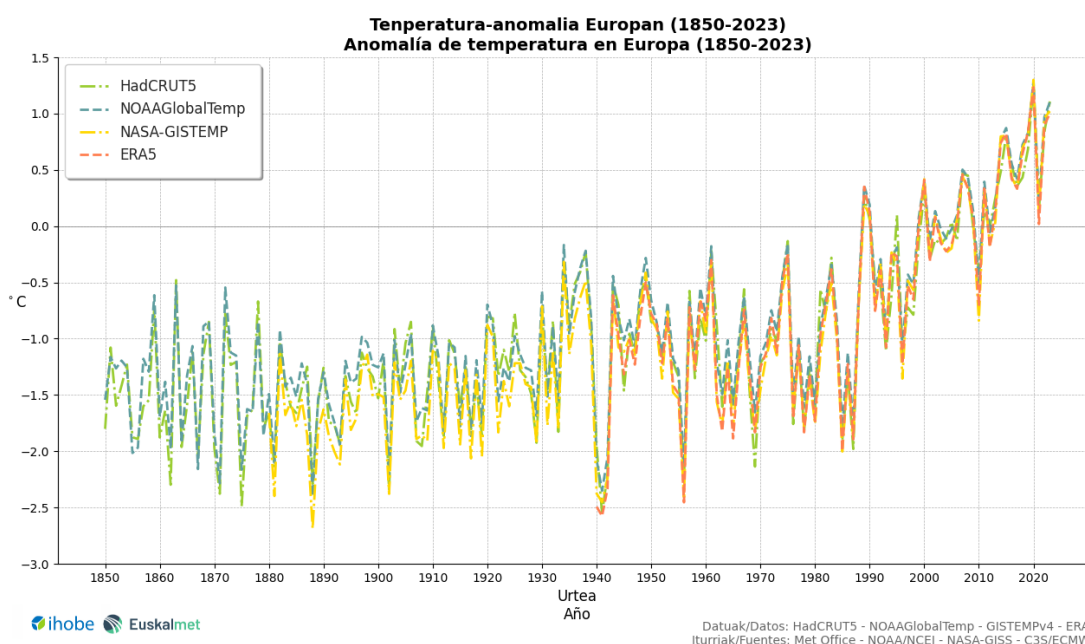


Figura 3.3: Diferencia de temperatura media anual (°C) para Europa (25°W-40°E, 34°-72°N) sobre tierra con respecto al periodo de referencia 1991-2020 para cuatro conjuntos de datos de temperatura.

3.2 Euskadi

El clima en Euskadi no es homogéneo, existiendo varias zonas con características diferenciadas. La vertiente cantábrica, que incluye Gipuzkoa, Bizkaia y el norte de Álava, presenta un clima templado en cuanto a las temperaturas. Fuertemente influenciadas por la cercanía del mar, las temperaturas son suaves tanto en verano como en invierno y no sufren grandes oscilaciones entre la noche y el día. Cerca de la costa es donde se registran los valores medios más altos para toda la CAPV, con medias anuales que superan los 14 °C. Gran parte de Álava queda situada en una zona de transición entre el clima oceánico de la vertiente cantábrica y el clima mediterráneo del sur de la CAPV. En el sur de Álava la influencia del océano es menor y las oscilaciones térmicas entre las estaciones son más importantes. El siguiente gráfico, que representa las temperaturas medias anuales, es una muestra de las tres zonas diferenciadas mencionadas anteriormente.

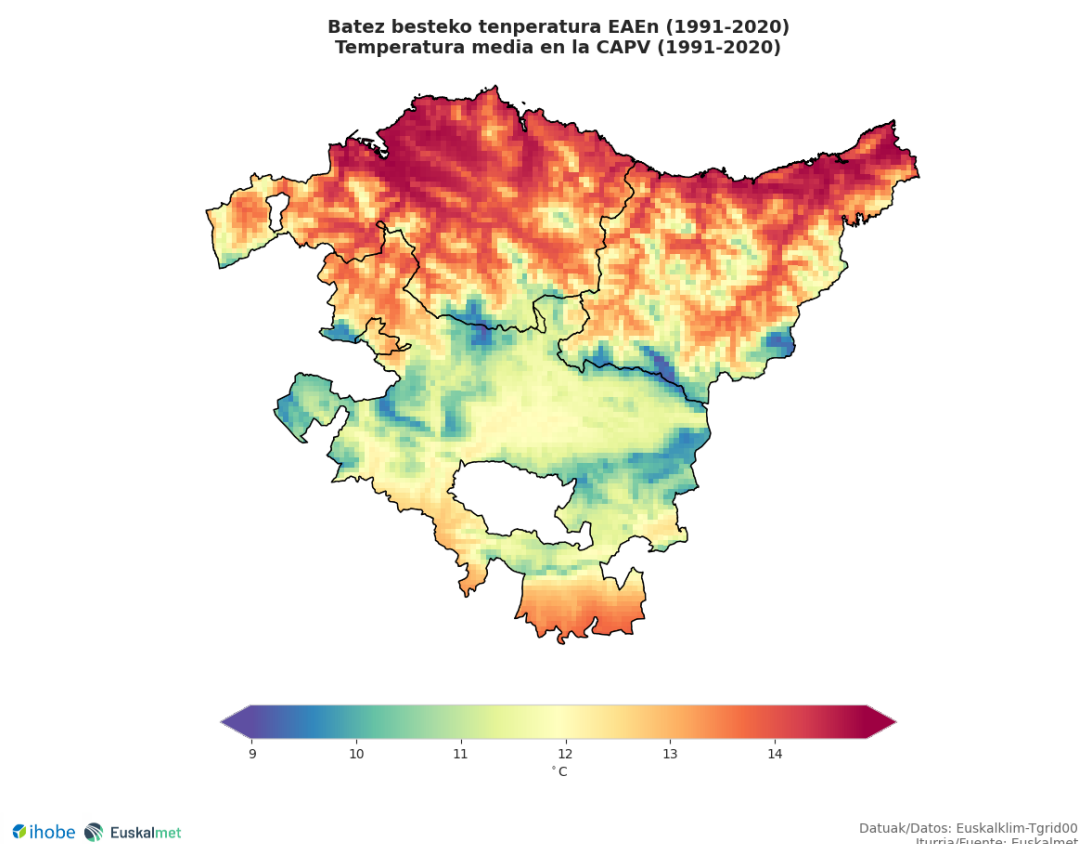


Figura 3.4: Promedio de la temperatura media anual del aire (°C) en superficie en la CAPV para el periodo de referencia 1991-2020.

Para el estudio del clima en la CAPV se dispone de varias fuentes de datos, desde datos observados en estaciones automáticas, gestionadas conjuntamente por las Diputaciones Forales, la Agencia Vasca del Agua (URA)⁹ y la Dirección de Atención de Emergencias y Meteorología (DAEM)¹⁰, a bases de datos con una gran resolución espacial (1 km x 1 km)^{2,11}. A pesar de las discrepancias en los valores absolutos de temperatura, los datos climáticos espaciales de alta resolución disponibles desde 1970 muestran un calentamiento inequívoco para la CAPV.

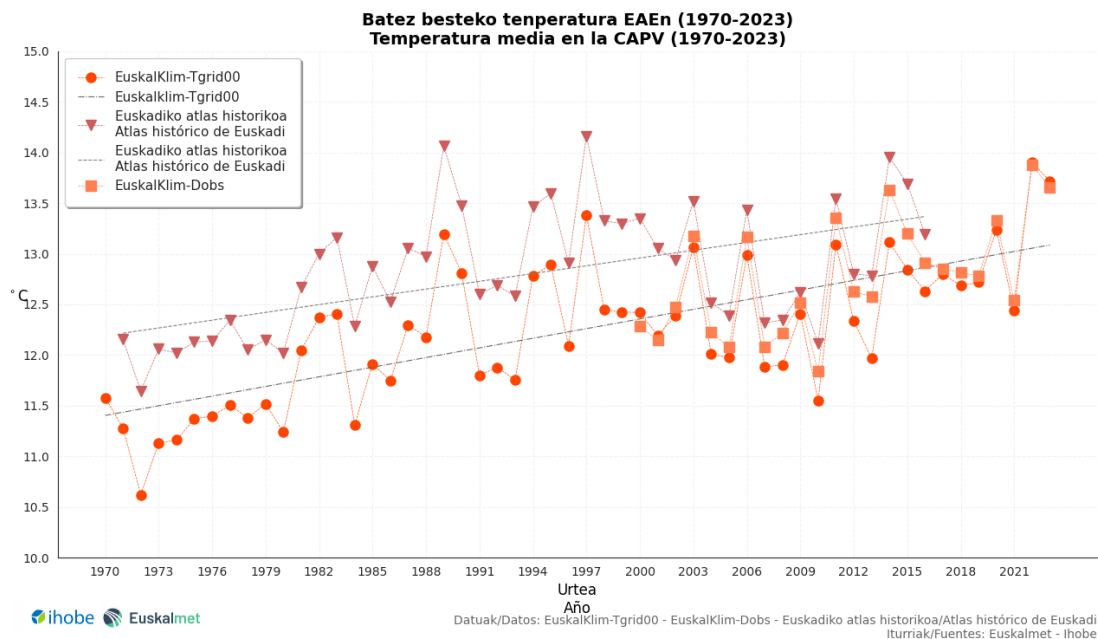


Figura 3.5: Temperatura media anual (°C) para la CAPV entre 1970 y 2023 (símbolos circulares - EuskalKlim-Tgrid00), entre 1971 y 2016 (símbolos triangulares - Atlas histórico de Euskadi) y entre 2000 y 2023 (símbolos rectangulares - EuskalKlim-Dobs). Las líneas discontinuas señalan las tendencias significativas.

La base de datos EuskalKlim, elaborada por Euskalmet, ofrece una gran resolución espacial, de 1 km, y datos desde 1970. A su vez, los datos del reanálisis ERA5-land, con una resolución aproximada de 9 km, permiten ampliar el periodo de estudio a 1950. Las bases de datos EuskalKlim y ERA5-land se han analizado y presentado conjuntamente.

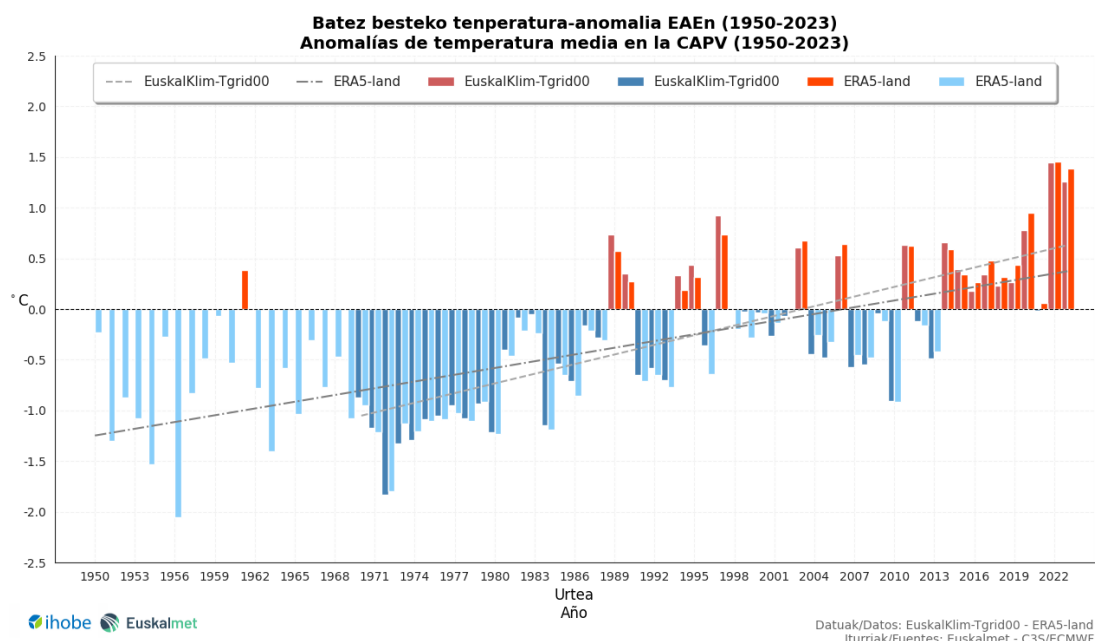


Figura 3.6: Diferencia de temperatura media anual (°C) para la CAPV en el periodo 1950-2023 (barras rojas y azules - ERA5-land) y en el periodo 1970-2023 (barras rojas oscuras y azules oscuras - EuskalKlim-Tgrid00) con respecto al periodo de referencia 1991-2020. Las líneas discontinuas señalan las tendencias significativas.

En el periodo 1950-2023 el 2022 fue el año más cálido, seguido del 2023. En ambos años las anomalías de temperatura media para la CAPV fueron más de 1 °C superiores al periodo de referencia 1991-2020, alcanzando anomalías por encima de 1,4 °C en el 2022 y en torno a 1,3 °C en el 2023¹². Por contra, en el periodo 1950-2023 no llegó a una decena el número de años en los que se superó el umbral de 0,5 °C de anomalía. El año 2024 no ha superado los dos años previos.

La tendencia significativa del calentamiento a largo plazo, de en torno a 0,3 °C por década desde 1970, implica que la mayoría de los años son ahora más cálidos que casi todos los observados durante el siglo XX. La década 2014-2023 fue 0,6 °C más cálida que el periodo 1991-2020 y 1,1 °C más cálida que 1971 y 2000.

Los dos años más cálidos de la CAPV, el 2022 y el 2023, muestran varios periodos en los que se superó el umbral del percentil 90 de la temperatura media diaria en el periodo 1970-2023. Destacan, en particular, los episodios de calor de julio de 2022¹³ y agosto de 2023¹⁴, en el primero se superaron varios récords de temperaturas máximas y mínimas altas, tanto para el mes como anuales¹⁵.

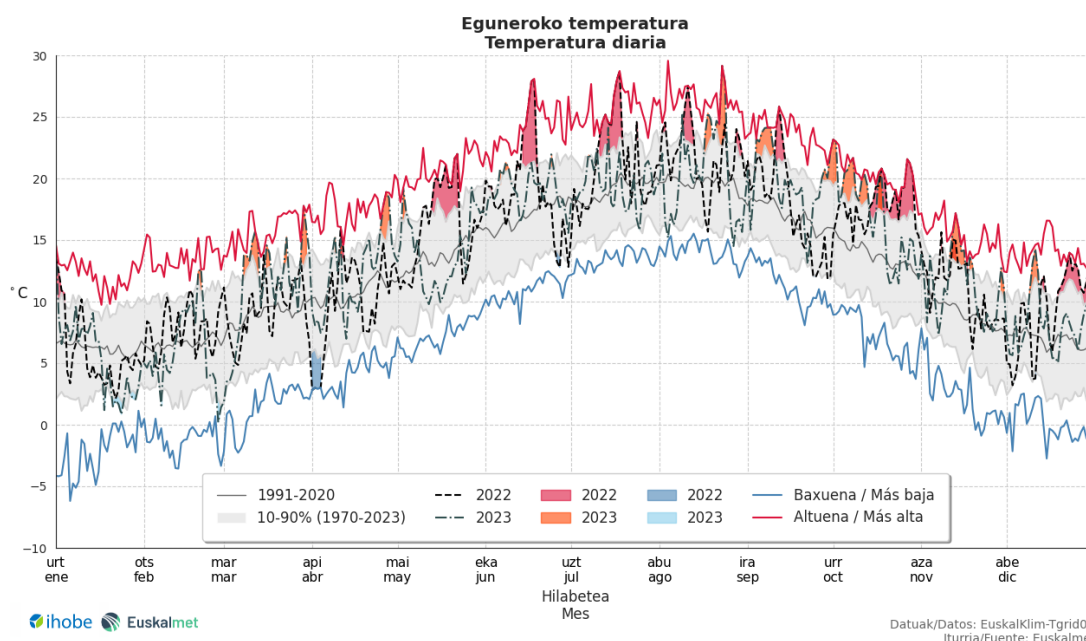


Figura 3.7: Temperatura media diaria de la CAPV (°C) para cada día del año 2022 (línea negra discontinua) y 2023 (línea negra discontinua y punteada). La línea gris muestra la media de 1991-2020 para cada día; las líneas roja y azul se corresponden a los valores máximo y mínimo y el sombreado gris indica los valores entre los percentiles 10 y 90 para cada día del año basados en el periodo 1970-2023. Las zonas sombreadas en rojo/azul (naranja/azul claro) indican los valores del año 2022 (2023) superiores/inferiores al percentil 90/10.

En ambos años también se registraron temperaturas inusualmente altas en los meses fuera del verano. El 2022 comenzó con anomalías positivas de 8-10 °C¹⁶. En cambio, sólo se registró un periodo en el que la temperatura media fue inferior al umbral del percentil 10 de la temperatura media diaria, coincidente con un episodio de nevadas tardías a comienzos de abril del 2022¹⁶.

3.3 Indicadores de temperatura

Los indicadores climáticos permiten evaluar las tendencias de un clima cambiante, mostrando la evolución en el largo plazo de varias variables clave.

A escala global se cuenta con evidencias muy sólidas y coherentes de un aumento del número de días y noches cálidas y una disminución del número de días y noches frías¹⁷. Del mismo modo, la frecuencia e intensidad de los extremos cálidos, entre ellos las olas de calor, han aumentado desde 1950, mientras que se ha registrado una disminución de los extremos fríos¹⁷.

En Europa también se ha observado un aumento de las temperaturas máximas y de la frecuencia de las olas de calor¹⁷, debido a cambios en la circulación atmosférica que favorecen olas de calor estivales más frecuentes⁸. En Europa el verano de 2022 se batió el récord del porcentaje de días con estrés térmico muy fuerte, lo que equivale a una sensación térmica de entre 38 y 46 °C, y en el 2023 se alcanzó un récord de días de estrés térmico extremo, que equivale a una sensación térmica de más de 46 °C⁸.

En este informe se analizan siete indicadores de temperatura para la CAPV, incluyendo extremos cálidos y fríos, junto con la evolución de las olas de calor, confirmando las tendencias significativas previamente observadas en los extremos de temperatura para la CAPV^{18,19}.

3.3.1 Extremos cálidos

El calentamiento registrado en la CAPV está acompañado de un claro incremento del número de días cálidos, con una tendencia de aumento de seis días por década desde 1970. Los días cálidos se definen como aquellos en los que la temperatura media diaria es superior al percentil 90 de las temperaturas medias diarias en una ventana de cinco días centrada en cada día natural del periodo de referencia 1991-2020, de modo que se obtiene un valor percentil para cada día del año.

En la década 2014-2023 el número de días cálidos anuales aumentó un 38 % respecto al periodo de referencia 1991-2020 y un 85 % respecto a 1971-2000. En particular, los años 2022 y 2023 destacan sobre el resto de los años con un mayor número de días cálidos, con más de 75 días cálidos, superando en más de 20 días los días cálidos del 2020, el tercer año con más días cálidos.

De forma análoga, los días muy cálidos también aumentaron seis días por década desde 1970. En la década 2014-2023 el número de días muy cálidos anuales rondó los 49 días, siendo 13 días superior al promedio del periodo 1991-2020 y 22 días anuales más que en 1971-2000. Los días muy cálidos se definen como aquellos en los que la temperatura máxima diaria es superior al percentil 90 de las temperaturas máximas diarias en una ventana de cinco días centrada en cada día natural del periodo de referencia 1991-2020.

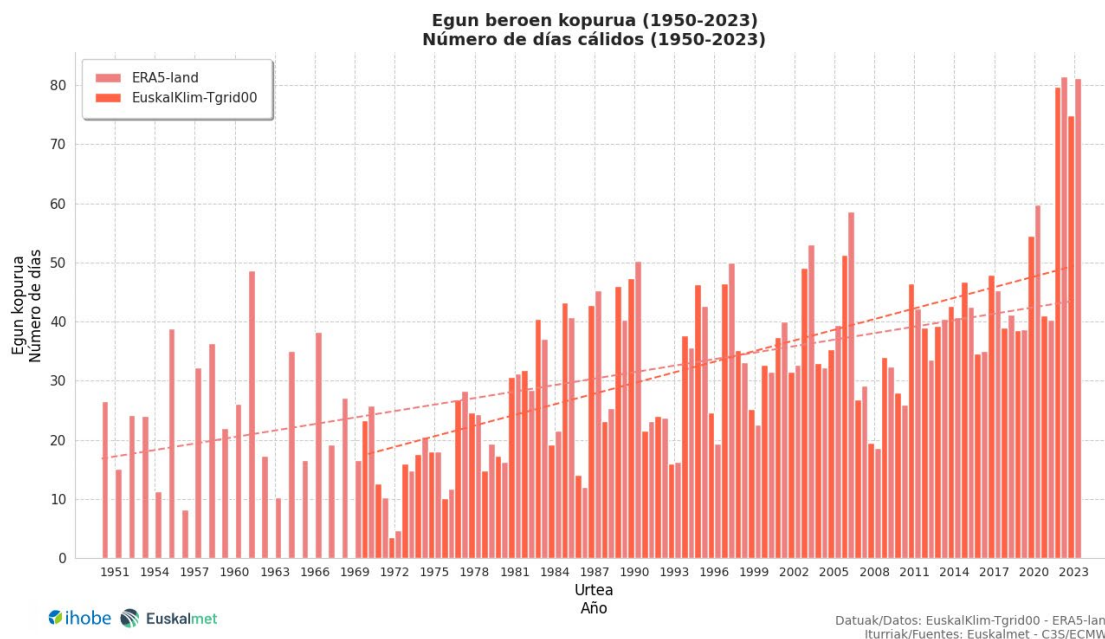


Figura 3.8: Número anual de días cálidos para dos conjuntos de datos en el periodo 1950-2023 (barras rosas - ERA5-land) y en el periodo 1970-2023 (barras naranjas - EuskalKlim-Tgrid00) en los que la temperatura media diaria es superior al percentil 90 de las temperaturas medias diarias de una ventana de cinco días centrada en cada día natural del periodo de referencia 1991-2020. Las líneas discontinuas señalan las tendencias significativas del número de días cálidos.

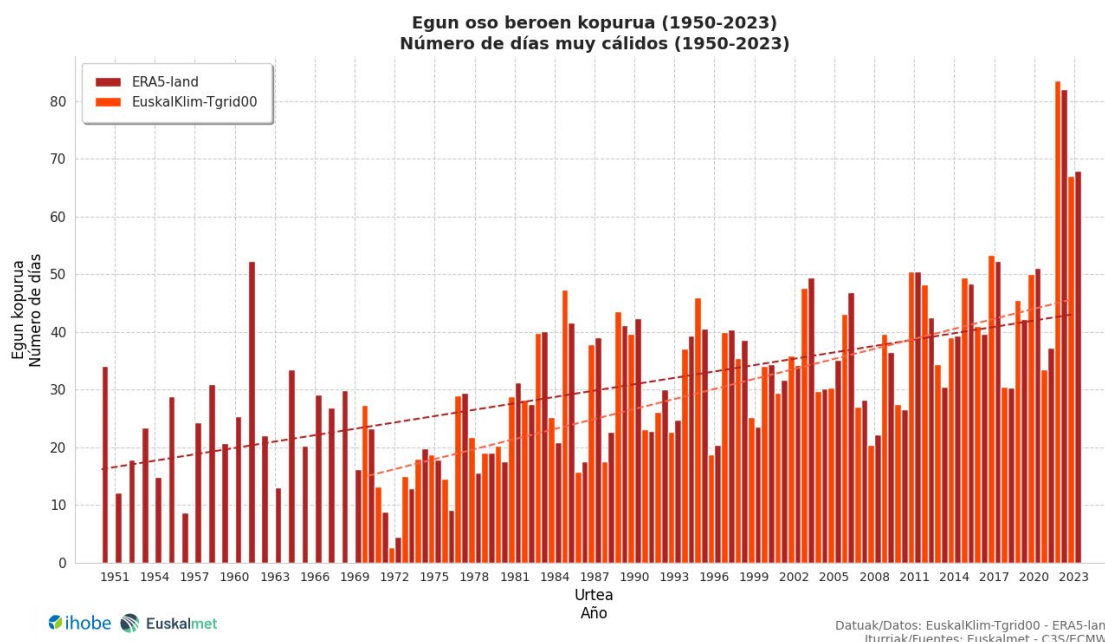


Figura 3.9: Número anual de días muy cálidos para dos conjuntos de datos en el periodo 1950-2023 (barras marrones - ERA5-land) y en el periodo 1970-2023 (barras rojas - EuskalKlim-Tgrid00) en los que la temperatura máxima diaria es superior al percentil 90 de las temperaturas máximas diarias de una ventana de cinco días centrada en cada día natural del periodo de referencia 1991-2020. Las líneas discontinuas señalan las tendencias significativas del número de días muy cálidos.

Entre finales del siglo XX y las primeras décadas del siglo XXI en Europa se han identificado veranos cada vez más largos²⁰. En particular, en la costa de Gipuzkoa entre 1971 y 2016 se ha registrado un alargamiento de entre cuatro y cinco días por década²¹.

Los días de verano, definidos como aquellos en los que la temperatura máxima diaria supera los 25 °C, son también más habituales en la actualidad¹⁸. En la década 2014-2023 en la CAPV el número de días de verano aumentó entre siete y ocho días respecto al periodo 1991-2020, con un incremento de cuatro días por década desde 1970, aunque existen discrepancias en el número de días según la base de datos.

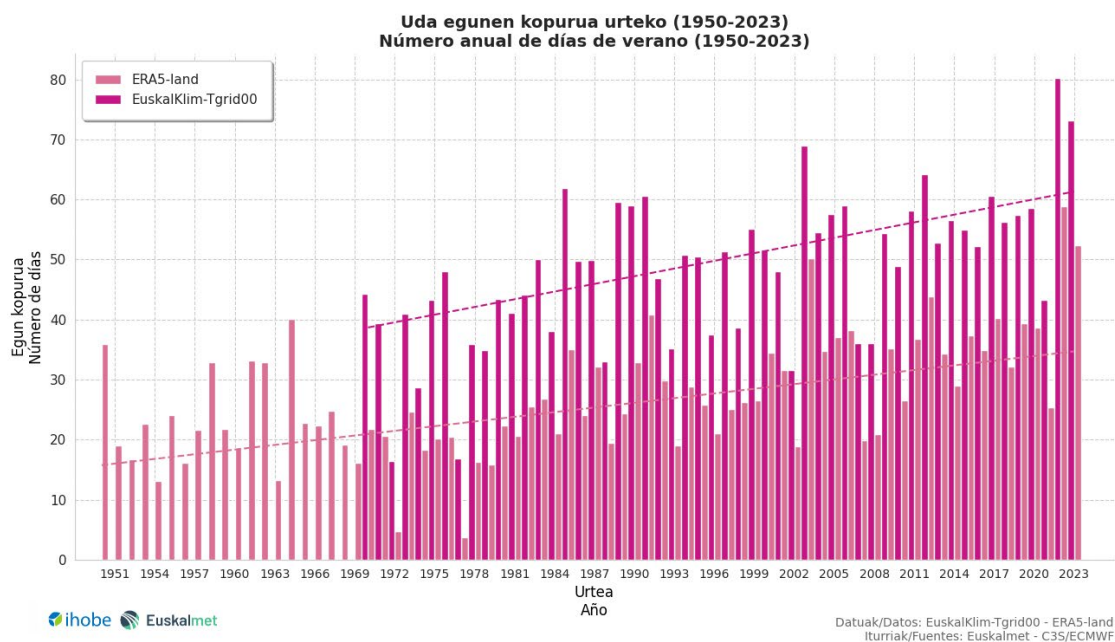


Figura 3.10: Número anual de días de verano para dos conjuntos de datos en el periodo 1950-2023 (barras rosas - ERA5-land) y en el periodo 1970-2023 (barras moradas - EuskalKlim-Tgrid00) en los que la temperatura máxima diaria es superior a los 25 °C. Las líneas discontinuas señalan las tendencias significativas del número de días de verano.

El aumento de las temperaturas nocturnas resulta en noches cada vez más cálidas, las cuales pueden suponer un riesgo para la salud, sobre todo para la población vulnerable²³. Las noches cálidas se definen como los días en los que la temperatura mínima diaria es superior al percentil 90 de las temperaturas mínimas diarias en una ventana de cinco días centrada en cada día natural del periodo de referencia 1991-2020.

Siguiendo la tendencia de los días cálidos y muy cálidos, el número de noches cálidas aumentó seis días por década desde 1970. Entre 2014 y 2023 las noches cálidas anuales aumentaron un 35 % respecto a 1991-2020 y un 75 % respecto a 1971-2000.

Las noches tropicales, definidas como aquellas en las que la temperatura mínima diaria no baja de los 20 °C, también han aumentado en la CAPV¹⁸. Las noches tropicales se asocian sobre todo con los episodios de calor. Así, el máximo de noches tropicales en la CAPV se registró en la ola de calor de 2003. Las noches tropicales afectan sobre todo a la franja costera, en especial al área metropolitana de Bilbao y a Donostialdea. En el interior, las noches en las que la temperatura mínima no desciende de los 20 °C son más escasas.

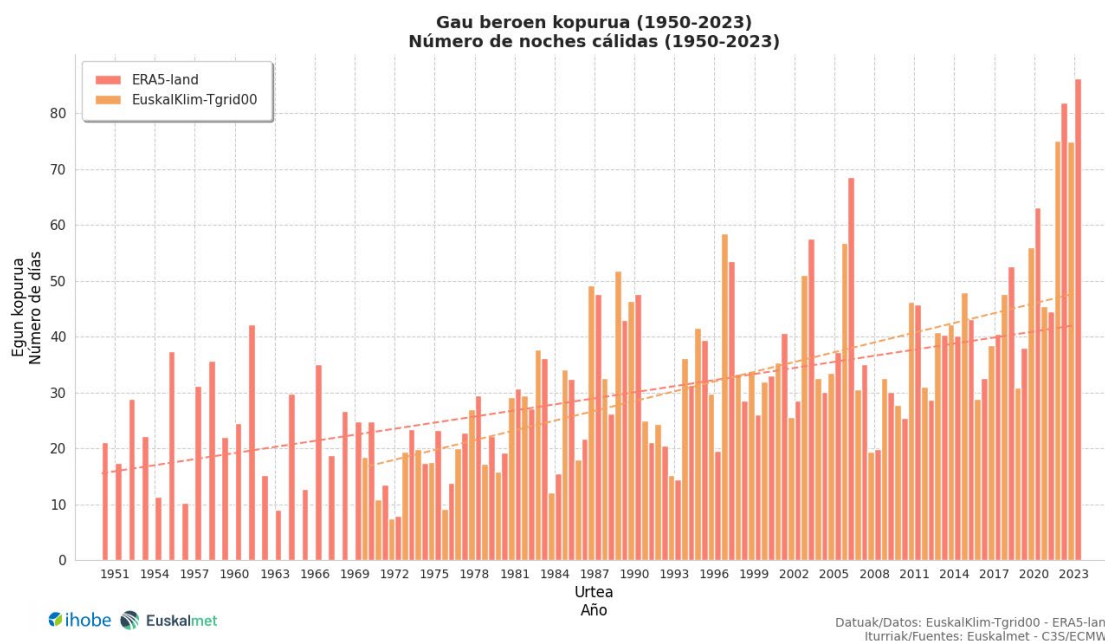


Figura 3.11: Número anual de noches cálidas para dos conjuntos de datos en el periodo 1950-2023 (barras rojas - ERA5-land) y en el periodo 1970-2023 (barras naranjas - EuskalKlim-Tgrid00) en los que la temperatura mínima diaria es superior al percentil 90 de las temperaturas mínimas diarias de una ventana de cinco días centrada en cada día natural del periodo de referencia 1991-2020. Las líneas discontinuas señalan las tendencias significativas del número de noches cálidas.

3.3.2 Extremos fríos

En contraposición al número de días cálidos, el número de días fríos ha disminuido de forma significativa en la CAPV, entre ocho y diez días por década desde 1970. Los días fríos se definen como aquellos en los que la temperatura media diaria es inferior al percentil 10 de las temperaturas medias diarias en una ventana de cinco días centrada en cada día natural del periodo de referencia 1991-2020. En la década 2014-2023 el número de días anuales fríos disminuyó un 26 % respecto al periodo 1991-2020 y un 45 % respecto a 1971-2000.

El número de días muy fríos, definidos como el número anual de días en los que la temperatura máxima diaria es inferior al percentil 10 de las temperaturas máximas diarias en una ventana de cinco días centrada en cada día natural del periodo de referencia 1991-2020, también sufrió una disminución. Desde 1970 los días muy fríos disminuyeron entre cinco y ocho días por década. Los días muy fríos pasaron de superar los 43 días anuales en promedio entre 1971-2000 a menos de 28 días entre 2014 y 2023.

Los máximos de días fríos y muy fríos se registraron en la primera mitad del periodo 1950-2023. En el siglo XXI destaca el 2010, cuando se contabilizaron más de 60 días fríos, asociados al invierno 2009-2010, que fue especialmente frío debido a una inusual ola de frío que afectó a gran parte de Europa. Sin embargo, cabe destacar que este tipo de olas de frío tienen una probabilidad de ocurrencia dos veces menor en la actualidad de la que tendrían sin cambio climático²².

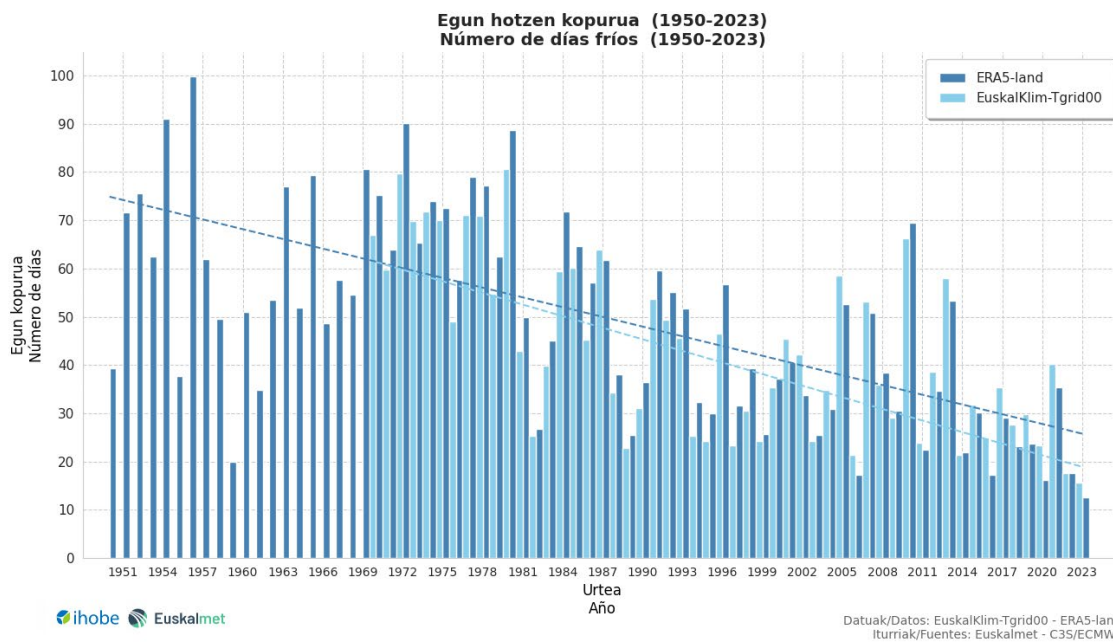


Figura 3.12: Número anual de días fríos para dos conjuntos de datos en el periodo 1950-2023 (barras azul oscuras - ERA5-land) y en el periodo 1970-2023 (barras azules claras - EuskalKlim-Tgrid00) en los que la temperatura media diaria es inferior al percentil 10 de las temperaturas medias diarias de una ventana de cinco días centrada en cada día natural del periodo de referencia 1991-2020. Las líneas discontinuas señalan las tendencias significativas del número de días fríos.

