



Recursos Hídricos

2023

Informe de Impacto
y Vulnerabilidad al

Cambio Climático en Gipuzkoa

Gipuzkoako
Foru Aldundia
Jasangarritasun
Departamentua



Diputación Foral
de Gipuzkoa
Departamento de
Sostenibilidad



Naturklima
Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa



Recursos Hídricos

2023

Informe de Impacto
y Vulnerabilidad al
Cambio Climático
en **Gipuzkoa**

**Gipuzkoako
Foru Aldundia**
Jasangarritasun
Departamentua



Diputación Foral
de Gipuzkoa
Departamento de
Sostenibilidad



Naturklima
Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa

ÍNDICE

Introducción.....	8
-------------------	---

Parte I

El clima desde la escala global a la local en 2022.....	11
--	-----------

1. Introducción.....	13
2. Contexto Global.....	15
3. Gipuzkoa en 2022.....	27

Parte II

Análisis de los efectos del cambio climático en los recursos hídricos de Gipuzkoa.....	43
---	-----------

1. Introducción.....	44
2. Cuencas hidrográficas guipuzcoanas.....	47
3. Evolución histórica de los recursos hídricos.....	63
4. Impactos del cambio climático en los recursos hídricos.....	79
5. Impactos en el estado de las masas de agua.....	99
6. Usos y demandas de agua actuales y su evolución a corto plazo.....	111
7. Riesgos en la disponibilidad de recursos hídricos: escasez de agua.....	122
8. Conclusiones.....	133

Anexos.....	139
--------------------	------------

ANEXO I

Indicadores de seguimiento de los impactos del cambio climático en Gipuzkoa.....	140
--	-----

ANEXO II

Tendencias estacionales observadas en las variables meteorológicas.....	148
---	-----

ANEXO III

Tendencias mensuales del caudal.....	150
--------------------------------------	-----

Glosario.....	152
---------------	-----

Referencias.....	156
------------------	-----



Naturklima

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

Gipuzkoako
Foru Aldundia
Jasangarritasun
Departamentua



Diputación Foral
de Gipuzkoa
Departamento de
Sostenibilidad

/G

Informe de Impacto
y Vulnerabilidad al
Cambio Climático
en Gipuzkoa



**José Ignacio
Asensio Bazterra**

Presidente de Naturklima
y diputado de Sostenibilidad

«El agua es la fuerza motriz de toda la naturaleza»

Leonardo Da Vinci

El agua es un aspecto fundamental para la vida en la Tierra. Supone el 65% de nuestro cuerpo y el acceso en cantidades suficientes y de calidad adecuada de agua dulce es trascendental para la salud humana. De hecho, la falta de acceso al agua potable y de sistemas de saneamiento adecuados es uno de los grandes problemas para la salud en el mundo. Además, el agua dulce es un recurso esencial para los ecosistemas y un recurso fundamental para la mayoría de los sistemas socioeconómicos.

Como bien sabemos, el cambio climático está aquí, y sus efectos los estamos constatando en el presente, en nuestros ecosistemas locales. Los expertos internacionales nos están advirtiendo de que los cambios recientes en el clima son generalizados, rápidos y cada vez más intensos, y no tienen precedentes en miles de años. Y a medida que el planeta se calienta, el agua y los recursos hídricos se han convertido en una de las consecuencias más sustanciales del cambio climático.

Gipuzkoa es un territorio estrechamente ligado al agua. Los principales núcleos urbanos y las actividades económicas están ligadas a los ríos y al agua dulce. Se trata de un territorio en el que en general, el agua es considerada un recurso abundante, debido al elevado número de días de precipitación a lo largo del año. Sin embargo, rompiendo la trayectoria de años que han sido especialmente húmedos, desde finales de 2019 las precipitaciones se han visto reducidas, siendo especialmente seco el verano y otoño del año 2022. Esta variabilidad en las precipitaciones, y los fenómenos extremos como las sequías o las inundaciones, nos proyectan escenarios en el que la gestión de los recursos hídricos adopta especial relevancia cara a los años venideros.

Las observaciones del sistema climático son, por tanto, fundamentales para comprender la variabilidad y los cambios que se están produciendo en nuestros recursos hídricos y disponer de información

actualizada y fehaciente para poder fortalecer las acciones de adaptación y mitigación necesarias para tratar de reducir el estrés hídrico.

Ese es precisamente la labor de la Fundación guipuzcoana de lucha contra el cambio climático, Naturklima, primera fundación que opera a nivel territorial con el objetivo de analizar el calentamiento global y valorar su impacto en la sociedad.

Naturklima analiza todos los años, a través de su observatorio, los principales indicadores que nos permiten seguir la evolución de los efectos causados por el cambio climático y realizar proyecciones de futuro. El presente informe, que tiene como objeto el seguimiento y monitorización de los recursos hídricos y de las masas de agua de Gipuzkoa, es el cuarto informe que emite la Fundación guipuzcoana.

Las proyecciones realizadas en base al seguimiento de los indicadores, nos proyectan escenarios climáticos donde se perciben ligeras alteraciones en los índices que miden los recursos hídricos, pero no se prevén riesgos sustanciales en la escasez de agua. Sin embargo, si se advierte de que los descensos en las precipitaciones y el aumento de temperaturas nos llevan a tendencias decrecientes en la humedad del suelo y en la recarga anual de los acuíferos, lo que podría influir en las características físicas y químicas del agua, influyendo evidentemente en su calidad y generando alteraciones graves en los ecosistemas acuáticos.

El conocimiento es la base de todo cambio, y por ello, nuestro objetivo es disponer de la mayoría de información disponible para mantener e incrementar los niveles de bienestar de nuestra ciudadanía en una sociedad dirigida a alcanzar la neutralidad climática y respetuosa con el medio ambiente. Es imprescindible conocer lo que nos puede ocurrir para poder anticiparnos y mejorar nuestra capacidad de adaptación y contribuir al mismo tiempo a frenar la crisis climática.


Introducción

A close-up photograph of a hand holding a single, clear water droplet between the tips of two fingers. The droplet is suspended just above a small, vibrant green seedling with two leaves, which is growing out of dark, rich soil. The background is a soft, out-of-focus green, suggesting a natural, outdoor setting. The lighting is soft and focused on the hand and the seedling, creating a sense of care and nurturing.

/G

Informe de Impacto
y Vulnerabilidad al

**Cambio Climático
en Gipuzkoa**



El clima está cambiando en todos los rincones del planeta a una escala no vista en miles y hasta cientos de miles de años como consecuencia de la actividad humana, constituyendo uno de los mayores desafíos del siglo XXI.

Estos cambios que afectan a todos los sistemas climáticos en todas las regiones, se están manifestando en ciertas variables como el aumento de la temperatura global, la subida del nivel del mar y la acidificación de los océanos, cambio en el régimen de precipitaciones, la pérdida de la biodiversidad o a través de la intensificación de los eventos climáticos extremos como las olas de calor, episodios de precipitación muy intensa, inundaciones o sequías. Estos cambios provocan ya impactos crecientes negativos sobre los ecosistemas naturales y socioeconómicos (IPCC, 2023).

Los peligros climáticos a los que nos enfrentaremos están estrechamente relacionados con el nivel de calentamiento global que se alcance debido a las emisiones de gases de efecto invernadero. El Informe sobre la Brecha de Emisiones publicado en 2022¹, indica que la no adopción de nuevas políticas a las existentes, conllevaría un aumento de la temperatura global de 2,8 °C para finales del siglo, incremento este muy superior a los objetivos marcados en el Acuerdo de París. Limitar el calentamiento a 1,5 °C requiere reducir drásticamente en un 45% las emisiones en un plazo de ocho años bajo la actual senda de crecimiento. Por lo tanto, se requieren acciones a muy corto plazo que limiten el calentamiento y con ello los cambios en los sistemas climáticos. Esto limitaría los riesgos, incluidos los riesgos compuestos, las interdependencias y los efectos en cascada entre sistemas, y las pérdidas y daños en ecosistemas y sistemas humanos proyectados, en comparación con los niveles de calentamiento más elevados. A pesar de alcanzar estos objetivos, no obstante, no se podrán evitar algunos de los múltiples riesgos existentes.

Los impactos negativos proyectados en escenarios de cambio climático, además del nivel de calentamiento, también dependen fuertemente de las trayectorias socioeconómicas y de las acciones locales de adaptación adoptadas para reducir la vulnerabilidad y exposición (IPCC, 2023). Anticiparse a los impactos previsibles, identificando y analizando el nivel de exposición y vulnerabilidad de las actividades socioeconómica y los ecosistemas es el primer paso para adoptar las medidas que disminuyan tal exposición y vulnerabilidad. Para ello, los análisis de vulnerabilidad y riesgos a escalas regionales y locales son una herramienta esencial.

En este contexto es objetivo del Observatorio de la Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa, Naturklima, proporcionar información detallada y objetiva que explique los cambios observados y permita proyectar los cambios de las variables climáticas, así como los impactos de estos cambios en el T.H. de Gipuzkoa.

Este Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático – Recursos hídricos constituye el cuarto de una serie de informes anuales por la Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa, Naturklima. Estos informes pretenden ser una herramienta de información para la toma de decisiones en la planificación de medidas de adaptación, contribuyendo con todo ello a la mejora de la resiliencia del territorio de acuerdo con los objetivos definidos en la Estrategia Guipuzcoana de Lucha Contra el Cambio Climático ‘Gipuzkoa Klima 2050’.

El informe se estructura en dos bloques principales. En el primer bloque (Bloque I. El clima desde lo global a lo local en 2022) se realiza el seguimiento de los cambios en las variables esenciales del clima a nivel global y de manera específica en Gipuzkoa. En esta labor de seguimiento y monitorización de indicadores climáticos se analizan también variables ambientales, económicas y sociales que permiten evaluar el impacto, la exposición, vulnerabilidad y adaptación del territorio. En el segundo bloque (Bloque II. Análisis de los efectos del cambio climático en los recursos hídricos) se analizan en detalle los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos del territorio. Estos recursos hídricos incluyen las masas de agua dulce (superficiales y subterráneas). No se ha centrado el análisis en las zonas de transición y estuarios. Dicha información se recoge en los informes del Observatorio Marino-Costero de Naturklima.

Numerosos informes internacionales como nacionales y regionales sobre cambio climático indican que el cambio climático está produciendo alteraciones sobre el ciclo hidrológico. Estos cambios provocan a su vez impactos sobre los ecosistemas fluviales y también en la disponibilidad de los recursos hídricos, cada vez más escasos por la presión antrópica y a una mayor ocurrencia de fenómenos extremos (olas de calor, inundaciones, etc.) y períodos de sequía más prolongados. Dada la importancia vital de este recurso, elemento central tanto para el sustento de la vida como para la mayoría de sectores socioeconómicos, es necesario fortalecer las acciones de adaptación y mitigación que, a su vez, contribuirán a reducir los riesgos hídricos.

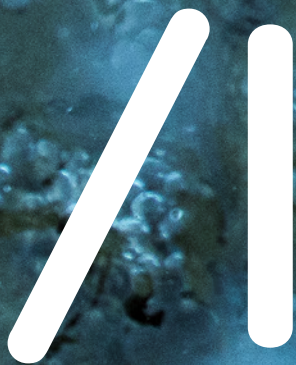
¹ United Nations Environment Programme (2022). Emissions Gap Report 2022: The Closing Window - Climate crisis calls for rapid transformation of societies.



/G

Informe de Impacto
y Vulnerabilidad al

Cambio Climático
en Gipuzkoa



El clima desde la escala global a la local en 2022

Gipuzkoako
Foru Aldundia
Jasangarritasun
Departamentua



Diputación Foral
de Gipuzkoa
Departamento de
Sostenibilidad



Naturklima
Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa

“ Los recientes cambios en el clima –sin precedentes en miles de años– son generalizados, rápidos y se están intensificando (IPPC-6AR, 2021)” ”

TEMPERATURA

- La temperatura media anual de Gipuzkoa presenta una tendencia positiva desde el año 1971. La última década ha sido la más cálida en lo que llevamos de siglo XXI.
- En 2022, la temperatura media anual registrada en las estaciones meteorológicas del territorio fue de 14,5 °C, aproximadamente 1,0 °C por encima de la temperatura media del periodo de referencia 1981-2010. Probablemente sea el año más caluroso registrado en el territorio.
- Entre los ocho años más cálidos registrados en Gipuzkoa, 5 se han registrado desde 2011 (2022, 2020, 2014, 2011, 2015).
- La última década (2013-2022) en Gipuzkoa ha sido de media 0,6 °C más cálida que el periodo 1981-2010.

PRECIPITACIÓN

- Durante la última década (2013-2022) la precipitación anual acumulada en Gipuzkoa se ha incrementado un +1,8% con respecto al periodo 1981-2010. Sin embargo, los registros históricos de más largo plazo no muestran tendencias significativas.
- 2022 se caracterizó por ser un año seco. Ningún mes mostró un carácter realmente húmedo en el territorio salvo en las comarcas litorales donde los valores de precipitación se acercaron a los valores normales. La precipitación acumulada en el conjunto del territorio fue un -24,5% menor con respecto al periodo 1981-2010.
- Los datos pluviométricos históricos indican que la frecuencia y la intensidad de eventos de precipitación intensa están aumentando en Gipuzkoa.