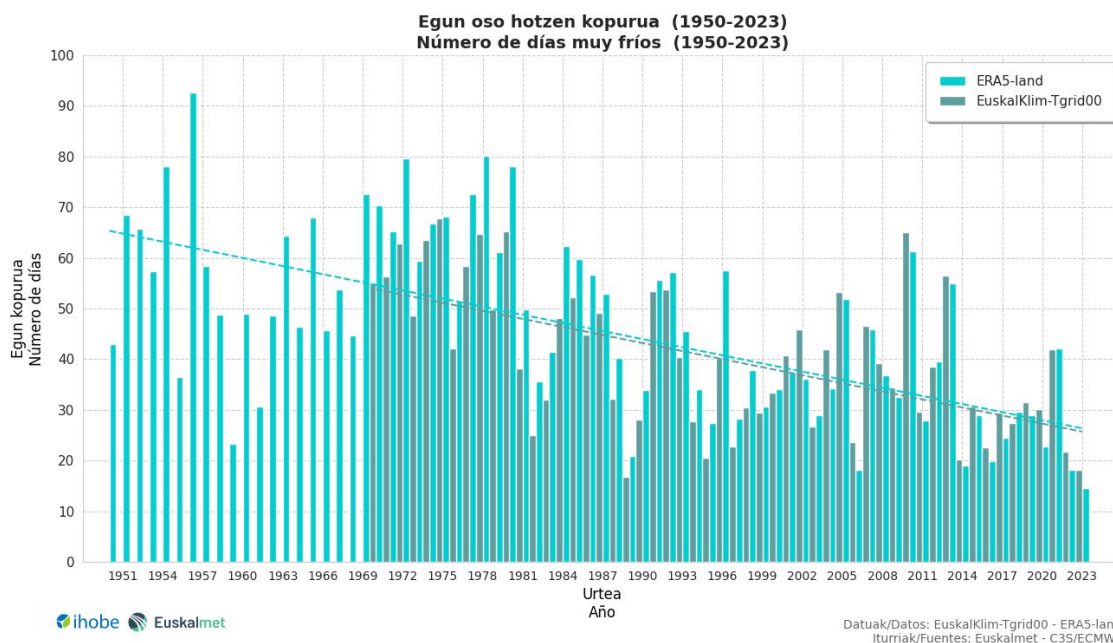


Figura 3.13: Número anual de días muy fríos para dos conjuntos de datos en el periodo 1950-2023 (barras azules - ERA5-land) y en el periodo 1970-2023 (barras verdes - EuskalKlim-Tgrid00) en los que la temperatura máxima diaria es inferior al percentil 10 de las temperaturas máximas diarias de una ventana de cinco días centrada en cada día natural del periodo de referencia 1991-2020. Las líneas discontinuas señalan las tendencias significativas del número de días muy fríos.

Junto con la disminución de días fríos y muy fríos, también se ha reducido de forma significativa el número de días de helada, en los que la temperatura mínima diaria es inferior a 0 °C, con una

reducción de entre dos y tres días por década entre 1970 y 2023. En el periodo 1971-2000 los días de helada anuales en promedio rondaron los 28 días, mientras que entre 2014-2023 se contabilizaron en torno a 21 días. Así, en la década 2014-2023 los días de helada disminuyeron un 26 % respecto a 1971-2000; un 16 % respecto a 1991-2020.

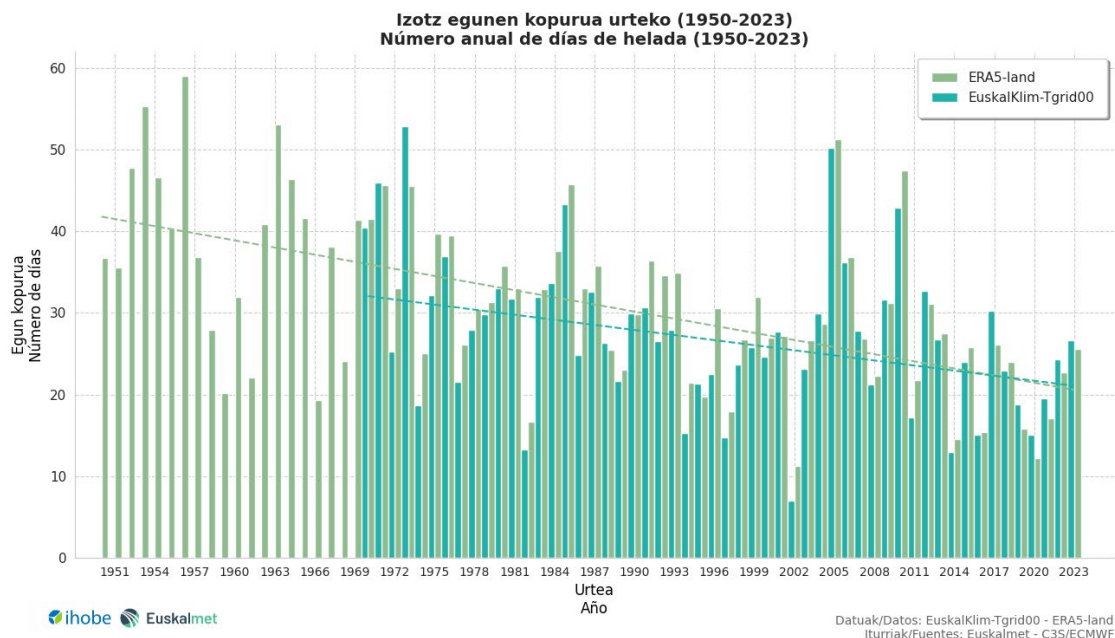


Figura 3.14: Número anual de días de helada para dos conjuntos de datos en el periodo 1950-2023 (barras verdes - ERA5-land) y en el periodo 1970-2023 (barras verdes oscuras - EuskalKlim-Tgrid00) en los que la temperatura mínima diaria es inferior a los 0 °C. Las líneas discontinuas señalan las tendencias significativas del número de días de helada.

3.3.3 Olas de calor

Las temperaturas extremas asociadas a las olas de calor tienen un gran impacto en la salud y suponen un riesgo para la población²³. Aunque en la comunidad científica no existe una definición consensuada sobre las olas de calor²⁴, estas se caracterizan por ser periodos de días consecutivos en los que las temperaturas son muy cálidas en comparación con el promedio del periodo de referencia.

Desde 1970 los días de ola de calor en Euskadi han aumentado más de un día por década; definida para el conjunto de la CAPV como episodios de al menos tres días consecutivos en los que la temperatura máxima diaria media para la CAPV de cada día es superior al percentil 90 de la temperatura máxima de los días de verano (de mayo a septiembre) calculados para el periodo 1991-2020.

En el registro histórico el 2022 fue un año sin precedentes, con más de veintitrés días de olas de calor en las cuatro olas de calor que se contabilizaron. Teniendo en cuenta que el número de días varía para cada conjunto de datos, en base a los datos de EuskalKlim-Tgrid00 el récord anterior fue en el 2016, con diecinueve días de ola de calor. En el 2023 se registraron entre catorce y diecisiete días de ola de calor.

En cuanto a la duración de las olas de calor, el evento más largo de la CAPV se registró en el 2003, con entre doce y trece días de duración, seguido del evento de 1987, con diez días. El tercer valor más alto se registró en el verano de 2022, con entre nueve y diez días.

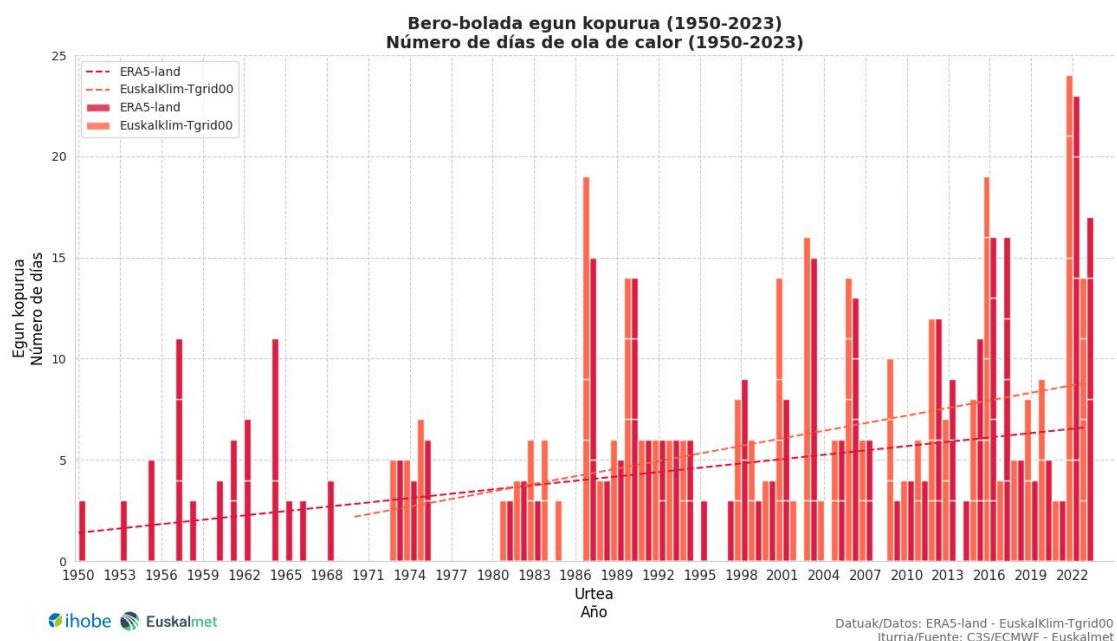


Figura 3.15: Número anual de días de ola de calor para dos conjuntos de datos en el periodo 1950-2023 (barras rojas - ERA5-land) y en el periodo 1970-2023 (barras naranjas - EuskalKlim-Tgrid00); episodios de al menos tres días consecutivos en los que la temperatura máxima diaria media para la CAPV de cada día es superior al percentil 90 (ERA5-land: 27 °C y EuskalKlim-Tgrid00: 29 °C) de la temperatura máxima de los días de verano (de mayo a septiembre) calculados para el periodo 1991-2020. Los fragmentos verticales de cada barra anual corresponden a distintos episodios de ola de calor. Las líneas discontinuas señalan las tendencias significativas del número de días de ola de calor.

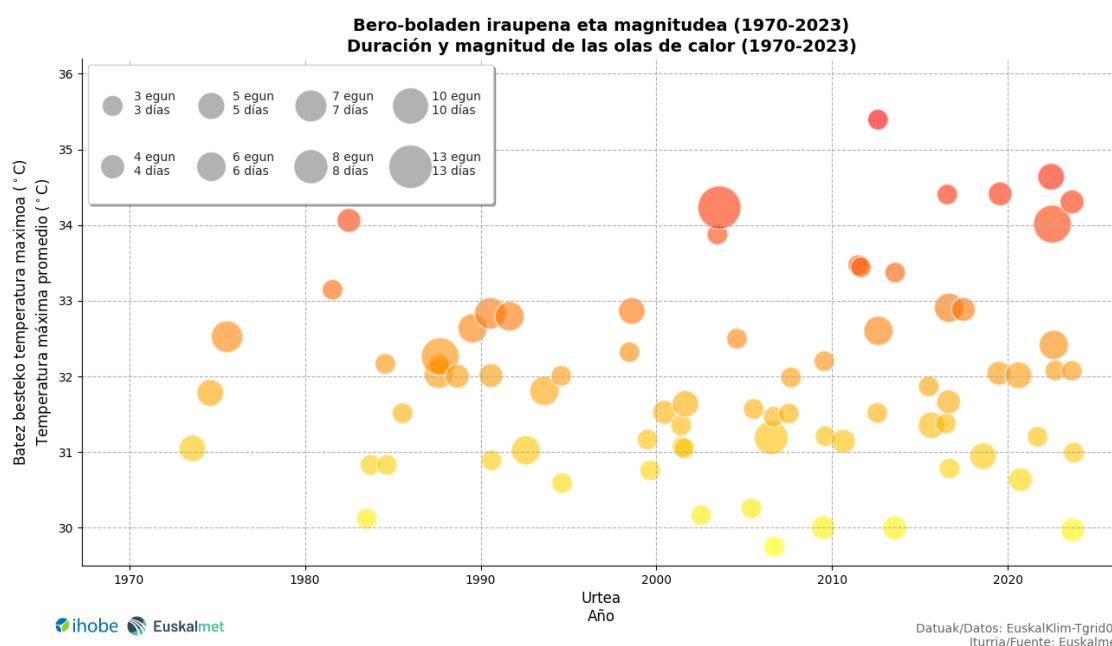


Figura 3.16: Temperatura máxima promedio de los días de episodios de olas de calor en la CAPV (°C) en el periodo 1970-2023, el tamaño de la burbuja denota la duración del evento.

La temperatura máxima media registrada en los episodios de calor también muestra un incremento. Entre 1970 y 2010 sólo en dos episodios, en julio de 1982 y en agosto de 2003, se superó el umbral de los 34 °C de temperatura máxima media para la CAPV.

En el periodo 2010-2023 se registraron hasta seis olas de calor, dos de ellas en el 2022 y otra en el 2023, en las que se superó ese mismo umbral y destaca la ola de calor de julio del 2012, cuando la temperatura máxima media durante los tres días del episodio superó los 35 °C.

Atendiendo tanto a la duración, como a la intensidad de las olas de calor, sobresalen las olas de calor de entre julio y agosto de 2003 y la ola de calor de julio de 2022, ambas duraron más de nueve días y el promedio de la temperatura máxima durante todos esos días fue superior a los 34 °C.

4 INSOLACIÓN

- La insolación y la radiación solar muestran una clara tendencia al alza para el conjunto de Europa y para la CAPV.
- En la CAPV desde 1983 las horas de sol anuales han aumentado en torno a 40 horas por década.

A escala global la radiación solar en superficie muestra importantes variaciones en el largo plazo y es probable que los cambios observados estén influenciados por la actividad humana, a través de los aerosoles contaminantes²⁵.

Entre las décadas de 1950 y 1980 se produjo un aumento de la contaminación atmosférica. A mayor cantidad de aerosoles la radiación solar reflejada por estos aumenta, disminuyendo la radiación solar en superficie, fenómeno denominado “oscurecimiento” global²⁶. A partir del final y el comienzo de las décadas 1980 y 1990, como resultado de las medidas para controlar la contaminación atmosférica, disminuyeron los aerosoles contaminantes, aumentó la transparencia de la atmósfera y se incrementó la radiación solar en superficie, dando paso a un periodo de “aclaramiento”.

El aclaramiento y aumento de la radiación solar impactaron también en la temperatura²⁷, al igual que el aumento de las horas de sol. En Europa a partir de 1983, desde que se tienen datos satelitales de insolación, se ha observado una clara tendencia ascendente del número de horas de sol³⁷, asociado al ascenso de las temperaturas²⁷.

La insolación en la CAPV presenta un importante gradiente norte-sur climatológico. En la vertiente cantábrica las horas de sol anuales no superan las 2000 horas, incluso en algunas zonas del este de Gipuzkoa son inferiores a las 1800 horas, mientras que en el sur de Álava se superan las 2200-2400 horas de sol.

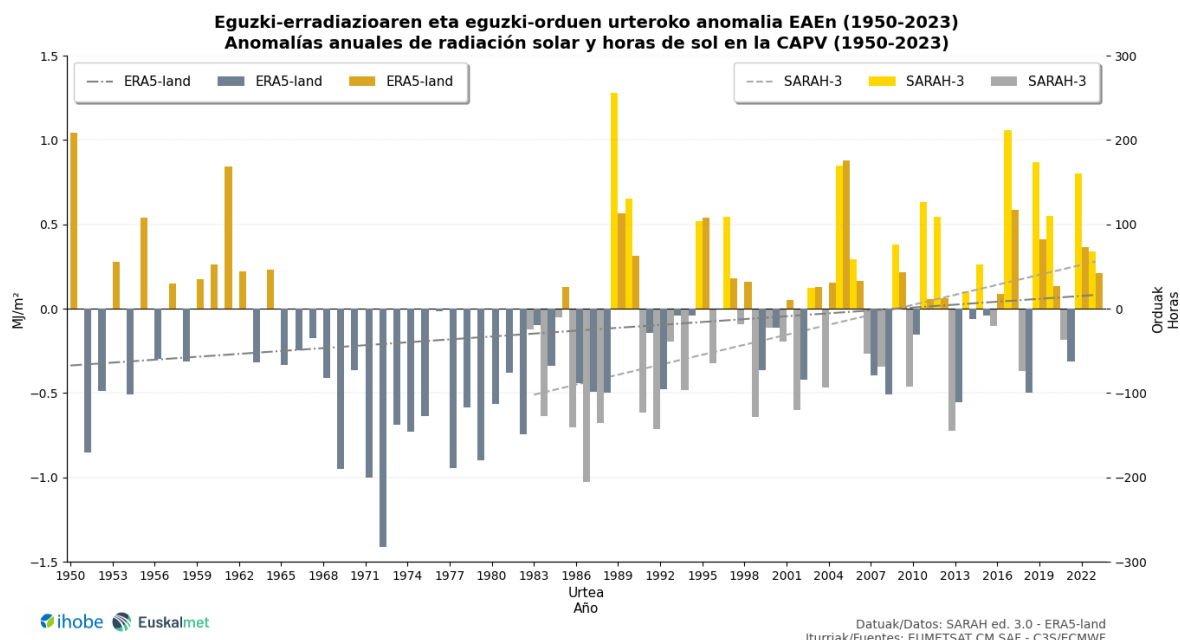


Figura 4.1: Evolución de las anomalías anuales de la radiación solar (MJ/m²) (barras marrones y azules oscuras - ERA5-land) para 1950-2023 y la duración de la insolación en la CAPV (horas) (barras amarillas y grises – SARAH-3) para 1983-2023 con respecto al periodo de referencia 1991-2020. Las líneas discontinuas indican las tendencias significativas.

Al igual que en Europa, en la CAPV se ha registrado un aumento significativo de las horas de sol, con un incremento cercano a las 40 horas por década. Entre los años 1984 y 1993 la insolación promedio para la CAPV fue de 1901 horas anuales y en el periodo climatológico 1991-2020 fue de 1966 horas anuales. En la década 2014-2023 en promedio las horas de sol anuales fueron superiores a las 2033 horas, aumentando más de un 3 % respecto al periodo 1991-2020. La radiación solar aumentó un 0,6 % en la década 2014-2023 respecto al periodo 1991-2020 y un 3 % respecto a 1971-2000.

El máximo de horas de sol, con más de 2222 horas anuales, se registró en 1989, el año más seco registrado en la CAPV. El mínimo se registró en 1987, con 1761 horas. En el periodo desde 1950, el máximo y el mínimo de radiación solar se dieron en 1950 y 1972, respectivamente.

5 PRECIPITACIÓN

- Para el conjunto de Europa la precipitación anual y las precipitaciones intensas han aumentado de forma significativa desde 1950, pero existen importantes diferencias regionales entre el norte y el sur; el norte es cada vez más húmedo y el sur más seco.
- En Euskadi no se observan tendencias claras en la precipitación anual y estacional. Destaca el año 1989 como el más seco y el 2013 como el más lluvioso.
 - La evolución de los días lluviosos y secos no presentan tendencias significativas para el conjunto de la CAPV.
 - Los episodios de precipitaciones extremas no han variado de forma clara.

5.1 Global y Europa

La precipitación es, junto con la temperatura, una de las variables climáticas clave pero, a diferencia de ésta, se caracteriza por una gran variabilidad espacial y temporal. A escala global el análisis de la evolución de la precipitación presenta grandes retos. Por un lado, sólo unas pocas localizaciones constan de registros de precipitaciones in situ que se remontan a siglos atrás, principalmente ubicadas en las latitudes medias del hemisferio norte. La cobertura de datos observados se fue ampliando a principios y mediados del siglo XX, pero los conjuntos de datos difieren en la exhaustividad de los registros, el periodo cubierto y los procedimientos aplicados, dando lugar a diferencias en las estimaciones globales y regionales de los cambios en las precipitaciones²⁸.

Los datos satelitales más recientes, desde 1980, muestran un aumento general de la precipitación anual sobre tierra, pero con tendencias dispares para diversos territorios. Se aprecian aumentos significativos de las precipitaciones terrestres sobre África tropical, zonas del este Europa y Norteamérica y Asia central; y disminuciones significativas sobre el centro de Sudamérica, el oeste de Norteamérica, el norte de África y Oriente Medio. Sin embargo, las tendencias crecientes desde 1980 contrastan con las tendencias decrecientes a más largo plazo desde 1901, particularmente evidentes en gran parte de África²⁸.

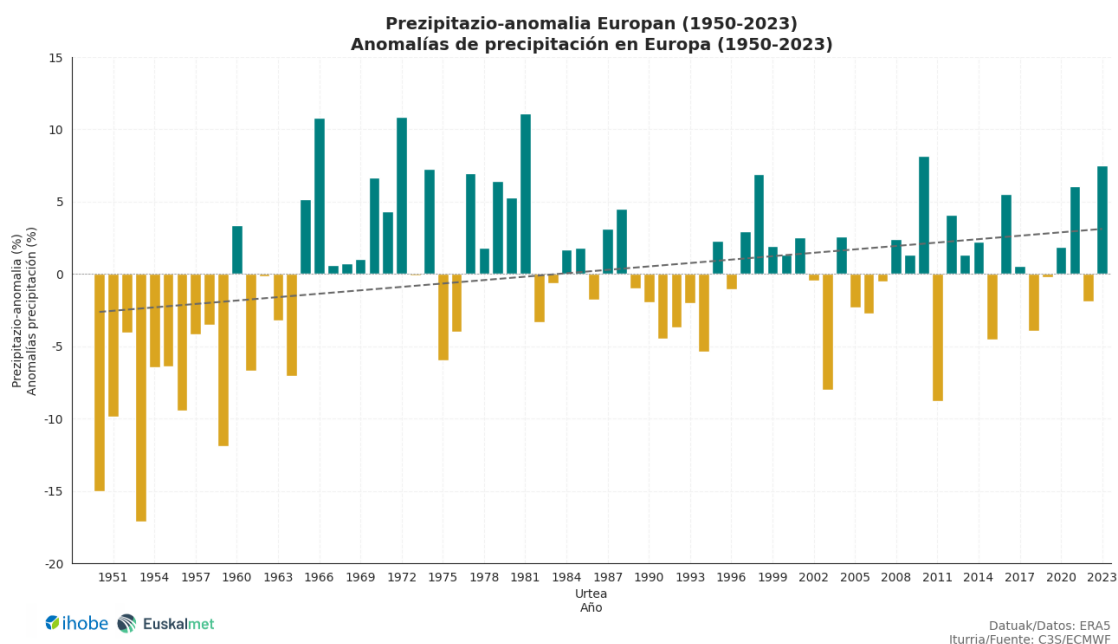


Figura 5.1: Evolución de las anomalías anuales de precipitación (%) en Europa (25°W-40°E, 34°-72°N) sobre tierra desde 1950 a 2023. Las anomalías se expresan en porcentaje de la media anual del periodo de referencia 1991-2020. La línea discontinua señala la tendencia significativa.

Para el conjunto de Europa, desde 1950 se observa una tendencia anual ascendente y significativa de las precipitaciones, pero mientras que el norte es cada vez más húmedo, el sur es cada vez más seco⁸. En el 2023 las precipitaciones anuales en Europa fueron un 7,5 % superiores a la media del periodo de referencia 1991-2020. No obstante, de nuevo, se observaron importantes diferencias regionales entre el norte y el sur de Europa. Durante el 2023 en el norte de Europa se produjo un aumento de la precipitación respecto al periodo 1991-2020, mientras que en el Mediterráneo y en el sur de la península ibérica las precipitaciones fueron inferiores, destacando como más secos los meses de febrero a abril²⁹.

5.2 Euskadi

En el conjunto de la CAPV la precipitación acumulada anualmente supera los 1000 mm, pero la precipitación se caracteriza por grandes diferencias entre el norte y el sur. Debido a la orografía y a su exposición a los flujos húmedos marítimos, en la vertiente cantábrica la precipitación anual supera los 1000-1200 mm, con acumulados superiores a los 1400 mm en el este de Bizkaia y amplias zonas de Gipuzkoa. En particular, el este de Gipuzkoa es la zona más lluviosa de la CAPV, con acumulados por encima de los 1800-2000 mm. En la vertiente mediterránea la precipitación es más escasa, los acumulados anuales no superan los 1000 mm, siendo inferiores a los 600-800 mm en el sur de Álava.

Urtean pilatutako prezipitazioa EAEn (1991-2020)
Precipitación acumulada anualmente en la CAPV (1991-2020)

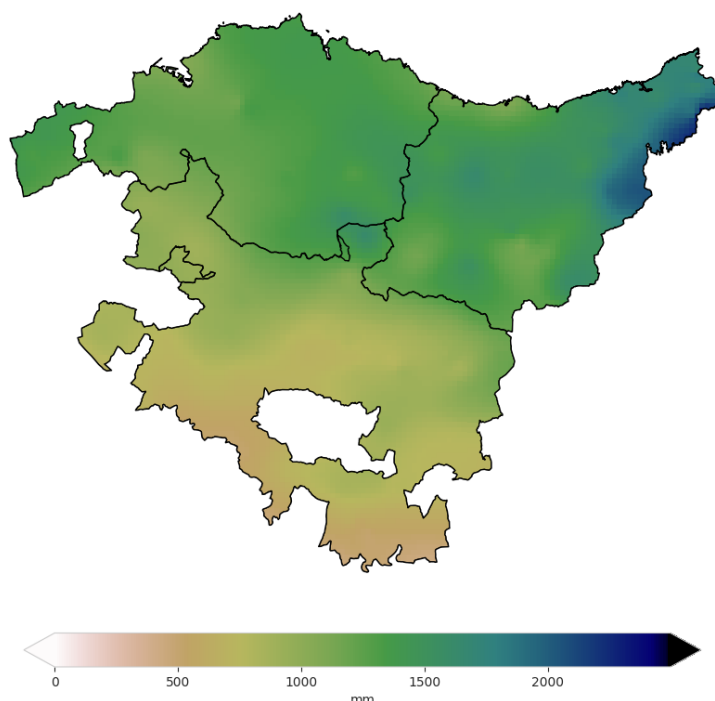


Figura 5.2: Promedio de la precipitación acumulada anualmente (mm) en la CAPV para el periodo de referencia 1991-2020.

Las diversas bases de datos de precipitación para la CAPV (datos observados en estaciones automáticas y datos climáticos espaciales de alta resolución) no muestran tendencias significativas en la precipitación anual. No obstante, se observan periodos más húmedos, como la década de 1970, frente a periodos más secos, al inicio del siglo XXI.

El año más húmedo registrado fue el 2013 y entre los años más secos destaca 1989, con una reducción de la precipitación anual superior a un 25 % respecto al periodo climatológico 1991-2020. Entre agosto de 1988 y noviembre de 1990 el área de metropolitana de Bilbao y Vitoria-Gasteiz tuvieron restricciones de agua que afectaron a más de 1 200 000 habitantes y a una parte importante del sector industrial³⁰. El 2022 también fue un año muy seco, según las series históricas de Euskalmet en gran parte del territorio fue el año más seco o el segundo más seco del registro¹⁶, excepto en el litoral.

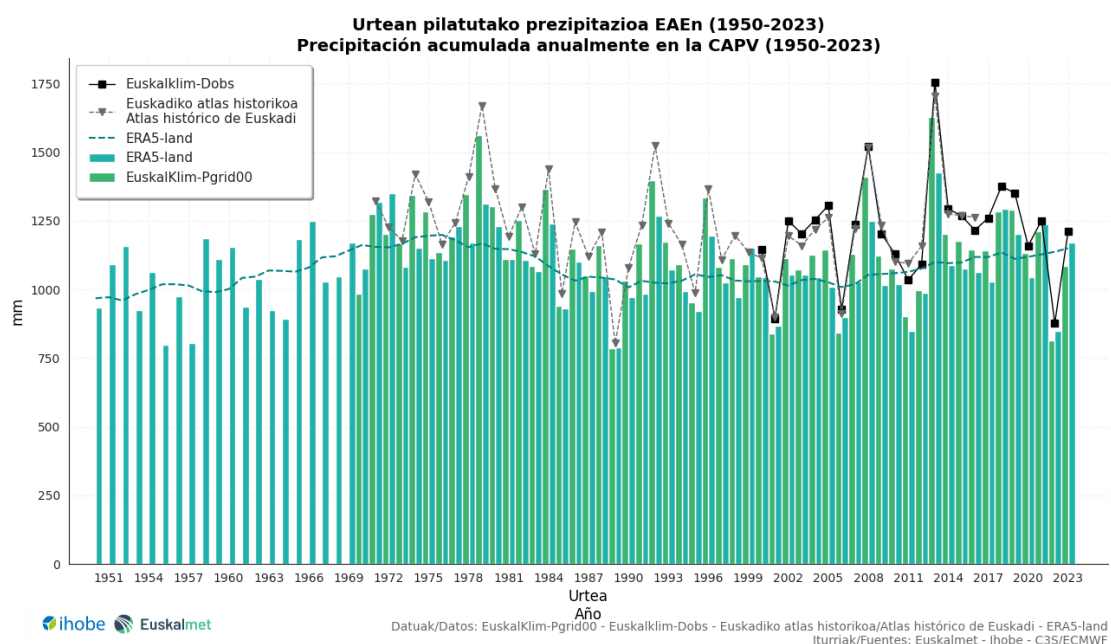


Figura 5.3: Evolución anual de la precipitación acumulada (mm) en la CAPV entre 1950 y 2023 (barras azules - ERA5-land), entre 1970 y 2023 (barras verdes – EuskalKlim-Pgrid00), entre 1971 y 2016 (línea gris y símbolos triangulares - Atlas histórico de Euskadi) y entre 2000 y 2023 (línea negra y símbolos rectangulares - EuskalKlim-Dobs). La línea discontinua indica la media móvil en una ventana 11 años (ERA5-land).

La precipitación en las diferentes estaciones también muestra periodos más secos, frente a décadas más húmedas, pero tampoco se observa ninguna tendencia clara³¹. Los inviernos más húmedos se registraron en el presente siglo, mientras que el invierno de 1992 se mantiene como el más seco en la CAPV³².

En el 2023 entre los episodios extraordinariamente húmedos destaca el temporal de precipitaciones persistentes del 15 al 19 de enero, en esas cinco jornadas se registraron más de 100 mm en toda la vertiente cantábrica. El otoño del 2023, más húmedo de lo habitual, también estuvo marcado por varios eventos de precipitación intensa. A lo largo del mes de septiembre se superaron varios récords de precipitación, en particular el día 11. El 26 de octubre se registró el día más lluvioso del presente siglo en diversas zonas del interior de la vertiente cantábrica; y en noviembre se registraron cantidades muy abundantes, superiores a los 30 mm, en hasta ocho jornadas, entre ellas el 2 de

noviembre, con el paso de la borrasca Ciarán, entre el 20 y el 22 de noviembre, y el 30 de noviembre, el día más lluvioso del mes¹².

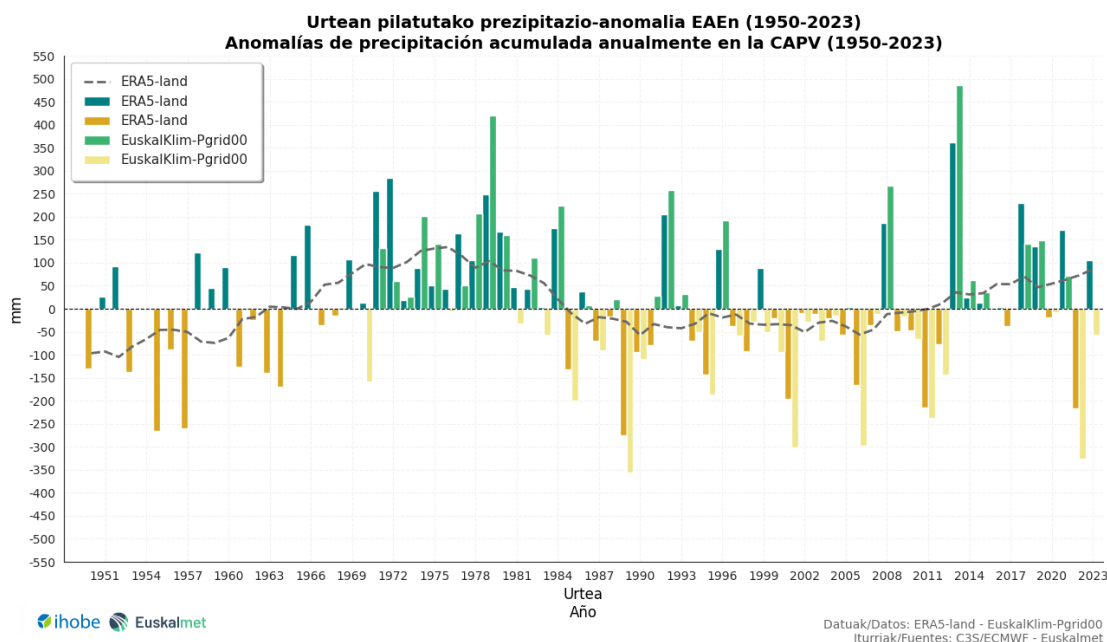


Figura 5.4: Evolución anual de las anomalías de precipitación acumulada (mm) de la CAPV en el periodo 1950-2023 (barras verdes oscuras y marrones - ERA5-land) y en el periodo 1970-2023 (barras verdes y amarillas - EuskalKlim-Pgrid00) con respecto al periodo de referencia 1991-2020. La línea discontinua indica la media móvil en una ventana 11 años (ERA5-land).

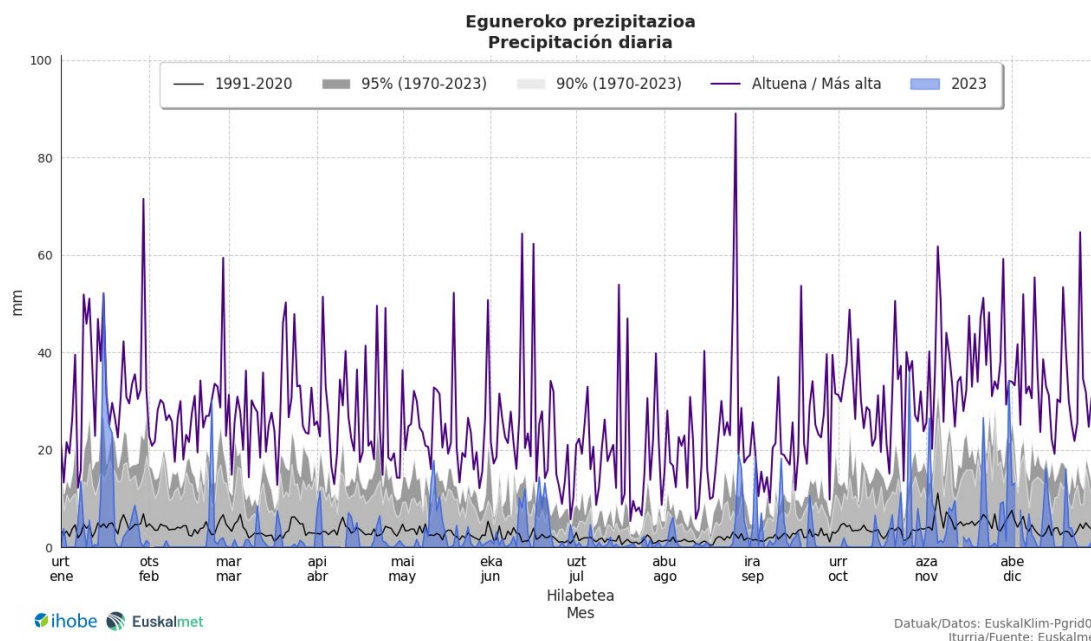


Figura 5.5: Precipitación media diaria de la CAPV (mm) para cada día del año 2023 (línea azul sombreada). La línea negra muestra la media de 1991-2020 para cada día; la línea morada muestra los valores máximos y el sombreado gris los valores percentiles 95 y 90 para cada día del año basados en el periodo 1970-2023.

5.3 Indicadores de precipitación

A diferencia de los indicadores de temperatura, que muestran tendencias significativas, en los indicadores de precipitación las tendencias no son tan claras. No obstante, a escala europea, y desde 1950, existen evidencias de un aumento de la magnitud e intensidad de las precipitaciones extremas, aunque existen discrepancias entre diversos estudios, regiones y estaciones¹⁷.

Trabajos previos para el conjunto de la CAPV mostraron que las tendencias de los indicadores precipitación no eran significativas en el periodo 1971-2016, a pesar de que localmente se identificaron algunos cambios decadales que sí lo eran¹⁸. Tampoco se observaron tendencias significativas en las precipitaciones extremas para la CAPV¹⁸, aunque en Gipuzkoa los datos históricos muestran un aumento en la frecuencia e intensidad de las precipitaciones intensas³³, sobre todo en el periodo más reciente de estudio³⁴. Del mismo modo, existe una gran incertidumbre sobre el posible comportamiento futuro de la precipitación extrema para la CAPV³⁵.

En este informe se analizan once indicadores de precipitación para la CAPV, incluyendo indicadores de precipitaciones intensas. El análisis de los indicadores de precipitación presenta más retos que los indicadores de temperaturas. Existen diferencias entre las distintas bases de datos, la clasificación de los distintos años es bastante sensible a la elección de la definición utilizada y al periodo climatológico seleccionado. Además, las series temporales son relativamente cortas en el contexto de la variabilidad de la precipitación.

5.3.1 *Días húmedos y secos*

En la CAPV para los días húmedos o de lluvia, aquellos en los que la precipitación diaria es superior a 1 mm, no se observa ninguna tendencia significativa en el registro histórico. En el periodo 1970-2023 el promedio del número anual se situó en torno a los 120 días; el mínimo se produjo en 1989, el año más seco de la CAPV, con menos de 90 días húmedos.

Los días lluviosos anuales, en los que la precipitación diaria es superior a 10 mm, tampoco muestran cambios significativos en el tiempo y siguen un patrón similar a la evolución de los días húmedos. En promedio el número anual de días lluviosos ronda los 40 días; el máximo se registró en 2013, el año más lluvioso, con más de 55 días. Para los días muy lluviosos, días en los que la precipitación es superior a los 20 mm, se confirma la ausencia de tendencias significativas.

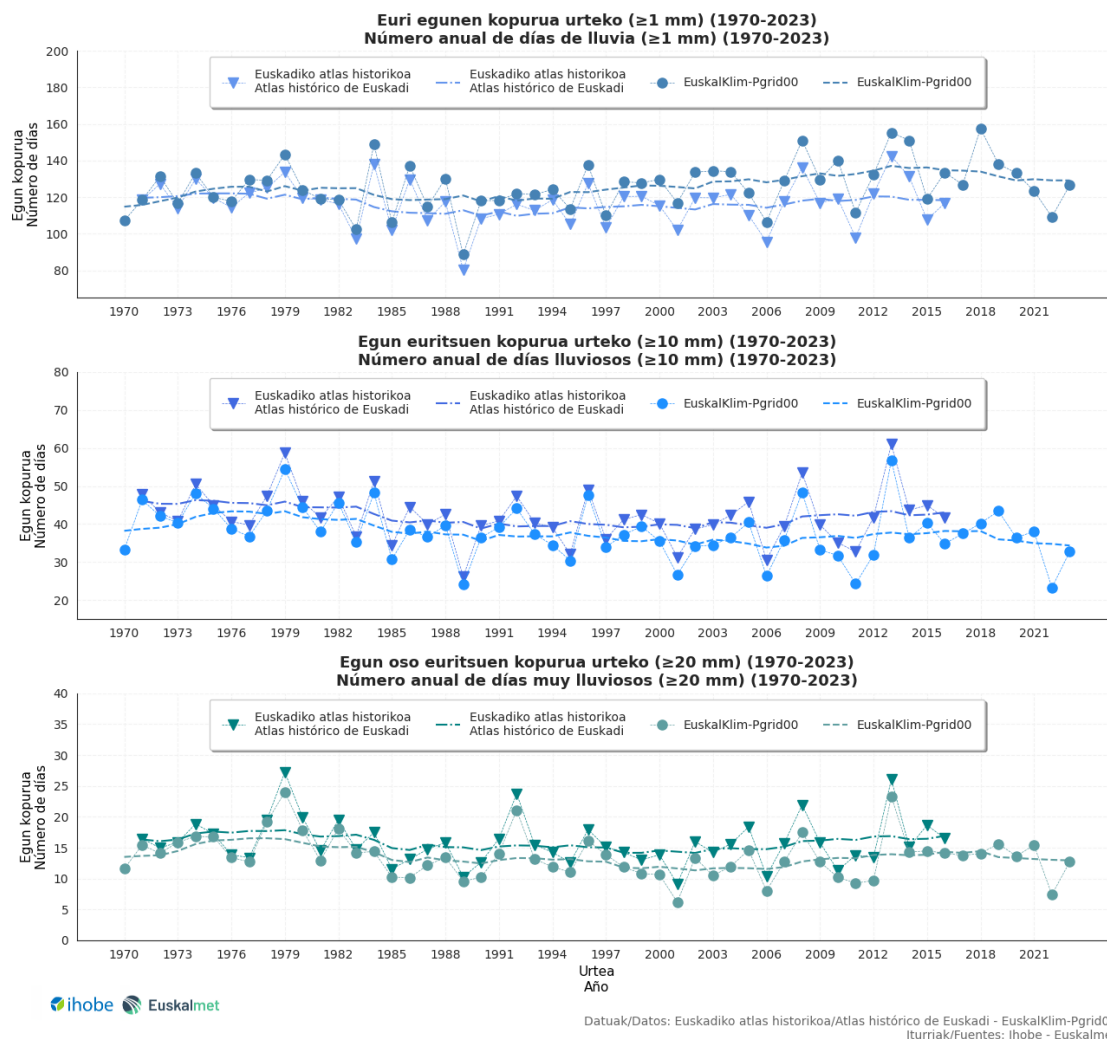


Figura 5.6: Número anual de días en los que la precipitación es superior a (arriba) 1 mm, días de lluvia, (centro) 10 mm, días lluviosos, y (abajo) 20 mm, días muy lluviosos en el periodo 1970-2023 (líneas discontinuas y símbolos circulares EuskalKlim-Pgrid00) y en el periodo 1971-2016 (líneas discontinuas punteadas y símbolos triangulares – Atlas histórico de Euskadi). Las líneas discontinuas señalan la media móvil en una ventana de 11 años.

De forma análoga, la evolución del mayor número de días secos consecutivos anuales, definiendo como secos los días en los que la precipitación es inferior a 1 mm, no muestra una tendencia significativa el periodo 1970-2023¹⁸. Para el número de periodos anuales de más de cinco días secos consecutivos tampoco se identifican tendencias claras.

No obstante, la falta de significatividad puede deberse a diferencias espaciales entre las diversas zonas del territorio, dado que los resultados no son uniformes a lo largo de la CAPV. En particular, en Rioja Alavesa se identifica un aumento significativo del periodo seco más largo¹⁸.

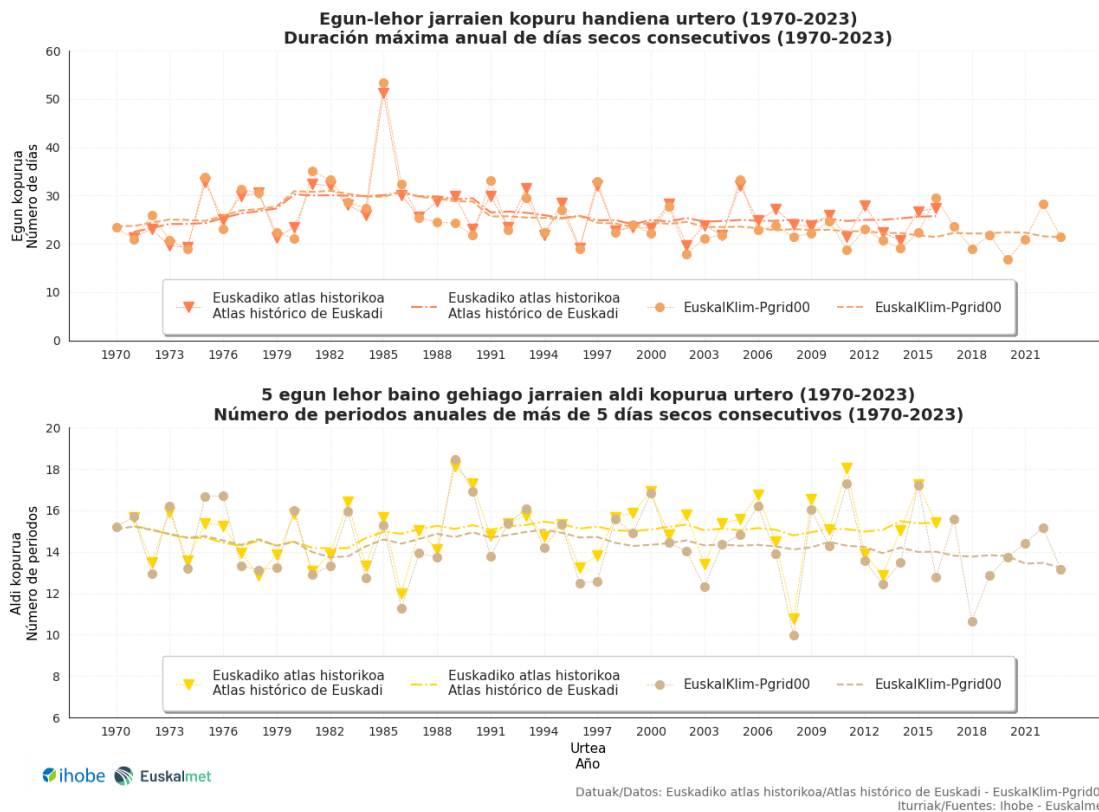


Figura 5.7: Duración máxima anual de días secos consecutivos (precipitación diaria inferior a 1 mm) (arriba) y número de periodos anuales de más de cinco días secos consecutivos (abajo) en el periodo 1970-2023 (líneas discontinuas y símbolos circulares - EuskalKlim-Pgrid00) y en el periodo 1971-2016 (líneas discontinuas punteadas y símbolos triangulares – Atlas histórico de Euskadi). Las líneas discontinuas señalan la media móvil en una ventana de 11 años.

5.3.2 Precipitaciones intensas

Se ha de tener en cuenta que las precipitaciones intensas pueden producirse de forma muy localizada. Para su evaluación, además de analizar la superación de un umbral absoluto, como es el umbral 50 mm en cinco días, se aplican enfoques basados en percentiles.

Tanto el número de eventos de precipitaciones intensas, definidos como periodos en los que la precipitación es superior a 50 mm en cinco días, como la precipitación acumulada en esos cinco días consecutivos no revelan tendencias significativas en el largo plazo. Sin embargo, en los últimos años del registro se observa una disminución del número de periodos de precipitaciones intensas, mientras que aumenta la precipitación acumulada.

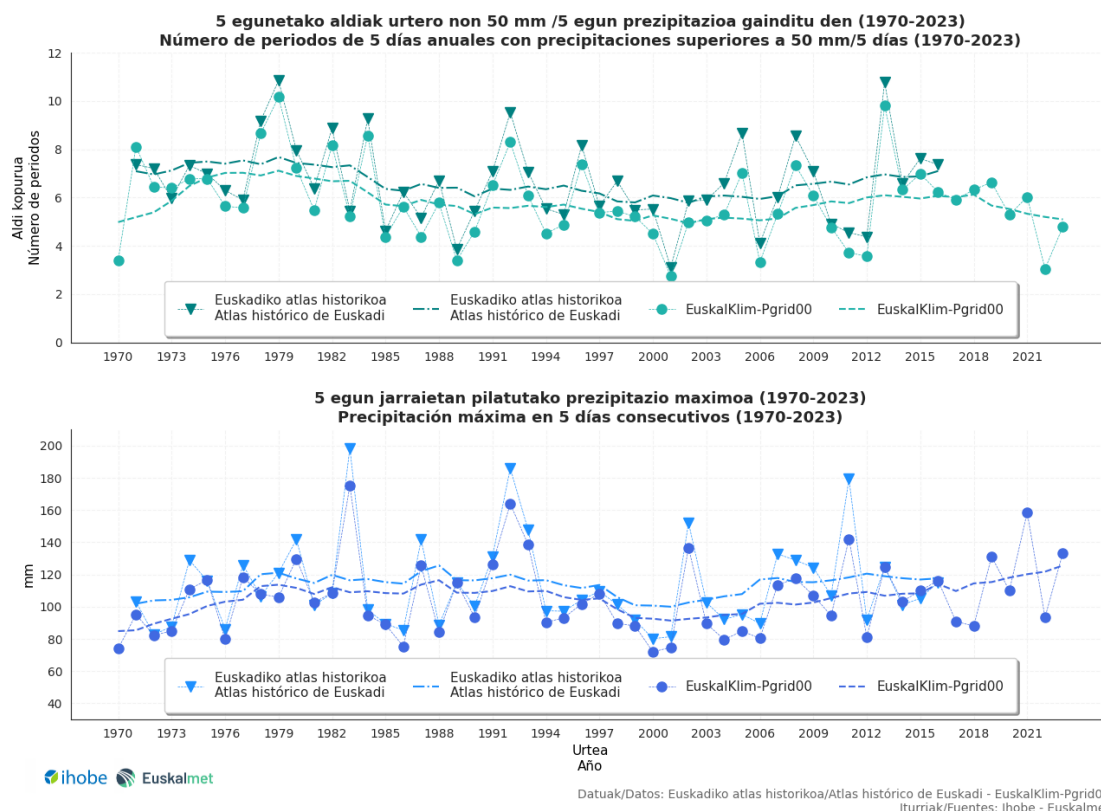


Figura 5.8: Número de periodos de cinco días consecutivos anuales en los que la precipitación es superior a 50 mm/5 días (arriba) y precipitación máxima acumulada en 5 días consecutivos (mm) anualmente (abajo) en el periodo 1970-2023 (líneas discontinuas y símbolos circulares - EuskalKlim-Pgrid00) y en el periodo 1971-2016 (líneas discontinuas punteadas y símbolos triangulares – Atlas histórico de Euskadi). Las líneas discontinuas señalan la media móvil en una ventana de 11 años.

Los días muy húmedos y extremadamente húmedos se estiman mediante los percentiles 95 y 99 de los días húmedos, días con precipitaciones superiores a 1 mm, y con respecto a ventanas de 91 días centradas en cada día natural del periodo de referencia 1991-2020. Los percentiles y el número de días se calculan para cada punto de la rejilla y el resultado es la media para la CAPV.

Al igual que el resto de los indicadores de precipitación analizados, las precipitaciones diarias que superan el percentil 95 y 99, así como el porcentaje de precipitación acumulada durante esos días, no presentan incrementos o disminuciones significativas.

Partiendo de que el promedio del número de días húmedos de la CAPV en el periodo 1991-2020 es de 130 días, el número de días en los que se superan el percentil 95 y 99 son los esperables, cinco días y un día, respectivamente. En los días que superan el percentil 95 se registra en torno al 20 % de la precipitación anual, mientras que, en los días extremadamente húmedos, por encima del percentil 99, se acumula más del 8 % de la precipitación anual.

Como resultado, se concluye que los indicadores de precipitación no presentan tendencias significativas para la CAPV.

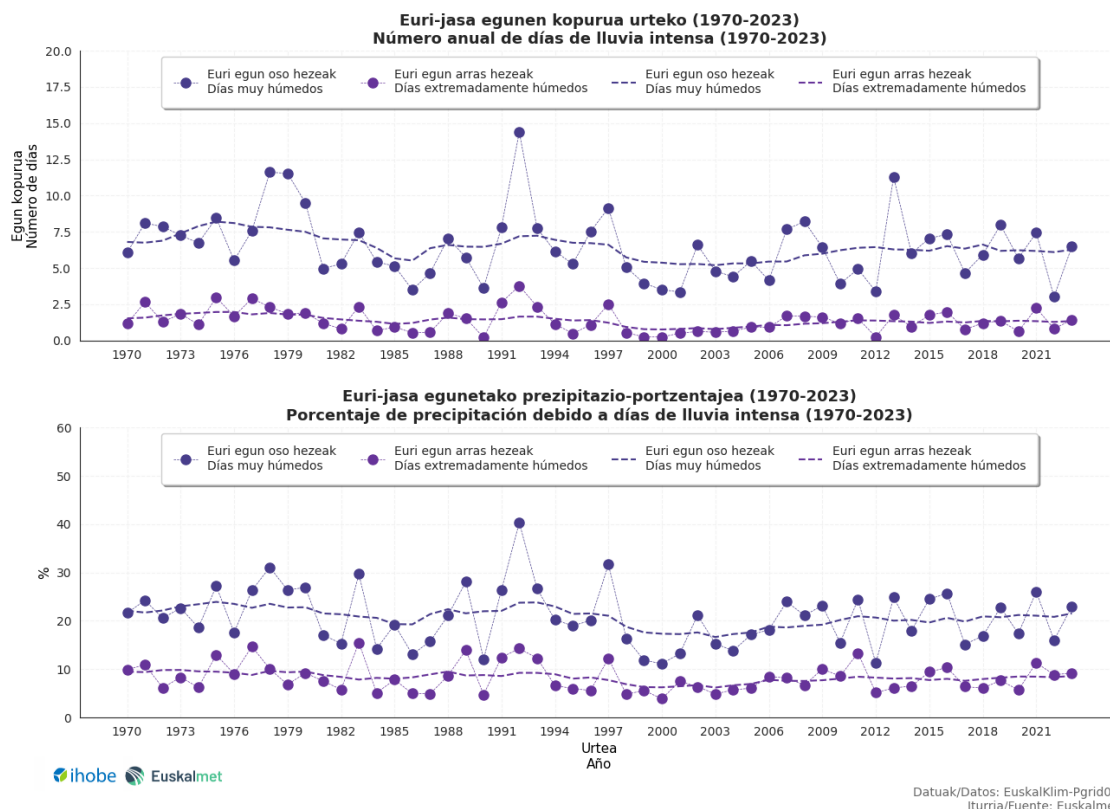


Figura 5.9: Número anual de días en el periodo 1970-2023 en los que la precipitación diaria supera el percentil 95 (días muy húmedos - línea azul oscura) y 99 (días extremadamente húmedos - línea morada) de la precipitación en días húmedos (precipitación diaria superior a 1 mm) en una ventana de 91 días centrada en cada día natural del periodo de referencia 1991-2020 (arriba). Porcentaje de precipitación en los días en los que se supera el percentil 95 (días muy húmedos - línea azul oscura) y 99 (días extremadamente húmedos - línea morada) con respecto a la precipitación en días húmedos en una ventana de 91 días centrada en cada día natural del periodo de referencia 1991-2020 (abajo). Las líneas discontinuas señalan la media móvil en una ventana de 11 años.

6 OCÉANO

- La temperatura global de la superficie del mar ha aumentado 0,6 °C desde 1980 y en torno a 1 °C desde 1850.
- En el golfo de Bizkaia la temperatura superficial del mar ha aumentado 1 °C desde 1981, con un aumento en torno a 0,25 °C por década.
- El nivel medio global del mar ha subido en torno a 3,6 mm anuales desde 1993.
- En el golfo de Bizkaia el nivel del mar aumentó una media de 2,5 mm anuales entre 1993 y 2019. El mareógrafo de Brest, con datos desde comienzos del siglo XIX, muestra un incremento del nivel del mar en torno a 1 mm anualmente, lo que supone un aumento de más de 20 cm en los dos últimos siglos (1807-2022).
- Las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida perdieron en torno a 4890 y 2679 gigatoneladas de masa durante el periodo 1992-2020, contribuyendo en más de 20 mm al aumento global del nivel del mar.

6.1 Temperatura superficial del mar

6.1.1 Global y Europa

La temperatura global de la superficie del mar ha aumentado desde principios del siglo XX, con un incremento aproximado de 1 °C desde 1850.

Los registros instrumentales disponibles de la temperatura superficial del mar iniciados en 1850 muestran una temperatura con pocas variaciones durante la segunda mitad del siglo XIX, pero con el comienzo del siglo XX, desde 1900 y durante los siguientes 40 años, se registró un calentamiento. Durante los posteriores 30 años, aproximadamente hasta finales de la década de 1970, la temperatura se mantuvo en valores relativamente constantes, hasta que se inició el ascenso que continúa en la actualidad³⁶. Desde 1980 y hasta el 2023 la temperatura de la superficie del mar global aumentó en torno a 0,6 °C.

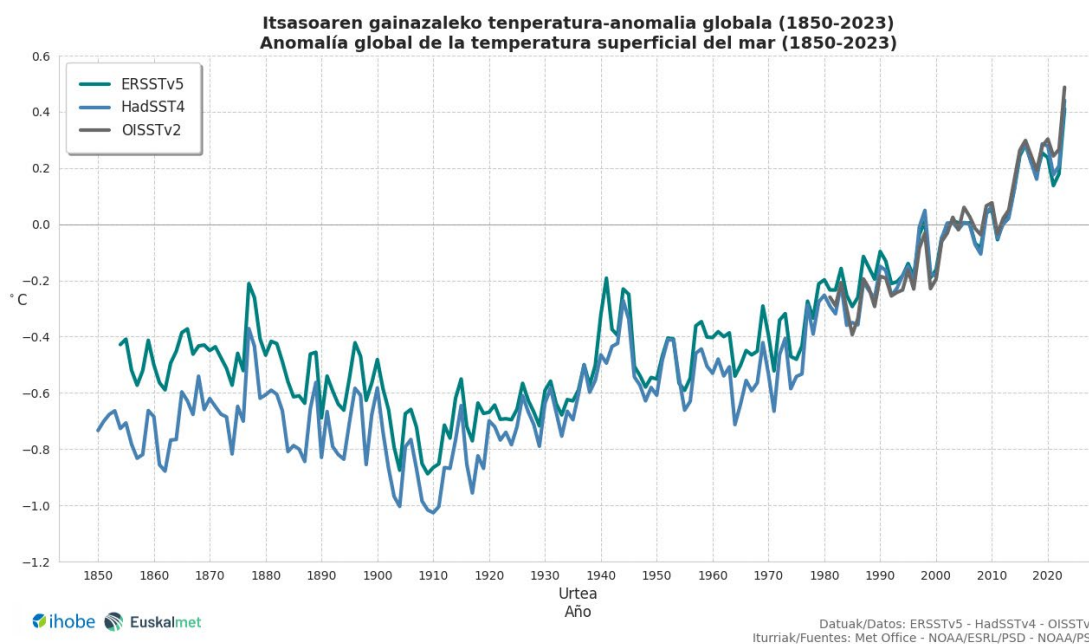


Figura 6.1: Anomalías anuales de la media global de la temperatura superficial del mar (°C) para el periodo 1850-2023 con respecto al periodo de referencia 1991-2020 para tres conjuntos de datos.

La tasa de calentamiento de la temperatura superficial del mar varía entre regiones. El océano tropical se ha calentado más rápidamente que otras regiones desde 1950, con un calentamiento más rápido en zonas de los océanos Índico tropical y Pacífico occidental. En cambio, el océano Pacífico oriental, el océano Atlántico Norte subpolar y el océano Antártico se han calentado más lentamente que la media global o incluso se han enfriado ligeramente³⁶.

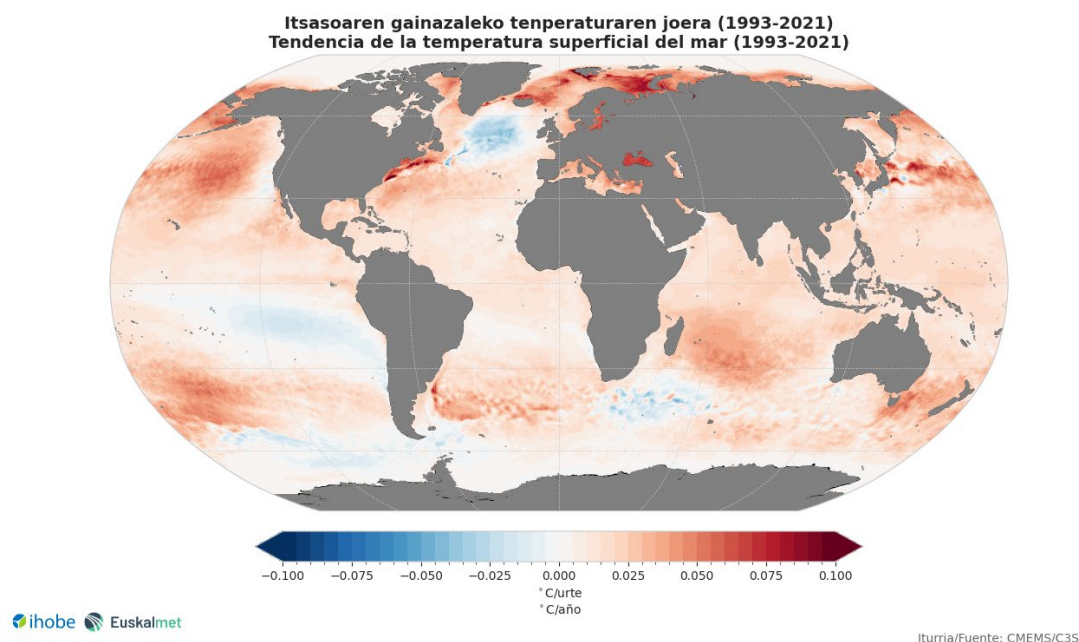


Figura 6.2: Tendencia global de la temperatura superficial del mar (°C/año) en el periodo 1993-2021.

También existen diferencias interanuales, principalmente debidas al fenómeno ENSO. Este fenómeno se produce por la propia variabilidad natural del sistema climático y es el principal modo de variabilidad interanual del Pacífico ecuatorial. Durante los periodos en los que se produce la fase cálida del fenómeno ENSO, El Niño, el promedio global de la temperatura superficial del mar aumenta temporalmente, mientras que durante la fase fría, La Niña, disminuye.

En los mares alrededor de Europa el calentamiento de la temperatura superficial del mar ha sido más rápido durante algunos periodos, como entre 1920 y 1940, también a finales de la década de 1990 y principios del siglo XXI; mientras que en otros periodos el calentamiento ha sido más lento, como a comienzos del siglo XX y entre las décadas de 1940 y 1980³⁷.

6.1.2 Golfo de Bizkaia

Las variaciones en escalas decadales de la temperatura superficial del mar en el Atlántico responden en gran medida a la variabilidad interna del océano³⁸. Desde finales de la década de 1980 los distintos mares europeos han seguido distintos ritmos de calentamiento³⁷.

En los mares del noroeste de Europa, en la zona que comprende los mares de la península ibérica, Irlanda y el golfo de Bizkaia (zona IBI - Iberia-Bizkaia-Irlanda, 19°W-5°E, 26-56°N) la temperatura superficial del mar aumentó en torno a 0,22 °C por década en el periodo 1982-2023³⁹.

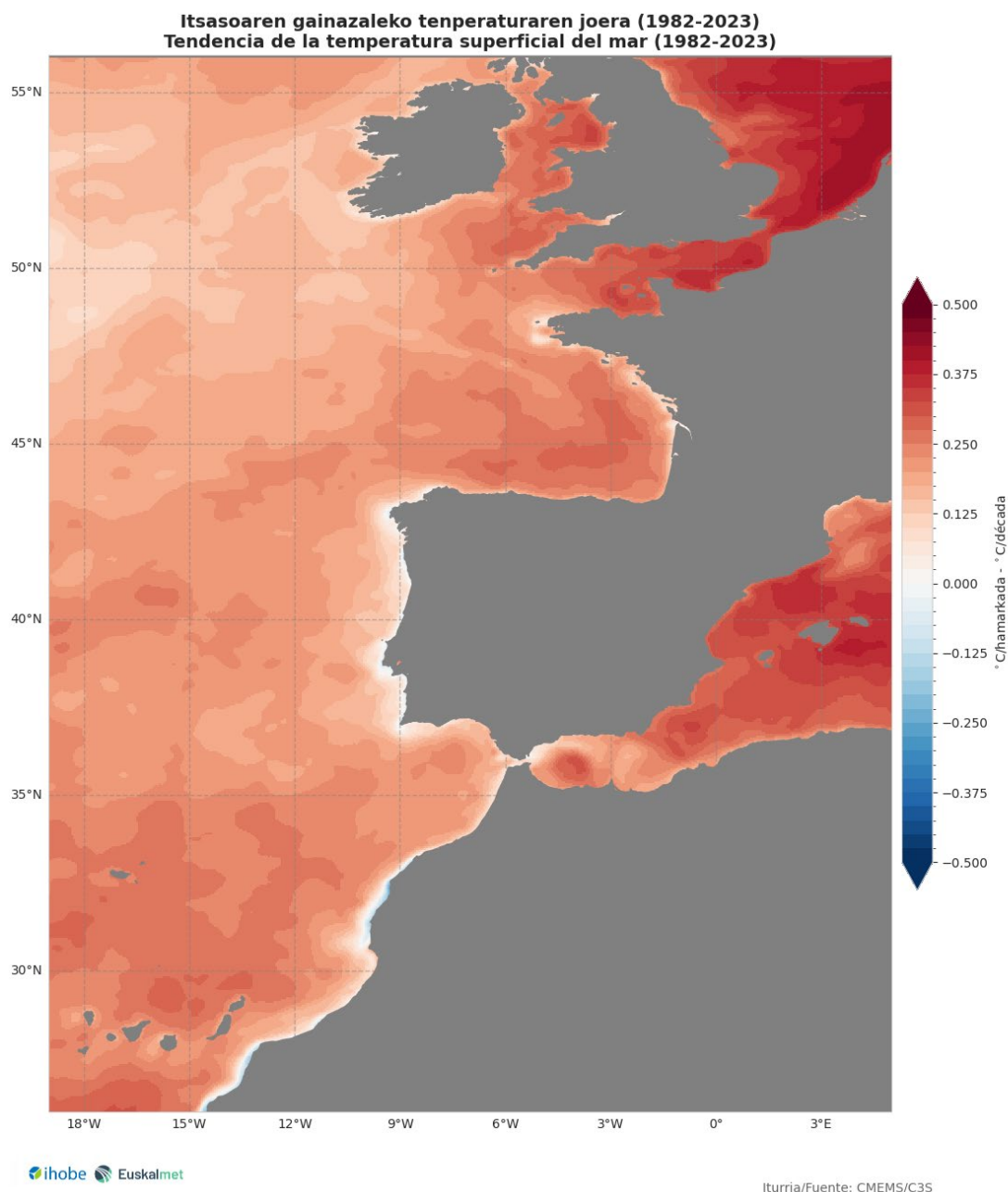


Figura 6.3: Tendencia de la temperatura superficial del mar ($^{\circ}\text{C}/\text{década}$) en la zona IBI (Iberia-Bizkaia-Irlanda) en el periodo 1982-2023.

En el golfo de Bizkaia ($11^{\circ}\text{-}1^{\circ}\text{W}$, $43^{\circ}\text{-}48.5^{\circ}\text{N}$) desde 1981 y hasta el 2023 la temperatura superficial del mar aumentó 1°C , en torno a $0,25^{\circ}\text{C}$ por década. En el 2023 las anomalías superaron el umbral de 1°C respecto al periodo 1991-2020. En particular, se registró un calentamiento excepcional en junio, el día 23 las anomalías alcanzaron los $3,1^{\circ}\text{C}$ y el promedio mensual superó el umbral de 2°C de anomalía.

La temperatura del mar a diferentes profundidades también está aumentando. Hasta los 100 m de profundidad y en el periodo 1986-2021 en la plataforma continental frente a Pasaia se identificó una tendencia de calentamiento significativa de en torno a $0,14^{\circ}\text{C}$ por década⁴⁰.

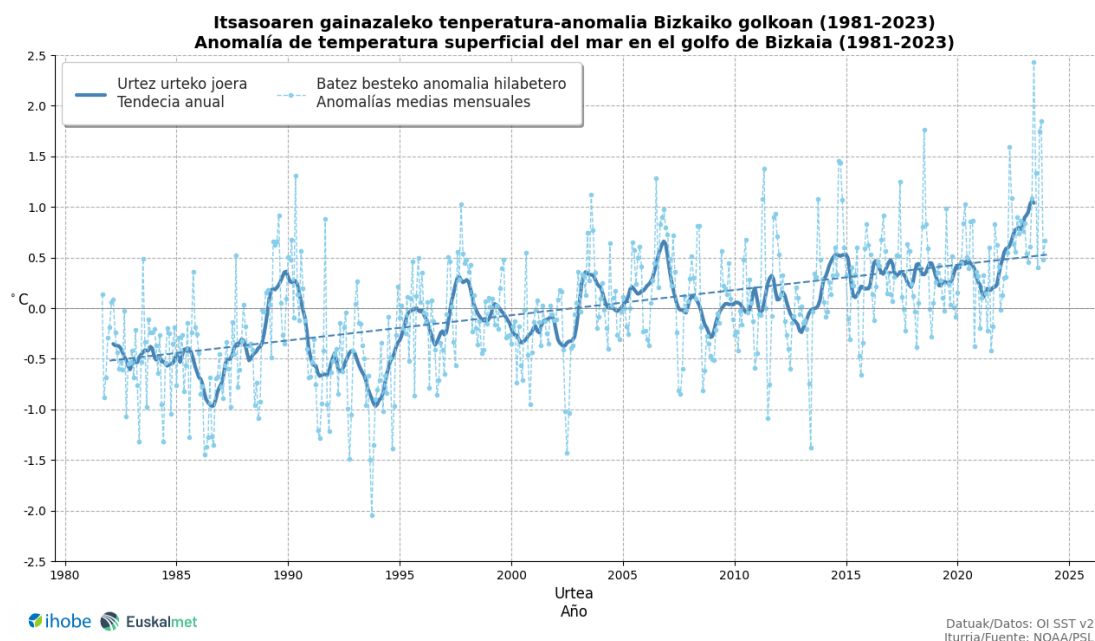


Figura 6.4: Anomalía de la temperatura superficial del mar (°C) promediada en el golfo de Bizkaia (11°-1°W, 43°-48.5°N) en el periodo 1981-2023: tendencia anual (línea continua) y promedio mensual (línea discontinua punteada). Las anomalías se calculan con respecto al período de referencia 1991-2020. La línea recta discontinua indica la tendencia en el periodo 1981-2023.

6.2 Nivel del mar

6.2.1 Global y Europa

El nivel medio global del mar aumentó más rápidamente en el siglo XX que en cualquier otro siglo anterior de los últimos tres milenios³⁶. Desde comienzos del siglo XX y hasta el 2018 el promedio global del nivel del mar aumentó en torno a 20 cm (de 15 a 25 cm)⁴¹.

Este aumento se ha acelerado desde finales de la década de 1960 y durante el periodo 1993-2023, periodo con registros satelitales, subió en torno a 3,6 mm anuales, pasando de una tendencia de 2,1 mm anuales durante 1993-2003 a una tendencia de 4,4 mm anuales durante 2013-2023⁴². En el 2023 el nivel medio global del mar alcanzó un máximo histórico en el registro por satélite, situándose hasta 11 cm por encima del nivel del mar en 1993⁴².

La subida media global del nivel del mar puede atribuirse fundamentalmente a la expansión térmica de los océanos y al deshielo terrestre de los glaciares y de las capas de hielo de la Antártida y Groenlandia⁴³. Durante el periodo 2006-2018 la pérdida total de hielo terrestre fue la que más contribuyó al aumento del nivel medio global del mar³⁶. En concreto, la contribución de Groenlandia y la Antártida al aumento del nivel medio del mar fue cuatro veces mayor durante 2010-2019 que durante los ocho años previos³⁶.

Las tendencias regionales del nivel del mar pueden variar de forma significativa respecto a la tendencia global. El cambio regional del nivel del mar ha sido el principal impulsor de los cambios en los niveles extremos de las mareas. Las observaciones muestran que a nivel global las inundaciones por mareas vivas que se produjeron cinco veces al año durante el periodo 1960-1980, durante el periodo 1995-2014 aumentaron a más de ocho veces al año³⁶ de media.

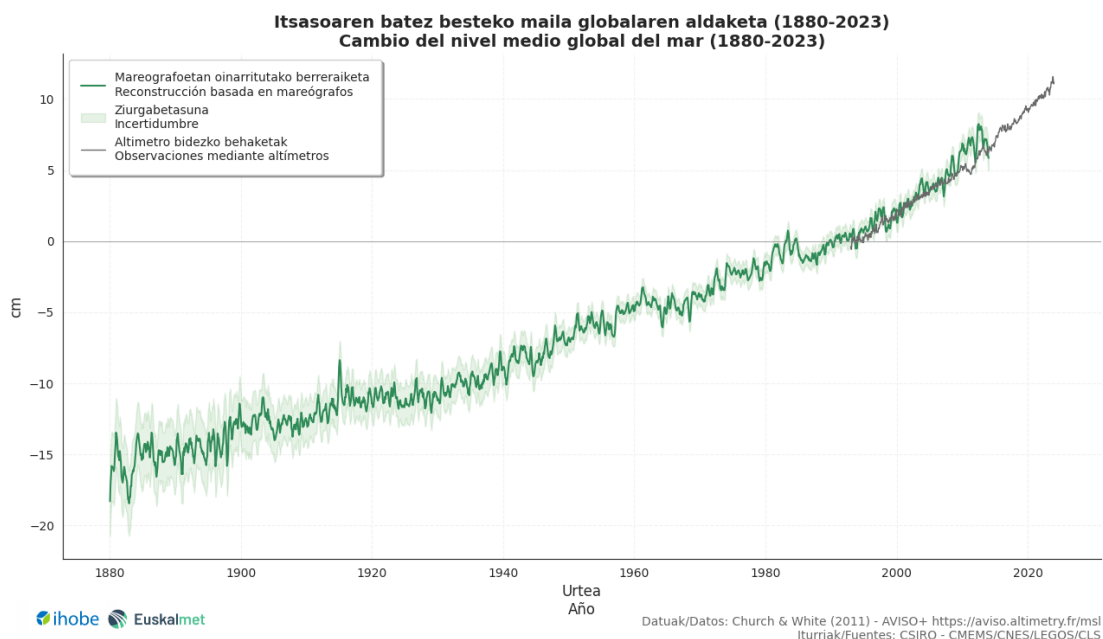


Figura 6.5: Serie temporal del nivel medio global del mar de 1880 a 2013 (en comparación con la media de 1993 a 2008), estimado a partir de mareógrafos (verde). Las estimaciones de incertidumbre de una desviación estándar se indican por el sombreado. Serie temporal de referencia del nivel medio global del mar basadas en datos de las misiones TOPEX/Poseidon, Jason-1, Jason-2 y Jason-3, tras eliminar las señales anuales y semestrales y aplicar un filtrado de 2 meses para el periodo 1993-2023 (gris).