OCÉANO

- El nivel del mar en el golfo de Vizcaya presenta una tasa de ascenso de entre 0,99 y 3,7 cm década⁻¹ (en promedio de 2,5 cm por década) desde los años 90.
- Este ascenso observado en la costa y mar del golfo de Vizcaya es consistente con el ascenso a nivel global.
- El ascenso del nivel del mar en nuestra zona se está acelerando en las últimas tres décadas respecto al ascenso medio en el siglo XX.
- En el golfo de Vizcaya y la costa guipuzcoana se aprecia un calentamiento del mar a partir de 1980. Concretamente, las tasas de calentamiento observadas oscilan entre 0,13 °C y 0,25°C, en función de la localización y la profundidad.

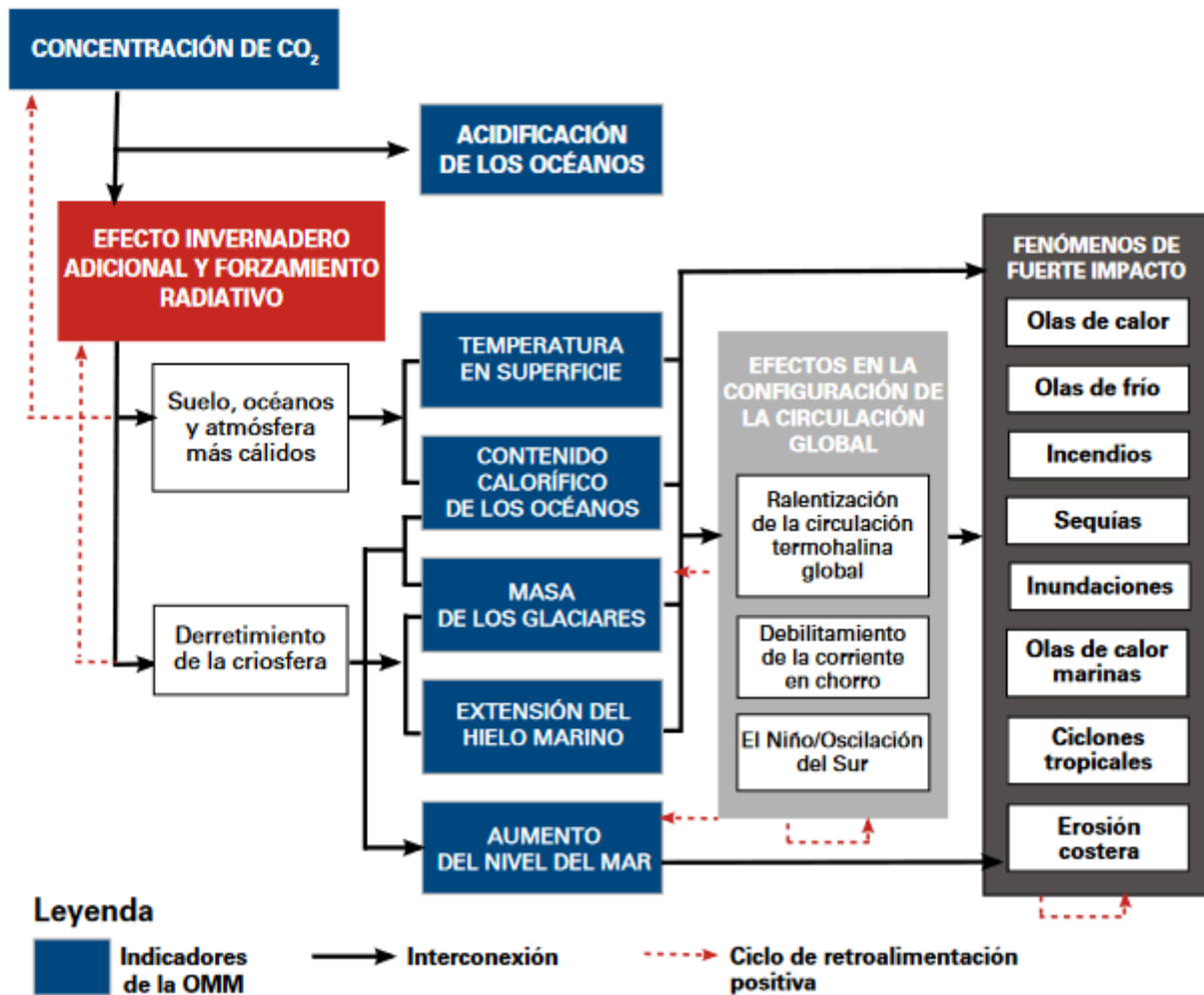


1. INTRODUCCIÓN

Este informe ofrece un breve resumen del clima a lo largo del año 2022 junto con el contexto histórico de una serie de variables climáticas esenciales. Se presentan variaciones y tendencias basadas en los conjuntos de observaciones más actualizados a escala global y a escala del T.H. de Gipuzkoa.

Las observaciones del sistema climático están evidenciando cambios sin precedentes en miles de años en el clima de la Tierra. El principal indicador del cambio

climático es el calentamiento a nivel global como consecuencia directa del exceso de calor que atrapan los gases de efecto invernadero acumulados en la atmósfera que, año tras año, continúan incrementándose. Sin embargo, las evidencias del cambio climático no se basan únicamente en la observación del incremento de la temperatura media global, sino también en una amplia gama de indicadores de todos los componentes del sistema climático que también están cambiando rápidamente, en muchos casos a niveles no observados en milenios.



1. Fig. Principales indicadores climáticos e interconexiones con los efectos y fenómenos climáticos. Fuente: Organización Meteorológica Mundial (2021).

Las observaciones del sistema climático son, por tanto, fundamentales para comprender la variabilidad y los cambios que se están produciendo. Para entender estos cambios, a partir de las observaciones del sistema climático, se han definido diferentes indicadores globales con el objetivo de proporcionar una visión del estado del clima a escala global. Es decir, proporcionan información que permite monitorizar los principales cambios observados en el sistema climático, como los cambios en la composición de la atmósfera, cambios en la temperatura y energía como consecuencia directa del incremento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, así como la respuesta a estos cambios en los océanos, en el sistema hídrico o en la criosfera.

Este primer bloque presenta estadísticas resumidas para el año 2022 y estas se comparan con la década más reciente (2013–2022) y el periodo de referencia anterior de 30 años (1981–2010). No se ha utilizado el periodo de referencia de 30 años más reciente (1991–2020), ya que la climatología disponible para Gipuzkoa alcanza hasta el año 2016¹. La década 2013–2022 no es un periodo de referencia estándar, pero proporciona información instantánea de 10 años del clima más reciente y como se compara con los registros históricos. Esto significa que las diferencias entre 2013 y 2022 y los periodos de referencia de 30 años pueden reflejar variaciones decadales de corto plazo, así como las tendencias a largo plazo.

El análisis de tendencias y variaciones en Gipuzkoa se basa en los escenarios climáticos regionalizados para la CAPV, series de datos elaborados por Neiker, Grupo de

Meteorología de Santander (Universidad de Cantabria) y Predictia, para Ihobe-Gobierno Vasco, con financiación de los programas: KLIMATEK I+B+G del Gobierno Vasco (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático: “ESCENARIOS” y “ESCENARIOS II”) y LIFE de la Unión Europea (LIFE18 IPC/ES/000001, “LIFE-IP URBAN KLIMA 2050”). Estos se acompañan con datos de los observatorios meteorológicos de Igueldo y Hondarribia-Malkarroi, ya que, ambos proporcionan largas series temporales, de más de 30 años, comenzando en 1929 y 1956, respectivamente. Para el seguimiento de los indicadores anuales de los últimos 15 años se considera también la red de estaciones meteorológicas de la CAPV que utiliza la Agencia Vasca de Meteorología – Euskalmet.

Se incluye también un breve resumen de los principales cambios observados en la temperatura del agua y nivel medio del mar en el golfo de Vizcaya. Un análisis más detallado de estas variables, junto con los cambios observados en el resto de los indicadores de cambio climático e impacto en la costa se publican en el ‘Informe de Seguimiento y Análisis de Indicadores físicoquímicos y biológicos del cambio climático en el litoral de Gipuzkoa’.

Por último, en el Anexo I se incluye una actualización de los indicadores del cuadro de mando utilizado para la monitorización, seguimiento y evaluación de la situación y evolución de los efectos del cambio climático en Gipuzkoa, así como el efecto de las medidas de adaptación implementadas. Se incluye la serie histórica disponible para el periodo 2010–2022.

1 En próximos informes se tratará de actualizar y analizar los datos respecto a este nuevo periodo de referencia 1991–2020.



2. CONTEXTO GLOBAL

2.1. GASES DE EFECTO INVERNADERO

Desde el principio de la Revolución Industrial, la concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de origen antropogénico en la atmósfera ha ido incrementándose año tras año. Esta acumulación constante ha provocado desequilibrios en el balance energético de la capa superior de la atmósfera contribuyendo a un forzamiento radiativo positivo y, por tanto, al calentamiento observado (Zeng et al., 2015; Turner et al., 2019; Matthews y Wynes, 2022).

Los GEIs presentes en la atmósfera atrapan la radiación infrarroja impidiendo que esta se disipe al espacio.

Posteriormente, parte de esta radiación es emitida nuevamente desde la atmósfera en todas las direcciones hacia la superficie, provocando este calentamiento. Este efecto, conocido como 'efecto invernadero', es vital para la vida en la Tierra. Sin embargo, la emisión continuada de estos GEI iniciada durante la Revolución Industrial ha provocado un calentamiento acelerado de la Tierra. Los principales GEI son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃).

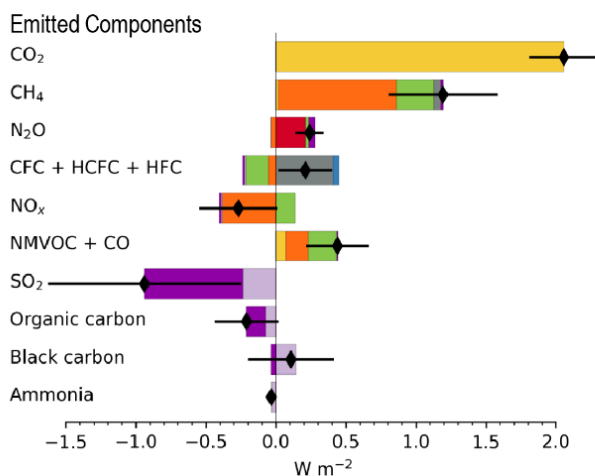


Los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera son tan elevados que apenas podremos limitar el calentamiento a 1,5 °C, el objetivo menos ambicioso del Acuerdo de París.

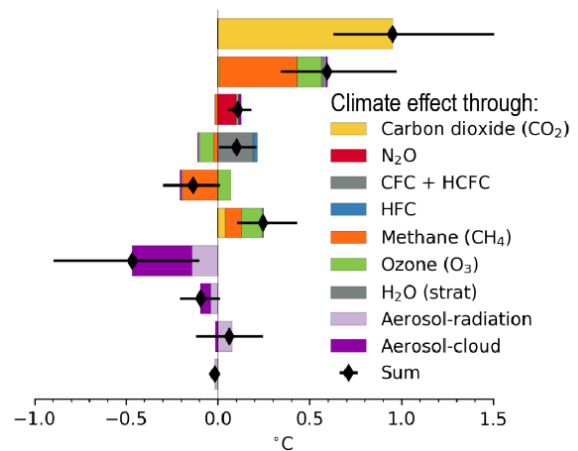
(Prof. Petteri Taalas, secretario general de la OMM)



(a) Effective radiative forcing
1750 to 2019



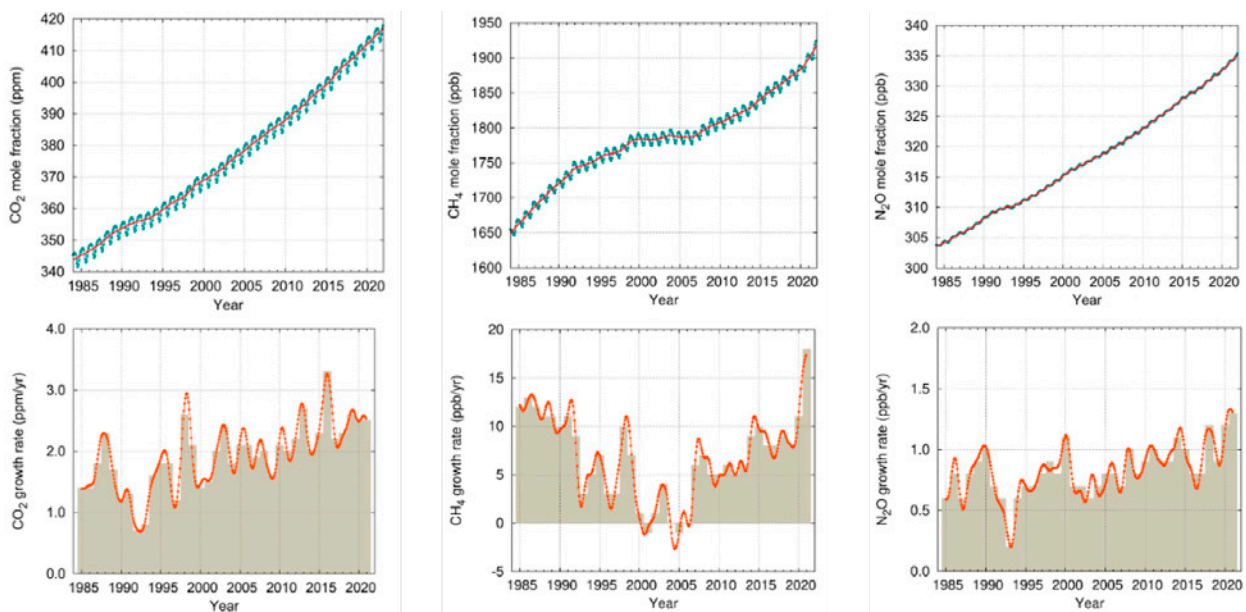
(b) Change in global surface temperature
1750 to 2019



2. Fig. Contribuciones al calentamiento observado en el periodo 2010–2019 en relación con 1850–1900 al (a) Forzamiento Radiativo Efectivo (FRE) y (b) al calentamiento global observado sobre la temperatura media. Fuente: IPCC-AR6 (2021).