6.2.2 Golfo de Bizkaia

A escala regional el nivel del mar fluctúa de forma distinta a como lo hace a escala global, aunque la subida es generalizada. Las diferencias regionales se deben a la propia dinámica oceánica local, los cambios en la gravedad terrestre, el forzamiento atmosférico, así como al movimiento vertical de la tierra³⁶. En la mayoría de los mares europeos el nivel del mar subió una media de 2-4 mm anuales en el periodo 1993-2022³⁷.

Euskadi es una zona muy afectada por el mar, dada su gran población en las zonas costeras, además, según diversos estudios^{44,45} es un territorio que en el futuro se verá afectado por la subida del nivel del mar y se espera que las inundaciones afecten a varias zonas de la costa vasca⁴⁶.

En el periodo histórico desde 1993 y hasta junio de 2023 en la zona de Atlántico Norte que abarca el golfo de Bizkaia (Iberia-Bizkaia-Irlanda, 20°W-10°E, 26°-48°N) el nivel medio del mar aumentó en torno a 4 mm anuales⁴⁷.

Esta tendencia está modulada por variaciones decadales, asociadas a los cambios en la Circulación de Vuelco Meridional del Atlántico (AMOC). La AMOC actúa como un sistema de transporte de calor entre el sur y el norte del Atlántico; en la capa superior del océano transporta agua cálida desde los trópicos al Atlántico Norte y en las capas profundas del océano transporta agua fría hacia el sur. Gracias a este mecanismo las temperaturas del Atlántico Norte y gran parte de Europa son más templadas de lo que les correspondería por su latitud. A su vez, los cambios en la AMOC influyen en el cambio dinámico del nivel del mar⁴⁸.

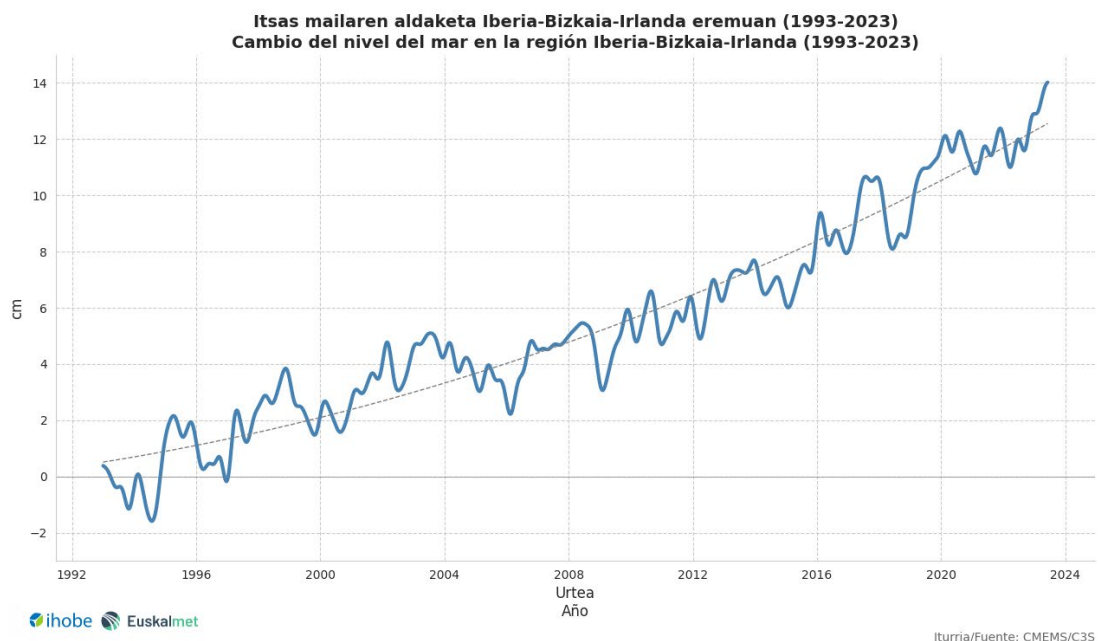


Figura 6.6: Evolución media regional del nivel del mar (cm) desde enero de 1993 a junio de 2023 en la zona IBI (Iberia-Bizkaia-Irlanda, 20°W-10°E, 26°-48°N), a partir de las observaciones de altímetro por satélite. La línea discontinua indica la tendencia.

En el golfo de Bizkaia el nivel del mar ha aumentado entre 1,5 y 3,5 mm anuales desde la década 1990⁴⁰, con una media de 2,5 mm anuales en el periodo 1993-2019, en base a los datos satelitales de Topex/Poseidon de la NASA y ERS-1 de la ESA y a los datos de mareógrafos en la costa⁴⁰. Cerca de la costa las mediciones del nivel del mar se realizan mediante mareógrafos y están afectados por factores locales, como las características propias de la costa y la dinámica local de mareas.

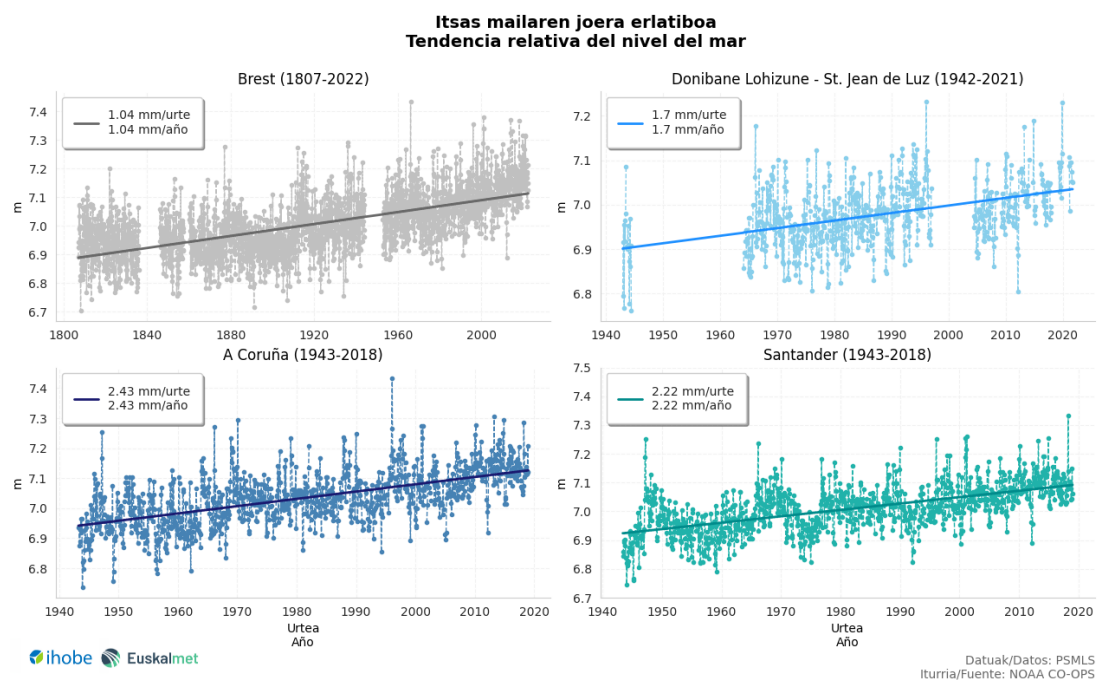


Figura 6.7: Tendencia relativa del nivel del mar en mareógrafos (m): Brest (arriba izquierda), Donibane Lohizune – St. Jean de Luz (arriba derecha), A Coruña (abajo izquierda) y Santander (abajo derecha).

En una de las series más largas disponibles (mareógrafo de Brest) se ha registrado un ascenso de más de 20 cm en los dos últimos siglos (1807-2022), un valor similar al observado a escala global. No obstante, el mayor incremento se corresponde al periodo más reciente, con una tendencia de aumento en el siglo XXI más del doble que en todo el periodo previo. En Santander y A Coruña, en el periodo 1943-2018, el aumento fue superior a 2 mm anuales.

El aumento del nivel del mar tiene un gran impacto en los eventos extremos marítimo-costeros y en las inundaciones costeras. En la costa vasca existe una amplia red de monitorización de los impactos marítimos-costeros^{49,50} y en el sureste del golfo de Bizkaia se ha registrado un aumento significativo de la altura extrema de las olas, con un incremento medio de 16,8 cm por década^{40,46}.

6.3 Criosfera

6.3.1 Hielo marino

Debido al aumento de la temperatura media global en superficie, la extensión del hielo marino ártico, que es el área total del océano cubierta con al menos un 15 % de concentración de hielo marino, ha sufrido una importante disminución desde 1979, cuando se iniciaron los registros satelitales.

El descenso se observa en todos los meses, pero es mayor en septiembre, después del verano en el hemisferio norte, cuando la extensión del hielo alcanza su mínimo anual. La tendencia descendente significativa de la extensión en septiembre es de 0,8 millones de km² por década.

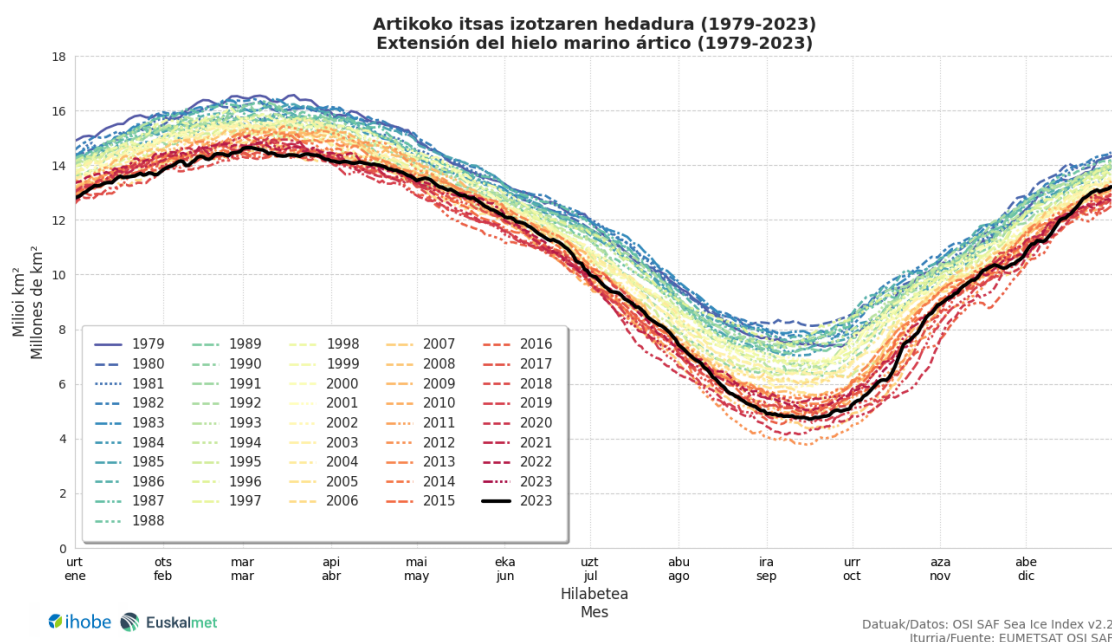


Figura 6.8: Series diarias anuales de la extensión de hielo marino ártico (millones de km²) desde 1979 hasta 2023. El hielo marino ártico se define como el área del océano cubierta con más de un 15 % de concentración de hielo marino.

En los 45 años de registro por satélite, los 17 registros más bajos se han producido en los últimos 17 años⁵¹. La extensión más baja registrada se produjo en septiembre de 2012, mientras que el segundo mínimo se alcanzó en septiembre de 2020. El mínimo anual de septiembre de 2023 fue el sexto más bajo. En el promedio de la década 2014-2023, la superficie mensual de hielo marino del Ártico de septiembre fue alrededor de 5 millones de km², en torno a un 34 % menor que durante 1979-1988.

En la extensión del hielo marino de la Antártida, en cambio, las tendencias a largo plazo no están claras. Es reseñable, en cualquier caso, el mínimo histórico de febrero de 2023, que superó al anterior mínimo de 2022. Por tanto, en febrero de 2022 y 2023 se registraron dos mínimos históricos consecutivos.

A su vez, en 2023, en septiembre, cuando la extensión de hielo antártico alcanza su máximo, después del invierno en el hemisferio sur, se registró un nuevo mínimo desde que se inició el periodo satelital, superando en casi 1 millón de km² el récord anterior de 1986.

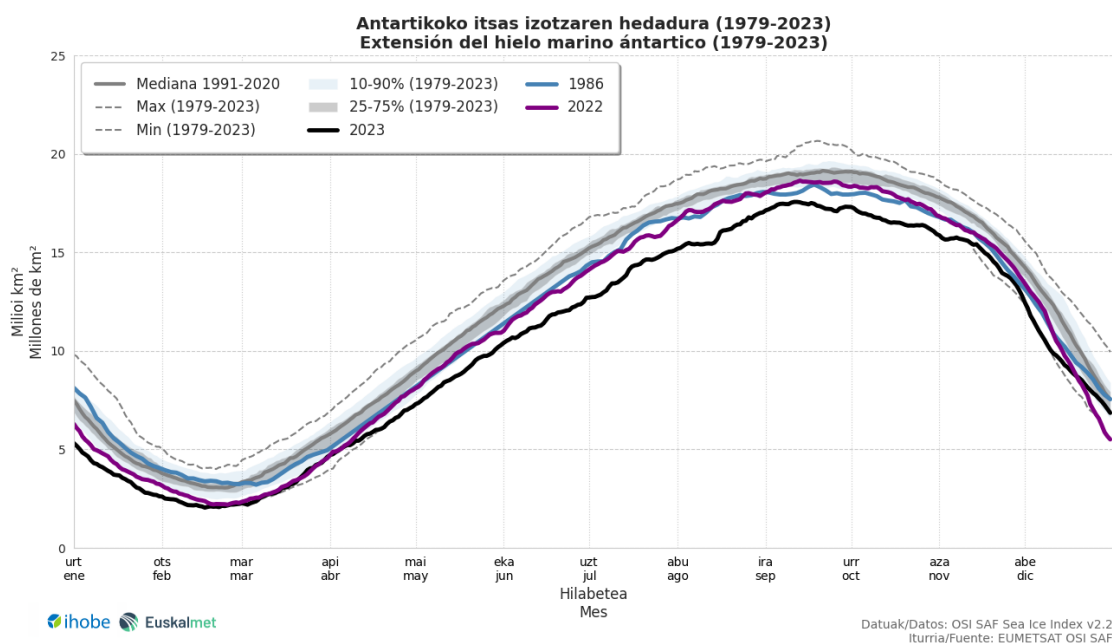


Figura 6.9: Extensión de hielo marino antártico (millones de km²) para cada día del 2023 (línea negra). La línea gris muestra la mediana de 1991-2020 para cada día; las líneas grises discontinuas muestran los valores máximos y mínimos y el sombreado gris los valores percentiles para cada día del año basados en el periodo 1979-2023. La línea azul muestra el año 1986 y la línea morada el 2022.

6.3.2 Capas de hielo de Groenlandia y la Antártida

Mientras que la pérdida del hielo marino no afecta a la subida del nivel del mar, la disminución de las capas de hielo sobre tierra firme y el aumento del aporte de agua en los océanos sí provocan un aumento de dicho nivel. Las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida son las mayores reservas de agua dulce congelada del planeta y ambas han perdido masa desde al menos 1990⁵².

La capa de hielo de Groenlandia perdió en torno a 4890 gigatoneladas de masa durante el periodo 1992-2020, lo que resulta en un aumento de 13,5 mm del nivel medio global del mar³⁶. La pérdida de masa se debe al deshielo superficial y a la descarga de hielo -la descarga de hielo significa que el hielo que estaba sobre tierra se traslada al océano-, pero el deshielo es cada vez más predominante en la pérdida de masa total.

La capa de hielo de la Antártida perdió en torno a 2670 gigatoneladas de masa durante el periodo 1992-2020, lo que, a su vez, equivale a cerca de 7,4 mm de aumento medio global del nivel del mar³⁶. Como resultado de la pérdida de masa de hielo de Groenlandia y la Antártida el nivel del mar medio ha subido más de 20 mm desde 1992⁵².

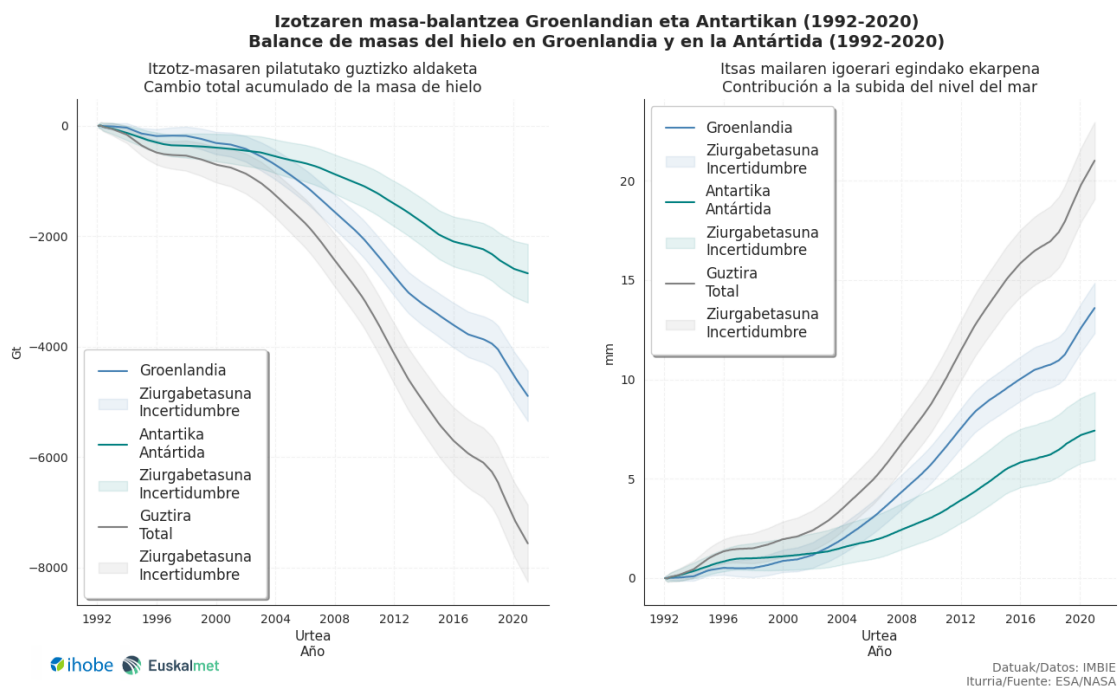


Figura 6.10: Balance de masas del hielo en Groenlandia (azul), en la Antártida (verde) y la suma de ambos (gris) para el periodo 1992-2020. Cambio total acumulado de la masa de hielo (gigatoneladas) (izquierda) y contribución a la subida del nivel del mar (mm) (derecha). El sombreado representa la incertidumbre.

7 VIENTO

- En la mayoría de las regiones de Europa se ha observado una disminución de la velocidad del viento desde el inicio de la década de 1980.
- La velocidad media anual del viento en la CAPV no muestra una tendencia clara, dada la alta variabilidad interanual y decadal.

A escala global los datos disponibles de viento en superficie muestran grandes diferencias en las tendencias multidecadales regionales⁵³. Se ha de tener en cuenta que las largas series temporales son escasas y en algunas zonas, sobre todo de orografía compleja, la densidad espacial de las estaciones de observación es limitada, lo que dificulta la representación realista de la variabilidad del viento. Por ello las tendencias a largo plazo de la velocidad del viento se han de analizar con cautela. No obstante, en varias zonas de Europa se ha observado una reducción de la velocidad del viento desde el inicio de la década de 1980⁵⁴.

La velocidad media anual del viento en la CAPV muestra una gran variabilidad interanual y en el periodo 1950-2023 no existe una tendencia clara. Se observa también una variabilidad decadal, con velocidades del viento generalmente inferiores a la media desde finales de la década de 1980 hasta comienzos de la década de 1990 y en la segunda mitad de la década de 2000. En cambio, entre el final de la década de 1990 y el comienzo del nuevo siglo se registran anomalías positivas, seguido de un periodo de anomalías negativas. Desde el 2010 se registran años tanto con anomalías positivas, como negativas.

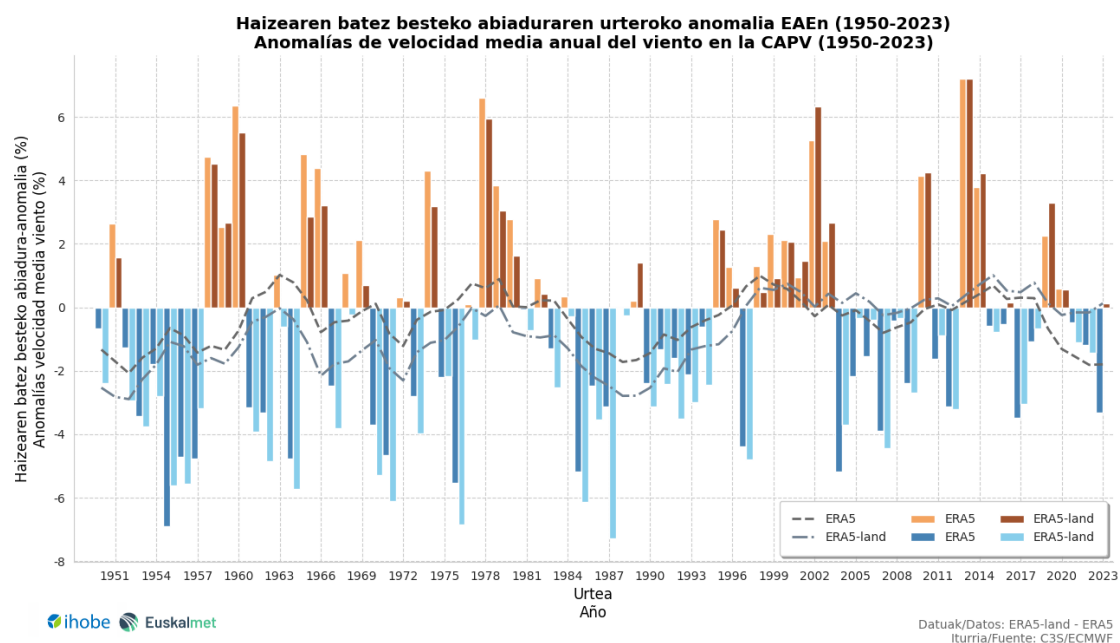


Figura 7.1: Evolución anual de las anomalías de la velocidad media del viento (%) en superficie para la CAPV y para el periodo 1950-2023 (barras azules oscuras y naranjas - ERA5) y (barras azules claras y marrones - ERA5-land) con respecto al periodo de referencia 1991-2020. Las líneas discontinuas señalan la media móvil en una ventana de 11 años.

Respecto a la dirección de viento, dada gran dependencia de la orografía y las características locales, las direcciones más habituales son muy dependientes de la localización. De forma general, en la CAPV el viento del norte es el más frecuente, seguido del viento del noroeste. El viento del noroeste

es más intenso que el viento del norte y las rachas de viento del noroeste más intensas suelen estar asociadas a la aproximación de borrascas de gran impacto. No obstante, el viento más fuerte es el del sur, en particular, las rachas de viento más intensas se asocian a situaciones de viento del suroeste; en zonas expuestas se pueden registrar rachas de más de 120 km/h con facilidad.

8 EVENTOS EXTREMOS E IMPACTOS

- Los fenómenos meteorológicos y climatológicos extremos y sus impactos socioeconómicos están aumentando, en parte debido al cambio climático provocado por las actividades humanas.
- A nivel global las inundaciones y los ciclones tropicales son la causa más frecuente en las catástrofes registradas y las que más pérdidas económicas ocasionan. En Europa las principales catástrofes son las inundaciones y los temporales.
- A nivel global la gran mayoría de las víctimas mortales asociadas a fenómenos extremos se deben a los ciclones tropicales y a las sequías. En Europa la mayor parte de las pérdidas humanas están asociadas a las olas de calor, hasta un 95 % entre 1980 y 2022.
- Los episodios históricos catastróficos más recientes de Euskadi se deben a las inundaciones, siendo la más relevante la de agosto de 1983, y a las depresiones extratropicales, como Klaus en 2009 y Xynthia en 2010. Destaca también la ola de calor sin precedentes de 2003.

El cambio climático inducido por la actividad humana ha provocado, desde la época preindustrial, un aumento de la frecuencia y la intensidad de algunos fenómenos climáticos y meteorológicos extremos a escala global¹⁷. Los fenómenos meteorológicos extremos son aquellos eventos poco frecuentes para un lugar y una época del año concretas. Cuando un fenómeno persiste durante un tiempo, como una estación, puede calificarse como fenómeno climático extremo¹⁷. En particular, la ocurrencia de algunos fenómenos extremos cálidos hubiese sido extremadamente improbable sin la influencia humana en el sistema climático¹⁷.

8.1 Global y Europa

El impacto y las pérdidas económicas asociadas a los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos son difíciles de cuantificar. A escala global en los 50 años posteriores a 1970 las catástrofes debidas a condiciones meteorológicas o climatológicas extremas se multiplicaron por cinco y las pérdidas asociadas por siete⁶², pasando de 49 millones de dólares al día de media entre 1970 y 1979 a 383 millones entre 2010 y 2019. Parte del aumento se debe al incremento de notificaciones de daños por catástrofes, la mayor exposición asociada al incremento de la población y las migraciones internas a zonas urbanas y costeras más expuestas⁵⁵; pero otra parte es atribuible al cambio climático⁵⁶.

Entre 1979 y 2019 el 44 % de las catástrofes globales estuvieron asociadas a inundaciones y el 17 % a ciclones tropicales. En cuanto a las pérdidas económicas el 38 % se asociaron a los ciclones tropicales y el 31 % a las inundaciones. Destacan el huracán Katrina de 2005, con pérdidas superiores a los 163 000 millones de dólares y los huracanes Harvey, Maria e Irma de 2017, que dejaron pérdidas superiores a los 224 000 millones de dólares. Estos tres últimos contribuyeron al 35 % de las pérdidas económicas totales de las diez catástrofes más importantes ocurridas en todo el mundo entre 1970 y 2019⁶².

A escala global los ciclones tropicales, junto con las sequías, provocaron la mayor parte de las pérdidas humanas, con el 38 % y el 34 % respectivamente. En Asia los ciclones tropicales fueron las catástrofes que más muertes provocaron, el 60 % se debieron al ciclón Bholá en 1970 y Gorky en 1991, con más de 430 000 muertos en Bangladesh, y a Nargis en 2008, con más de 130 000 fallecidos en Myanmar. En África las sequías fueron en un 95 % responsables de las muertes asociadas a catástrofes. La mayoría de las muertes se produjeron durante las graves sequías de Etiopía en 1973

y 1983, con 400 000 fallecidos, Mozambique en 1981, con 100 000 fallecidos y Sudán en 1983, con 150 000 muertes⁶².

En Europa se ha observado un incremento en la frecuencia de las olas de calor, una tendencia de aumento de las inundaciones fluviales en el centro y oeste del continente, y un aumento de las sequías hidrológicas en la cuenca mediterránea⁵⁷. Entre 1970 y 2019 las inundaciones y los temporales fueron la causa más frecuente en las catástrofes naturales registradas, con un 38 % y un 32 % respectivamente, y también fueron las que causaron la mayor parte de las pérdidas económicas, con un 36 % y un 44 %⁶².

En base a los datos entre 1980 y 2022 en los veintisiete Estados miembros de la Unión Europea las pérdidas económicas ascendieron a 650 000 millones de euros⁵⁸, de los cuales el 17 % se corresponde únicamente a los años 2021 y 2022, con pérdidas de 59 400 millones y 52 300 millones, respectivamente. No en vano, a pesar de que existe una gran variabilidad interanual, se observa un incremento significativo de las pérdidas anuales en el periodo 1980-2022.

Por tanto, en un contexto general de intensificación de fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, en ausencia de medidas de adaptación y mitigación, es poco probable que en los próximos años disminuyan las pérdidas económicas asociadas a estos⁵⁸.

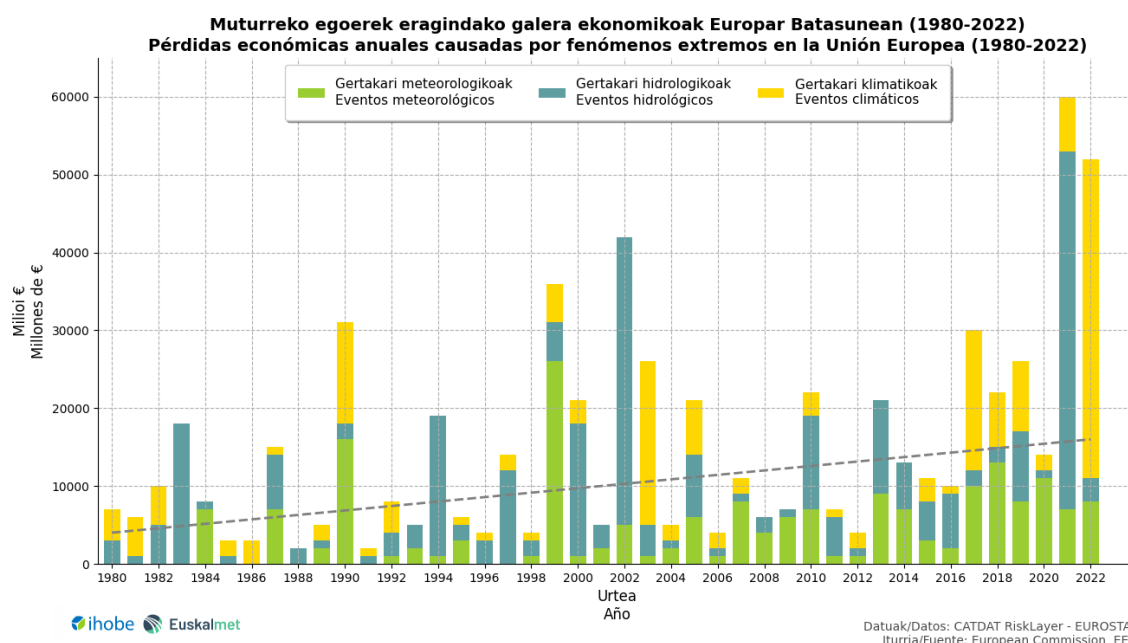


Figura 8.1: Evolución de pérdidas económicas anuales (millones de €) debido a fenómenos extremos en la Unión Europea (EU-27) en el periodo 1980-2022. La línea discontinua señala la tendencia significativa.

Los eventos hidrológicos, como las inundaciones, suponen el 43 % de las pérdidas económicas. Los fenómenos extremos meteorológicos, como los temporales y las tormentas, incluyendo los rayos y el granizo, o los movimientos de masas, representan el 29 %. El 28 % restante de las pérdidas corresponde a eventos extremos climatológicos, entre los que se incluyen las olas de calor y de frío, las sequías o los incendios forestales. No obstante, el 20 % de las pérdidas debidas a los fenómenos extremos se deben únicamente a las olas de calor.

Entre los eventos que más pérdidas económicas causaron destacan las inundaciones de 2021 en Alemania y Bélgica⁵⁹ con pérdidas estimadas de 44 000 millones de euros; los eventos de calor y sequía de 2022, con pérdidas asociadas de 40 000 millones de euros; y las inundaciones en el centro de Europa en el 2002, con pérdidas de 34 000 millones de euros. En las inundaciones extraordinarias producidas por la DANA del 26 de octubre al 4 de noviembre de 2024 en el este de la península ibérica, en particular en la provincia de Valencia, a fecha de 15 de enero de 2025, el importe por indemnizaciones asciende a más de 1000 millones de euros⁶⁰.

En este sentido, pocos eventos son los causantes de gran parte de las pérdidas; en el periodo 1980-2022 el 5 % de los fenómenos climáticos fueron responsables del 59 % de las pérdidas, lo que resulta en la gran variabilidad año a año. Destacan también las inundaciones de Alemania en 2013 e Italia en 1994⁶² y las inundaciones del País Vasco en 1983, que se sitúan también entre las catástrofes que más pérdidas económicas causaron a escala europea.

No obstante, solo un 20 % de las pérdidas económicas asociadas a eventos extremos estaban aseguradas. Una mayor parte de los fenómenos meteorológicos estaban asegurados, mientras que el porcentaje es menor para los fenómenos hidrológicos y climatológicos.

Respecto a los fallecidos, las olas de calor fueron las causantes del 95 % de las 220 000 víctimas mortales contabilizadas en el periodo 1980-2022. Además, desde el comienzo del siglo XXI han aumentado de forma notable las muertes relacionadas con el calor extremo⁸.

En el verano de 2003 se vivió una ola de calor sin precedentes en Europa⁶¹ y fue la responsable del mayor número de víctimas, con más de 70 000 fallecidos en quince países⁶², con más de 20 000 fallecidos en Italia, 19 000 en Francia, 15 000 en España y 9 000 en Alemania.

Aunque, se ha de tener en cuenta que las muertes debidas a olas de calor se miden indirectamente, a través de estimaciones de exceso de mortalidad influidas por factores no climáticos, de modo que las estimaciones varían en función de la fuente de datos^{63,64}.

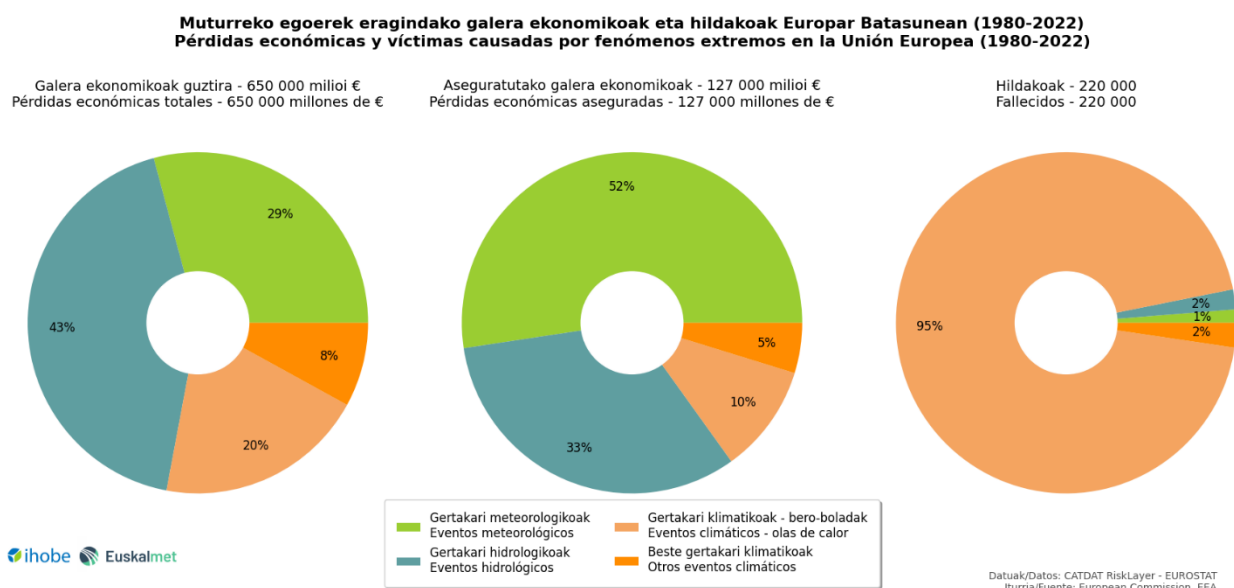


Figura 8.2: Porcentajes de pérdidas económicas totales (izquierda), pérdidas económicas aseguradas (centro) y víctimas mortales (derecha) debido a fenómenos extremos en la Unión Europea (EU-27) en el periodo 1980-2022.

8.2 Euskadi

Entre los eventos extremos que han afectado a la CAPV se encuentran: borrascas con procesos de ciclogénesis explosiva asociados, episodios de precipitaciones abundantes y persistentes que dieron lugar a inundaciones, nevadas, impactos en costa y episodios de temperaturas extremas, como las olas de calor.

8.2.1 Inundaciones

Las inundaciones asociadas a lluvias persistentes y abundantes pueden resultar en consecuencias catastróficas. Entre los episodios de inundaciones históricas durante la segunda mitad del siglo XX se han de mencionar las inundaciones de octubre de 1953, junio de 1977, julio de 1988, junio de 1992 y junio de 1997. Entre todos esos episodios las indemnizaciones por siniestros superaron los 300 millones de euros actualizados a 2022, sólo en las inundaciones de junio de 1997 los daños superaron los 127 millones de euros⁶⁵. Entre 1994 y 2021 se estiman indemnizaciones por inundaciones de 485 millones de euros.

Sin embargo, las inundaciones de agosto de 1983 continúan siendo la mayor catástrofe natural de Euskadi en el periodo reciente. Entre el 26 y el 27 de agosto de 1983 una depresión aislada en altura provocó lluvias muy abundantes y entre las cuencas del Nervión e Ibaizabal y la costa de Bizkaia se acumularon más de 200 mm en 24 horas, con acumulados superiores a los 400 mm entre la confluencia del Nervión, el Ibaizabal y Bilbao⁶⁶. Las pérdidas económicas fueron de 200 000 millones de pesetas, que equivalen a 1 200 millones de euros actualizados, fallecieron 34 personas y desaparecieron otras cinco⁶⁷.

En el siglo XXI destacan las inundaciones de agosto de 2002, mayo de 2008, noviembre de 2011 y noviembre de 2021.

En agosto de 2002, entre los días 24 y 28, la CAPV se vio afectada por una depresión fría en altura, que originó precipitaciones torrenciales. Se acumularon 100 mm en zonas de Bizkaia y Gipuzkoa y se superaron los 200 mm en varios puntos. Se registraron desbordamientos de ríos, así como desprendimientos y corrimientos de tierra y las indemnizaciones superaron los 29 millones euros⁶⁵.

Entre el 31 de mayo y el 1 de junio de 2008 se produjeron lluvias fuertes y persistentes de gran impacto, con cantidades que superaron los 100 mm en amplias zonas. En la estación de Deusto se acumularon 166,3 mm en todo el episodio y varios ríos se desbordaron, destacando el Gobelasa su paso por Getxo⁶⁸. Las indemnizaciones por los daños alcanzaron los 75 millones de euros⁶⁵.

En noviembre de 2011, entre el 4 y el 7, se registraron lluvias muy abundantes y persistentes, que también provocaron inundaciones. Los acumulados de precipitación en la vertiente cantábrica durante el episodio fueron extraordinarios: los valores más significativos se registraron en Gipuzkoa, superando los 300 mm en Tolosaldea, Urola Costa, Goierri y Donostialdea. Destaca la estación de Belauntza con 358,6 mm, 211,5 mm de ellos solo en 24 horas⁶⁹. Los daños asociados a los desbordamientos de los ríos en noviembre de 2011 resultaron en indemnizaciones que superaron los 60 millones de euros⁶⁵.

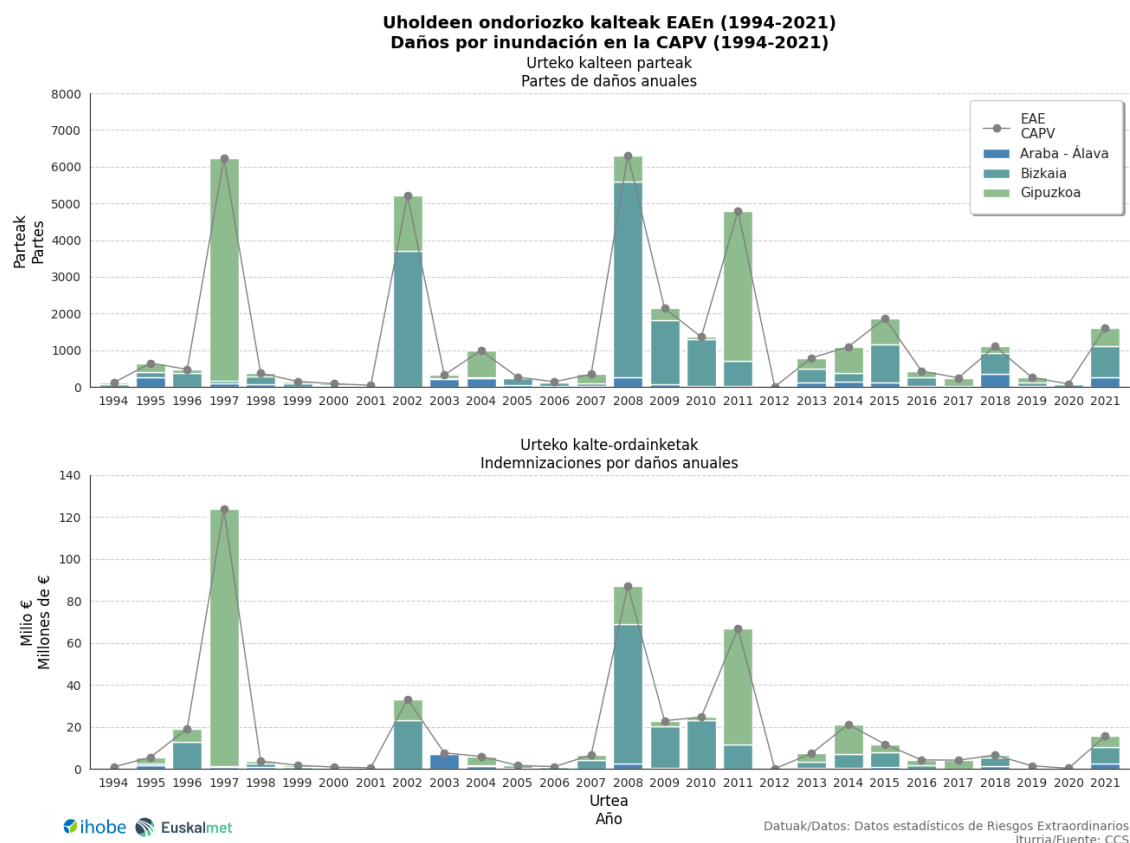


Figura 8.3: Evolución de partes de daños anuales (arriba) y de indemnizaciones de daños anuales (millones de €) (abajo) debido a inundaciones para cada territorio histórico (barras acumuladas) y la CAPV (línea continua) en el periodo 1994-2021.

En noviembre de 2021, entre el 8 y el 11, las precipitaciones persistentes ocasionaron inundaciones. En el Atlántico se generó de manera explosiva una depresión denominada Barra. El día 8 se produjeron precipitaciones y la cota de nieve descendió. El día 9, con el paso de un frente cálido, se produjeron precipitaciones persistentes y muy abundantes, especialmente en la vertiente cantábrica. La cota de nieve ascendió provocando un deshielo que se sumó a las ya de por sí abundantes precipitaciones, y como resultado se produjeron problemas en las cuencas de toda la CAPV.

Durante el episodio se registraron acumulados de más de 100 mm en amplias zonas de la vertiente cantábrica, destacando los 301,9 mm de la estación de Eskas, en Goizueta, con 183,5 mm en tan solo 24 horas. Las inundaciones debidas a los desbordamientos de los ríos provocaron pérdidas que superaron los 15 millones de euros.

8.2.2 Oleaje e impacto en costa

La costa vasca también está fuertemente influenciada por episodios marítimo-costeros adversos que provocan inundaciones y otros impactos en la franja del litoral. Gipuzkoa cuenta con 66 km de litoral y diez municipios costeros, mientras que Bizkaia tiene 154 km de litoral y hasta 28 municipios costeros.

Entre 1996 y 2018 se contabilizaron 1795 siniestros por embate de mar, con pérdidas económicas de 48 millones de euros en 31 municipios de la CAPV⁷⁰. La mayor parte de los partes, el 80 %, se

registraron en Gipuzkoa, con daños que afectaron a todos los municipios costeros. Donostia-San Sebastián se vio afectada en el 70 % de los eventos y Zarautz el 30 %⁷⁰. Entre los eventos a reseñar están el de marzo de 2008 y febrero de 2014, en los que se produjeron más del 65 % de los daños totales⁷¹.

El 11 de marzo de 2008 la costa se vio afectada por un fuerte oleaje. La situación sinóptica en superficie se caracterizó por una profunda borrasca y la coincidencia con una pleamar extraordinariamente alta provocó la inundación de numerosas embarcaciones en puertos como los de Bermeo, Ondarroa y Donostia-San Sebastián, y destrozos en infraestructuras y mobiliario cercano al mar. En esta última localidad el agua penetró en la Parte Vieja, inundando bajos, portales y locales.

En el episodio entre el 1 y 2 de febrero de 2014 una profunda borrasca, denominada Natja, se desplazó por el Atlántico hasta situarse al noroeste de las Islas Británicas. Esta borrasca generó un fuerte oleaje que se desplazó a lo largo del Atlántico y llegó a la costa vasca como mar de fondo. Lo extraordinario de este episodio fue la coincidencia de la gran altura de las olas con la altura excepcional de la marea, provocando así que las olas se adentraran con fuerza en la costa, más de lo habitual. Se rebasaron con facilidad estructuras, carreteras y paseos marítimos y los daños materiales en diferentes puntos de la costa fueron numerosos. Las pérdidas económicas superaron los 14 millones de euros.

8.2.3 *Tempestades ciclónicas atípicas*

Otra de las principales causas de pérdidas económicas asociadas a fenómenos naturales son las tempestades ciclónicas atípicas, que incluyen los ciclones de carácter tropical, las borrascas frías intensas, los tornados o los vientos extraordinarios, definidos como aquellos que presentan rachas que superan los 120 km/h. Entre 1994 y 2021 las indemnizaciones debido a las tempestades ciclónicas atípicas ascendieron a 114 millones de euros. En la CAPV los episodios de viento intenso que más daños provocaron fueron la depresión extratropical Klaus, en enero de 2009, y el ciclón Xynthia, en febrero de 2010.

Entre el 23 y el 24 de enero de 2009 una intensa y profunda depresión extratropical, denominada Klaus⁷², cruzó el Cantábrico de oeste a este. Su trayectoria fue paralela a la cornisa cantábrica, con un centro muy próximo a la costa, afectando de lleno a la zona cantábrica. La borrasca sufrió un proceso de profundización, en menos de 24 horas la presión en el centro del sistema disminuyó más de 30 hPa, y se alcanzó un mínimo de presión de 963 hPa. Las rachas de viento más intensas superaron los 150 km/h, destacando los 203,6 km/h en la estación de Cerroja. Las indemnizaciones por daños causados por Klaus superaron los 32 millones de euros en Bizkaia, los 11 millones en Gipuzkoa y 3 millones de euros en Álava⁷³.

El 27 de febrero de 2010 se desarrolló el ciclón Xynthia⁷⁴ mediante un proceso de ciclogénesis calificado como explosivo, puesto que la presión en el centro del ciclón descendió más de 20 hPa en 24 horas. El ciclón se desplazó desde el suroeste de la península ibérica en dirección nordeste hacia el noroeste de Francia. Cuando se internó en el Cantábrico por la costa gallega en su centro el mínimo de presión se situó en torno a 967 hPa. El ciclón generó vientos sostenidos muy fuertes e incluso huracanados, con rachas que superaron los 150 km/h, destacando la estación de Orduña con 228 km/h.

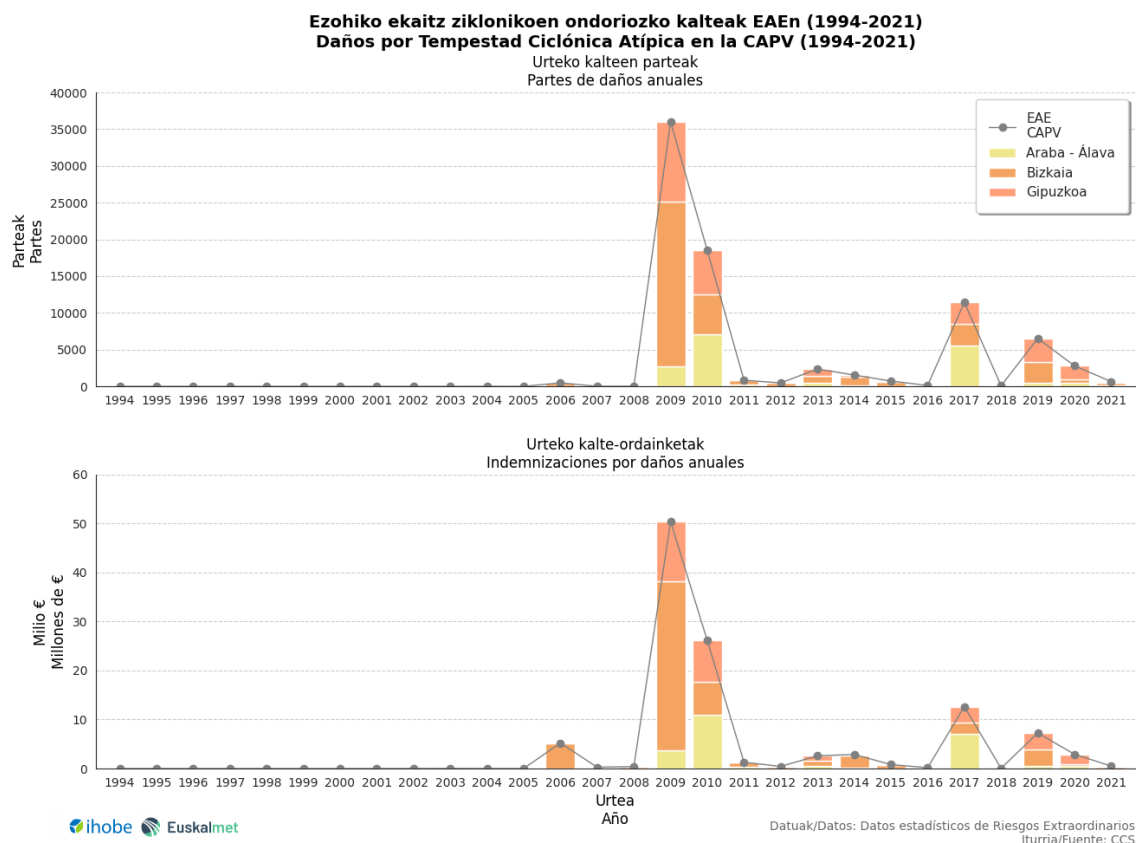


Figura 8.4: Evolución de partes de daños anuales (arriba) y de indemnizaciones de daños anuales (millones de €) (abajo) debido a tempestades ciclónicas atípicas para cada territorio histórico (barras acumuladas) y la CAPV (línea continua) en el periodo 1994-2021.

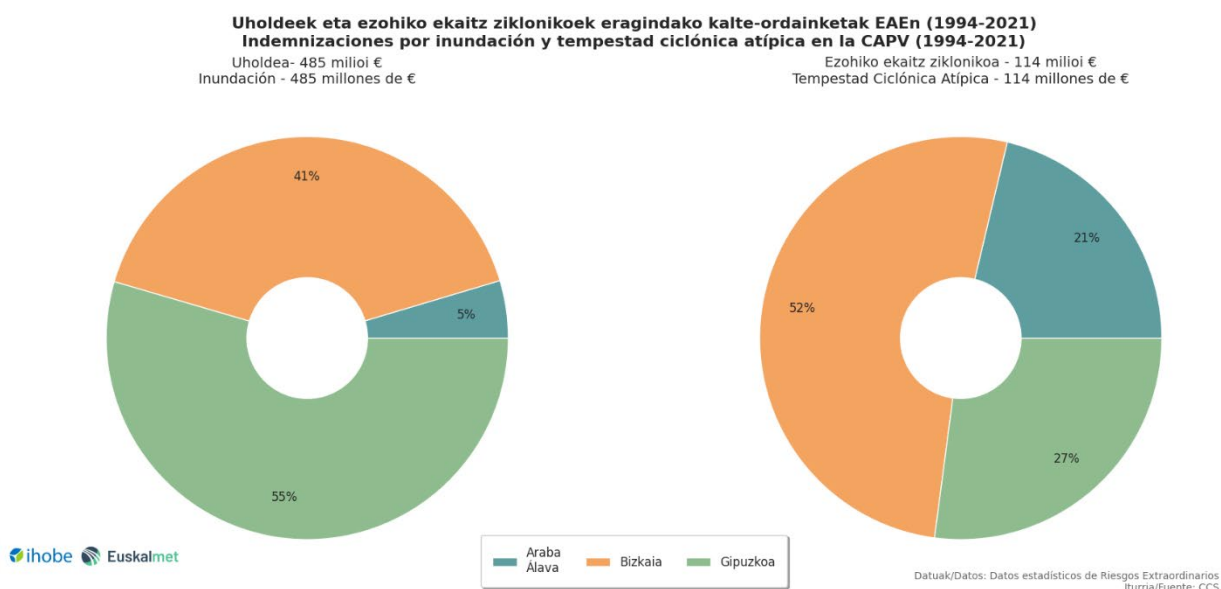


Figura 8.5: Porcentajes indemnizaciones de daños por inundaciones (izquierda) y tempestades ciclónicas atípicas (derecha) para cada territorio histórico en el periodo 1994-2021.

8.2.4 Nevadas

La nieve también provoca problemas en la CAPV, sobre todo en la red vial. En el presente siglo, entre el 26 de febrero y el 1 de marzo de 2004 se produjeron importantes nevadas. La situación sinóptica estuvo caracterizada por la formación de una borrasca al norte del golfo de Bizkaia con un sistema frontal asociado. Tras el paso del sistema frontal, se originó un flujo del norte con la llegada de una masa de aire polar, con temperaturas en torno a -35 °C en 500 hPa y entre -5 °C y -8 °C en 850 hPa. Debido a la inestabilidad existente en altura se generaron núcleos tormentosos en el mar Cantábrico, que fueron desplazándose y reactivándose al entrar por la costa. Con esta situación, se produjeron abundantes e intensas nevadas y chubascos tormentosos con granizo. La cota de nieve bajó durante el episodio hasta los 100-200 m, nevando ocasionalmente al nivel del mar, aunque sin cuajar. En numerosos puntos del interior, especialmente en Álava, se acumularon más de 50 cm de nieve y en zonas de montaña el espesor alcanzó el metro de nieve.

El 28 de febrero de 2018 la nieve llegó de nuevo al nivel del mar. Durante las jornadas precedentes predominó el tiempo anticiclónico, seco y muy frío y las heladas se extendieron a todo el territorio, incluida la costa. Durante esos días el aire frío se fue depositando en el fondo de los valles. Una profunda borrasca se acercó desde el Atlántico, cruzando las Azores, en una latitud bastante inusual para los centros de bajas presiones. Las altas presiones se retiraron al norte y esa borrasca acabó situada frente a las costas de Portugal, mientras que unos frentes cálidos asociados a la misma barrieron la península ibérica de sur a norte. A primeras horas de la madrugada del 28 de febrero comenzó a precipitar en forma de nieve en toda la CAPV. Aunque las precipitaciones fueron débiles en general, fueron frecuentes con el paso del frente y rápidamente se acumularon espesores de entre 5-10 cm en general; en la costa también se registraron espesores significativos⁷⁵. En este episodio hubo una víctima mortal.

8.2.5 Temperaturas extremas

Mientras que las inundaciones o las tempestades ciclónicas atípicas tienen un mayor impacto en las pérdidas económicas, las temperaturas extremas, tanto las máximas, cómo las mínimas, están asociadas a una mayor mortalidad. Como muestran los indicadores de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en el periodo más reciente, desde 2010 y hasta 2022, los fallecidos en la CAPV debido a desastres naturales muestran una gran variabilidad interanual. Destacan el 2017 y el 2022 como los años con un mayor número de muertes por cada 100 000 habitantes, pero en tan corto periodo de tiempo no se observa ninguna tendencia.

Atendiendo sólo al impacto de las temperaturas extremas, tampoco se aprecia un ciclo interanual en la cantidad de fallecimientos atribuibles al exceso o defecto de la temperatura. Pero, sí se observa que la inmensa mayoría de los fallecidos son personas de más de 65 años y, en casi todos los años, más de la mitad son mayores de 85 años, pese a la relativa escasez de este grupo de edad en la población general. Esto se debe a que las personas mayores son especialmente vulnerables a los impactos fisiológicos, sobre todo, de las altas temperaturas²³. Destaca de nuevo el 2017 como el año con mayor número de muertes atribuidas a temperaturas extremas.

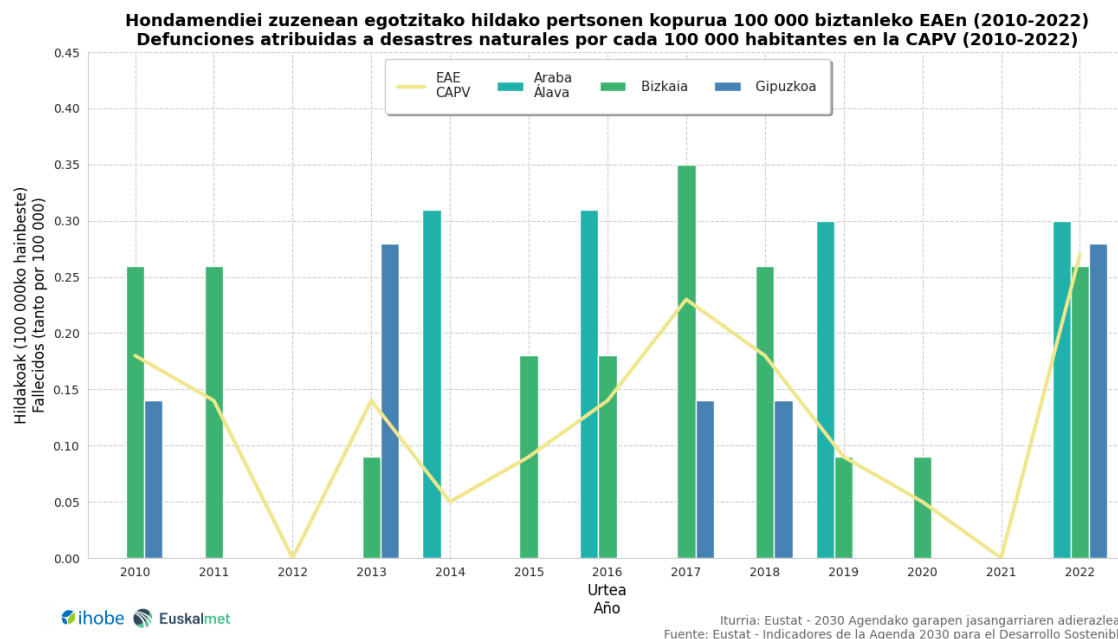


Figura 8.6: Número de personas fallecidas directamente atribuido a desastres naturales por cada 100 000 habitantes en el periodo 2010-2022, para toda la CAPV (línea amarilla), Álava (barras azules claras), Bizkaia (barras verdes) y Gipuzkoa (barras azules oscuras).

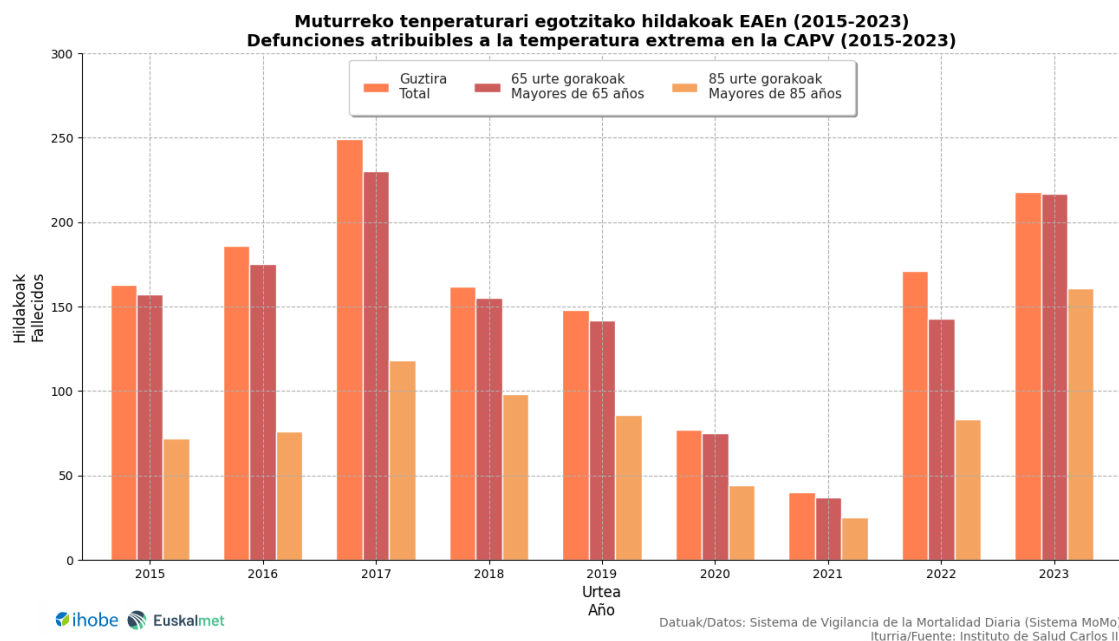


Figura 8.7: Estimaciones de excesos de mortalidad atribuibles a un exceso o defecto de la temperatura en la CAPV en el periodo 2015-2023, para todos los grupos de edad (barras naranjas), mayores de 65 años (barras rojas) y mayores de 85 años (barras amarillas).

Las víctimas mortales atribuibles a las olas de calor son más fáciles de cuantificar, mientras que las olas de frío tienden a asociarse con la mortalidad durante un periodo de tiempo más prolongado, por lo que resulta más difícil establecer una relación causa-efecto⁷⁶. Aun así, la mortalidad diaria asociada a las olas de frío puede ser superior a las atribuidas a las olas de calor⁷⁷.

En 2012 se produjo en la CAPV una ola de frío de más de diez días de duración, desde el 2 al 13 de febrero. El tiempo en Europa estuvo condicionado por un potente anticiclón situado en Rusia, que abarcó el norte y oeste de Europa con un embolsamiento de aire muy frío y denso. La masa de aire frío en altura alcanzó temperaturas del orden de -10 °C en el nivel de 850 hPa y -30 °C en el nivel de 500 hPa. Las heladas fueron generalizadas en el interior durante varios días, destacan los -10,4 °C en la estación de Arkaute, en Vitoria-Gasteiz. Las heladas también llegaron al litoral, registrándose -4,5 °C en la estación de Zarautz y de -0,3 °C en la de Deusto.

Entre las olas de calor más reseñables destaca la ola de calor de 2003, la más larga registrada jamás en la CAPV. Durante el episodio un anticiclón se extendió desde el norte de África hasta prácticamente el centro de Europa. La estabilidad fue persistente y la situación sinóptica estuvo dominada por una entrada de aire muy cálido desde el norte de África, con temperaturas de hasta 24 °C, puntualmente 27 °C, en 850 hPa. En varias estaciones de la red vasca se superaron los 35 °C durante más de cinco días, alcanzándose temperaturas por encima de los 40 °C. El 4 de agosto destaca como el día más caluroso: después de una madrugada muy cálida, con mínimas que rondaron los 30 °C en muchas estaciones, se registró el valor máximo de todo el periodo, con 43,5 °C en la estación de Sodupe-Herrerías. Durante este periodo también se registró un importante aumento de la temperatura del mar y el 13 de agosto en la estación océano-meteorológica situada en Pasaia la temperatura superficial del mar alcanzó la temperatura récord de 26,7 °C. Se estima que sólo en las capitales vascas en los meses de junio a agosto se produjeron 150 defunciones más de las esperadas, lo que supone un incremento de entre el 6 y el 8 % en las defunciones observadas respecto a las esperadas⁷⁸.

Más recientemente, en julio de 2022, se produjo una ola de calor¹³ de más de nueve días de duración. Durante varias jornadas en gran parte de Europa predominaron las altas presiones en superficie. En el nivel de 850 hPa la temperatura se mantuvo por encima de los 24-25 °C, el día 16 subió a 26-27 °C y los días 17 y 18 rozó los 28 °C. El día 18 las temperaturas máximas superaron los 42 °C en once estaciones de la red vasca, alcanzando los 43,6 °C en la estación de Gardea, en Laudio/Llodio¹⁵. Entre los meses de junio a septiembre del 2022 se produjeron otras tres olas de calor y se estima que en durante esos meses en la CAPV fallecieron 162 personas por causas atribuibles al exceso de temperaturas.

9 GASES DE EFECTO INVERNADERO

- Las concentraciones atmosféricas globales de los principales gases de efecto invernadero, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), siguen aumentando. Con incrementos, en el 2022 y respectivamente, del 150%, 264% y 124% con respecto a los niveles preindustriales, antes de 1750.
 - La concentración de CO₂ aumentó 2,2 ppm por año desde 2001 y el promedio de 2023 superó los 419 ppm.
 - La concentración de CH₄ aumentó 7 ppb por año desde 2001 y el promedio de 2023 superó los 1925 ppb.
 - La concentración de N₂O aumentó 0,9 ppb por año desde 2001 y el promedio de 2023 superó los 336 ppb.
- A nivel global las emisiones de CO₂ aumentaron un 63% entre 1990 y 2022, en Europa disminuyeron un 37%.
- En la CAPV, en el año 2022, las emisiones totales de CO₂ equivalente, incluyendo la energía eléctrica importada, disminuyeron un 11% respecto a 1990.
 - La mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero (87%) provienen del sector energético, la industria y el transporte. En cuanto a su evolución, cabe destacar la disminución de emisiones de los dos primeros (-84% y -55%, respectivamente) frente al incremento de emisiones del sector transporte (+135%)
 - En el 2023 se estima que las emisiones de gases de efecto invernadero disminuyeron un 8,4% respecto al año 2022, un 33% respecto a 2005 y un 18% respecto a 1990. Esto se produce en un contexto de crecimiento económico, con incrementos del PIB del 1,8% respecto al año anterior, y del 24% y 100% respecto a 2005 y 1990 respectivamente.
 - En relación con los objetivos marcados por el Plan de Transición Energética y Cambio Climático (-30% respecto a 2005) y de la Ley 1/2024, de 8 de febrero, de Transición Energética y Cambio Climático (-45%), la tendencia 2005-2023 se encontraría dentro de la senda de reducción marcada.

9.1 Global y Europa

Las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) alcanzaron un nuevo máximo global en el 2023 y siguieron subiendo en 2024. Los tres principales GEI antropogénicos son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O).

El dióxido de carbono es el GEI antropogénico más importante de la atmósfera y es el responsable de aproximadamente el 64 % del forzamiento radiativo producido por los GEI⁷⁹. El nivel preindustrial, antes de 1750, se situaba en torno a 278 ppm y representaba un equilibrio entre los diversos componentes del sistema climático: la atmósfera, los océanos y la biosfera terrestre. Pero desde el inicio de los registros las concentraciones anuales de CO₂ han aumentado de forma continua.

El CO₂ atmosférico alcanzó el 150 % del nivel preindustrial en 2022. En 2023 en promedio global se superaron los 419 ppm y desde el 2001 la concentración aumentó 2,2 ppm anualmente. En el Observatorio Atmosférico de Izaña, en Santa Cruz de Tenerife, se registró en 2023 un promedio de 421 ppm y desde 1984 el incremento anual medio fue de 1,9 ppm⁸⁰.

El metano presenta una menor cantidad de emisiones en términos de masa, pero su potencial de calentamiento es mucho mayor que el del dióxido de carbono. En un periodo de 100 años, el metano tiene un potencial de calentamiento global casi 30 veces mayor que el dióxido de carbono y en una escala temporal de 20 años es 83 veces más potente⁸¹. Como consecuencia, el metano es el responsable de alrededor de una cuarta parte del forzamiento radiativo⁷⁹.

Aproximadamente el 40 % del metano se emite a la atmósfera por fuentes naturales, como los humedales y las termitas, el restante 60 % procede de fuentes antropogénicas, como la fermentación entérica de los rumiantes, el cultivo de arroz, la quema de biomasa, la descomposición de residuos orgánicos o la producción de combustibles fósiles. Las concentraciones de metano en el 2022 aumentaron un 264 % con respecto a la época preindustrial⁷⁹. El promedio de 2023 superó los 1925 ppb y desde el 2001 aumentó 7 ppb anualmente.

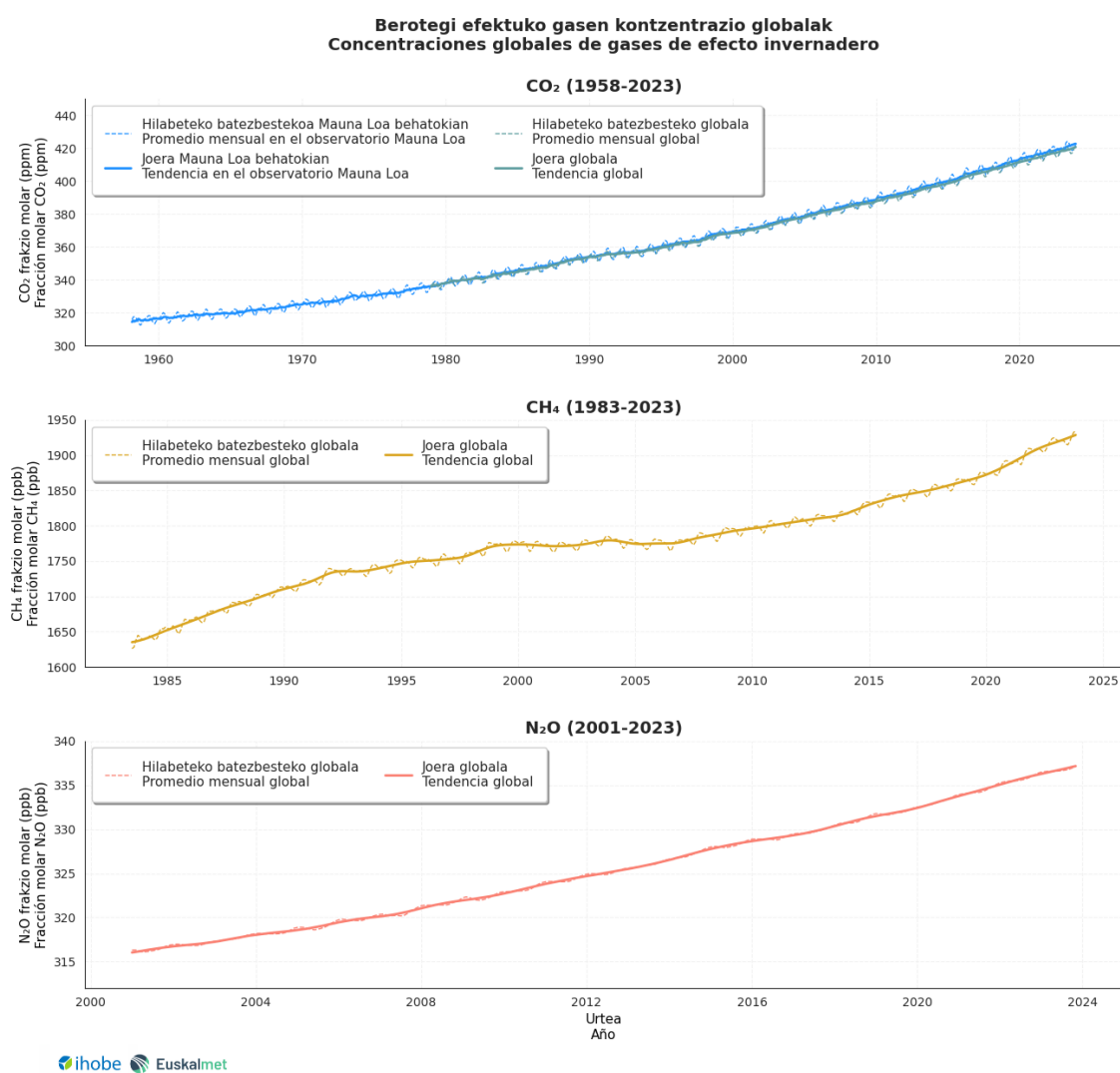


Figura 9.1: Evolución de las concentraciones de gases de efecto invernadero en promedio mensual y tendencia para (arriba) dióxido de carbono (CO₂) global y en el observatorio de Mauna Loa (ppm), (centro) metano (CH₄) global (ppb) y (abajo) óxido nitroso (N₂O) global (ppb).