La concentración atmosférica de CO₂ refleja un equilibrio entre las emisiones ligadas a las actividades humanas, fuentes naturales y los sumideros en la biosfera y océano. La concentración atmosférica media anual de CO₂ se ha incrementado un 150% desde la era preindustrial. Los datos en tiempo casi-real indican que las emisiones globales de CO₂ en 2022 crecieron un 1,0% con respecto a 2021, alcanzándose un nuevo récord de 36,6 billones de toneladas de CO₂ (GtCO₂) (Friedlingstein et al., 2022). Estos incrementos continuados en las emisiones se traducen

en incrementos de la concentración atmosférica de CO₂ que alcanzó en 2022 un nuevo máximo, 417 ± 0,2 ppm (+2,1 ± 0,4 ppm con respecto a 2021) (Copernicus Climate Change Service, 2022). Además, durante el mes de abril de 2022 se alcanzó un nuevo máximo histórico de la concentración diaria de CO₂ (422,06 ppm) en el observatorio de referencia de Mauna Loa en Hawái. La tasa de incremento anual fue ligeramente menor a la de 2021 respecto a 2020 e inferior al promedio de 2,4 ppm por año observado desde el año 2010.



3. Fig. (arriba) Concentración media mundial de CO₂, CH₄ y N₂O. La línea roja indica los valores medios mensuales, con la variación estacional eliminada, los puntos y la línea azul indican los valores medios mensuales. (abajo) La tasa de crecimiento correspondiente a cada uno de los gases para el periodo 1984–2021. El área sombreada muestra los valores medios anuales. Fuente: modificada de The State of Greenhouse gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2022. Fuente: WMO greenhouse gas bulletin.

La concentración atmosférica de otros GEI principales también continúa incrementándose, alcanzándose nuevos máximos históricos en 2022 como en el caso del CH₄ (1894 ± 2,0 ppb, +11,8 ppb con respecto 2021) y el N₂O (335,6 ± 0,1 ppb, +1,24 ppb con respecto 2021). Las emisiones del N₂O han ido aumentando a un ritmo de 1,01 ppb

año⁻¹, lo que equivale a un incremento del 124% con respecto a la era preindustrial (270,1 ppb). Con respecto al CH₄, su incremento total ha sido del 262% en comparación con la concentración estimada para la era preindustrial (729,2 ppb).

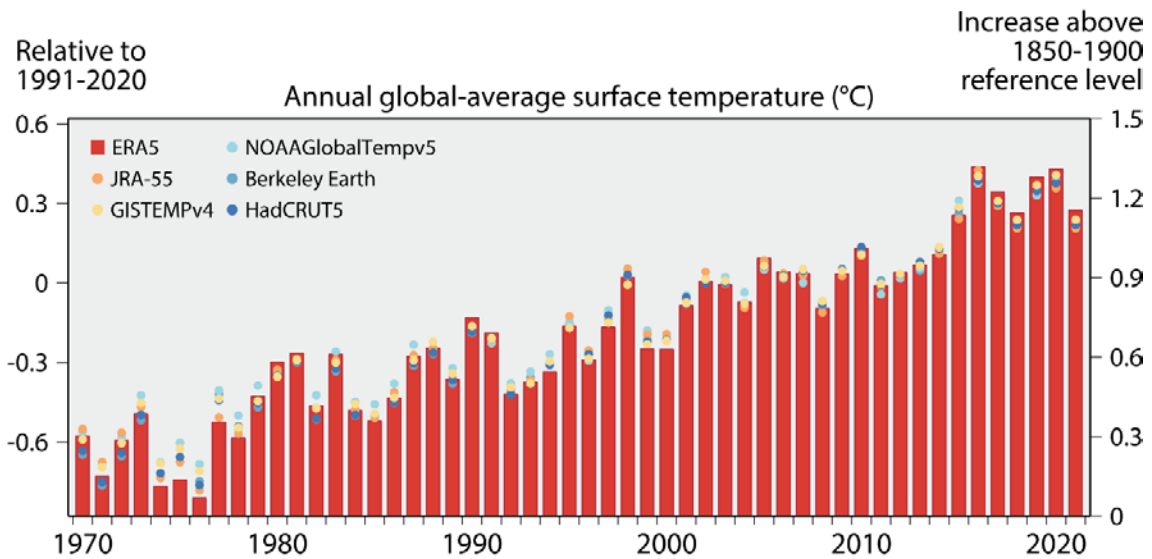


2.2. TEMPERATURA

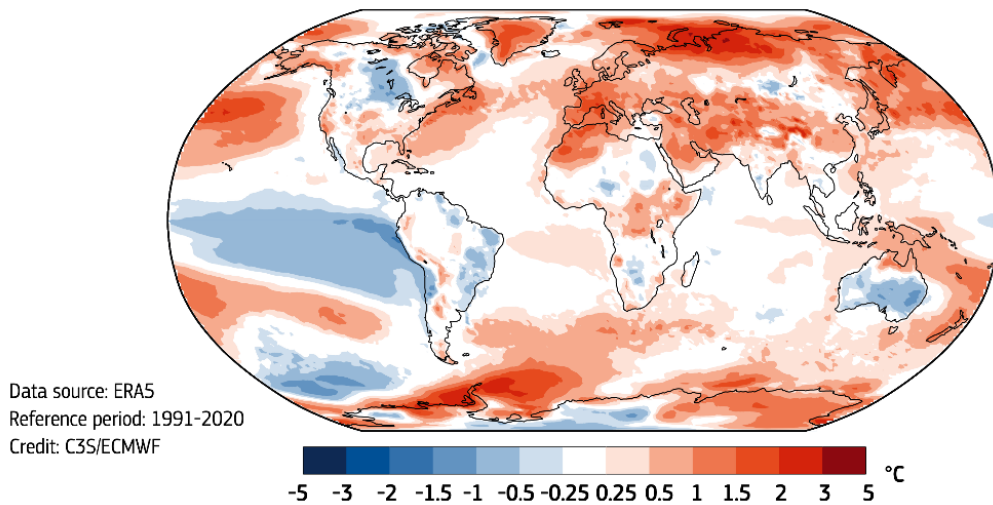
Las tendencias en la temperatura global son un indicador importante de la magnitud del cambio climático y sus posibles impactos. La temperatura superficial global presenta una tendencia creciente desde finales del siglo XIX, acelerándose significativamente durante la última década. Así, desde 2012, se observa un fuerte calentamiento, siendo probablemente el periodo de ocho años entre 2015–2022 el periodo de ocho años más caluroso en el registro instrumental (C3S, 2023). Para la década 2011–2020, la anomalía de temperatura respecto al periodo preindustrial se estima en 1,09 [0,95–1,20] °C. Para la década 2013–2022 la anomalía estimada es de 1,14 [1,02–1,27] °C, lo que indica la continuidad del calentamiento.

A nivel global se estima que la temperatura en 2022 se sitúa en 1,15 °C [1,02 a 1,28] °C en relación con el periodo

1850–1900. Se estima que 2022 fue el quinto o sexto año más caluroso con una temperatura media de +0,49 °C respecto al periodo de referencia 1981–2010, pero solo ligeramente más cálido que los años 2015, 2018 y 2021. Los últimos ocho años han sido los más cálidos registrados, siendo 2022 uno de los años menos cálidos entre ellos. Las temperaturas medias de los dos últimos años, 2021 y 2022, inferiores a las de años precedentes, muestran el efecto de enfriamiento de ‘La Niña’. Este fenómeno tiene un efecto de enfriamiento temporal sobre la temperatura global, que es más intenso al año siguiente a la ocurrencia del propio evento. Sin embargo, tanto 2022 como 2021 fueron más cálidos que 2011, el último año precedente con un evento significativo de La Niña. Si no se consideran los efectos del ‘El Niño’ y ‘La Niña’ sobre el registro de temperatura, los análisis indican que 2022 podría ser en dicho caso el segundo año más cálido de la historia, por detrás de 2020 (Hausfather en Ajasa& Ahmed, 2023).



4. Fig. Promedios anuales del aumento estimado de la temperatura superficial global con respecto a los periodos de referencia de 1991–2020 (eje izquierdo) y 1850–1900 (eje derecho) de acuerdo con seis conjuntos de datos diferentes. Fuente: C3S/ECMWF (2023).



5. Fig. Anomalía de la temperatura promedio global del aire (2 m) en 2022 con respecto al periodo 1991-2020. Fuente: C3S (2023).

GLOBAL	NASA-GISS (°C)	HadCRUT4 (°C)	NOAA-Global Temp (°C)	ERA5 (°C)	JRA-55 (°C)
SUPERFICIE TERRESTRE	+0,40	+0,32 ± 0,11	+0,41 ± 0,14	+0,41	+0,33
SUPERFICIE OCEÁNICA	+0,14	+0,19 ± 0,06	+0,15 ± 0,16	+0,22	+0,16
SUPERFICIE (PROMEDIO)	+0,24 ± 0,05	+0,22 ± 0,03	+0,22 ± 0,15	+0,28	+0,21

1. Tabla. Anomalía en el promedio de la temperatura (°C) e incertidumbre (I.C. 95%) en 2021 en la superficie terrestre, oceánica y combinada relativa al periodo 1981-2010. Fuente: Blunden & Boyer (2022).

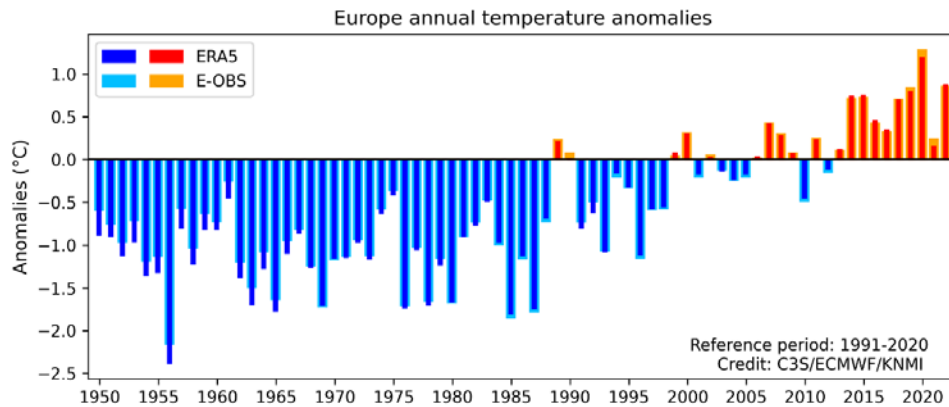
“ Las olas de calor de mayor intensidad, las lluvias más fuertes y otros fenómenos meteorológicos extremos exacerbaban los riesgos para la salud humana y los ecosistemas.

(Documento de síntesis IPPC-6AR, 2022)

”

El incremento de temperatura en Europa en las últimas décadas está siendo mucho más intenso que en cualquier otro continente (EEA, 2023). La temperatura media anual ha aumentado a una velocidad promedio de 0,15 °C por década desde 1910, valor este que se ha triplicado a 0,46 °C por década desde 1981 (NOAA, 2023). El año 2022 en su conjunto se clasifica como el segundo año más cálido en Europa, solamente por detrás de 2020, con una

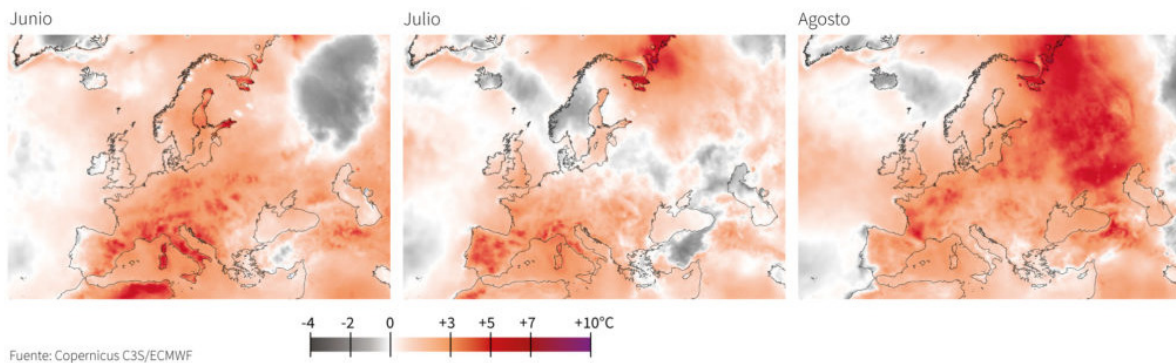
anomalía promedio de +1,32 °C con respecto al periodo 1981-2010, ligeramente más cálido que los años 2014, 2015 y 2019. En 2022, las temperaturas medias mensuales fueron superiores a la media todo el año, alcanzándose anomalías de hasta +3,12 °C en el mes de febrero. Las principales anomalías cálidas se produjeron en el occidente del continente.