El óxido nítrico es el tercer GEI más importante y representa alrededor del 6 % del forzamiento radiativo de los GEI antropogénicos⁷⁹. El N₂O tiene fuentes naturales y antropogénicas, entre las que se incluyen la quema de biomasa o el uso de fertilizantes. De hecho, la mayor parte de las emisiones antropogénicas proceden de la agricultura y entre 1980 y 2016 las emisiones antropogénicas de N₂O, dominadas por la aplicación de fertilizantes nitrogenados a las tierras de cultivo, aumentaron un 30 %⁸². En la época preindustrial la concentración atmosférica del N₂O era de 270 ppb, el promedio de 2023 superó el umbral de 336 ppb, lo que implica un incremento del 124 %. Desde el 2001 la concentración de N₂O aumentó 0,9 ppb por década.

Las emisiones de dióxido de carbono están asociadas a la producción energética e industrial y proceden de varios tipos de combustible, como el carbón, el petróleo o el gas. La contribución de cada una de estas fuentes ha cambiado significativamente a lo largo del tiempo y también presenta grandes diferencias territoriales. Aun así, las emisiones de combustibles fósiles se concentran en zonas con alta densidad de población y actividad económica y en torno al 82 % de las emisiones de combustibles fósiles proceden de las zonas extratropicales del norte industrializado⁸³.

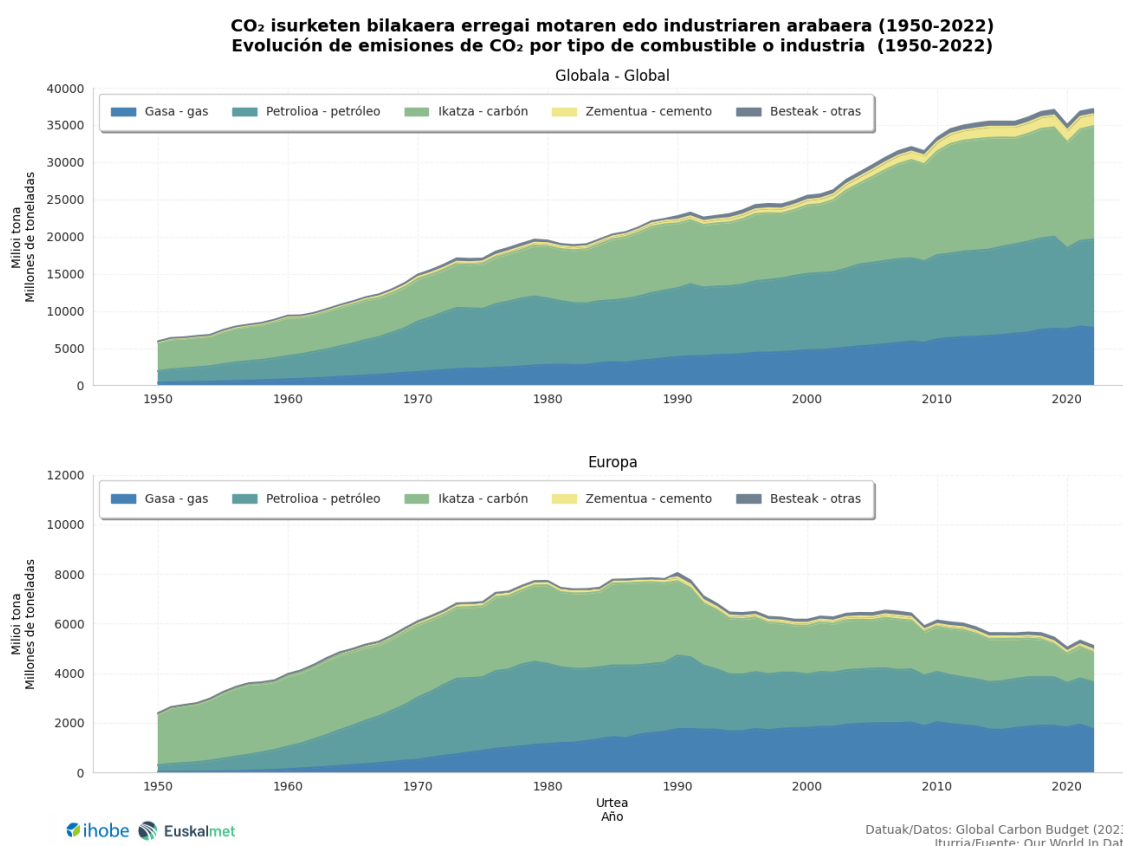


Figura 9.2: Emisiones anuales de dióxido de carbono (CO₂) por tipo de combustible o industria (millones de toneladas) (arriba) a nivel global y (abajo) para Europa en el periodo 1950-2022.

La contribución de las emisiones de CO₂ por fuentes, diferenciadas entre carbón, gas, petróleo, y producción de cemento, muestra que en la actualidad predominan los combustibles fósiles, como el petróleo, el carbón, y el gas⁸⁴. A nivel global las emisiones procedentes del carbón se han incrementado, debido al rápido aumento de las emisiones de economías en vías de industrialización.

Desde 1990 y hasta 2022 las emisiones de CO₂ asociadas al carbón aumentaron un 74 %, resultando en un aumento total del 63 %. No obstante, se identifica un cambio de tendencia en el uso del carbón

en Europa, asociada a la transición energética implementada en varios países. En Europa las emisiones de CO₂ asociadas al carbón disminuyeron un 60 % entre 1990 y 2022, resultando en una reducción total del 37 %. Las emisiones de CO₂ asociadas a la producción de cemento son comparativamente pequeñas.

9.2 Euskadi

Según el inventario de gases de efecto invernadero del Gobierno Vasco⁸⁵, las emisiones totales de Gases de Efecto Invernadero, incluyendo también la energía eléctrica importada, las emisiones de Euskadi en 1990 fueron de 20,7 millones de toneladas de CO₂ equivalente. En el 2005 la cifra aumentó a 25,4 millones de toneladas de CO₂ equivalente. En el 2022 las emisiones contabilizadas fueron de 18,5 millones de toneladas de CO₂ equivalente, de modo que las emisiones disminuyeron un 27 % respecto al 2005 y un 11 % respecto al 1990⁸⁵. La mayor parte de la reducción entre 2022 y 1990 se debe a la disminución del 84 % de la energía eléctrica importada.

En el 2023 se estima, con datos provisionales, que las emisiones fueron de 16,9 millones de toneladas de CO₂ equivalente, esto implica una reducción del 8,4 % respecto al año 2022, una disminución del 33 % respecto a 2005 y un 18 % respecto a 1990⁸⁶.

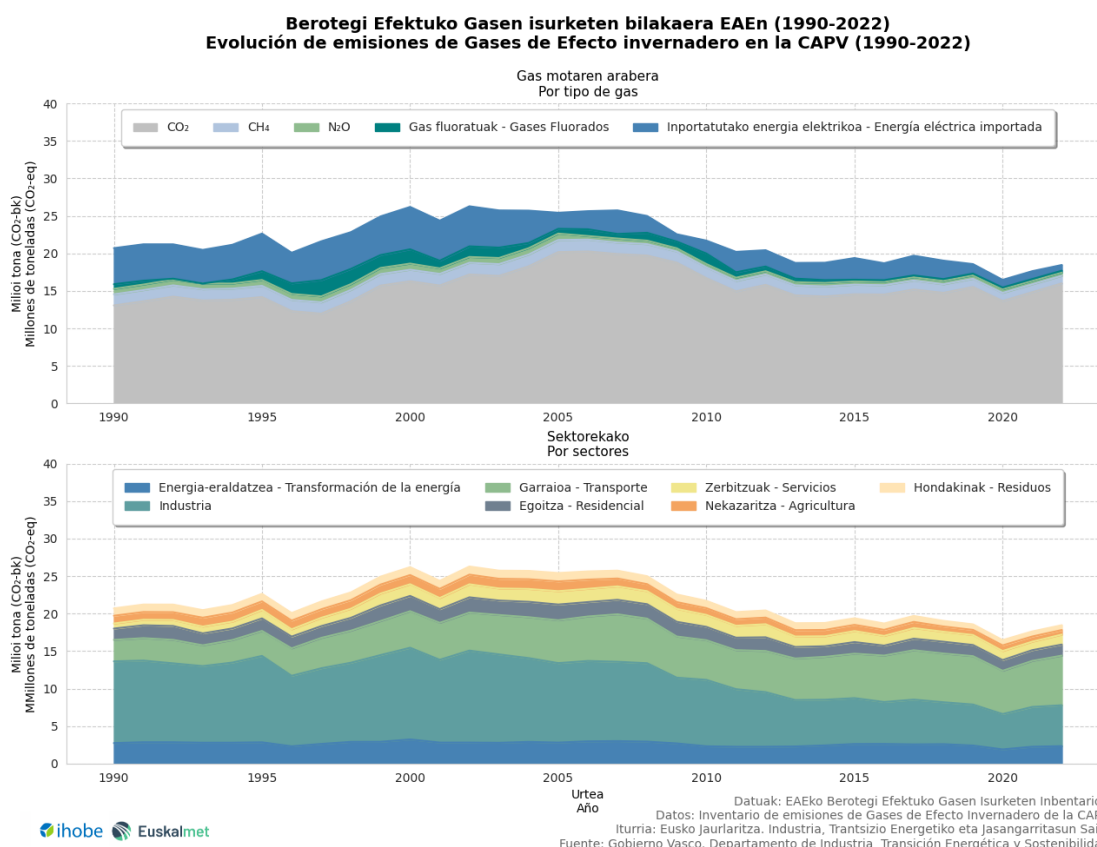


Figura 9.3: Evolución de las emisiones totales de gases de efecto invernadero en la CAPV (millones de toneladas de CO₂ equivalente) en el periodo 1990-2022 (arriba) por tipo de gas y (abajo) por sectores.

Por sectores socioeconómicos, las mayores contribuciones a las emisiones de GEI vienen dadas por el transporte (36%), el sector energético (34%) y la industria (18%). Entre los tres suman el 87% de emisiones.

Berotegi Eftukoko Gasen isurketen sektorekako ekarpena EAEn
Contribución sectorial a las emisiones Gases de Efecto invernadero en la CAPV

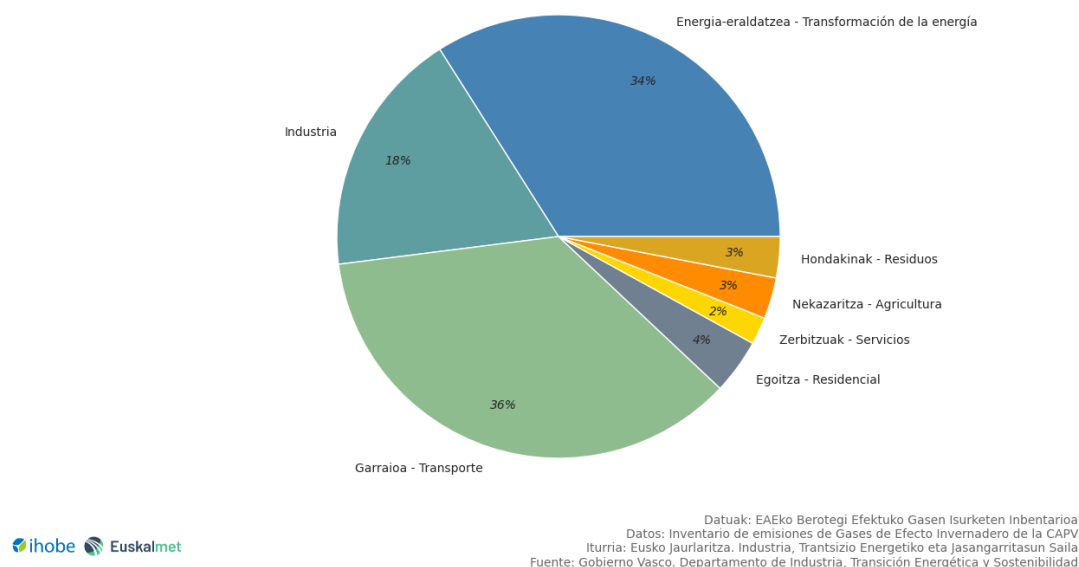


Figura 9.4: Contribución de los distintos sectores a las emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Euskadi.

En relación con la evolución de emisiones de los diferentes sectores, se observan reducciones generalizadas en todos los sectores excepto en el transporte (+135%), residencial (+27%) y servicios (+79%), aunque con menor importancia de estos dos últimos dada sus menores emisiones en términos absolutos.

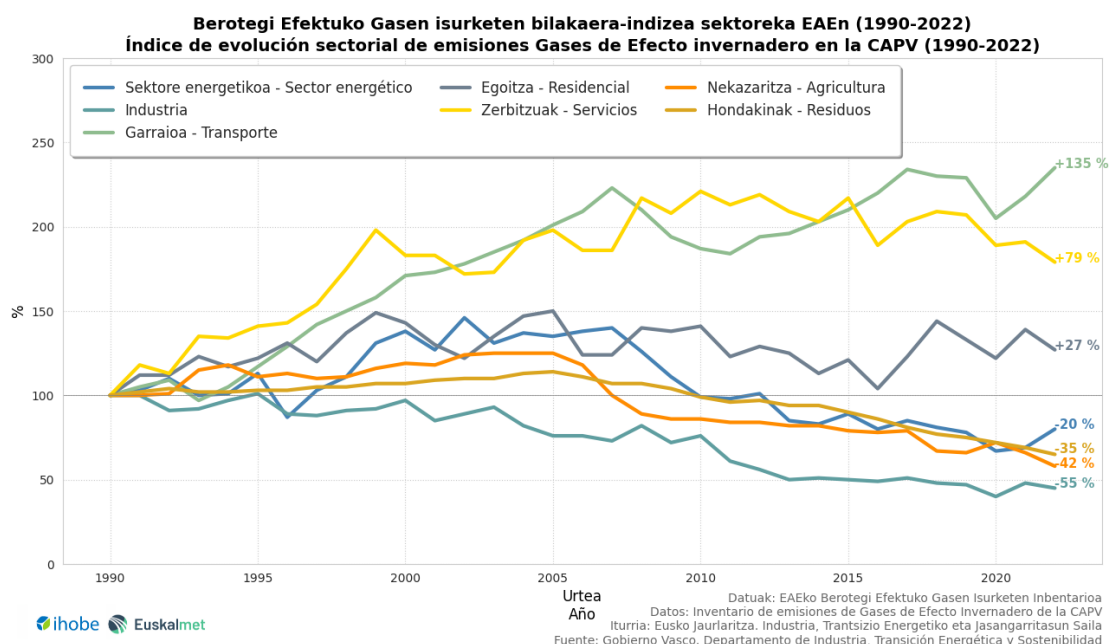


Figura 9.5: Evolución del índice de emisiones de los distintos sectores, 1990=100.

Respecto a los objetivos marcados por el Plan de Transición Energética y Cambio Climático (-30% respecto a 2005) y de la Ley 1/2024, de 8 de febrero, de Transición Energética y Cambio Climático

(-45% respecto a 2005), de acuerdo con el avance de emisiones de 2023, la tendencia 2005-2023 se encontraría dentro de la senda de reducción marcada.

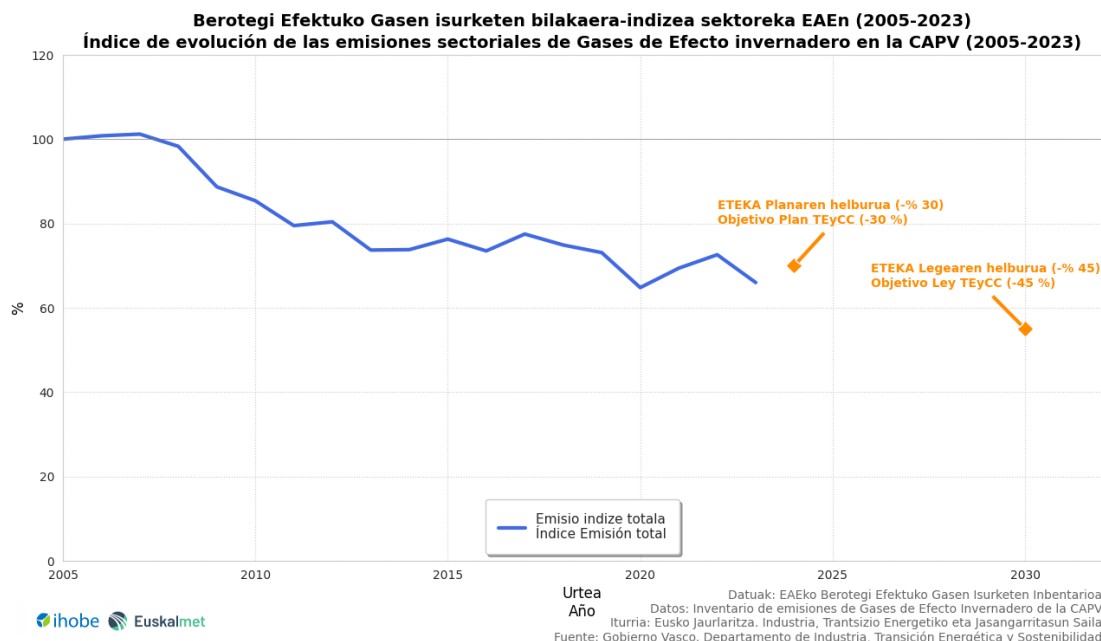


Figura 9.6: Evolución del índice de emisiones totales de gases de efecto invernadero en la CAPV en el periodo 2005-2023, año 2005=100.

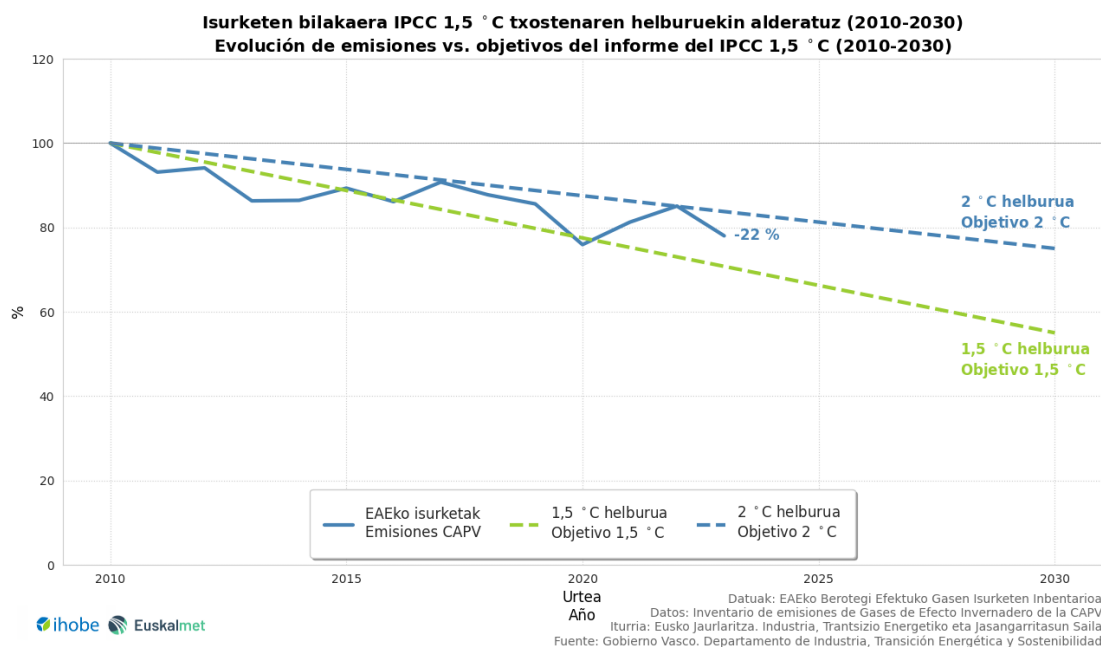


Figura 9.7: Evolución de emisiones y objetivos del informe IPCC 1,5 °C (2010=100).

Considerando la senda de emisiones del informe especial del IPCC “calentamiento global de 1,5 °C” las emisiones de Euskadi en el año 2023 se habrían reducido en un 22% desde el año 2010. Por lo tanto, Euskadi se encontraría en la senda de reducción proyectada para lograr la contención del calentamiento global en 2 °C. Sin embargo, para alcanzar la senda de reducción de 1,5 °C serán necesarios esfuerzos mayores, y deben acelerarse. Estas trayectorias supondrían a 2030 la

reducción de un 45% y un 25% en 2030 respectivamente, en ambos casos respecto a 2010, así como alcanzar la neutralidad climática en 2050 y 2070.

En relación con las absorciones, la absorción en el año 2022 ha sido de 1,2 Mt de CO₂-eq (dato provisional). Desde 1990 hasta la actualidad la absorción media ha sido de 1,7 Mt CO₂-eq/año, oscilando entre 0,4 y 2,4 Mt CO₂-eq/año, lo que implica aproximadamente el 10% de las emisiones.

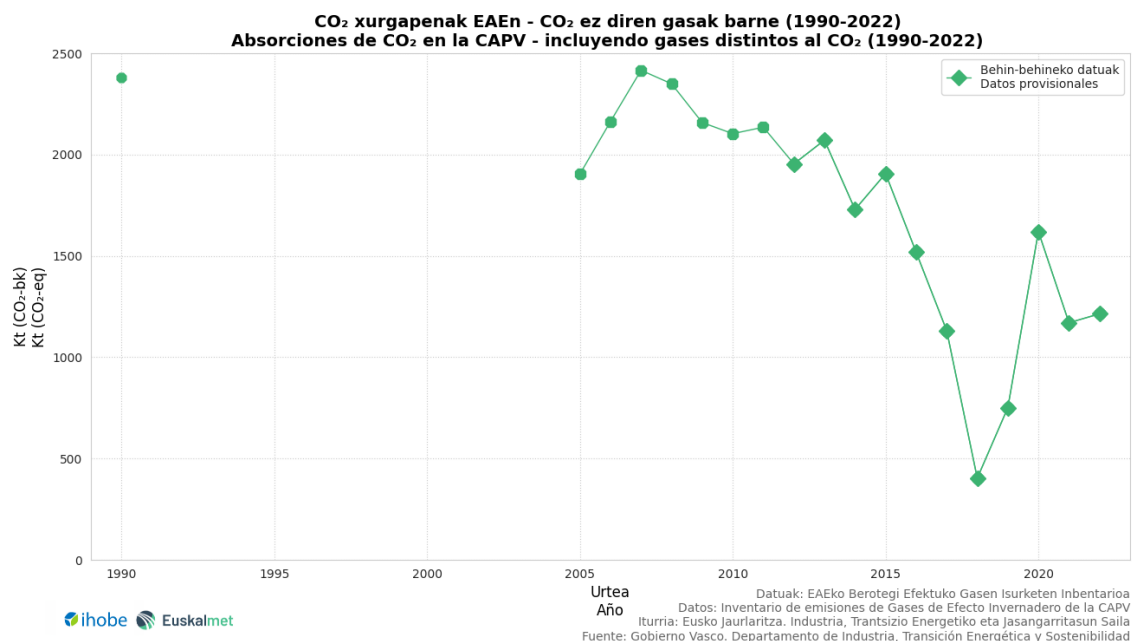


Figura 9.8: Evolución de absorciones de CO₂ en la CAPV (Kt CO₂-equivalente/año), incluyendo gases distintos al CO₂ (signo +, fijaciones; signo -, emisiones) en el periodo 1990-2022. En el periodo 2012-2022 los datos son provisionales a la espera de la publicación de los correspondientes informes forestales.

10 TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y ACCIÓN CLIMÁTICA

- La Ley 1/2024, de Transición Energética y Cambio Climático, establece el marco jurídico en materia de neutralidad climática, adaptación y transición justa.
- La acción climática, mediante medidas de mitigación, requiere avanzar en la transición energética hacia un sistema basado en combustibles bajos en carbono o cero emisiones, y una reducción profunda del consumo energético.
- El País Vasco dispone de herramientas de diagnóstico, acción y evaluación en materia climática.

El cambio climático tiene cada vez efectos más graves, interconectados y a menudo irreversibles en los ecosistemas, la biodiversidad y las sociedades humanas⁵⁶. Frente a los riesgos relacionados con el clima y la exposición y la vulnerabilidad de los sistemas humanos y ecológicos afectados, la acción climática tiene dos enfoques, la mitigación del cambio climático, es decir, la reducción de emisiones, y la adaptación a los impactos del cambio climático actuales y futuros.

La mitigación implica reducir las emisiones de gases de efecto invernadero e incrementar las absorciones, de modo que se reduce la concentración de los gases de efecto invernadero atmosféricos que provocan el calentamiento. Mientras que la adaptación consiste en reducir los riesgos climáticos y la vulnerabilidad, sobre todo mediante el ajuste de los sistemas ya existentes⁵⁶.

En este contexto, se propone un desarrollo resiliente al clima, que integra las medidas de adaptación y mitigación. La resiliencia supone la capacidad de los sistemas sociales, económicos y ecológicos interconectados para hacer frente a un suceso peligroso, una tendencia o una perturbación, respondiendo o reorganizándose de forma que mantengan su función, identidad y estructura esenciales, así como la capacidad de transformación⁵⁶.

10.1 Principales desarrollos normativos

10.1.1 Nivel global

El Acuerdo de París⁷ destaca la importancia de adaptarse a los efectos adversos del cambio climático y de situar los flujos financieros en un nivel compatible con una trayectoria que conduzca a un desarrollo resiliente al clima y con bajas emisiones de gases de efecto invernadero. Este acuerdo será ratificado por las partes firmantes mediante las denominadas contribuciones nacionales determinadas (NDC), es decir, compromisos de reducción que deberán ser renovados periódicamente.

En 2023 en el marco del Acuerdo de París se realizó el primer balance global sobre el nivel de emisiones de GEI, evaluando los avances de los distintos países y sus compromisos (NDCS), así como su repercusión en el objetivo climático, destacando la gran brecha existente entre los actuales compromisos y el objetivo de 1,5 °C. La COP 28, celebrada en Dubai, tuvo por su parte como principales logros un primer consenso global para transitar fuera de los combustibles fósiles, el acuerdo de triplicar la capacidad de energías renovables para 2030, la puesta en marcha del fondo de pérdidas y daños, y la adopción del Marco de Adaptación Global de Dubai, entre otros.

10.1.2 Europa

En el 2019 se presentó el Pacto Verde Europeo⁸⁷, cuya finalidad es hacer de Europa el primer continente climáticamente neutro para 2050, desarrollar una estrategia a largo plazo para que la UE llegue a ser una **sociedad resiliente y plenamente adaptada a los efectos del cambio climático y crear un fondo para una transición justa**, impulsando la economía, mejorando la salud y la calidad de vida de las personas, cuidando la naturaleza y sin dejar a nadie atrás.

Con la aprobación en 2021 de la conocida como “**Ley Europea del Clima**”, se fija una senda de reducción paulatina con un objetivo de, al menos, un 55% a 2030 con respecto a los niveles de 1990, aumentando la ambición desde el objetivo anterior al mismo horizonte, que se quedaba en un 40%. La Ley establece también la necesidad de un enfoque coherente y coordinado para la adaptación al cambio climático en toda la Unión Europea (UE). Esto incluye la integración de medidas de adaptación en todas las políticas y acciones relevantes a nivel de la UE y de los Estados miembros.

Para el cumplimiento de estos objetivos, entre otros muchos instrumentos, se crea la normativa de Comercio Europeo de Derechos de Emisión de Gases de Efecto Invernadero (EU-ETS en inglés). A través de la Directiva (UE) 2023/959 del Parlamento Europeo y del Consejo de 10 de mayo de 2023 modifica la **normativa de comercio de derechos de emisión**, se establece un mecanismo de reducción de emisiones del 62% a 2030, para los sectores regulados. Para las emisiones denominadas difusas, (aquellas no reguladas por comercio de derechos de emisión, residencial, servicios, transporte, residuos...) el Reglamento (UE) 2023/857 del Parlamento Europeo del Consejo de 19 de abril de 2023, establece la obligación de los estados miembros de reducir en su conjunto un 40% 2030, así como el reparto de objetivos vinculantes, todos ellos respecto a 2005

En materia de adaptación, la **Comisión Europea publicó en 2021 la nueva Estrategia de Adaptación al Cambio Climático**, cuya adopción formaba parte de las medidas previstas en el Pacto Verde Europeo. Tomando como base la anterior Estrategia Europea de Adaptación al Cambio Climático (2013), el objetivo de la nueva estrategia es evolucionar desde la comprensión de los riesgos al desarrollo de soluciones y desde la planificación a la aplicación de medidas para avanzar hacia una Europa climáticamente neutra, adaptada y resiliente frente al cambio climático para 2050, en línea con el Acuerdo de París y la Ley del Clima comunitaria

10.1.3 Euskadi

Euskadi cuenta con una larga trayectoria en materia de planificación en Transición Energética y Cambio Climático.

Partiendo del marco creado en el año 2002 con la Estrategia Ambiental de Desarrollo Sostenible 2002-2020, en el año 2008 se aprobó el primer plan vasco que abordaba de forma específica la planificación para hacer frente al cambio climático tanto desde el punto de vista de la reducción de emisiones, como de la adaptación al cambio climático. El Plan Vasco de Lucha contra el Cambio Climático 2008 – 2012 cubría el periodo marcado por el Protocolo de Kioto. Posteriormente, en el año 2015 se aprobaba la Estrategia de Cambio Climático de Euskadi (Klima 2050) con un enfoque más a largo plazo, como marcaron en aquel momento las políticas internacionales y europeas.

De forma paralela, la política energética vasca ha ido concretándose en estrategias que han abordado por décadas los retos en la materia. Desde la Estrategia Energética de Euskadi 3E-2010 (2001-2010), hasta la más reciente Estrategia Energética de Euskadi 2030 (2017-2030), se han ido

fijando objetivos en materia de ahorro y eficiencia energética y despliegue de energías renovables, entre otros. La última Estrategia a 2030 fijaba, entre otros objetivos, la reducción del consumo de energía primaria en un 17% y el aumento de la cuota de energías renovables en el consumo final de energía al 21% para 2030. Así mismo, hacía suyo también el objetivo de reducción de emisiones de GEI del sector energético del 35% a 2030.

En lo que respecta al despliegue de la adaptación al Cambio Climático en los ámbitos sectoriales, cabe mencionar, entre otros, la aprobación de la actualización de las Directrices de Ordenación del Territorio, incluyendo el despliegue de las infraestructuras verdes, así como la consideración del riesgo climático en la matriz de usos del suelo, la revisión del Plan Sectorial Litoral, actualmente en tramitación y la inclusión del Cambio Climático en la elaboración de los Planes Hidrológicos y en los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación.

En los distintos ámbitos geográficos, es necesario mencionar los planes y estrategias de Cambio Climático aprobados tanto por los Territorios Históricos, los Planes Locales de Clima y Energía, elaborados por los municipios, así como la inclusión del Cambio Climático en Planes Territoriales Parciales, como es el caso del PTP Bilbao Metropolitano, o diversos Planes Generales de Ordenación Urbana.

Finalmente cabe destacar la aprobación de la **Ley 1/2024, de 8 de febrero, de Transición Energética y Cambio Climático**, que establece el marco jurídico estable para alcanzar la neutralidad climática en Euskadi a más tardar en el año 2050, realizando los esfuerzos necesarios para alcanzar dicha neutralidad en el año 2045 y aumentar la resiliencia del territorio al cambio climático y aprovechar las oportunidades sociales, empresariales y económicas que ofrece la transición energética. Los objetivos de reducción de emisiones se lograrán mediante la descarbonización de la actividad socio-productiva, la transición a una economía circular y la adaptación al cambio climático. Además, se establece un objetivo de reducción de emisiones del 45% respecto al año 2005. Esta ley crea numerosos instrumentos, entre los que, en relación con este documento, cabría destacar la creación de la Oficina Vasca de Transición Energética y Cambio Climático (TEyCC), así como la Hoja de Ruta de Largo Plazo de TEyCC, y las Estrategias de TEyCC, de las cuales, la primera de ellas será a 2030.

10.2 Transición energética en Euskadi

La mayor parte de las emisiones de GEI de Euskadi provienen de procesos de combustión de combustibles fósiles. De acuerdo con los inventarios de emisiones de la CAPV la categoría “energía” supone más del 80 % de las emisiones GEI directas, por lo que la acción climática pasa principalmente por avanzar en la transición energética hacia un sistema basado en combustibles bajos en carbono o cero emisiones, así como en una reducción profunda del consumo energético en su conjunto.

Por tanto, la descarbonización del sistema energético ha de ser el principal foco de transformación en lo referido a la consideración de medidas de mitigación del cambio climático.

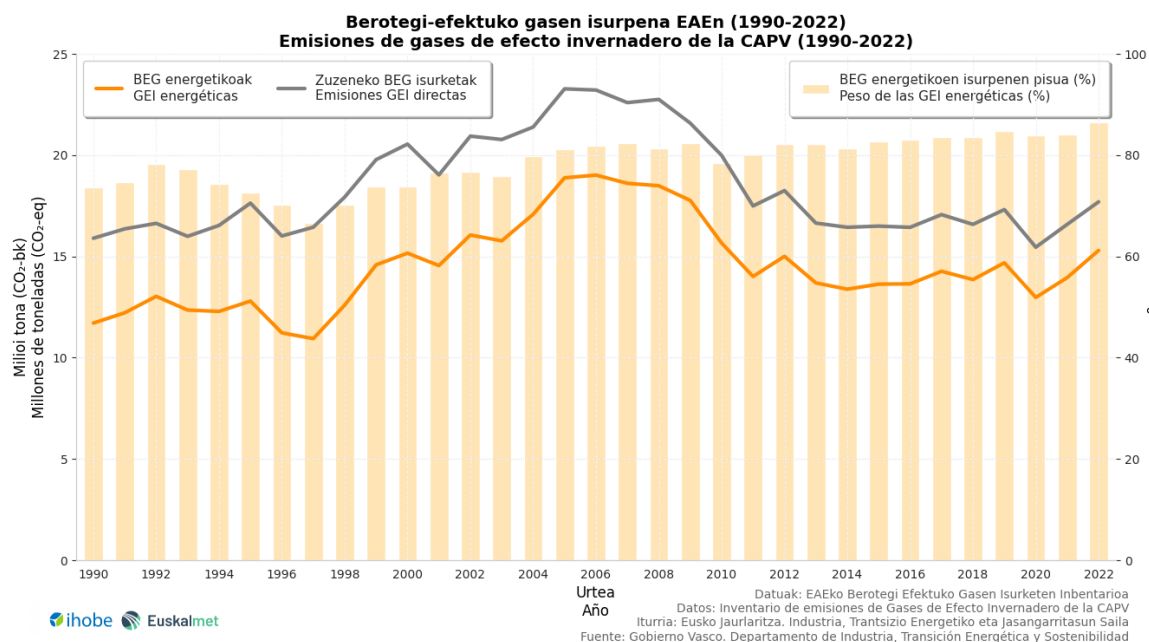


Figura 10.1: Evolución de las emisiones de GEI de Euskadi (millones de toneladas de CO₂ equivalente) directas (no incluye la energía eléctrica importada) y energéticas en el periodo 1990-2022. En el eje secundario se incluye el peso relativo de las GEI energéticas sobre las emisiones directas totales.

Desde un punto de vista sectorial el consumo final energético de Euskadi se concentra mayoritariamente en los sectores del transporte y la industria, totalizando 2179 y 1723 kilo toneladas equivalentes de petróleo (ktep) respectivamente en 2022, seguido de los sectores residencial (558 ktep) y servicios (394 ktep) y, en último término, del sector primario (27 ktep) para dicho año.