6. Fig. Anomalía de la temperatura superficial del aire para el periodo 1950–2022 relativa al periodo 1991–2020. Fuente: C3S/ECMWF/KNMI (2023).

2022 fue un año caracterizado por los extremos en la temperatura, con sucesivas olas de calor durante el verano en las que, de los 27 países miembros de la UE, 12 países registraron su mayor anomalía histórica de temperatura media. Fue de hecho el verano más cálido del continente, con temperaturas 1,4 °C por encima de la media. Por ejemplo, se registraron temperaturas récord en

el suroeste europeo como los 47,0 °C registrados el 14 de julio en Pinhão (Portugal). Estas olas de calor, se caracterizaron por su prontitud, su inusual persistencia y amplia extensión a lo largo de todo el territorio. Así, la primera ola de calor se registró a mediados de junio, afectando a los países del sur de Europa y a otros países con veranos tradicionalmente menos cálidos como Suiza o Reino Unido.



7. Fig. Anomalía de la temperatura superficial del aire en los meses de verano de 2022 con respecto al periodo 1981–2010. Fuente: Copernicus C3S/ECMWF (2023).

“ Una intensa serie de olas de calor en toda Europa, junto a unas condiciones inusualmente secas, condujeron a un verano de extremos, con récords en términos de temperatura, sequía e incendios forestales en muchas partes de Europa. ”

(Freja Vamborg, responsable científica del sistema de vigilancia CS3)

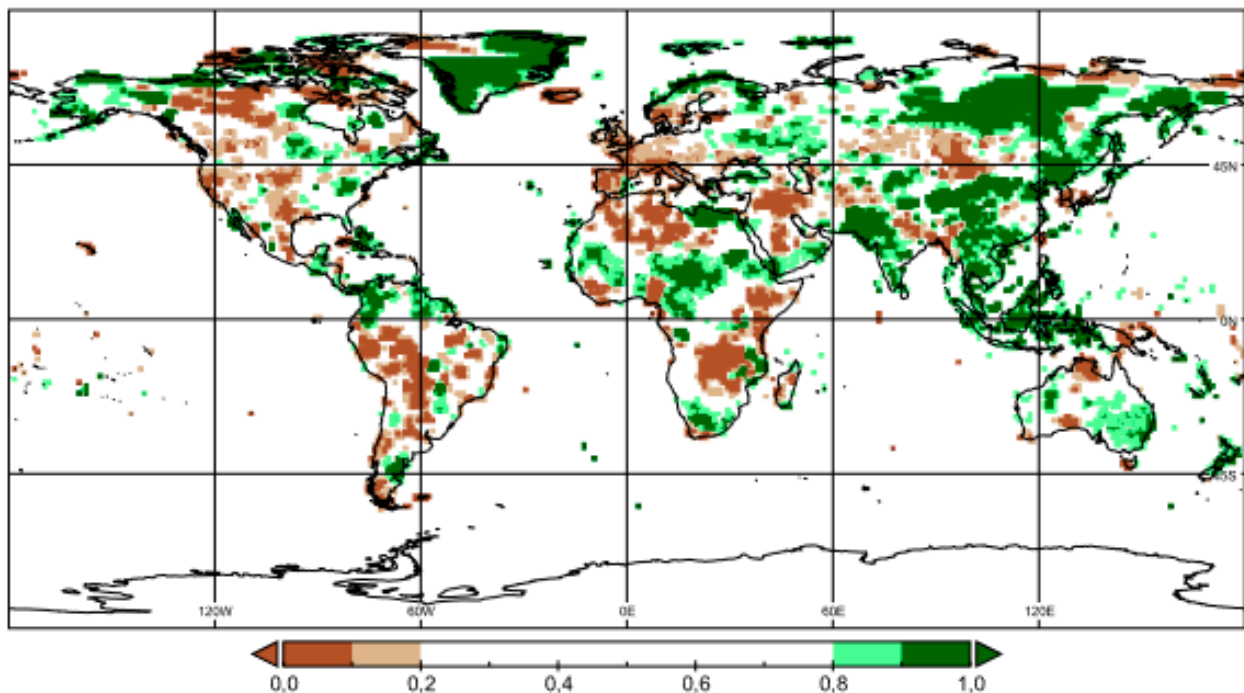
2.3. PRECIPITACIÓN

La precipitación es una variable climática esencial y una componente clave del ciclo hídrico global. El cambio climático inducido por la acción humana ha provocado cambios detectables en el ciclo mundial del agua desde mediados del siglo XX (IPCC-AR6, 2022). Entre estos cambios, se encuentran el incremento de la tasa de evaporación, como consecuencia del aumento de las temperaturas, periodos de sequía más prolongados y un aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos de precipitación extrema (Junkermann y Hacker, 2022).

Los efectos del aumento de la concentración atmosférica de vapor de agua y GEI sobre el ciclo hidrológico son complejos de analizar debido a su distribución uniforme a escala global. Este aumento no justifica por sí los cambios observados en la distribución espacio-temporal de la precipitación.

Independientemente de las diferencias existentes en la precisión y sensibilidad entre las distintas bases de datos de precipitación, las últimas evidencias indican un aumento probable de la precipitación global sobre tierra desde 1950, con un aumento más acentuado desde 1980 y una probable contribución humana a los patrones de cambio, particularmente en latitudes altas del hemisferio norte (IPCC-AR6, 2021).

Los episodios de 'La Niña' se asocian en ocasiones con cambios en el patrón de las precipitaciones a nivel mundial. La distribución espacial global de la precipitación y su anomalía en 2022, muy similar a la de 2021, está condicionada en ambos años por 'La Niña'. Además, su influencia puede estar asociada a la distribución de inundaciones y deslizamientos en las regiones más húmedas y sequías en las regiones más áridas.

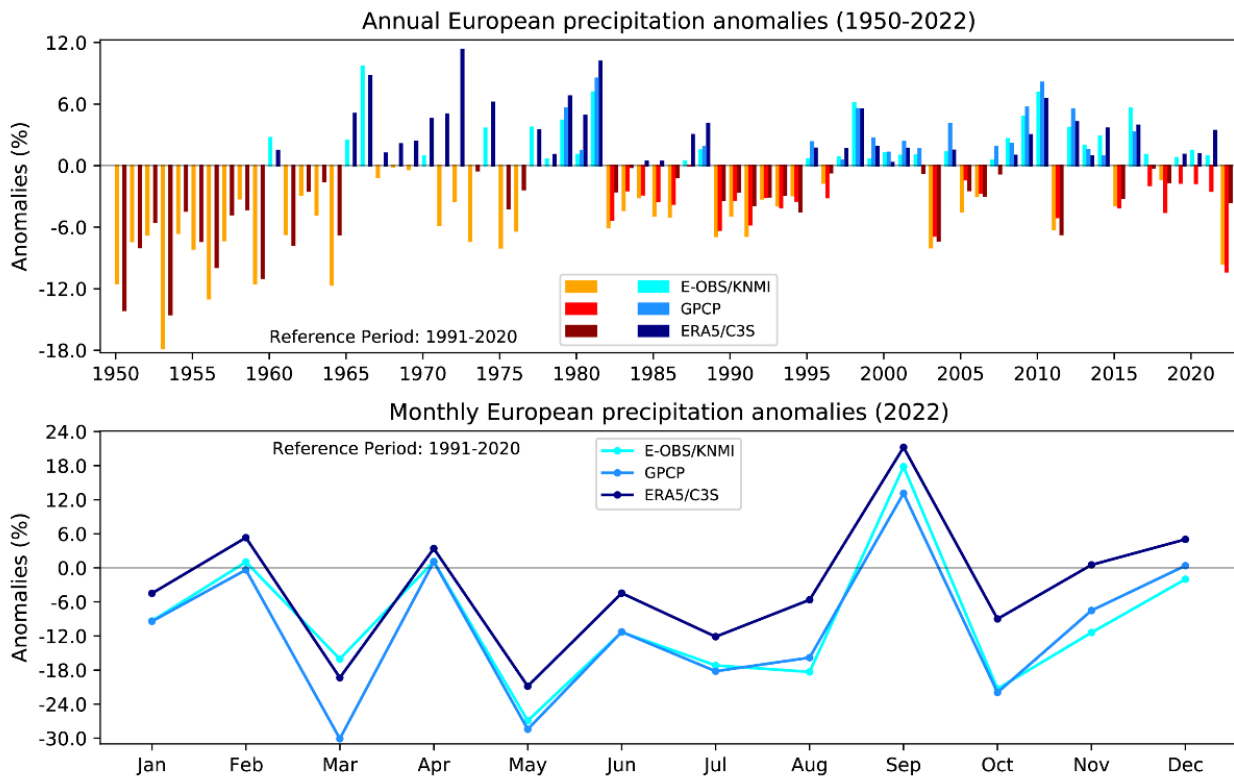


8. Fig. Percentil de la precipitación total anual en 2022 (enero-septiembre) con respecto al periodo de referencia 1951-2000. Fuente: WMO (2023).



A escala global, la precipitación total en 2022 muestra un comportamiento normal respecto a la precipitación media para el periodo 1979–2021, únicamente $-0,02 \text{ mm d}^{-1}$ por debajo (NOAA, 2023). Europa, Asia Central, el Norte de Australia, África Oriental, la mayor parte del Norte de África, el centro y sur de América del Sur y el centro y

oeste de América del Norte padecieron déficit de precipitación, mientras que, en otras amplias regiones de Asia, Australia, Nueva Zelanda, áreas del norte de América del Sur, el Caribe y África occidental los valores de precipitación fueron superiores con respecto a periodos anteriores.



9. Fig. Anomalía anual y mensual de la precipitación europea respecto al periodo de referencia 1991–2020 para el periodo 1950–2022. Fuente: C3S/KNMI/DWD/ECMWF (2023).

En 2022, la precipitación anual muestra valores marcadamente inferiores a los valores medios en gran parte de Europa occidental, nororiental y meridional. Los efectos combinados de las bajas precipitaciones a lo largo del año, especialmente durante la primavera, y las altas temperaturas, con las olas de calor registradas desde el mes de mayo y el verano más caluroso registrado, provocaron una sequía generalizada y de larga duración. El déficit de

precipitación fue en torno a un 19% con respecto al periodo 1991–2020, provocando una de las mayores sequías en 500 años (Observatorio Europeo de la Sequía – Copernicus, 2022). Una de las regiones más castigadas fue el arco alpino. Las regiones con anomalías de precipitación positiva incluyen el este de España, el norte de Escandinavia, Polonia, Ucrania o Rusia.

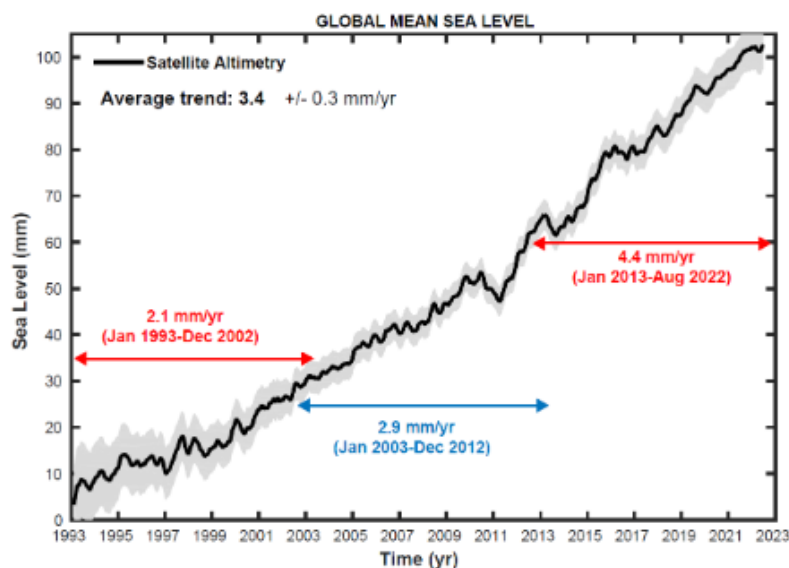
2.4. NIVEL DEL MAR

El nivel del mar es un indicador directo del calentamiento global (IPCC-AR6, 2021), ya que, refleja las pérdidas de los casquetes polares y las masas glaciares, así como la expansión térmica del agua, que se dilata con el calor. Alrededor del 45% de este aumento en el periodo 1993–2018 se puede atribuir a la expansión térmica del océano, mientras que el 43% se atribuyen al deshielo terrestre, incluyendo los glaciares y las masas de hielo polares, y el 10% restante a cambios en las reservas de agua, respectivamente (IPCC-AR6, 2021). Se ha estimado que, como mínimo, el 49% del incremento observado durante el siglo XX puede ser ya atribuido a causas antropogénicas (Strauss et al., 2021).

La tasa de incremento del nivel del mar se duplicó durante el periodo 2006–2018 (3,69 [3,21–4,17] mm año⁻¹) con respecto al periodo 1901–2018 (1,73 [1,28–2,17] mm año⁻¹). Considerando la era de medidas satelitales, desde 1993, la tasa de ascenso del nivel del mar a escala global para el

periodo 1993–2022 se estima en $3,4 \pm 0,4$ mm año⁻¹. Esta tasa se ha incrementado en el periodo 2013–2022 (4,4 mm año⁻¹) en 1,5 mm año⁻¹ con respecto al periodo comprendido entre 2003–2012 (2,9 mm año⁻¹). La actividad humana ha sido muy probablemente la principal causa del aumento del nivel medio global desde 1971 (IPCC-AR6, 2021).

Durante el año 2022 el nivel del mar alcanzó un nuevo récord (+10,22 cm con respecto a 1993), siendo el décimo año consecutivo en el que el nivel medio global del mar superó el del año anterior. Desde enero de 2020, el incremento del nivel medio global del mar es de unos 10 mm, una fracción sustancial del ascenso del nivel medio global del mar desde 1993 (unos 100 mm), a pesar de las condiciones de La Niña de los años 2021 y 2022, que tienden a enfriar el Pacífico ecuatorial y con ello mantener la temperatura global del agua y ralentizar la subida del nivel del mar.



10 Fig. Evolución del nivel medio del mar entre enero de 1993 y agosto de 2022. Fuente: WMO (2023).

Los cambios observados a nivel regional pueden diferir de los cambios globales. A pesar de que el incremento medio global entre 1993 y 2022 es de unos 10,2 cm, en algunas regiones este incremento ha alcanzado valores entre 15 y 20 cm. En Europa, en la mayoría de las zonas costeras la subida del nivel del mar se encuentra entre 2 y 4

mm año⁻¹ (Nichols et al., 2021). Sin embargo, esta tasa puede no ser representativa de los cambios observados en la costa como consecuencia de las distorsiones de los procesos locales (ej. el remonte del oleaje) y las resoluciones de estas medidas satelitales (25 km aproximadamente).



2.5. TEMPERATURA Y CALOR DEL OCÉANO

El incremento de la temperatura superficial de los océanos observada desde la década de 1950 es inequívoco. Durante las últimas cuatro o seis décadas, el océano global se ha calentado influenciado por la actividad humana (IPCC-AR6, 2021).

Los datos de temperatura de la superficie oceánica terrestre indican un incremento de 0,88 [0,68 a 1,01] °C desde principios del siglo XX (IPCC-AR6, 2021), y unos 0,6 °C en los últimos 40 años (IPCC-AR6, 2021), a una tasa promedio de calentamiento de 0,08 °C década⁻¹ desde 1880, duplicándose desde 1981 a 0,19 – 0,20 °C década⁻¹.

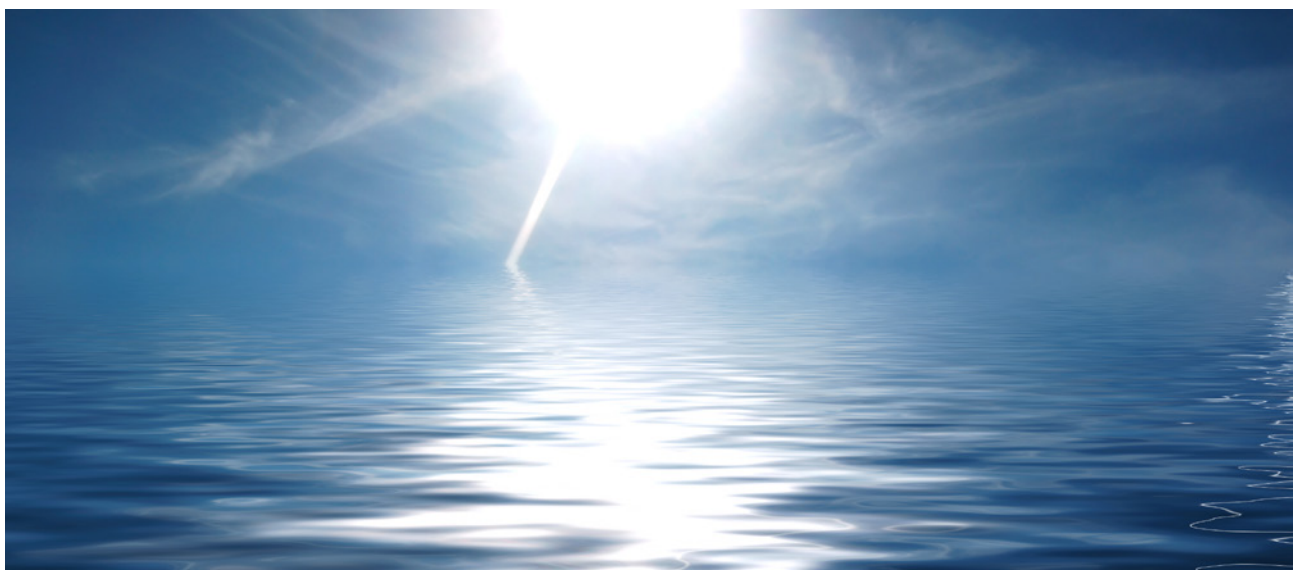
La temperatura media superficial global del océano en 2022 fue 0,83 ± 0,05 °C superior a la del periodo

1850–1900, siendo el sexto año más cálido desde 1850. La anomalía respecto al periodo de referencia más próximo (1991–2020) fue de +0,13 °C.

Los últimos ocho años (2014–2022) son los ocho años más cálidos desde 1891. En 2021 la temperatura superficial global del océano fue ligeramente inferior a la del año 2020, condicionado por ‘La Niña’, lo que contribuyó a mantener la temperatura superficial media (tierra y océano) inferior a la de años previos. La tasa de calentamiento se ha acelerado a un ritmo 0,10 ± 0,01 °C década⁻¹ durante el periodo 1950–2021. En el Atlántico Norte, esta tendencia durante las últimas dos décadas fue 1,35 veces mayor que la tendencia observada a nivel global.

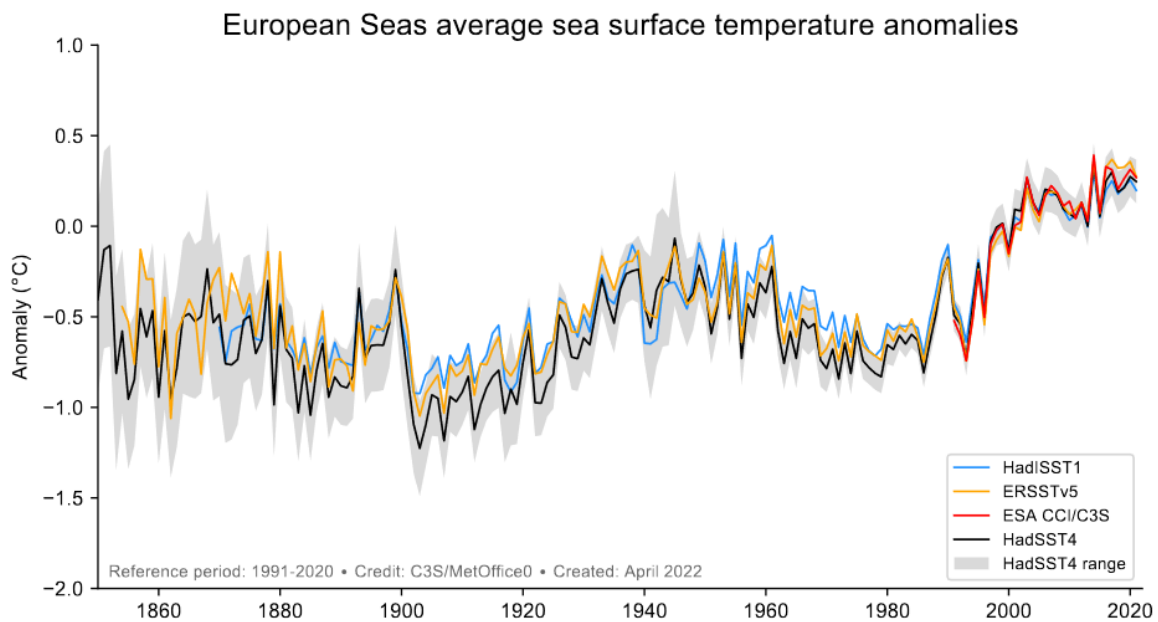
	REGIÓN	2000–2021 (°C década ⁻¹)	1950–2021 (°C década ⁻¹)
HADSST.4.0.1.0	Global	0,175 ± 0,067	0,117 ± 0,018
DOISST V2.1	Global	0,190 ± 0,057	N/A
ERSSTV5	Global	0,158 ± 0,065	0,102 ± 0,013
ERSSTV5	Atlántico Norte (30°–60°N)	0,158 ± 0,088	0,115 ± 0,046

2. Tabla. Tendencias de las temperaturas superficiales para los periodos 2000–2021 y 1950–2021. Fuente: Blunden & Boyer (2022).



En Europa, desde 1850, cuando comenzaron los registros de temperatura, todos los mares europeos vienen sufriendo un calentamiento. Los periodos de mayor calentamiento son entre 1920 y 1940 y entre 1990 y 2000. Desde 2000 la tasa media de calentamiento superficial del agua ha descendido, pero la temperatura superficial sigue en valores históricos elevados. Entre 1991 y 2021, la

temperatura del mar aumentó alrededor de $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ década}^{-1}$ en el Atlántico norte y alrededor de $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}\text{ década}^{-1}$ en el Mar Negro. Estos incrementos en la temperatura han venido acompañados, además, del incremento de la frecuencia e intensidad de las olas de calor marinas tanto a nivel global como en los mares europeos. La frecuencia de ocurrencia de este fenómeno se ha duplicado desde 1982.

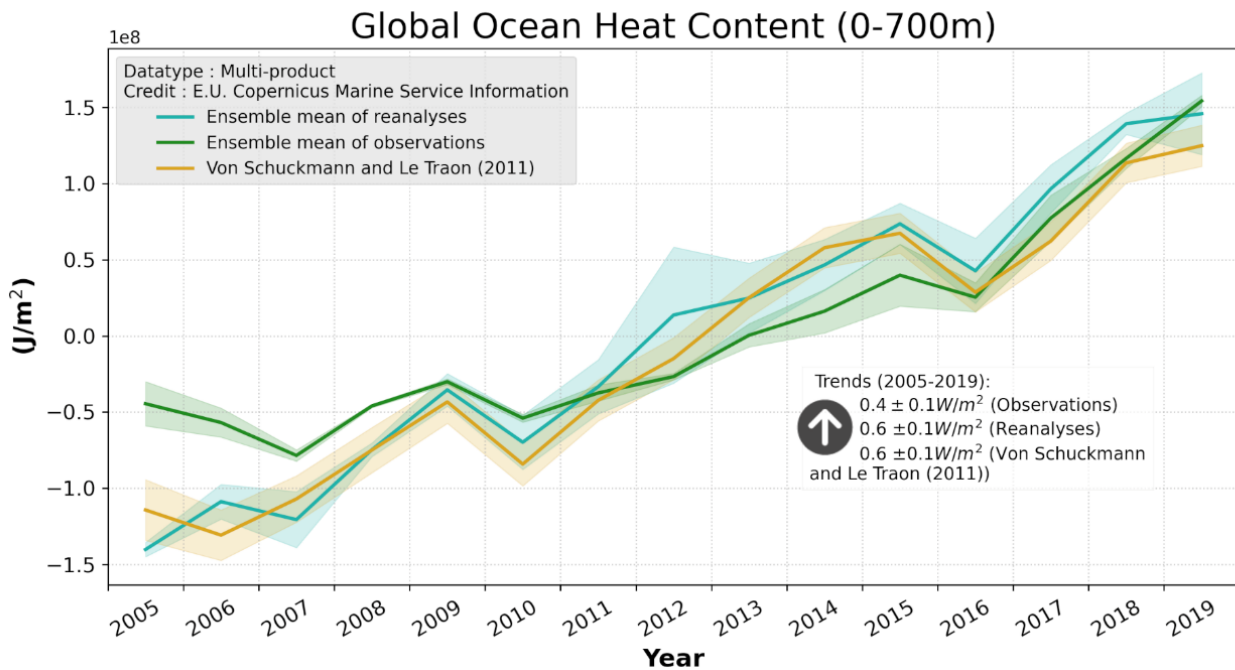


11. Fig. Anomalías medias anuales de la temperatura superficial de los mares europeos ($^{\circ}\text{C}$) en relación con el periodo de referencia 1991-2020. Fuente: C3S (2022).

Sin embargo, este incremento de la temperatura y calentamiento no se limita únicamente a la superficie, sino que se extiende a todas las capas de la columna de agua, incluso entre los 4.000 y 6.000 metros de profundidad. Alrededor del 91% del calor acumulado dentro de los sistemas terrestres se encuentra en los océanos (Rhein et al., 2013), variable esta que se cuantifica mediante el contenido calórico del océano. Este es un indicador que, al no fluctuar tanto como la temperatura terrestre, permite evaluar de manera más precisa el calentamiento gradual de

origen antropogénico (von Schuckmann et al., 2016; Wijffels et al., 2016; Cheng et al., 2018a; Trenberth et al., 2018).

El contenido de calor a nivel global en los primeros 2.000 m continuó incrementándose en 2022 alcanzando un récord histórico, $+10,9 \pm 8,3\text{ ZJ}^2$ con respecto a 2021. La tasa media de incremento desde 1958 es de $5,5 \pm 0,3\text{ ZJ año}^{-1}$ (Cheng et al., 2023). Los cuatro años con mayor contenido en calor en el océano son los últimos cuatro (2019-2022) (NOAA, 2022).



12. Fig. Contenido global del calor del océano (0-700 m) para el periodo 2005-2019 determinado mediante reanálisis y reprocesamiento de observaciones múltiples. Fuente: Copernicus Marine Service Information (2023).