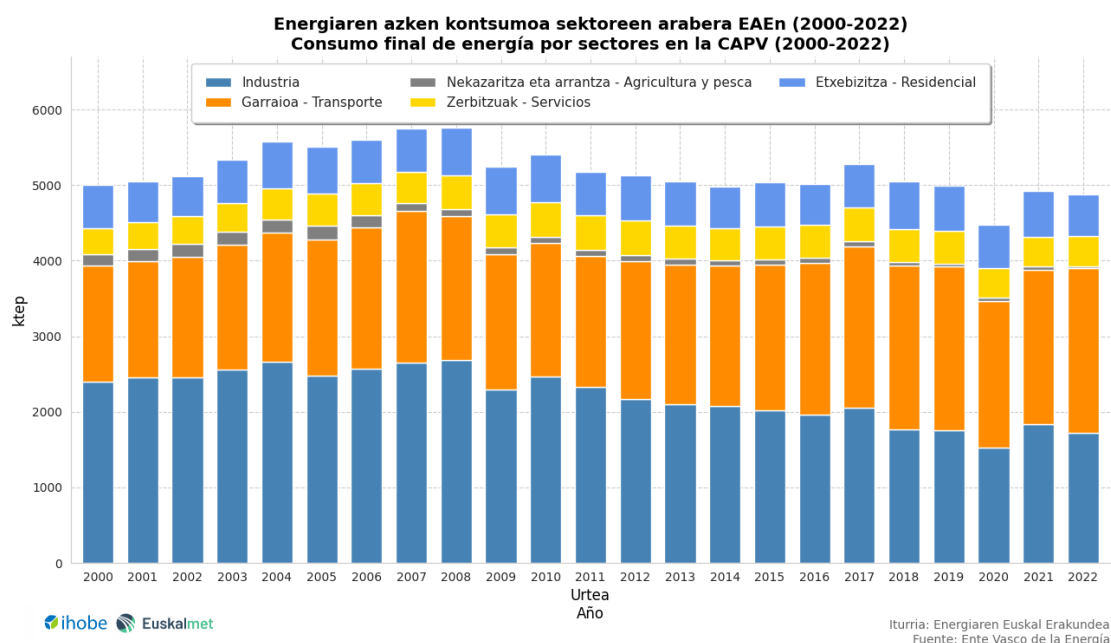


Figura 10.2: Evolución del consumo de energía final por sectores (ktep) en la CAPV en el periodo 2000-2022.

De lo anterior se deriva el crecimiento paulatino que ha ido suponiendo el transporte, tanto en términos absolutos como en términos relativos. En este sentido, el peso del transporte alcanza ya un 45 % del consumo final total, siendo un 35 % el peso de la industria, un 11 % el residencial, un 8 % el sector servicios y menos del 1 % el sector primario.

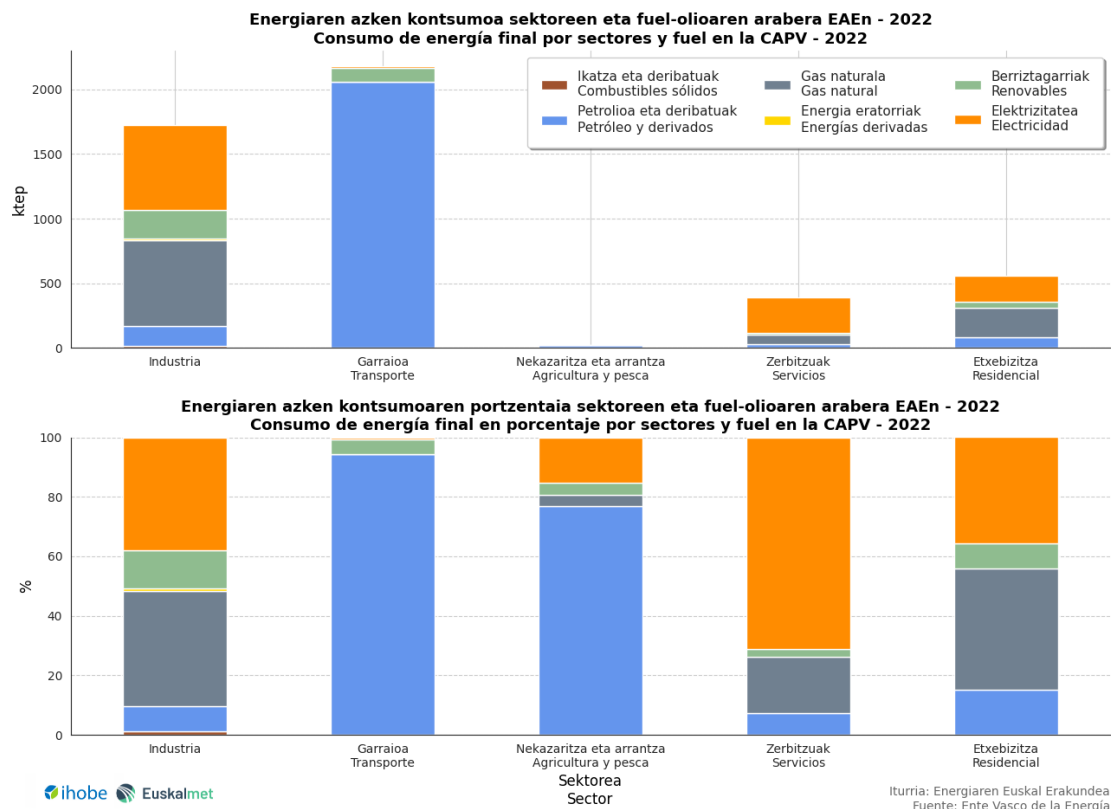


Figura 10.3: Consumo de energía final por sector y por tipo de combustible en la CAPV en 2022 en Ktep (arriba) y en porcentajes (abajo).

Desde un enfoque climático se ha de destacar la alta ligadura de los sectores del transporte y la industria al uso de combustibles fósiles. Por ejemplo, la mayoría del consumo energético del transporte son líquidos fósiles (diésel y gasolina suponen casi el 95 %), mientras que gran parte del consumo en la industria se debe a gas natural (39 %).

En términos globales, los derivados del petróleo supusieron en 2022 el 48 % del consumo energético final de Euskadi, un 24 % la electricidad, un 20 % el gas natural, un 8 % las fuentes renovables y menos del 1 % tanto los combustibles sólidos como el carbón y las energías derivadas.

Asimismo, es destacable el desacople observado entre el comportamiento de la economía vasca y el consumo energético territorial. En este sentido, la intensidad energética es un indicador de la eficiencia energética de un sistema, calculado como el consumo energético por unidad de PIB generado (MWh/€).

La intensidad energética territorial muestra una caída progresiva entre 1982 y 2022. Este hecho se debe a la mejora del sistema en el modo en que consume energía, dado que no solo consume cada vez menos en términos absolutos, sino que lo hace cada vez mejor, dado que no se observa un menoscabo del crecimiento económico cuando se observan las macro tendencias. Las mejoras de eficiencia y la transición desde combustibles fósiles como el carbón hacia otros como el gas natural y la electricidad están detrás del cambio del sistema energético vasco.

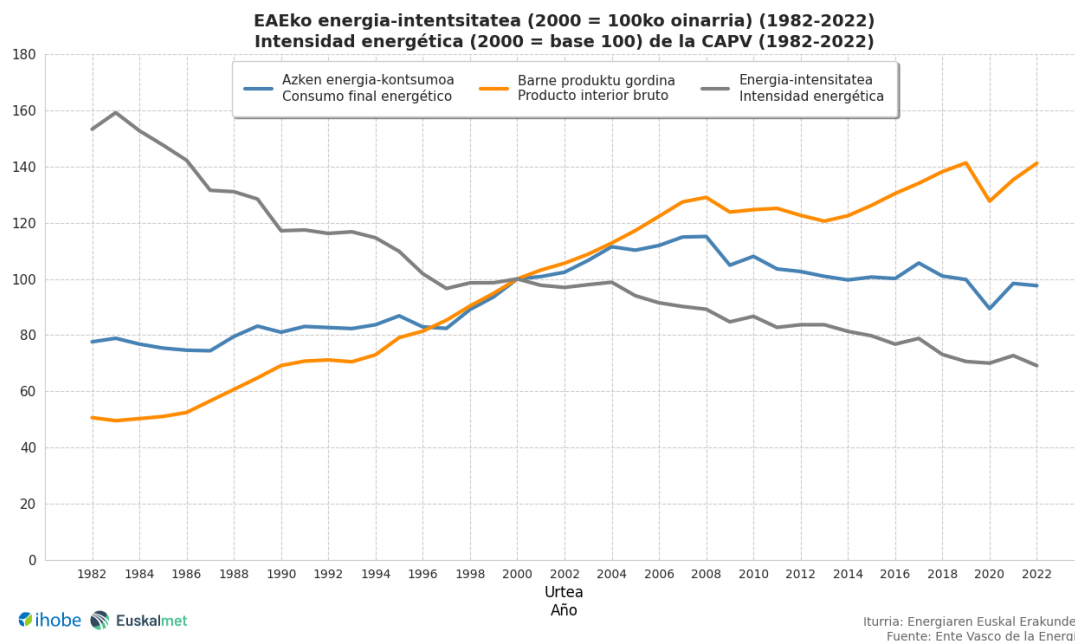


Figura 10.4: Evolución de la intensidad energética de Euskadi (2000 = base 100) (gris), junto con el PIB (naranja) y el consumo final de energía (azul).

De manera similar, es destacable la contribución renovable en el lado de la generación de electricidad, alcanzando un 7 % del total de electricidad generada, donde casi la mitad de la generación actual proviene de tres plantas de ciclo combinado de gas natural y otro 10 % de diversas plantas de cogeneración de gas.

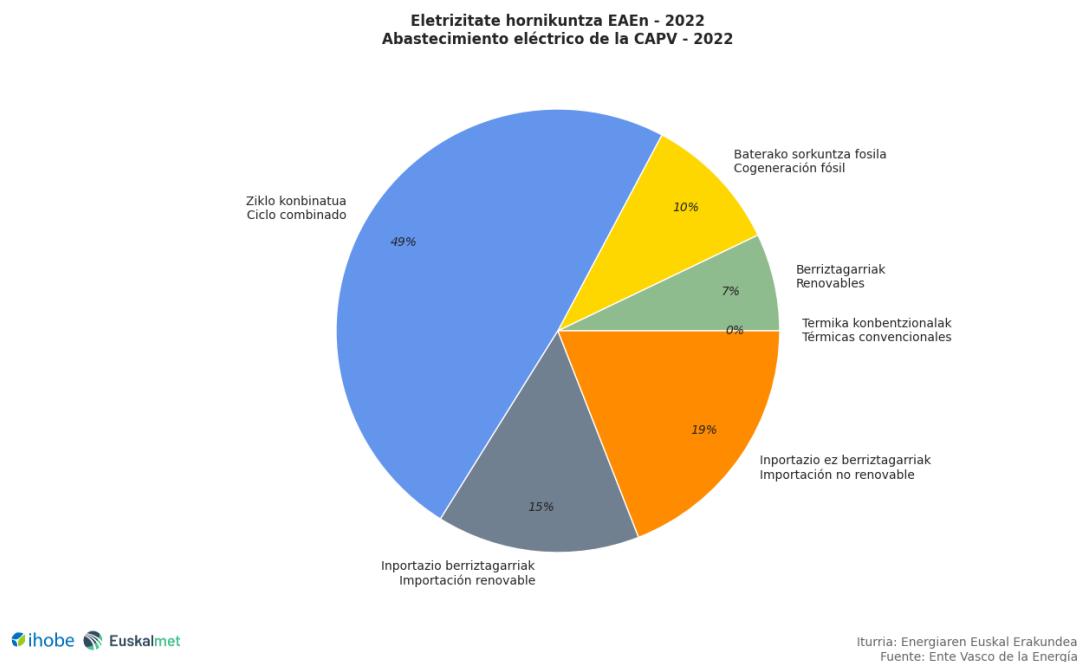


Figura 10.5: Abastecimiento de electricidad por tecnología (%) en la CAPV en 2022.

Euskadi es un territorio pequeño en cuanto a superficie y con una población altamente concentrada. Este hecho, unido a las peculiaridades orográficas, conlleva que el despliegue de tecnologías de generación descentralizada alimentadas por fuentes renovables suponga un reto técnico y social de primer nivel. En este sentido, el Plan Territorial Sectorial de Energías Renovables de Euskadi⁸⁸, actualmente en tramitación, persigue dotar a la región de una herramienta de planificación que defina un mapa de renovables, dando cabida a todas las modalidades que permitan las tecnologías disponibles.

De este modo, y bajo el marco normativo de la anteriormente mencionada Ley de Transición Energética y Cambio Climático de Euskadi⁸⁹, se pretende aumentar significativamente la potencia instalada de origen renovable, mejorando con ello el nivel de autoabastecimiento territorial. En concreto, la potencia eólica a fecha 31/12/2023⁹⁰ de Euskadi era de 160 MW, 53 MW de solar fotovoltaica, 27 MW de otras renovables y 60 MW de residuos renovables, así como 178 MW de hidráulica. Ello supone 478 MW de tipo renovable sobre un parque de generación de 2972 MW, es decir, un 16 %.

10.3 Herramientas para la acción climática en Euskadi

En el largo recorrido de la acción climática en Euskadi son varias las herramientas que se han puesto en marcha, en materia de análisis de riesgo, priorización, implementación de acciones y evaluación de la adaptación.

Herramientas de diagnóstico, priorización y propuesta de medidas:

Entre los análisis de amenaza, impacto y riesgo, son varios los análisis de impacto realizados, desde que en 2011 se publicara el estudio “cambio climático: impacto y adaptación en la Comunidad Autónoma del País Vasco⁹¹”.

Por ejemplo, la realización de escenarios climáticos regionalizados para Euskadi⁹², ha resultado una herramienta fundamental para la elaboración de estudios de mayor calado.

La herramienta de Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo de los municipios vascos ante el cambio climático⁹³ permitió identificar en qué medida pueden verse afectados los municipios de la CAPV por el cambio climático en el futuro. El estudio concluyó que todos los municipios de la CAPV se verán afectados por las olas de calor, un 81 % de los municipios se verán afectados por el impacto de las inundaciones fluviales en el medio urbano y hasta 58 municipios, el 23 %, están expuestos al impacto de las inundaciones por subidas del nivel del mar. Este estudio incluye además una batería de potencial de medidas de adaptación, clasificadas en función de la amenaza para la que son beneficiosas.

El diagnóstico adecuado del impacto del mar en la costa vasca es de gran interés, dado que cerca del 60 % de la población vasca reside cerca del litoral, y son varios los estudios que analizan en profundidad su estado, entre los que cabe destacar el proyecto Kostegoki que consta de una primera parte de Análisis de vulnerabilidad y riesgo⁴⁴ y una segunda fase con Orientaciones para la adaptación al cambio climático en la costa vasca⁹⁴. Esta segunda fase del proyecto Kostaegoki, en base a los riesgos identificados en la primera fase, propone acciones concretas de adaptación que incluyen medidas físicas o estructurales, de tipo social o institucionales.

Así mismo, se han elaborado diversas herramientas de acción climática, como la guía ‘Soluciones Naturales’ para la adaptación al cambio climático en el ámbito local de la Comunidad Autónoma del País Vasco⁹⁵, que ofrece un marco metodológico para analizar cómo integrar las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) en distintas infraestructuras urbanas y periurbanas, así como la publicación de Buenas Prácticas^{96,97} que incluyen ejemplos de su aplicación, los principales retos y costes, con el objeto de ser inspiradoras, o la Guía para la elaboración de planes de adaptación al cambio climático para organizaciones⁹⁸, la Guía de elaboración de planes locales de clima y energía de Euskadi⁹⁹.

Se han de destacar también los diagnósticos realizados en los territorios históricos, como el Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa¹⁰⁰, el Diagnóstico avanzado de cambio climático en Bizkaia¹⁰¹ o el Informe marino-costero para Gipuzkoa¹⁰².

Otro de los ámbitos de la acción climática es el patrimonio natural, del que en Euskadi cabe mencionar la Ley 9/2021, de 25 de noviembre, de conservación del patrimonio natural de Euskadi¹⁰³, que tiene entre sus objetivos la “Conservación y restauración de la biodiversidad así como la Protección de los espacios naturales”, entendiendo por patrimonio natural, el conjunto de ecosistemas, especies, bienes, recursos y servicios de la naturaleza, fuente de biodiversidad y geodiversidad, que tienen un valor esencial desde el punto de vista medioambiental, paisajístico, científico o cultural, situados en los ámbitos terrestre y marítimo del suelo, subsuelo y vuelo del territorio de la Comunidad Autónoma. Euskadi cuenta con 55 espacios protegidos, que abarcan más del 23 % del territorio, dentro la red ecológica europea de áreas de conservación de la biodiversidad, la Red Natura 2000¹⁰⁴. Varias de las herramientas desarrolladas permiten, a través de casos prácticos de la Red Natura 2000, realizar un diagnóstico de la integración del cambio climático en la gestión de los espacios protegidos¹⁰⁵; las Medidas de adaptación al cambio climático para diferentes especies^{106 107}, la Incorporación del cambio climático en la planificación y gestión de los espacios naturales protegidos de la CAPV¹⁰⁸ o el Análisis de riesgo climático de los hábitats terrestres de Euskadi¹⁰⁹, y el Análisis bioclimático de Euskadi en escenarios de cambio climático¹¹⁰ y la Herramienta para la clasificación bioclimática de la CAPV¹¹¹.

Entre las herramientas de mitigación disponibles para los ciudadanos destacan la calculadora de CO₂ equivalente para la ciudadanía¹¹², la herramienta 52 gestos por el cambio climático¹¹³ que permite calcular el compromiso de cada persona con el cambio climático, junto con la guía práctica que reúne los 52 gestos¹¹⁴ para reorientar los hábitos. También se ofrecen herramientas de mitigación para empresas y administraciones públicas, como el ya nombrado Inventario de Gases de Efecto Invernadero de Euskadi^{85,86}, o el Climate&Circularity Calculator¹¹⁵ que permite calcular la huella de carbono, la huella ambiental y los indicadores de economía circular con un enfoque de organización, así como la huella de carbono y análisis de ciclo de vida simplificado con un enfoque de productos y servicios.

Acción local:

En el ámbito local, es necesario mencionar la red vasca de municipios sostenibles Udalsarea 2030¹¹⁶, que tiene como objetivo fomentar la sostenibilidad local y promueve la coordinación entre los distintos niveles de la administración pública, sirve de apoyo a las entidades locales para implantar sus planes locales de Clima y Energía, además de crear grupos de trabajo para hacer frente de forma colaborativa a los diversos retos planteados.

Programas de ayudas y Proyectos Klimatek:

Entre las herramientas encaminadas a la acción, cabe mencionar los diversos programas de ayudas, bien para las administraciones, bien para las empresas, así como los programas de ayudas a la innovación.

Por otra parte, la iniciativa “KLIMATEK: Proyectos I+D, Innovación y Demostración en Adaptación al Cambio Climático en Euskadi” ¹¹⁷, puesta en marcha en 2016, tiene como objeto de desarrollar un proceso de carácter innovador de gobernanza e implementación de políticas ambientales en el ámbito de la adaptación al cambio climático, mediante el desarrollo de proyectos de conocimiento avanzado.

Proyectos Europeos:

Son varios los proyectos europeos desarrollados en acción climática, tanto en el ámbito de la mitigación, como de adaptación al Cambio Climático. Entre estos últimos, cabe destacar los siguientes:

El proyecto LIFE Integrado Urban Klima 2050¹¹⁸, el mayor proyecto de acción climática de Euskadi, que constituye un trabajo colaborativo que abarca los diferentes niveles de Gobernanza de Euskadi y que está constituido por: Iñobe así como otros 3 departamentos/áreas de Gobierno Vasco, las 3 Diputaciones Forales, 7 ayuntamientos, 2 Agencias Regionales y 5 centros tecnológicos, incluye acciones de diagnóstico, planificación, implementación y empoderamiento.

El proyecto Regions4Climate¹¹⁹, que involucra a doce regiones europeas y que pretende desarrollar y demostrar de forma colaborativa una transición socialmente justa hacia la resiliencia climática.

Misión de adaptación de Euskadi:

Finalmente, Euskadi ha sido una de las regiones que forma parte de la Misión de Adaptación al Cambio Climático de la Unión Europea. El objetivo de la Misión de Adaptación es dar apoyo a al menos 150 regiones europeas para alcanzar la resiliencia climática en 2030. Este marco Euskadi está participando como región demostradora y referente, compartiendo con otras regiones europeas su experiencia, y atrayendo fondos europeos para acelerar la adaptación climática en nuestro territorio. Con la asistencia técnica de la misión de adaptación se están desarrollando una cartera de proyectos demostradores de acción prioritaria que se trabajarán con todos agentes implicados y se definirá su plan de financiación

11 SOBRE ESTE INFORME (MÉTODOS Y DATOS)

El cálculo inicial de las anomalías de la temperatura media global se ha realizado con respecto al período preindustrial 1850-1900, siguiendo el enfoque del IPCC. Para cada conjunto de datos, las anomalías se calculan en relación con la media de 1981-2010 y se suma 0,69 °C a cada serie, basándose en la diferencia estimada entre 1850-1900 y 1981-2010 calculada utilizando el método del IPCC.

Para el resto de las variables y dominios espaciales las anomalías se han calculado respecto a la climatología o normal climática del periodo 1991-2020, siguiendo la recomendación de la Organización Meteorológica Mundial⁵. La normal climática sirve como referencia con la que comparar las observaciones recientes. A medida que el cambio climático modifica el clima las normales se han de actualizar para que reflejen la “nueva normal”, por ello se recalculan cada diez años.

El cálculo de las tendencias se ha realizado mediante el estimador de pendiente de Theil-Sen^{120, 121} o la regresión lineal, en función del tipo de serie. La significación estadística de la tendencia se ha calculado empleando un test de Mann-Kendall¹²², con un nivel de significación de 0,05 (nivel de confianza del 95 %). Se ha optado por representar las tendencias estadísticamente significativas. En las series temporales de precipitación y viento no significativas se han incluido las medias móviles calculadas en ventanas de once años.

Los indicadores de temperatura y precipitación, calculados con Climate Data Operators (CDO)¹²³, se han estimado para cada punto de la malla en el dominio de la CAPV y posteriormente se ha realizado el promedio para todo el conjunto. Los indicadores de temperatura y precipitación calculados en base al percentil del periodo de referencia 1991-2020 se basan en ventanas de 5 y 91 días centradas en cada día natural del año respectivamente, de modo que se obtiene un valor de percentil para cada día del año.

11.1 Temperatura y precipitación

Global y Europa

HadCRUT.5.0.2.0 - Morice, C. P., Kennedy, J. J., Rayner, N.A., Winn, J. P., Hogan, E., Killick, R. E., Dunn, R. J. H., Osborn, T. J., Jones, P. D., & Simpson, I. R. (in press). An updated assessment of near-surface temperature change from 1850: the HadCRUT5 dataset. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)* doi:10.1029/2019JD032361. Los datos HadCRUT.5.0.2.0 se obtuvieron el 11 de enero de 2024 de <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut5> y son © British Crown Copyright, Met Office, proporcionados bajo una Licencia de Gobierno Abierto <http://www.nationalarchives.gov.uk/doc/open-government-licence/version/3/>

NOAAGlobalTemp v6 - Huang, B., Yin, X., Menne, M. J., Vose, R., & Zhang H. NOAA Global Surface Temperature Dataset (NOAAGlobalTemp), Version 6.0.0. NOAA National Centers for Environmental Information. <https://doi.org/10.25921/rzxcg-p717>. Acceso a los datos el 3 de marzo de 2024. <https://www.ncei.noaa.gov/metadata/geoportal/rest/metadata/item/gov.noaa.ncdc%3AC01704/html>.

GISTEMP v4 - Lenssen, N., Schmidt, G., Hansen, J., Menne, M. J., Persin, A., Ruedy, R., & Zyss, D. (2019). Improvements in the GISTEMP uncertainty model. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 124, no. 12, 6307-6326, doi:10.1029/2018JD029522. GISTEMP Team (2023). GISS Surface Temperature

Analysis (GISTEMP), version 4. NASA Goddard Institute for Space Studies. Los datos se obtuvieron el 10 de enero de 2024 de <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>.

ERA5 - Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., & Thépaut, J.-N. (2023). ERA5 monthly averaged data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), DOI: 10.24381/cds.f17050d7. Acceso a los datos el 8 de enero de 2024.

Euskadi

EuskalKlim-DObs. BBDD climática Euskalmet (de estaciones automáticas). Datos diarios de las principales variables climáticas para la CAPV. Datos validados según un enfoque basado en reglas de clasificación automática, atendiendo a la coherencia interna, temporal y espacial de los datos, más supervisión visual de los datos sospechosos.

EuskalKlim-Tgrid00 - Repositorio climático espacial de temperatura de Euskadi elaborado por Euskalmet. Mediante fondos de proyecto interno DAEM y el proyecto Urban Klima 2050¹⁸ Accion C9.1. Partiendo de datos de AEMET y Euskalmet (a partir del año 2000), homogeneizados con ACMANTv4.4¹²⁴ y aplicando Stacking Ensemble Machine Learning.

EuskalKlim-Pgrid00 - Repositorio climático espacial de precipitación de Euskadi elaborado por Euskalmet. Mediante fondos de proyecto interno DAEM y el proyecto Urban Klima 2050¹⁸ Accion C9.1. Partiendo de datos de AEMET y Euskalmet (a partir del año 2000), homogeneizados con ACMANTv4.4¹²⁴ y aplicando Stacking Ensemble Machine Learning.

Atlas histórico de Euskadi - Escenarios climáticos en Euskadi y series de datos elaborados por Neiker, Tecnalía y Predictia, para Iñobe-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”) ¹¹. [Descarga de datos \(ihobe.eus\)](https://ihobe.eus/)

ERA5-land - Muñoz Sabater, J., (2019). ERA5-Land hourly data from 1950 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). DOI: 10.24381/cds.e2161bac. Acceso a los datos el 15 de enero de 2024.

11.2 Insolación

SARAH 3 - Pfeifroth, U., Kothe, S., Drücke, J., Trentmann, J., Schröder, M., Selbach, N., & Hollmann, R. (2023). Surface Radiation Data Set - Heliosat (SARAH) - Edition 3, Satellite Application Facility on Climate Monitoring, https://doi.org/10.5676/EUM_SAF_CM/SARAH/V003.

ERA5-land - Muñoz Sabater, J., (2019). ERA5-Land hourly data from 1950 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). DOI: 10.24381/cds.e2161bac. Acceso a los datos el 10 de diciembre de 2024.

11.3 Océano

Temperatura superficial del mar

ERSSTv5 - Huang, B., Thorne, P. W., Banzon, V. F., Boyer, T., Chepurin, G., Lawrimore, J. H., Menne, M. J., Smith, T. M., Vose, R. S., & Zhang H.-M. (2017). NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST), Version 5. NOAA National Centers for Environmental Information. doi:10.7289/V5T72FNM. Los datos se obtuvieron desde NOAA/ESRL/PSD a través del sitio web <https://www.esrl.noaa.gov/psd/> el 22 de febrero de 2024.

HadSST4 - Kennedy, J. J., Rayner, N. A., Atkinson, C. P., & Killick, R. E. (2019). An ensemble data set of sea-surface temperature change from 1850: the Met Office Hadley Centre HadSST.4.0.1.0 data set. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 124. <https://doi.org/10.1029/2018JD029867>. Los datos HadSST.4.0.1.0 se obtuvieron el 22 de febrero de 2024 de <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadsst4> y son © British Crown Copyright, Met Office, proporcionados bajo una Licencia de Gobierno Abierto <http://www.nationalarchives.gov.uk/doc/open-government-licence/version/3/>.

OI SST V2 - Huang, B., Liu, C., Banzon, V., Freeman, E., Graham, G., Hankins, B., Smith, T. & Zhang, H.-M. (2021). Improvements of the Daily Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (DOISST) Version 2.1, *Journal of Climate*, 34, 2923-2939. doi: 10.1175/JCLI-D-20-0166.1. Proporcionado por NOAA PSL, Boulder, Colorado, EE.UU., desde su sitio web <https://psl.noaa.gov>.

Global Ocean Sea Surface Temperature trend map from Observations Reprocessing. E.U. Copernicus Marine Service Information (CMEMS). Marine Data Store (MDS). DOI: 10.48670/moi-00243. Acceso a los datos el 7 de mayo de 2024.

Iberia Biscay Ireland Sea Surface Temperature trend map from Observations Reprocessing. E.U. Copernicus Marine Service Information (CMEMS). Marine Data Store (MDS). DOI: 10.48670/moi-00257. Acceso a los datos el 11 de diciembre de 2024.

Nivel del mar

Church, J. A., & White, N. J. (2011). Sea-Level Rise from the Late 19th to the Early 21st Century. *Surveys in Geophysics*, 32(4-5), 585–602. <http://doi.org/10.1007/s10712-011-9119-1>. Datos proporcionados por CSIRO desde el sitio web [:: Sea-level Rise :: CSIRO ::](http://www.csiro.au/sea-level-rise)

Church, J.A., Clark, P. U., Cazenave, A., Gregory, J. M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M. A., Milne, G. A., Nerem, R. S., Nunn, P. D. Payne, A. J., Pfeffer, W. T., Stammer, D. & Unnikrishnan, A. S. (2013). Sea Level Change. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. [AR5 Climate Change 2013: The Physical Science Basis — IPCC](https://www.ipcc.ch/report/ar5/)

AVISO+ - Guérou, A., Meyssignac, B., Prandi, P., Ablain, M., Ribes, A., & Bignalet-Cazalet, F. (2023). Current observed global mean sea level rise and acceleration estimated from satellite altimetry and the associated measurement uncertainty. *Ocean Science*, 19(2), 431-451. <https://doi.org/10.5194/os-19-431-2023>. Los productos de altímetros son producidos y distribuidos por Aviso+ (<https://www.aviso.altimetry.fr/>), como parte del segmento de procesamiento en tierra de SSALTO. EU Copernicus Marine Service/CNES/LEGOS/CLS. Acceso a los datos el 26 de enero de 2024.

Atlantic Iberian Biscay Mean Sea Level time series and trend from Observations Reprocessing. E.U. Copernicus Marine Service Information (CMEMS). Marine Data Store (MDS). DOI: 10.48670/moi-00252. Acceso a los datos el 4 de julio de 2024.

NOAA - Center for Operational Oceanographic Products and Services (CO-OPS). Sea level trends. [Sea Level Trends - NOAA Tides & Currents](#) Fuente de los datos: Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL), 2024, "Tide Gauge Data", <http://www.psmsl.org/data/obtaining/>. Holgate, S. J., Matthews, A., Woodworth, P. L., Rickards, L. J., Tamisiea, M. E., Bradshaw, E., Foden, P. R., Gordon, K. M., Jevrejeva, S. & Pugh, J. (2013). New Data Systems and Products at the Permanent Service for Mean Sea Level. Journal of Coastal Research: Volume 29, Issue 3: pp. 493 – 504. doi:10.2112/JCOASTRES-D-12-00175.1

Criosfera

OSI SAF - OSI SAF Sea ice index 1978-onwards, version 2.2 (2023). OSI-420. EUMETSAT Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility. OSI SAF Sea ice index 1978-onwards Datos extraídos del servidor FTP de OSI SAF ftp://osisaf.met.no/prod_test/ice/index/v2p2/ el 4 de enero de 2024.

IMBIE - Shepherd, A., Ivins, E., Rignot, E., Smith, B., van den Broeke, M., Velicogna, I., Whitehouse, P., Briggs, K., Joughin, I., Krinner, G., Nowicki, S., Payne, A., Scambos, T., Schlegel, N., A, G., Agosta, C., Ahlstrøm, A., Babonis, G., Barletta, V., ... Wuite, J. (2021). Antarctic and Greenland Ice Sheet mass balance 1992-2020 for IPCC AR6 (Version 1.0) [Conjunto de datos]. UK Polar Data Centre, Natural Environment Research Council, UK Research & Innovation. <https://doi.org/10.5285/77b64c55-7166-4a06-9def-2e400398e452>

11.4 Viento

ERA5-land - Muñoz Sabater, J., (2019). ERA5-Land hourly data from 1950 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). DOI: 10.24381/cds.e2161bac. Acceso a los datos el 30 de abril de 2024.

ERA5 - Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., & Thépaut, J-N. (2023). ERA5 monthly averaged data on single levels from 1940 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), DOI: 10.24381/cds.f17050d7. Acceso a los datos el 23 de enero de 2024.

11.5 Eventos extremos e impactos

Europa

European Commission, European Environment Agency (EEA) [Data visualisations — European Environment Agency \(europa.eu\)](#). Basado en los registros de daños de CATDAT de RiskLayer GmbH y los indicadores estructurales de Eurostat.

Euskadi

Consorcio Compensación de Seguros (CCS) - Datos estadísticos de Riesgos Extraordinarios. [Estadística \(consorseguros.es\)](#).

Eustat – Indicadores de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Estadística de defunciones y estadística municipal de habitantes. [Indicadores de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible \(eustat.eus\)](https://eustat.eus/indicadores-de-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible)

MoMo - Sistema de Vigilancia de la Mortalidad Diaria (Sistema MoMo). Instituto de Salud Carlos III (2024). [MoMo \(isciii.es\)](https://isciii.es/momo). Acceso a los datos el 10 de mayo de 2024.

11.6 Emisiones de gases de efecto invernadero

Global

CO₂ Mauna Loa – Lan, X., NOAA/GML (gml.noaa.gov/ccgg/trends/) & Keeling, R., Scripps Institution of Oceanography (scrippsco2.ucsd.edu/). [Global Monitoring Laboratory - Carbon Cycle Greenhouse Gases \(noaa.gov\)](https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/)

CO₂ - Lan, X., Tans, P. & Thoning, K. W. Trends in globally-averaged CO₂ determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements. Version 2024-03, <https://doi.org/10.15138/9N0H-ZH07>

CH₄, N₂O - Lan, X., Thoning, K. W., & Dlugokencky, E. J. Trends in globally-averaged CH₄, N₂O, and SF₆ determined from NOAA Global Monitoring Laboratory measurements. Version 2024-03, <https://doi.org/10.15138/P8XG-AA10>

Global Carbon Budget (2023) – tratamiento de los datos de [Our World in Data](https://ourworldindata.org/): “Other industry – Flaring – Cement – Gas – Oil – Coal – GCB” [conjunto de datos]. Global Carbon Project, “Global Carbon Budget” [datos originales]: Andrew, R. M., & Peters, G. P. (2023). The Global Carbon Project's fossil CO₂ emissions dataset (2023v36). Zenodo <https://doi.org/10.5281/zenodo.10177738>. Los datos de Global Carbon Budget pueden consultarse en el sitio web <https://globalcarbonbudget.org/carbonbudget/>

Euskadi

Gobierno Vasco. Departamento de Industria, Transición Energética y Sostenibilidad (2024). Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la C.A. de Euskadi. 2022. [Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero de la C.A. de Euskadi. 2022 - Aire - Euskadi.eus](https://euskadi.eus/inventario-de-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-de-la-ca-de-euskadi-2022-aire)

11.7 Energía y acción climática

Ente Vasco de la Energía (2023). Datos energéticos de Euskadi. [Datos energéticos Euskadi - EVE](https://euskadi.eus/datos-energeticos)

Red eléctrica (2024). Potencia instalada. [REData - Potencia instalada | Red Eléctrica \(ree.es\)](https://red.ee.es/) Acceso a los datos el 10 de enero de 2024.

12 REFERENCIAS Y ENLACES DE INTERÉS

- ¹ Ihobe - [Ihobe - Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco](#)
- ² Euskalmet - [Euskalmet | Agencia vasca de meteorología \(euskadi.eus\)](#)
- ³ World Meteorological Organization (WMO) (2024). State of the Global Climate 2023. No. 1347. 978-92-63-11347-4. [State of the Global Climate 2023 \(wmo.int\)](#)
- ⁴ Copernicus Climate Change Service (C3S) (2024). Global Climate Highlights 2023. [Global Climate Highlights 2023 | Copernicus](#)
- ⁵ World Meteorological Organization (WMO) (2017). WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. WMO-No. 1203. [WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals \(WMO-No. 1203\)](#)
- ⁶ Copernicus Climate Change Service (C3S) (2025). The 2024 Annual Climate Summary. Global Climate Highlights 2024 [Global Climate Highlights 2024 | Copernicus](#)
- ⁷ United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2016). The Paris Agreement. [parisagreement_publication.pdf \(unfccc.int\)](#)
- ⁸ Copernicus Climate Change Service (C3S) (2024). European State of the Climate 2023, Full report. [European State of the Climate 2023 | Copernicus](#)
- ⁹ URA - [URA - Agencia Vasca del Agua \(euskadi.eus\)](#)
- ¹⁰ Dirección de Atención de Emergencias y Meteorología (DAEM) - [Conoce la DAEM - Gobierno Vasco - Euskadi.eus](#)
- ¹¹ Ihobe (2024). Escenarios climáticos en Euskadi y series de datos. [Escenarios climáticos en Euskadi y series de datos \(ihobe.eus\)](#)
- ¹² Euskalmet, Agencia Vasca de Meteorología (2024). Informe climatológico anual 2023. [Euskalmet | Agencia vasca de meteorología | Informes climatológicos \(euskadi.eus\)](#)
- ¹³ Egaña, J., Palacio, V., Arrillaga, J. A., & Gaztelumendi, S. (2023). Analysis of July 2022 persistent and extreme high temperatures episode in the Basque Country. EMS Annual Meeting 2023, Bratislava, Slovakia, 3-8 Sep 2023, EMS2023-267. <https://doi.org/10.5194/ems2023-255>
- ¹⁴ Euskalmet, Agencia Vasca de Meteorología (2023). Informes climatológicos mensuales 2023. [Euskalmet | Agencia vasca de meteorología | Informes climatológicos \(euskadi.eus\)](#)
- ¹⁵ Euskalmet, Agencia Vasca de Meteorología (2022). Informes climatológicos mensuales 2022. [Euskalmet | Agencia vasca de meteorología | Informes climatológicos \(euskadi.eus\)](#)
- ¹⁶ Euskalmet, Agencia Vasca de Meteorología (2023). Informe climatológico anual 2022. [Euskalmet | Agencia vasca de meteorología | Informes climatológicos \(euskadi.eus\)](#)
- ¹⁷ Seneviratne, S.I., Zhang, X., Adnan, M., Badi, W., Dereczynski, C., Di Luca, A., Ghosh, S., Iskander, I., Kossin, J., Lewis, S., Otto, F., Pinto, I., Satoh, M., Vicente-Serrano, S. M., Wehner, M., & Zhou, B. (2021). Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1513–1766, doi:10.1017/9781009157896.013. [Chapter 11: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate | Climate Change 2021: The Physical Science Basis \(ipcc.ch\)](#)
- ¹⁸ Ihobe (2023). Proyecto Life Integrado Urban Klima 2050 [Indicadores climáticos \(urbanklima2050.eu\)](#)
- ¹⁹ Ihobe (2024). Perfil Ambiental de Euskadi 2023. Salud y medio ambiente. - [Publicaciones - Perfil Ambiental de Euskadi 2023. Salud y medio ambiente \(ihobe.eus\)](#)
- ²⁰ Peña-Ortiz, C., Barriopedro, D., & García-Herrera, R. (2015). Multidecadal variability of the summer length in Europe. Journal of Climate, 28(13), 5375-5388. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00429.1>
- ²¹ Naturklima (2022). La temperatura en verano. [NATURKLIMA: La temperatura en verano](#)

-
- ²² Christiansen, B., Alvarez-Castro, C., Christidis, N., Ciavarella, A., Colfescu, I., Cowan, Eden, J., Hauser, M., Hempelmann, N., Klehmet, K., Lott, F., Nangini, C., van Oldenborgh, G. J., Orth, R., Stott, P., Vautard, R., Wilcox, L., & Yiou, P. (2018). Was the cold European winter of 2009/10 modified by anthropogenic climate change? An attribution study. *Journal of Climate*, 31(9), 3387–3410. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0589.1>
- ²³ Ihobe (2017). Evaluación del impacto de las temperaturas extremas sobre la salud en el País Vasco bajo condiciones de cambio climático: OSATU, proyecto Klimatek 2016. [Evaluación del impacto de las temperaturas extremas sobre la salud en el País Vasco bajo condiciones de cambio climático - Cambio climático - Euskadi.eus](#)
- ²⁴ Perkins S.E., & Alexander, L.V. (2013). On the measurement of heat waves. *Journal of Climate*. 26(13), 4500–4517. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00383.1>
- ²⁵ Wild, M., Wacker, S., Yang, S., & Sanchez-Lorenzo, A. (2021). Evidence for clear-sky dimming and brightening in central Europe. *Geophysical Research Letters*, 48(6), e2020GL092216. <https://doi.org/10.1029/2020gl092216>
- ²⁶ Stanhill, G., & Cohen, S. (2001). Global dimming: A review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences. *Agricultural and Forest Meteorology*, 107(4), 255–278. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(00\)00241-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(00)00241-0)
- ²⁷ van den Besselaar, E. J., Sanchez-Lorenzo, A., Wild, M., Klein Tank, A. M., & De Laat, A. (2015). Relationship between sunshine duration and temperature trends across Europe since the second half of the twentieth century. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120, 10823–10836. <https://doi.org/10.1002/2015JD023640>
- ²⁸ Gulev, S.K., Thorne, P.W., Ahn, F.J., Dentener, F.J., Domingues, C.M., Gerland, S., Gong, D., Kaufman, D.S., Namchi, H.C., Quaas, J., Rivera, J.A., Sathyendranath, S., Smith, S.L., Trewin, B., von Schuckmann, K., & Vose R.S., (2021). Changing State of the Climate System. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 287–422, doi: 10.1017/9781009157896.004. [Chapter 2: Changing State of the Climate System | Climate Change 2021: The Physical Science Basis](#)
- ²⁹ Copernicus Climate Change Service (C3S) (2023). Climate Bulletins. [Climate Bulletins | Copernicus](#)
- ³⁰ URA - Agencia Vasca del Agua (2021). Plan Especial de Actuación ante Situaciones de Alerta y Eventual Sequía. [BorradorPES \(euskadi.eus\)](#)
- ³¹ López, J. J., Ayuso-Muñoz, J. L., Goñi, M., & Gimena, F. N. (2023). Analysis of the Effect of Climate Change on the Characteristics of Rainfall in Igeldo-Gipuzkoa (Spain). *Water*, 15(8), 1529. <https://doi.org/10.3390/w15081529>
- ³² Rodríguez-Puebla, C., Encinas, A. H., & Sáenz, J. Y. (2001). Winter precipitation over the Iberian Peninsula and its relationship to circulation indices. *Hydrology and Earth System Sciences*, 5(2), 233-244. <https://doi.org/10.5194/hess-5-233-2001>
- ³³ Claro, A. M., Fonseca, A., Fraga, H., & Santos, J. A. (2023). Susceptibility of Iberia to Extreme Precipitation and Aridity: A New High-Resolution Analysis over an Extended Historical Period. *Water*, 15(21), 3840. <https://doi.org/10.3390/w15213840>
- ³⁴ Naturklima (2023). Precipitaciones intensas. [NATURKLIMA: Precipitaciones intensas](#)
- ³⁵ Ihobe (2023). Inundación pluvial asociada a eventos extremos de precipitación en escenarios de cambio climático en Euskadi. - [Publicaciones - Inundación pluvial asociada a eventos extremos de precipitación en escenarios de cambio climático en Euskadi \(ihobe.eus\)](#)
- ³⁶ Fox-Kemper, B., Hewitt, H. T., Xiao, C., Aðalgeirsdóttir, G., Drijfhout, S. S., Edwards, T. L., Golledge, N. R., Hemer, M., Kopp, R. E., Krinner, G., Mix, A., Notz, D., Nowicki, S., Nurhati, I. S., Ruiz, L., Sallée, J.-B., Slangen, A. B. A. & Yu Y. (2021). Ocean, Cryosphere and Sea Level Change. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp.

1211–1362, doi: 10.1017/9781009157896.011. [Chapter 9: Ocean, Cryosphere and Sea Level Change | Climate Change 2021: The Physical Science Basis \(ipcc.ch\)](#)

³⁷ Copernicus Climate Change Service (C3S) (2023). European State of the Climate 2022. [European State of the Climate 2022 | Copernicus](#)

³⁸ Bjerknes, J. (1964). Atlantic air-sea interaction. In *Advances in geophysics* (Vol. 10, pp. 1-82). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0065-2687\(08\)60005-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2687(08)60005-9)

³⁹ Copernicus Marine Service Information (CMEMS) (2024). Iberia Biscay Ireland Sea Surface Temperature time series and trend from Observations Reprocessing. [Iberia Biscay Ireland Sea Surface Temperature time series and trend from Observations Reprocessing | Copernicus Marine Service](#)

⁴⁰ Chust, G., González, M., Fontán, A., Revilla, M., Alvarez, P., Santos, M., Cotano, U., Chifflet, M., Borja, A., Muxika, I., Sagarmínaga, Y., Caballero, A., Santiago, I., Epelde, I., Liria, P., Ibaibarriaga, L., Garnier, R., Franco, J., Villarino, E., Irigoien, X., Fernandes-Salvador, J.A., Uriarte, A., Esteban, X., Orue-Echevarria, D., Figueira, T., & Uriarte, A., (2022). Climate regime shifts and biodiversity redistribution in the Bay of Biscay. *Science Total Environment*. 803, 149622 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149622>.

⁴¹ Copernicus Marine Service (CMEMS) (2024). Sea Level. [Sea Level | CMEMS \(copernicus.eu\)](#)

⁴² AVISO+ (2024). Mean Sea Level. [Mean Sea Level \(altimetry.fr\)](#)

⁴³ WCRP Global Sea Level Budget Group (2018). Global sea-level budget 1993–present, *Earth System Science Data*, 10, 1551–1590. <https://doi.org/10.5194/essd-10-1551-2018>

⁴⁴ Ihobe (2022). Kostaegoki I. Análisis de vulnerabilidad y riesgo. - [Publicaciones - Kostaegoki I. Análisis de vulnerabilidad y riesgo \(ihobe.eus\)](#)

⁴⁵ Ihobe (2019). KLIMATEK: Evaluación del impacto de los factores climáticos en el ascenso del nivel del mar sobre el litoral vasco. - [Publicaciones - Klimatek: Evaluación del impacto de los factores climáticos en el ascenso del nivel del mar sobre el litoral vasco \(ihobe.eus\)](#)

⁴⁶ AZTI. (2023). Explorando un océano en transformación: implicaciones del cambio climático en la vida marina y en las actividades humanas. AZTI, Sukarrieta, España, 45 pp. <https://doi.org/10.57762/2n7e-dy93>.

⁴⁷ Copernicus Marine Service Information (CMEMS) (2024). Atlantic Iberian Biscay Mean Sea Level time series and trend from Observations Reprocessing. [Atlantic Iberian Biscay Mean Sea Level time series and trend from Observations Reprocessing | CMEMS \(copernicus.eu\)](#)

⁴⁸ Chafik, L., Nilsen, J. E. Ø., Dangendorf, S., Reverdin, G., & Frederikse, T. (2019). North Atlantic Ocean circulation and decadal sea level change during the altimetry era. *Scientific reports*, 9(1), 1041. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37603-6>.

⁴⁹ Gaztelumendi, S., Egaña, J., Liria, P., Gonzalez, M., Aranda, J. A. & Anitua, P. (2016). The new Euskalmet coastal-maritime warning system, *Adv. Sci. Res.*, 13, 91–96, <https://doi.org/10.5194/asr-13-91-2016>.

⁵⁰ Liria, P., Epelde, I., de Santiago, I., Garnier, R., Abalia, A., & Mader, J. (2021) KOSTASystem, a coastal videometry technology: development and applications. 9th EuroGOOS International Conference. 3- 5 May 2021. <https://doi.org/10.13155/83160>

⁵¹ National Snow and Ice Data Center (NSIDC) (2023). Monthly Archives: September 2023. [September | 2023 | Arctic Sea Ice News and Analysis \(nsidc.org\)](#)

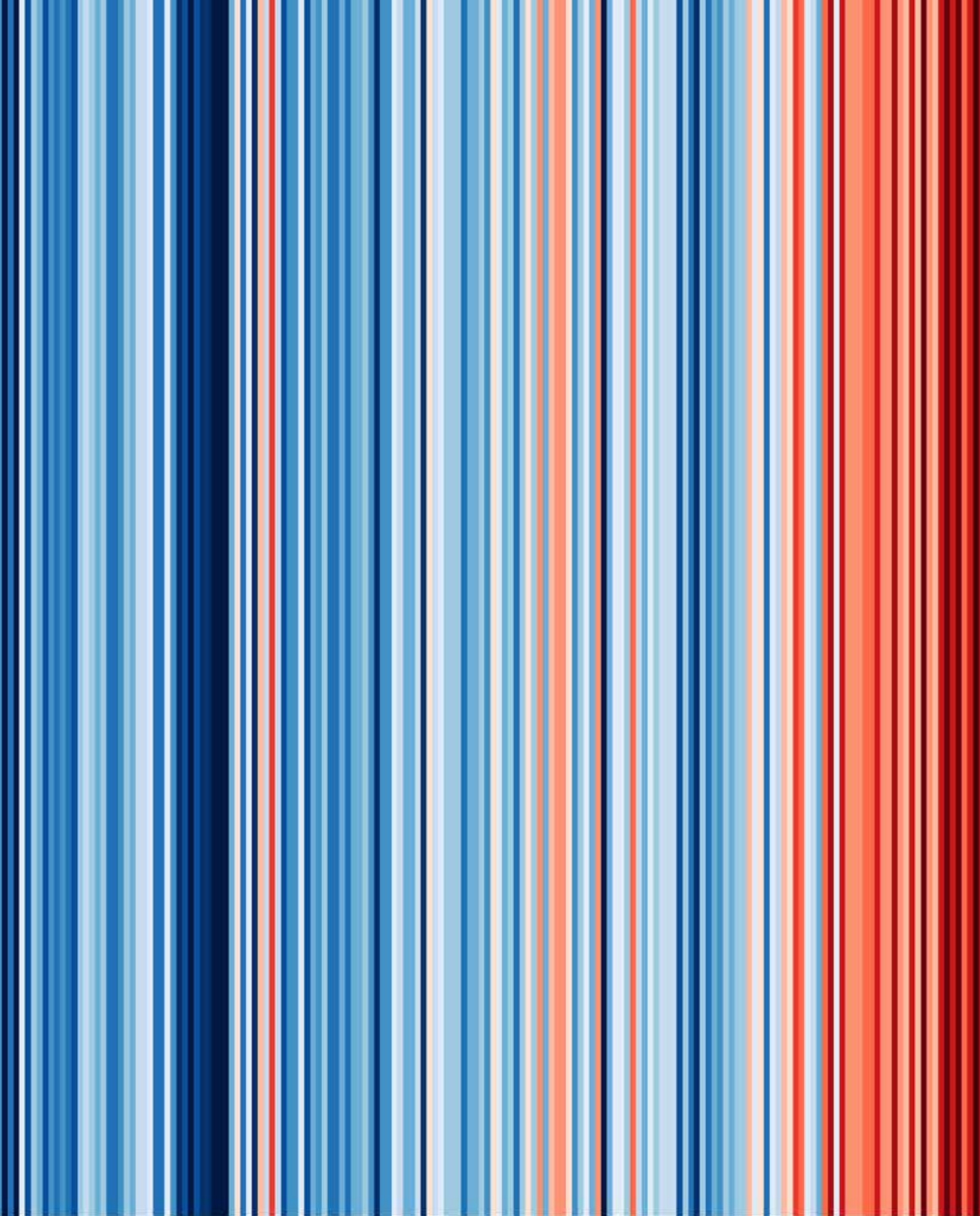
⁵² Otosaka, I. N., Shepherd, A., Ivins, E. R., Schlegel, N.-J., Amory, C., van den Broeke, M. R., Horwath, M., Joughin, I., King, M. D., Krinner, G., Nowicki, S., Payne, A. J., Rignot, E., Scambos, T., Simon, K. M., Smith, B. E., Sørensen, L. S., Velicogna, I., Whitehouse, P. L., A. G., Agosta, C., Ahlstrøm, A. P., Blazquez, A., Colgan, W., Engdahl, M. E., Fettweis, X., Forsberg, R., Gallée, H., Gardner, A., Gilbert, L., Gourmelen, N., Groh, A., Gunter, B. C., Harig, C., Helm, V., Khan, S. A., Kittel, C., Konrad, H., Langen, P. L., Lecavalier, B. S., Liang, C.-C., Loomis, B. D., McMillan, M., Melini, D., Mernild, S. H., Mottram, R., Mougnot, J., Nilsson, J., Noël, B., Pattie, M. E., Peltier, W. R., Pie, N., Roca, M., Sasgen, I., Save, H. V., Seo, K.-W., Scheuchl, B., Schrama, E. J. O., Schröder, L., Simonsen, S. B., Slater, T., Spada, G., Sutterley, T. C., Vishwakarma, B. D., van Wessem, J. M., Wiese, D., van der Wal, W., & Wouters, B. (2023). Mass balance of the Greenland and Antarctic ice sheets from 1992 to 2020, *Earth System Science Data*, 15, 1597–1616, <https://doi.org/10.5194/essd-15-1597-2023>

-
- ⁵³ Hartmann, D.L., Klein Tank, A.M.G., Rusticucci, M., Alexander, L. V., Brönnimann, S., Charabi, Y., Dentener, F.J., Dlugokencky, E.J., Easterling, D.R., Kaplan, A., Soden, B.J., Thorne, P.W., Wild, M., & Zhai, P.M. (2013) Observations: atmosphere and surface. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. pp. 159–254. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.008>
- ⁵⁴ Rojas-Labanda, C., Gonzalez-Rouco, F., García-Bustamante, E., Navarro, J., Lucio-Eceiza, E. E., Van der Schrier, G., & Kaspar, F. (2023). Surface wind over Europe: Data and variability. *International Journal of Climatology*, 43, 134-156. <https://doi.org/10.1002/joc.7739>
- ⁵⁵ Newman, R., & Noy, I. (2023). The global costs of extreme weather that are attributable to climate change. *Nature Communications*. 14, 6103. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41888-1>
- ⁵⁶ Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Tignor, M., Alegría, A., Craig, M., Langsdorf, S. Löschke, S., Möller, V., & Okem A. (2022). Summary for Policymakers. 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*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001. [Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability | Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability \(ipcc.ch\)](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wgii/)
- ⁵⁷ Ranasinghe, R., Ruane, A. C., Vautard, R., Arnell, N., Coppola, E., Cruz, F. A., Dessai, S., Islam, A. S., Rahimi, M., Ruiz Carrascal, D., Sillmann, J., Sylla, M. B., Tebaldi, C., Wang, W., & Zaaboul, R. (2021). Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1767–1926, doi: 10.1017/9781009157896.014. [Chapter 12: Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment | Climate Change 2021: The Physical Science Basis \(ipcc.ch\)](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/)
- ⁵⁸ European Environment Agency (EEA) (2023). Economic losses from weather- and climate-related extremes in Europe. [Economic losses from weather- and climate-related extremes in Europe \(europa.eu\)](https://www.eea.europa.eu/en/economic-losses-from-weather-and-climate-related-extremes-in-europe)
- ⁵⁹ Copernicus Climate Change Service (C3S) (2022). European State of the Climate 2021. Flooding in Europe. [Flooding in Europe | Copernicus](https://climate.copernicus.eu/flooding-in-europe)
- ⁶⁰ Consorcio de Compensación de Seguros (2025). Décima nota informativa sobre las inundaciones extraordinarias producidas por la dana del 26 de octubre al 4 de noviembre de 2024 en la Comunidad Valenciana, Andalucía, Cataluña, Castilla-la Mancha, Baleares, Aragón y otras zonas y la gestión de las indemnizaciones que corresponde asumir al Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) del Ministerio de Economía, Comercio y Empresa. [Décima nota informativa sobre las inundaciones extraordinarias producidas por la DANA del 26 de octubre al 4 de noviembre](https://www.consorseguros.es/medios/decima-nota-informativa-sobre-las-inundaciones-extraordinarias-producidas-por-la-dana-del-26-de-octubre-al-4-de-noviembre)
- ⁶¹ Stott, P., Stone, D. & Allen, M. (2004). Human contribution to the European heatwave of 2003. *Nature* 432, 610–614. <https://doi.org/10.1038/nature03089>
- ⁶² World Meteorological Organization (WMO) (2021). WMO Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970–2019). WMO-No. 1267. 978-92-63-11267-5. [WMO Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes \(1970–2019\)](https://www.wmo.int/es/publications/atlas-of-mortality-and-economic-losses-from-weather-climate-and-water-extremes-1970-2019)
- ⁶³ European Environment Agency (EEA) (2021). Europe's changing climate hazards — an index-based interactive EEA report. HTML - TH-AL-21-015-EN-Q- ISBN 978-92-9480-407-5 ISSN 1977-8449 - doi: 10.2800/458052. [Europe's changing climate hazards — an index-based interactive EEA report — European Environment Agency \(europa.eu\)](https://www.eea.europa.eu/en/europe-s-changing-climate-hazards-an-index-based-interactive-eea-report)
- ⁶⁴ European Environment Agency (EEA) (2021). Economic losses and fatalities from weather- and climate-related events in Europe. Briefing no. 21/2021. TH-AM-21-018-EN-N - ISBN: 978-92-9480-418-1 - ISSN: 2467-3196 - doi: 10.2800/530599. [Economic losses and fatalities from weather- and climate-related events in Europe — European Environment Agency \(europa.eu\)](https://www.eea.europa.eu/en/economic-losses-and-fatalities-from-weather-and-climate-related-events-in-europe)
- ⁶⁵ Consorcio de Compensación de Seguros (2023). Datos estadísticos de Riesgos Extraordinarios [Estadística \(consorseguros.es\)](https://www.consorseguros.es/estadistica)
- ⁶⁶ Diputación Foral de Bizkaia. (1984): Lluvias Torrenciales. Agosto-1983. Cuantificación de la Catástrofe.

-
- ⁶⁷ Consorcio de Compensación de Seguros (2023). 40 años de las inundaciones de 1983. [Conorsegueros: Revista Digital \(conorseguerosdigital.com\)](https://conorseguerosdigital.com)
- ⁶⁸ Egaña, J., Gaztelumendi, S., Pierna, D., Gelpi, I. R., Hernandez, R., & de Alda, K. O. (2009). Flash-floods and heavy rain over Bilbao: the first june 2008 case. EMS Annual Meeting 2009, Toulouse, France, 28 sep-02 Oct 2009, EMS2009-356.
- ⁶⁹ Ruíz, M., Egaña, J., Gaztelumendi, S., Maruri, M., & Gelpi, I. R. (2012). A case study of heavy and persistent rainfall. 7th European Conference on Severe on Radar in Meteorology and Hydrology, 4-7 Nov 2011. [RCS 332 ext abs \(meteo.fr\)](https://www.meteo.fr/RCS_332_ext_abs)
- ⁷⁰ Gaztelumendi, S. (2020). Caracterización de daños por embate de mar en las costas de Bizkaia y Gipuzkoa. Uhinak 2020. [RIM 27 1-1.pdf \(azti.es\)](https://azti.es/RIM_27_1-1.pdf)
- ⁷¹ Egaña, J. & Gaztelumendi, S. (2020). Caracterización océano-meteorológica de eventos adversos por riesgo marítimo-costero: impacto en costa en la CAV. Uhinak 2020. [RIM 27 1-1.pdf \(azti.es\)](https://azti.es/RIM_27_1-1.pdf)
- ⁷² Gaztelumendi, S., & Egaña, J. (2009). Klaus over Basque Country: Local characteristics and Euskalmet operational aspects. Proceedings of 5th ECSS, 255-256. <https://doi.org/10.13140/rq.2.2.34326.63045>
- ⁷³ Consorcio de Compensación de Seguros (2022). La tempestad Klaus [Conorsegueros: Revista Digital \(conorseguerosdigital.com\)](https://conorseguerosdigital.com)
- ⁷⁴ Gaztelumendi, S., Egaña, J., Gelpi, I. R., de Alda, K. O., Hernández, R., & Pierna, D. (2010). A severe wind storm affecting the Basque country: the Xhyntia case study. EMS Annual Meeting 2010 - 8th European Conference on Applied Climatology (ECAC), Zurich, Switzerland, 13–17 Sep 2010, EMS2010-559.
- ⁷⁵ Gaztelumendi, S., & Egaña, J. (2018). A study of a generalized snow event in Basque Country: the 28 February 2018 case. EMS Annual Meeting 2018, Budapest, Hungary, 3-7 Sep 2018, EMS2018-663. [EMS2019-395 SNOW vfin \(copernicus.org\)](https://copernicus.org/EMS2019-395_SNOW_vfin)
- ⁷⁶ Carmona, R., Diaz, J., Miron, I. J., Ortiz, C., León, I., & Linares, C. (2016). Geographical variation in relative risks associated with cold waves in Spain: the need for a cold wave prevention plan. Environment international, 88, 103-111. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.027>
- ⁷⁷ Carmona, R., Díaz, J., Mirón, I. J., Ortiz, C., Luna, M. Y., & Linares, C. (2016). Mortality attributable to extreme temperatures in Spain: A comparative analysis by city. Environment International, 91, 22-28. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.02.018> [Get rights and content](#)
- ⁷⁸ Martínez Navarro, F., Simón-Soria, F., & López-Abente, G. (2004). Valoración del impacto de la ola de calor del verano de 2003 sobre la mortalidad. Gaceta Sanitaria, 18, 250-258.
- ⁷⁹ World Meteorological Organization (WMO) (2023). WMO Greenhouse Gas Bulletin. No. 19 – 15 November 2023. The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2022. [No. 19 – 15 November 2023 \(wmo.int\)](https://www.wmo.int)
- ⁸⁰ Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) (2024). Informe sobre el estado del clima de España 2023. NIPO: 666-24-003-2. <https://doi.org/10.31978/666-24-003-2> [Informes sobre el estado del clima de España - Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España](#)
- ⁸¹ Forster, P., Storelvmo, T., Armour, K., Collins, W., Dufresne, J.-L., Frame, D., Lunt, D. J., Mauritsen, T., Palmer, M. D., Watanabe, M., Wild, M., & Zhang, H. (2021). The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 923–1054, <https://doi.org/10.1017/9781009157896.009>. [Chapter 7: The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks and Climate Sensitivity \(ipcc.ch\)](#)
- ⁸² Tian, H., Xu, R., Canadell, J. G., Thompson, R. L., Winiwarter, W., Suntharalingam, P., et al. (2020). A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks. Nature, 586(7828), 248-256. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2780-0>

-
- ⁸³ CarbonTracker (2022). National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Earth System Research Laboratories Global Monitoring Laboratory. CarbonTracker CT2022. [Global Monitoring Laboratory - Carbon Cycle Greenhouse Gases \(noaa.gov\)](https://ghgs.noaa.gov/)
- ⁸⁴ Our World in Data (2024). [Our World in Data](https://ourworldindata.org/)
- ⁸⁵ Ihobe (2024). Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Euskadi 2022. - [Publicaciones - Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Euskadi 2022 \(ihobe.eus\)](https://www.ihobe.eus/publicaciones/inventario-emisiones-gases-efecto-invernadero-euskadi-2022)
- ⁸⁶ Ihobe (2024). Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Euskadi 2023. Avance provisional de resultados. - [Publicaciones - Inventario de emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Euskadi 2023. Avance provisional de resultados \(ihobe.eus\)](https://www.ihobe.eus/publicaciones/inventario-emisiones-gases-efecto-invernadero-euskadi-2023-avance-provisional-resultados)
- ⁸⁷ Comisión Europea. El Pacto Verde Europeo. [El Pacto Verde Europeo - Comisión Europea \(europa.eu\)](https://european-council.europa.eu/media/e300042/es/images/stories/pdf/20200723_01.pdf)
- ⁸⁸ Gobierno Vasco, Departamento de Desarrollo económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente (2023). Proceso para la elaboración del Plan Territorial Sectorial de las Energías Renovables en Euskadi. [Proceso para la elaboración del Plan Territorial Sectorial de las Energías Renovables en Euskadi - Energía y minas - Euskadi.eus](https://www.euskadi.eus/publicaciones/proceso-elaboracion-plan-territorial-sectorial-energias-renovables-euskadi)
- ⁸⁹ LEY 1/2024, de 8 de febrero, de Transición Energética y Cambio Climático. Boletín Oficial del País Vasco, 38, de 21 de febrero de 2024. [LEY 1/2024, de 8 de febrero, de Transición Energética y Cambio Climático. - Legegunea: Normativa del País Vasco - Gobierno Vasco - Euskadi.eus](https://www.euskadi.eus/publicaciones/ley-1-2024-de-8-de-febrero-de-transicion-energetica-y-cambio-climatico)
- ⁹⁰ Red eléctrica (2024). Potencia instalada. [REData - Potencia instalada | Red Eléctrica \(ree.es\)](https://www.ree.es/).
- ⁹¹ Gobierno Vasco (2011) Impacto y Adaptación en la Comunidad Autónoma del País Vasco <https://www.euskadi.eus/documentacion/2011/cambio-climatico-impacto-y-adaptacion-en-la-comunidad-autonoma-del-pais-vasco/web01-a2ingkli/es/>
- ⁹² Ihobe (2023). Escenarios de cambio climático de alta resolución para el País Vasco bajo las rutas de concentración de gases de efecto invernadero: RCP 4,5 y 8,5 (2016-2023) <https://www.ihobe.eus/publicaciones/escenarios-cambio-climatico-alta-resolucion-para-pais-vasco-bajo-rutas-concentracion-gases-efecto-invernadero-rcp-4-5-y-8-5>
- ⁹³ Ihobe (2019). Evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de los municipios vascos ante el cambio climático. - [Publicaciones - Evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de los municipios vascos ante el cambio climático \(ihobe.eus\)](https://www.ihobe.eus/publicaciones/evaluacion-vulnerabilidad-riesgo-municipios-vascos-cambio-climatico)
- ⁹⁴ Ihobe (2022). Kostaegoki II. Orientaciones para la adaptación al cambio climático en la costa vasca. - [Publicaciones - Kostaegoki II. Orientaciones para la adaptación al cambio climático en la costa vasca \(ihobe.eus\)](https://www.ihobe.eus/publicaciones/kostaegoki-ii-orientaciones-adaptacion-cambio-climatico-costa-vasca)
- ⁹⁵ Ihobe (2017). 'Soluciones Naturales' para la adaptación al cambio climático en el ámbito local de la Comunidad Autónoma del País Vasco. - [Publicaciones - 'Soluciones Naturales' para la adaptación al cambio climático en el ámbito local de la Comunidad Autónoma del País Vasco \(ihobe.eus\)](https://www.ihobe.eus/publicaciones/soluciones-naturales-adaptacion-cambio-climatico-ambito-local-comunidad-autonoma-pais-vasco)
- ⁹⁶ Ihobe (2017)- Soluciones naturales. Selección de buenas prácticas en la CAPV <https://www.ihobe.eus/publicaciones/soluciones-naturales-seleccion-buenas-practicas-capv>
- ⁹⁷ Ihobe (2024)-Soluciones Basadas en la Naturaleza en Euskadi. 20 casos de éxito para adaptarse al cambio climático aplicando NBS - [https://www.ihobe.eus/publicaciones/soluciones-basadas-naturaleza-en-euskadi-20-casos-exito-para-adaptarse-al-cambio-climatico-aplicando-nbs](https://www.ihobe.eus/publicaciones/soluciones-basadas-naturaleza-euskadi-20-casos-exito-adaptarse-cambio-climatico-aplicando-nbs)
- ⁹⁸ Ihobe (2019). Guía para la elaboración de planes de adaptación al cambio climático para organizaciones. - [Publicaciones - Guía para la elaboración de planes de adaptación al cambio climático para organizaciones \(ihobe.eus\)](https://www.ihobe.eus/publicaciones/guia-elaboracion-planes-adaptacion-cambio-climatico-organizaciones)
- ⁹⁹ Ihobe (2021). Guía para la elaboración de planes locales de clima y energía de Euskadi. - [Publicaciones - Guía para la elaboración de planes locales de clima y energía de Euskadi \(ihobe.eus\)](https://www.ihobe.eus/publicaciones/guia-elaboracion-planes-locales-clima-energia-euskadi)
- ¹⁰⁰ Naturklima (2022). Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa 2022. [NATURKLIMA: Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa 2022](https://naturklima.gipuzkoa.eus/)

-
- ¹⁰¹ Diputación Foral de Bizkaia (2022). Diagnóstico avanzado de cambio climático en Bizkaia. [El Cambio Climático en Bizkaia - Bizkaia.eus](#)
- ¹⁰² Naturklima (2022). Informe marino-costero. [NATURKLIMA: Informe marino-costero](#)
- ¹⁰³ [LEY 9/2021, de 25 de noviembre, de conservación del patrimonio natural de Euskadi. - Legegunea: Normativa del País Vasco - Gobierno Vasco - Euskadi.eus](#)
- ¹⁰⁴ Gobierno Vasco. Medio Ambiente (2021). Espacios naturales protegidos de la Red Natura 2000. [Sistema de Información de la Naturaleza de Euskadi](#)
- ¹⁰⁵ Ihobe (2002). Herramienta para el análisis de los planes de gestión de la Red Natura 2000 desde la perspectiva climática. [Publicaciones - Herramienta para el análisis de los planes de gestión de la Red Natura 2000 desde la perspectiva climática \(ihobe.eus\)](#)
- ¹⁰⁶ Ihobe (2022). Medidas de adaptación al cambio climático para especies de anfibios de Euskadi. [Publicaciones - Medidas de adaptación al cambio climático para especies de anfibios de Euskadi \(ihobe.eus\)](#)
- ¹⁰⁷ Ihobe (2022). Medidas de adaptación al cambio climático de insectos polinizadores en Euskadi. [Publicaciones - Medidas de adaptación al cambio climático de insectos polinizadores en Euskadi \(ihobe.eus\)](#)
- ¹⁰⁸ Ihobe (2022). Incorporación del cambio climático en la planificación y gestión de los espacios naturales protegidos de la CAPV. [Publicaciones - Incorporación del cambio climático en la planificación y gestión de los espacios naturales protegidos de la CAPV \(ihobe.eus\)](#)
- ¹⁰⁹ Ihobe (2022). Análisis de riesgo climático de los hábitats terrestres de Euskadi. Resultados. [Publicaciones - Análisis de riesgo climático de los hábitats terrestres de Euskadi. Resultados \(ihobe.eus\)](#)
- ¹¹⁰ Ihobe (2022). Análisis bioclimático de Euskadi en escenarios de cambio climático. [Publicaciones - Análisis bioclimático de Euskadi en escenarios de cambio climático \(ihobe.eus\)](#)
- ¹¹¹ Ihobe (2022). Herramienta para la clasificación bioclimática de la CAPV. Guía de uso. [Publicaciones - Herramienta para la clasificación bioclimática de la CAPV. Guía de uso \(ihobe.eus\)](#)
- ¹¹² Ihobe (2018). Calculadora CO₂ equivalente para la ciudadanía. [Temas ambientales - Calculadora CO2 equivalente para la ciudadanía \(ihobe.eus\)](#)
- ¹¹³ Ihobe (2018). 52 gestos frente al cambio climático. [Temas ambientales - 52 gestos \(ihobe.eus\)](#)
- ¹¹⁴ Ihobe (2018). 52 gestos frente al cambio climático. [Publicaciones - 52 gestos frente al cambio climático \(ihobe.eus\)](#)
- ¹¹⁵ Ihobe (2023). Climate&Circularity Calculator. [Ihobe - Climate&Circularity Calculator](#)
- ¹¹⁶ Udalsarea 2030. Red vasca de municipios sostenibles. [Udalsarea 2030: Red vasca de municipios sostenibles - Inicio](#)
- ¹¹⁷ Gobierno Vasco, Departamento de Desarrollo económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente. Proyectos KLIMATEK de Adaptación al Cambio Climático. [Proyectos KLIMATEK de Adaptación al Cambio Climático - Cambio climático - Euskadi.eus](#)
- ¹¹⁸ Proyecto LIFE integrado Urban Klima 2050. [Urban Klima 2050](#)
- ¹¹⁹ Regions4Climate. [Regions4Climate | Building resilient communities](#)
- ¹²⁰ Theil, H. (1950). A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis (parts 1-3). In Ned. Akad. Wetensch. Proc. Ser. A (Vol. 53, pp. 1397-1412).
- ¹²¹ Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. Journal of the American Statistical Association, 63(324), 1379–1389. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
- ¹²² Hussain, M. & Mahmud, I. (2019). pyMannKendall: a python package for non parametric Mann Kendall family of trend tests. Journal of Open Source Software, 4(39), 1556. <https://doi.org/10.21105/joss.01556>
- ¹²³ Schulzweida, U. (2022). CDO User Guide, Max Planck Institute for Meteorology, Hamburg, Germany, <https://doi.org/10.5281/zenodo.7112925>. - [Vistazo - CDO - Project Management Service \(mpg.de\)](#)
- ¹²⁴ Domonkos, P. ACMANTv4: Scientific Content and Operation of the Software; 2020, 71p. Available online: https://github.com/dpeterfree/ACMANT/blob/ACMANTv4.4/ACMANTv4_description.pdf



1860

1890

1920

1950

1980

2010