La tendencia del calentamiento del océano para el periodo 1993-2021 varía entre $0,37 \pm 0,05 \text{ W m}^{-2}$ y $0,44 \pm 0,04 \text{ W m}^{-2}$ en la capa de 0-700 m. Para el mismo periodo, la tendencia de calentamiento para la capa 700-2.000 m varía entre $0,17 \pm 0,03$ a $0,29 \pm 0,03 \text{ W m}^{-2}$. En cualquier caso, sumando estas dos capas más las estimaciones para

la capa de 2.000-6.000 m, pese a que los periodos de tiempo son ligeramente diferentes a los indicados anteriormente, la tasa global de ganancia de calor del océano se encuentra actualmente entre $0,64 - 0,80 \text{ W m}^{-2}$ (Blunden & Boyer, 2022).

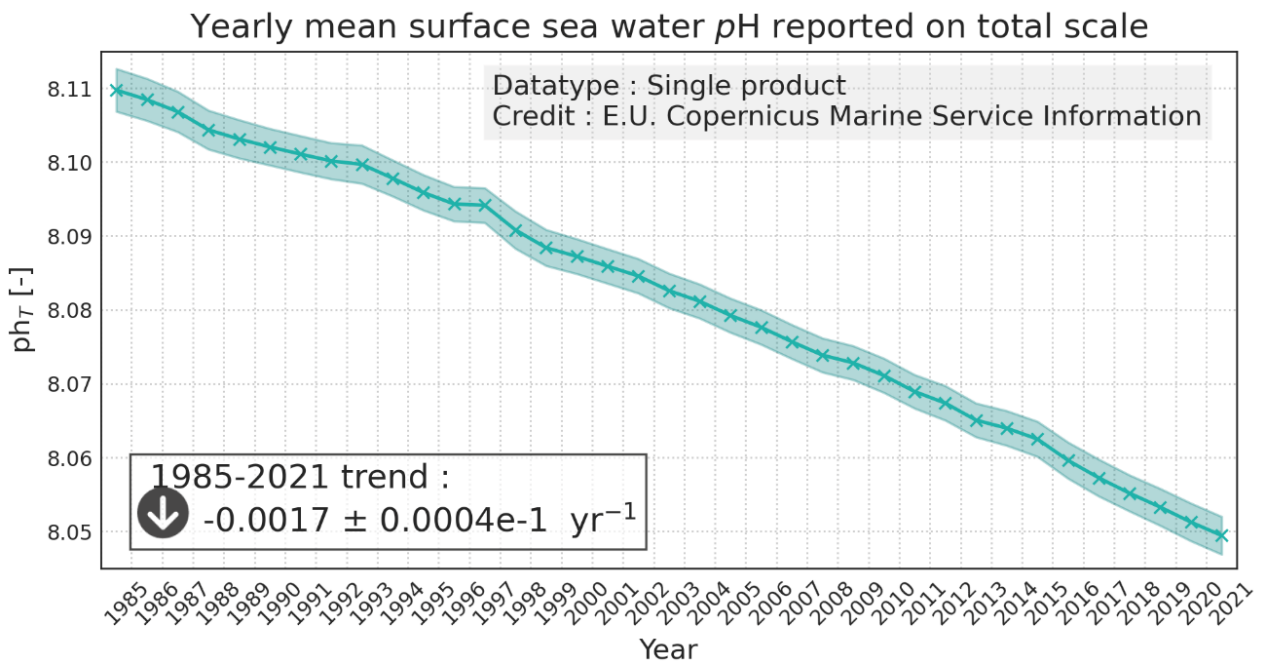


2.6. CARBONO Y PH DEL OCÉANO

La acidificación del océano puede definirse como la reducción en el tiempo del pH del océano. El océano se acidifica hoy día a un ritmo sin precedentes en los últimos 66 millones de años (Zeeve et al., 2016) y es prácticamente seguro que la principal causa es la captación de CO₂ de origen antropogénico (IPCC-AR6, 2021), dado que el océano ha capturado aproximadamente una cuarta

parte de las emisiones de CO₂ desde el comienzo de la era industrial (Gruber et al., 2019).

La acidificación ha provocado que el pH haya disminuido en $-0,017 \pm 0,0004$ unidades década⁻¹ en el periodo 1985–2021, situándose a día de hoy 0,1 unidades por debajo de los valores previos a la era industrial.



13. Fig. pH medio global de la superficie del océano para el periodo 1985–2021. Fuente: Copernicus Marine Service Information (2023).

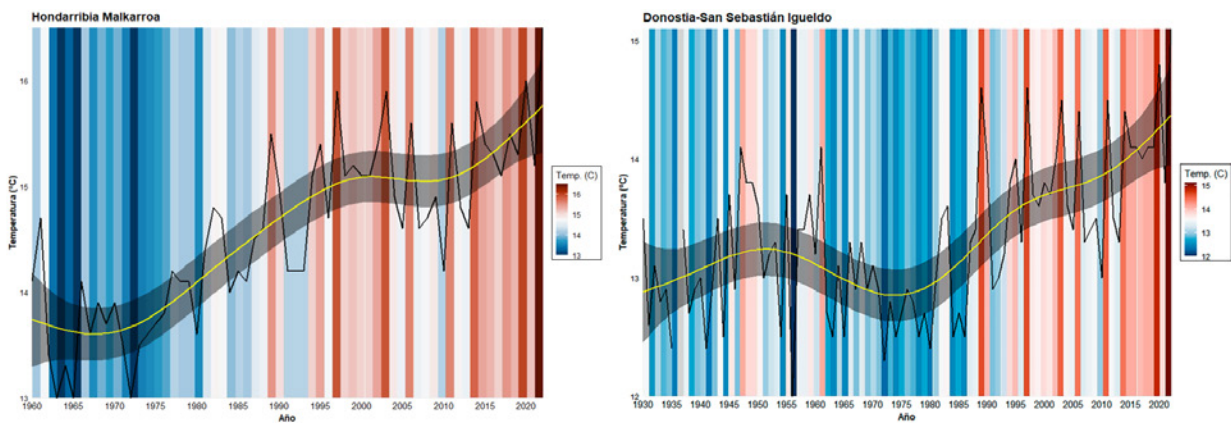


3. GIPUZKOA EN 2022

3.1. TEMPERATURA

La temperatura media anual en Gipuzkoa presenta una ligera tendencia positiva desde el año 1971 (0,24 °C década⁻¹). El calentamiento no es uniforme a lo largo de la serie, así la anomalía de temperatura respecto a la media del periodo 1981–2010 muestra tres periodos diferenciados. El primer periodo, hasta la década de los 80, está marcada por temperaturas en torno a 1 °C inferiores a este periodo medio, seguida de un periodo cálido en la década

de los 90, con alternancia de algún año frío y con el máximo calentamiento para el año 1997. Entre 2001 y 2015 se produce un periodo ligeramente más frío, mientras que a partir de 2013 las temperaturas vuelven a ser claramente superiores a la temperatura media. Así, las temperaturas medias de los últimos diez años (2013–2022) (13,6 ± 0,4 °C) han sido en torno +0,2 °C con respecto al periodo de referencia 1981–2010.



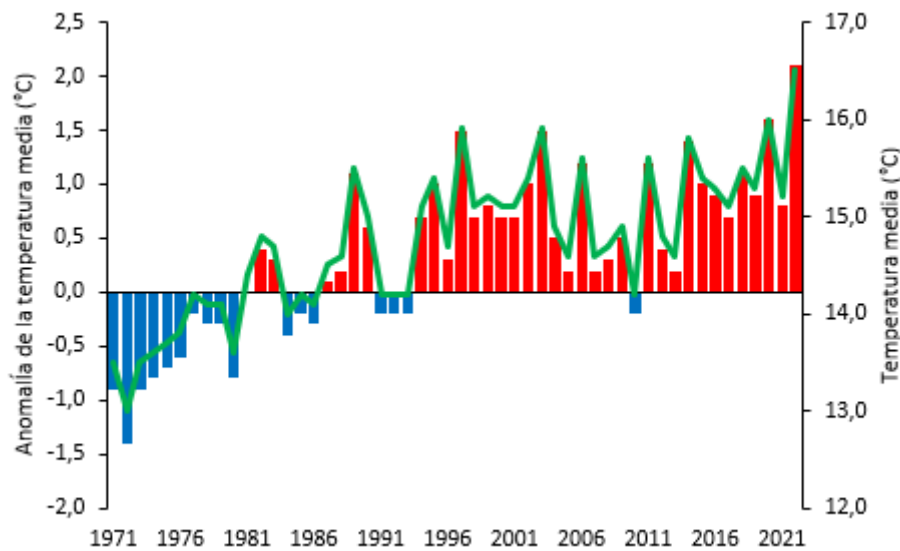
14. Fig. Evolución de la temperatura media anual en los observatorios Hondarribia-Malkarroa e Igueldo para los periodos 1960–2022 y 1930–2022, respectivamente. La línea amarilla muestra la media móvil de 5 años de la temperatura media y la franja gris el suavizado de este promedio realizado mediante el método Loess. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de AEMET.

DÉCADA	ESCENARIOS II		Igueldo		Hondarribia-Malkarroa	
	Promedio	Anomalía	Promedio	Anomalía	Promedio	Anomalía
1971-1980	12,53	-0,92	12,65	-0,98	13,71	-1,12
1981-1990	13,42	-0,03	13,31	-0,32	14,58	-0,25
1991-2000	13,67	+0,22	13,59	-0,04	14,91	+0,08
2001-2010	13,27	-0,18	13,71	+0,17	14,99	+0,16
2011-2020	13,77	+0,33	14,09	+0,55	15,34	+0,51
2013-2022			14,18	+0,64	15,47	+0,64

3. Tabla. Promedio de la temperatura media y anomalía respecto al periodo de referencia 1981–2010 para los datos climatológicos (ESCENARIOS II, KLIMATEK 2017, URBAN KLIMA 2050) y la temperatura registrada en los observatorios meteorológicos de Igueldo y Hondarribia-Malkarroa.

Al analizar las series históricas más largas del territorio, las correspondientes a los observatorios de Igueldo y Hondarribia-Malkarroat, se observa que la tasa de variación de la temperatura media anual es de 0,12 °C y 0,31 °C década⁻¹ respectivamente, considerando series temporales completas en cada uno de ellos (1929–2022 y 1956–2022). La tendencia de la temperatura anual desde 1971 es de unos 0,33 °C década⁻¹ en Igueldo y 0,38 °C década⁻¹ en Hondarribia-Malkarroat (p-valor < 0,000). La serie histórica de las temperaturas registradas en el observatorio de Igueldo muestra un aumento intenso de la temperatura media, mínima y máxima anual durante las décadas de los

80 y 90 del pasado siglo y una temperatura más estable durante la primera década del siglo XXI, incrementándose de nuevo la temperatura media durante los últimos 6 años. La media móvil de 5 años de la temperatura media indica, que todos los valores desde finales del siglo XX y durante las dos primeras décadas se encuentran por encima del periodo 1981–2010. En Hondarribia-Malkarroat también se observa esta tendencia ascendente. En ambos observatorios en 2022 se registró la temperatura media anual más cálida, con anomalías positivas de +1,6 °C y +1,0 °C con respecto al periodo 1981–2010 en Igueldo y Hondarribia-Malkarroat, respectivamente.



15. Fig. Evolución de la anomalía de temperatura media anual y de la temperatura media anual del periodo 1970–2022 en la estación de Hondarribia-Malkarroat. Fuente de datos: AEMET.

También se han analizado las tendencias de la temperatura media registrada de la red de estaciones meteorológicas de Euskalmet. Se han analizado los valores promedio y las tendencias en estas estaciones para dos periodos recientes, 2005–2012 y 2013–2022. El promedio durante la última década (2013–2022) es superior al periodo 2005–2012, con incrementos que oscilan entre +0,1

°C y +1,2 °C, lo que indica un calentamiento general en todo el territorio, aunque no está produciéndose de manera uniforme. Además, si se comparan las tendencias para los periodos 2005–2021 y 2005–2022, se observan tendencias de temperatura positivas y que estas tendencias se han intensificado al considerar el último año, que ha sido muy cálido.



ESTACIÓN	TEMPERATURAS MEDIAS (2013-2022)	TEMPERATURAS MEDIAS (2005-2012)	TENDENCIA 2005-2021	TENDENCIA 2005-2022	TENDENCIAS 2005-2021 Y 2005-2022
AITZU	12,1 ± 0,5	12,0 ± 0,5	0,1	0,3	+0,2
ALTZOLA	14,2 ± 0,7	13,4 ± 0,7	0,6	0,7*	+0,1
AMUNDARAIN	13,4 ± 0,5	12,8 ± 0,5	0,5	0,7*	+0,2
BELAUNTZA	13,8 ± 0,6	13,1 ± 0,6	0,7*	0,8*	+0,1
EREÑOZU	13,8 ± 0,5	13,2 ± 0,5	0,6*	0,7*	+0,1
OÑATI	13,5 ± 0,5	12,6 ± 0,5	0,9*	0,9*	+0,0
ORDIZIA	13,9 ± 0,7	13,5 ± 0,7	0,3	0,4	+0,1
ZIZURKIL	14,6 ± 0,6	13,8 ± 0,6	0,8*	0,8*	+0,0

4. Tabla. Promedio de la temperatura media (°C) en las estaciones meteorológicas indicadas para los periodos 2005-2011 y 2012-2022 y tendencias (°C década⁻¹) para los periodos 2005-2021 y 2005-2022. + Indica que las tendencias son estadísticamente significativas.

A nivel de comarca, los datos climatológicos (ESCENARIOS II, KLIMATEK 2017, URBAN KLIMA 2050) indican que, mientras las comarcas de Debabarrena y Debagoiena no muestran un aumento de la temperatura media anual significativo para el periodo analizado (1971-2016), en Donostialdea se observa la tasa de calentamiento más elevada, siendo esta mucho más intensa durante la primavera que en el resto de las estaciones.

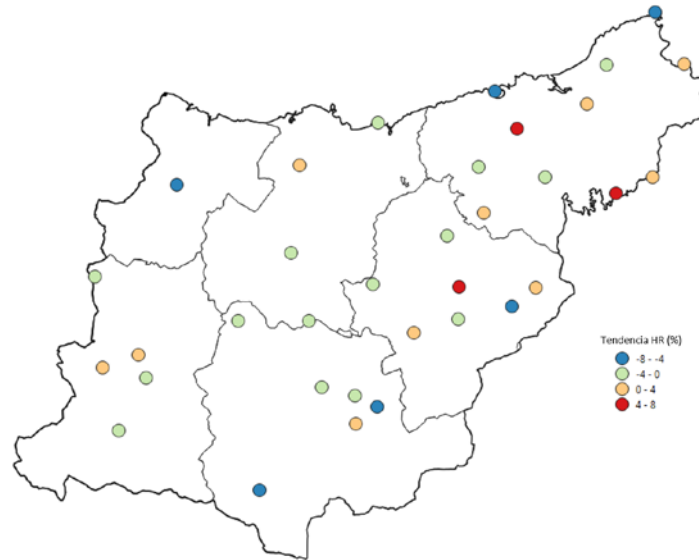
Paralelamente al incremento de las temperaturas medias, el análisis de la tendencia del número de días cálidos (Tx>percentil 90) indica un incremento significativo durante todo el año, siendo este mucho más intenso en las comarcas del Goierri, Tolosaldea y Urola Costa y menor en Bajo Bidasoa. Por estaciones, salvo en invierno, el número de días cálidos tiende a incrementarse de modo significativo en todas las comarcas del territorio para el resto de las estaciones.

COMARCA	ANUAL	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
Bidasoa Beherea / Bajo Bidasoa	4,11*	-0,14	1,21*	1,03*	1,15*
Debabarrena / Bajo Deba	5,37*	0,12	1,82*	1,87*	1,16
Debagoiena / Alto Deba	6,60*	0,82	1,86*	1,85*	1,99*
Donostialdea / Donostia-San Sebastián	4,80*	0,35	1,81*	1,05	1,19*
Goierri	9,59*	1,42*	2,24*	2,41*	2,77*
Tolosaldea / Tolosa	9,41*	1,09	2,73*	2,44*	2,34*
Urola-Kostaldea / Urola Costa	9,17*	0,90	2,45*	3,25*	2,27*
GIPUZKOA	8,03*	0,79	2,15*	2,19*	2,01*

4. Tabla. Tendencia del número de días cálidos (Tx>percentil 90) (°C década⁻¹) anual y estacional para las distintas comarcas para el periodo 1971-2016. + Indica que las tendencias son estadísticamente significativas. Fuente de datos: escenarios climáticos en Euskadi y series de datos elaborados por Neiker, Grupo de Meteorología de Santander (Universidad de Cantabria) y Predictia, para Ihobe-Gobierno Vasco, con financiación de los programas: KLIMATEK I+B+G del Gobierno Vasco (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático: "ESCENARIOS" y "ESCENARIOS II") y LIFE de la Unión Europea (LIFE18 IPC/ES/000001, "LIFE-IP URBAN KLIMA 2050").

Otra de las variables que se ve afectada por el incremento de las temperaturas es la humedad relativa atmosférica. De ella depende la sensación térmica del ambiente y, por tanto, es fundamental su cuantificación, no solamente para calibrar mejor la variación térmica, sino también su impacto sobre los extremos meteorológicos, como

las olas de calor o de frío. Además de la temperatura, la proximidad al mar, o la predominancia de vientos del noreste o del sur, también puede condicionar la humedad relativa. A nivel de territorio, para las distintas estaciones de referencia se observan tendencias variables con valores negativos y positivos.



16. Fig. Tendencia de la humedad relativa (%) en las estaciones meteorológicas de referencia en el T.H. de Gipuzkoa.

2022 fue extremadamente cálido en Gipuzkoa, con una temperatura media anual registrada en las estaciones meteorológicas del territorio de 14,5 °C, aproximadamente +1,0 °C por encima de la temperatura media registrada en el periodo de referencia (1981-2010). Probablemente sea el año más caluroso de las series históricas, habiéndose

registrado en numerosas estaciones el máximo de su serie histórica. Las anomalías respecto al periodo de referencia (1981-2010) fueron positivas en todas las estaciones, superándose en la mayoría de los casos la anomalía de +0,5 °C, con máximos en torno a los 2 °C, como las anomalías de +2,1 °C en Hondarribia-Malkarroat o +1,9 °C en Urkulu.

DÉCADA	ESCENARIOS II		Igueldo		Hondarribia-Malkarroat	
	T máxima	T mínima	T máxima	T mínima	T máxima	T mínima
1971-1980	-0,8	-1,2	-0,7	-1,0	-1,4	-0,9
1981-1990	-0,0	-0,2	-0,1	-0,3	-0,0	-0,5
1991-2000	+0,0	+0,2	-0,0	+0,1	+0,1	+0,1
2001-2010	+0,0	-0,0	+0,2	+0,2	-0,1	+0,4
2011-2020						
(2011-2016)	(+0,7)	(+0,4)	+0,7	+0,4	+0,2	+0,8
2013-2022			+0,7	+0,5	+0,3	+0,9

6. Tabla. Anomalía de la temperatura media máxima y media mínima respecto al periodo de referencia 1981-2010 para los datos climatológicos (ESCENARIOS II, KLIMATEK 2017, URBAN KLIMA 2050) y los registros en los observatorios meteorológicos de Igueldo y Hondarribia-Malkarroat.



Las temperaturas medias máximas y mínimas diarias han aumentando en el periodo 1971–2016, siendo más acusado el ascenso en el caso de las temperaturas mínimas. Para el conjunto del territorio, la climatología para el periodo 1971–2016 (Escenarios II Klimatek, 2017, URBAN KLIMA 2050) revela un ascenso de 0,30 °C y 0,36 °C década⁻¹ para la temperatura media máxima y mínima, respectivamente. Además, la temperatura media mínima se incrementa más aceleradamente. Este incremento más acusado de la temperatura media mínima también se observa en Igueldo y especialmente en Hondarribia-Malkarroi. De acuerdo a los registros del observatorio de Igueldo, desde el año 1971 hasta la actualidad, la temperatura media máxima diaria se ha incrementado en 0,32 °C década⁻¹ y la temperatura media mínima diaria en 0,33 °C década⁻¹. Esta diferencia es más acusada en Hondarribia-Malkarroi para este mismo periodo 1971–2022 en la que la temperatura media máxima y mínima presentan una tendencia de +0,31 y +0,42 °C década⁻¹, respectivamente.

En 2022 las temperaturas medias máxima y mínima diaria fueron de 19,6 °C y 10,3 °C, respectivamente. Estos valores se sitúan +1,8 °C y +1,0 °C por encima, respectivamente, de la media del periodo 1981–2010. La temperatura media máxima diaria y media mínima diaria se situaron +1,0 °C y +0,6 °C por encima de las medias de la última década, respectivamente.

En cuanto a la evolución térmica a lo largo del año, el invierno fue muy cálido con una anomalía promedio de +1 °C con respecto al periodo de referencia. En lo que respecta al siglo XXI, el invierno de 2022 fue el quinto invierno más cálido de una serie encabezada por el año 2016 y seguida por el 2020. Diciembre fue un mes muy cálido, con un episodio extraordinario de temperaturas muy altas con registros por encima de los 20 °C (Zizurkil 24,0 °C el día 31 de diciembre y Oiartzun 24,0 °C el día 1 de enero) a final de mes, enero fue frío siendo de nuevo febrero un mes cálido. Por ejemplo, entre los días 19 y 20 de febrero se alcanzaron temperaturas por encima de los 20 °C tanto en estaciones de interior (21,6 °C en Arrasate) como en la costa (24,5 °C en Higer).

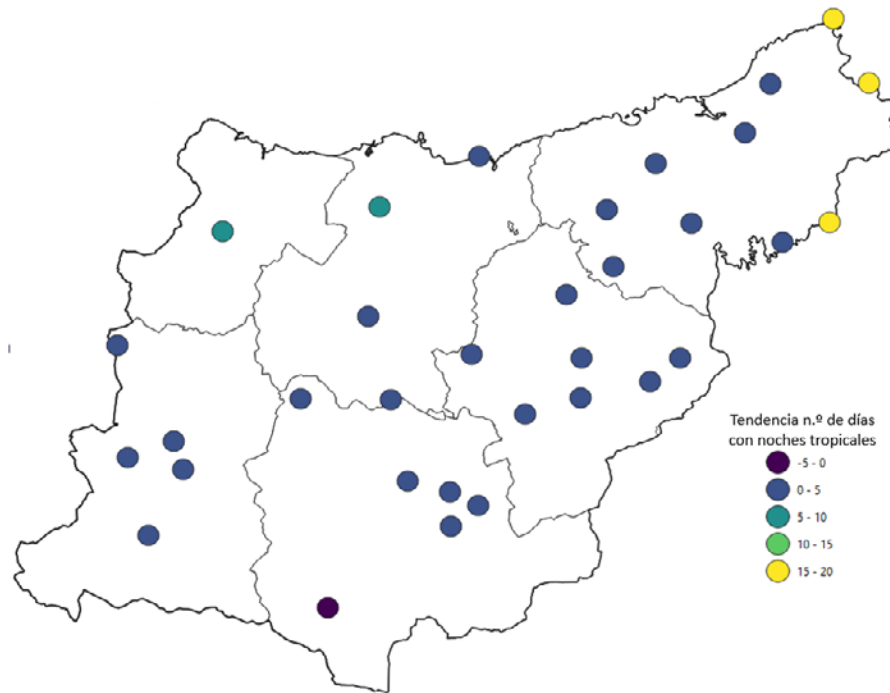
La estación primaveral fue muy cálida con respecto al periodo 1981–2010 debido a las altas temperaturas registradas a mediados del mes de mayo, uno de los más calurosos de los últimos años, registrándose un episodio

con temperaturas más propias del verano y superándose por primera vez registros récord por encima los 30 °C en muchas de las estaciones del territorio (por ejemplo, el día 14 se alcanzaron 33,3 °C en Miramon, 34,9 °C en Behobia, 35,4 °C en la estación de San Prudentzio o 35,3 °C en la de Ordizia). La temperatura media en las estaciones de referencia de Lasarte y Arrasate se situaron +0,9 °C y +1,3 °C por encima de los registros del año anterior.

Siguiendo esta tendencia, el verano de 2022 se caracterizó por comportarse de manera muy cálida con anomalías de temperatura promedio por encima de los 2,0 °C con respecto al periodo 1981–2010. Para el conjunto de la CAPV, ha sido catalogado como el segundo verano más caluroso de las series históricas, sólo superado por 2003 (Euskalmet, 2022). El verano se caracterizó por la persistencia de las temperaturas elevadas y numerosos episodios de calor extremo. La temperatura máxima absoluta observada fue de 42,88 °C en la estación de Arrasate. Asimismo, la insolación también fue netamente superior a los valores normales, con cerca de un 20% más de horas de sol.

El otoño fue muy cálido para el conjunto del territorio, el segundo más cálido de las series históricas, con una anomalía promedio de superior a los 2,0 °C respecto al periodo de referencia 1981–2010. Todos los meses de la estación fueron muy cálidos, pero destaca el mes de octubre con una anomalía promedio que superó los 4,0 °C en todo el territorio, constituyendo la anomalía más alta jamás observada para cualquier mes del año en las series históricas.

Además del incremento de las temperaturas medias, máximas y mínimas diarias, el número de noches tropicales y días calidos también presentan una tendencia creciente. A nivel de Gipuzkoa, el incremento del número de noches tropicales desde 1971 ha sido de 0,39 noches década⁻¹ desde el año 1971. Por comarcas, el aumento más acusado y significativo de este indicador se está produciendo en las comarcas del Bajo Bidasoa (+1,26 noches década⁻¹) y Donostialdea (+0,73 noches década⁻¹). Este incremento, salvo en Debabarrena y Debagoiena, es estadísticamente significativo en el resto de las comarcas (p-valor < 0,05). Durante 2022, se batió el récord de noches tropicales sobre todo en localidades costeras como Hondarribia que registró un total de 29 noches tropicales.



17. Fig. Tendencia del número de noches tropicales para el periodo 2005-2022 en las estaciones meteorológicas de Euskalmet. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Euskalmet.

Como se ha indicado anteriormente, el número de días cálidos presenta una tendencia creciente significativa en todo el territorio. Durante 2022, fue muy significativo el número de días cálidos. Por ejemplo, el número de días con temperaturas máximas superiores a los 32 °C fue muy elevado en todas las estaciones meteorológicas, 20 días en promedio pero con más de 25 días en los que se superaron esta temperatura en estaciones como Alegia, Añarbe e incluso en más de 30 días en Arrasate o Estanda. El

número de días promedio en los que se superó esta temperatura para el periodo 2011-2020 fue de 10 días.

Finalmente, otro indicador que refleja este aumento generalizado de las temperaturas es el número de días de helada. En 2022 el número promedio de días de helada fue de 15 días, valor este superior al registrado en 2021, pero inferior al del periodo 1981-2010.

3.2. PRECIPITACIÓN

La precipitación, y los indicadores calculados a partir de esta variable, como número de días húmedos, número de días con precipitación intensa o muy intensa o el máximo de precipitación acumulado en un día, no presentan una tendencia significativa en el periodo 1971-2022. Excepcionalmente, algunas de las comarcas del territorio y en determinadas estaciones del año, presentan tendencias significativas para determinadas variables. Las tendencias observadas en esta variable son muy dependientes del periodo de análisis seleccionado, por lo que la longitud de las series disponibles puede condicionar las conclusiones extraídas.

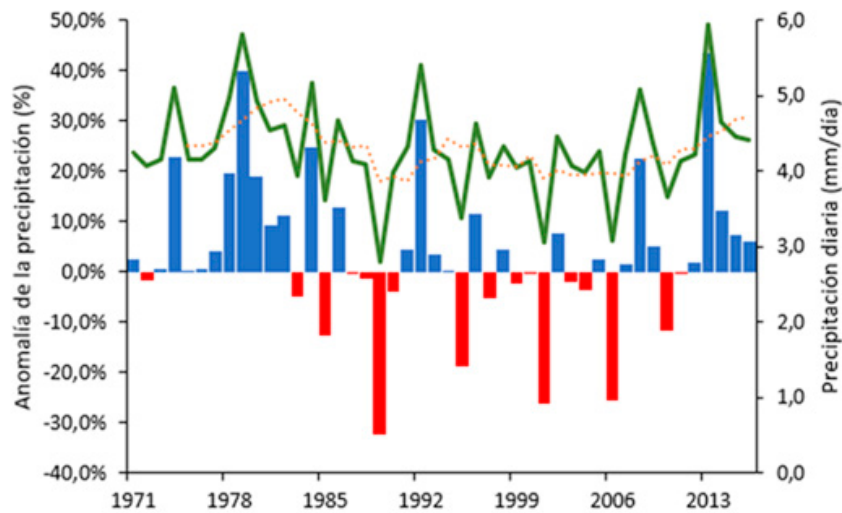
En cuanto a la precipitación total anual, en general no se observan tendencias significativas para el periodo 1971-2016 (datos climatología Ihobe, 2017). La evolución temporal de esta variable permite diferenciar tres periodos, el primero más húmedo hasta 1985 cuando las precipitaciones son en general superiores a la media, un periodo donde se alternan valores medios con algunos años más secos y los últimos 10 años donde la precipitación es ligeramente superior al valor medio y similares a los registrados entre los años 1975-1985. El último año

2022 rompe esta tendencia positiva, registrándose una precipitación entorno a un -20% menor a la del periodo de referencia 1981-2010. El análisis de las series temporales más largas de precipitación disponibles en el territorio, correspondientes a los observatorios de Igueldo (1929-2022) y Hondarribia-Malkarroat (1957-2022), no muestra tampoco tendencias significativas de la precipitación anual al considerar las series completas para cada una de las estaciones. Para el periodo 1971-2022, la tendencia tampoco es significativa y el signo de la tendencia es diferente en cada estación, mientras en Igueldo se observa una tendencia creciente, en Hondarribia-Malkarroat esta es decreciente. Al analizar las tendencias observadas en el periodo más corto 2000-2022, donde crece el número de estaciones pluviométricas en el territorio, se observa una tendencia creciente generalizada en todas las estaciones, siendo esta significativa únicamente en las estaciones más orientales, como Hondarribia-Malkarroat, Endara o Ereñotzu.

No se observa ninguna tendencia clara en la evolución de la anomalía de precipitación media diaria respecto al periodo medio de 1981-2010 en el periodo 1971-2016.

DÉCADA	ESCENARIOS II		Igueldo		Hondarribia-Malkarroat	
	Promedio	Anomalía	Promedio	Anomalía	Promedio	Anomalía
1971-1980	1.678,6	10,8%	1.649,7	+8,0%	1.808,1	+9,6%
1981-1990	1.518,9	0,2%	1.511,3	-1,0%	1.665,1	+1,0%
1991-2000	1.557,0	2,7%	1.533,5	+0,4%	1.741,3	+5,6%
2001-2010	1.470,9	-2,9%	1.537,1	+0,6%	1.541,7	-6,5%
2011-2020	(1.683,3)	(11,1%)	1.690,4	+10,7%	1.782,4	+8,1%
(2011-2016)			1.691,5	+10,8%	1.826,4	+10,7%
2013-2022						

7. Tabla. Promedio y anomalía de la precipitación anual acumulada respecto al periodo de referencia 1981-2010 para los datos climatológicos (ESCENARIOS II, KLIMATEK 2017, URBAN KLIMA 2050) y en los observatorios de Igueldo y Hondarribia-Malkarroat.



18. Fig. Evolución de la anomalía (porcentaje de cambio) y la precipitación media diaria (mm) relativa a la media anual del periodo 1981-2010 en Gipuzkoa. La curva naranja corresponde a la media móvil de 5 años de la precipitación diaria (mm). Fuente: Escenarios climáticos en Euskadi y series de datos elaborados por Neiker, Grupo de Meteorología de Santander (Universidad de Cantabria) y Predictia, para Ihobe-Gobierno Vasco, con financiación de los programas: KLIMATEK I+B+G del Gobierno Vasco (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático: “ESCENARIOS” y “ESCENARIOS II”) y LIFE de la Unión Europea (LIFE18 IPC/ES/000001, “LIFE-IP URBAN KLIMA 2050”).

A nivel comarcal, los datos climatológicos nos indican que la precipitación media diaria anual en el periodo 1971-2016 presenta una ligera disminución en la región costera, siendo este descenso únicamente significativo (p -valor $<0,05$) en la comarca de Urola-Kosta. El descenso de la precipitación media diaria es más intenso

durante la primavera, con descensos significativos en Donostialdea, Urola-Kosta y Debabarrena. Durante el otoño, sin embargo, se observa un incremento generalizado de la precipitación sobre todo en las comarcas de Tolosaldea y Urola-Kosta, aunque este no es estadísticamente significativo.

COMARCA	ANUAL	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
Bidasoa Beherea / Bajo Bidasoa	-0,06	-0,05	-0,21	0,02	0,14
Debabarrena / Bajo Deba	-0,13	-0,09	-0,38 ⁺	-0,01	0,13
Debagoiena / Alto Deba	-0,05	0,07	-0,20	-0,02	0,06
Donostialdea / Donostia-San Sebastián	-0,07	-0,10	-0,30 ⁺	-0,01	0,14
Goierri	0,09	0,12	-0,10	0,00	0,09
Tolosaldea / Tolosa	0,03	0,05	-0,18	-0,01	0,32
Urola-Kostaldea / Urola Costa	-0,12 ⁺	-0,15	-0,35 ⁺	-0,01	0,28
GIPUZKOA	-0,02	0,02	-0,23	-0,10	+0,14

8. Tabla. Tendencia de la precipitación diaria ($\text{mm día}^{-1} \text{ década}^{-1}$) anual y estacional para las distintas comarcas en el periodo 1971-2016. + Indica las tendencias que son estadísticamente significativas (p -valor $< 0,05$). Fuente: Escenarios climáticos en Euskadi y series de datos elaborados por Neiker, Grupo de Meteorología de Santander (Universidad de Cantabria) y Predictia, para Ihobe-Gobierno Vasco, con financiación de los programas: KLIMATEK I+B+G del Gobierno Vasco (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático: “ESCENARIOS” y “ESCENARIOS II”) y LIFE de la Unión Europea (LIFE18 IPC/ES/000001, “LIFE-IP URBAN KLIMA 2050”).



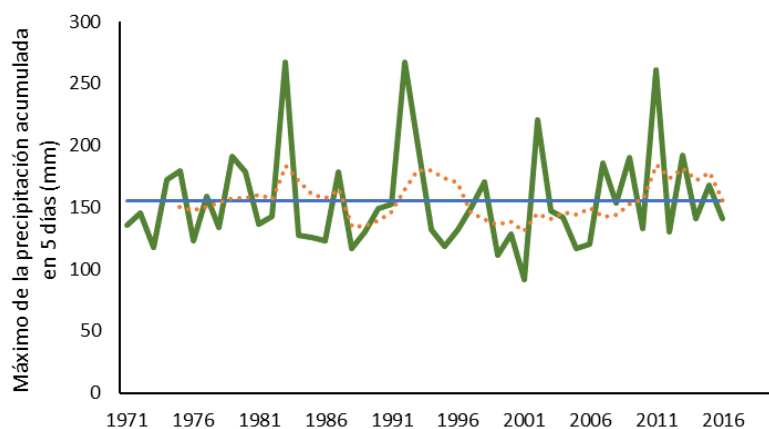
Con respecto al número de días secos consecutivos, los días de precipitación muy intensa ($Pr \geq 20$ mm) y el número de días muy húmedos ($r95p$), no se observa una tendencia clara en el periodo 1971-2016. Tampoco se observan cambios significativos en el máximo anual de precipitación acumulada en 5 días, salvo en la comarca

de Debagoiena, donde disminuyen durante el verano. El análisis agrupado de los datos de las estaciones meteorológica sí señala tendencias crecientes estadísticamente significativas en el número de días muy húmedos ($r95p$) y extremadamente húmedos ($r99p$) en el periodo 1965-2021 (Naturklima, 2023).

COMARCA	ANUAL	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
Bidasoa Beherea / Bajo Bidasoa	3,87	-0,29	-1,15	-1,36	2,38
Debabarrena / Bajo Deba	-0,83	2,09	-1,11	-1,43	0,33
Debagoiena / Alto Deba	2,86	3,93	-0,18	-2,55*	0,96
Donostialdea / Donostia-San Sebastián	-2,88	0,87	-1,41	0,11	2,51
Goierri	7,43	3,47	1,80	-0,65	1,65
Tolosaldea / Tolosa	0,93	3,03	-0,47	-0,78	1,07
Urola-Kostaldea / Urola Costa	-3,11	3,42	-0,90	-1,11	1,62
GIPUZKOA	1,41	2,45	-0,26	-1,11	1,33

9. Tabla. Tendencia decadal del máximo de la precipitación acumulada en 5 días (días/década) para las distintas comarcas para el periodo 1971-2016. + Indica que las tendencias son estadísticamente significativas (p -valor $< 0,05$). Fuente: Escenarios climáticos en Euskadi y series de datos elaborados por Neiker, Grupo de Meteorología de Santander (Universidad de Cantabria) y Predictia, para Ihobe-Gobierno Vasco, con financiación de los programas: KLIMATEK I+B+G del Gobierno Vasco (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático: "ESCENARIOS" y "ESCENARIOS II") y LIFE de la Unión Europea (LIFE18 IPC/ES/000001, "LIFE-IP URBAN KLIMA 2050").

El número de días húmedos ($Pr \geq 1$ mm) tampoco muestra ninguna tendencia para el conjunto del territorio. Sin embargo, es muy significativo el descenso anual de dicha variable en Debabarrena, sobre todo durante la primavera.



19. Fig. Evolución del máximo de la precipitación acumulada en 5 días. La curva naranja corresponde a una media móvil de 5 años. La línea azul representa el valor medio calculado para todo el periodo analizado. Fuente de datos: Escenarios climáticos en Euskadi y series de datos elaborados por Neiker, Grupo de Meteorología de Santander (Universidad de Cantabria) y Predictia, para Ihobe-Gobierno Vasco, con financiación de los programas: KLIMATEK I+B+G del Gobierno Vasco (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático: "ESCENARIOS" y "ESCENARIOS II") y LIFE de la Unión Europea (LIFE18 IPC/ES/000001, "LIFE-IP URBAN KLIMA 2050").

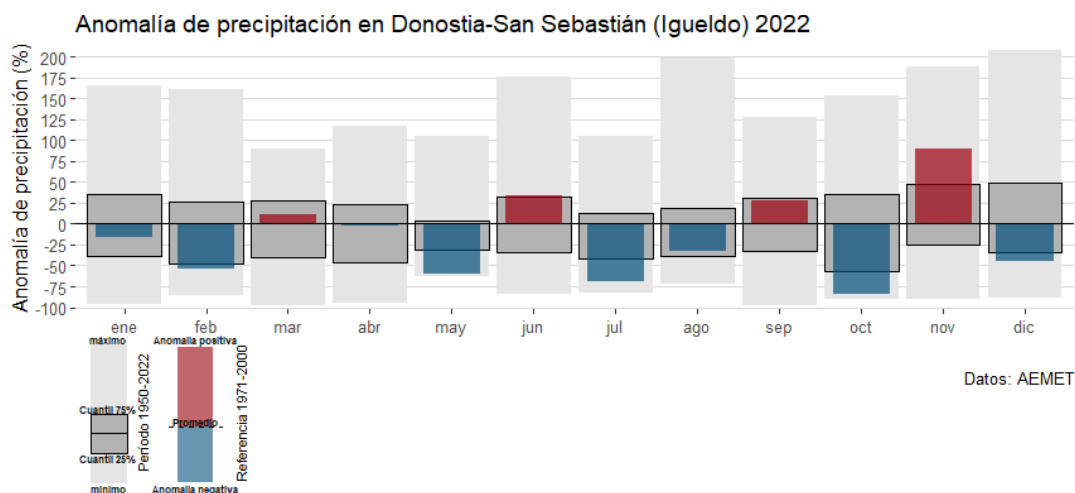
Por último, salvo en Debagoiena y Debabarrena en primavera, tampoco se observan cambios estadísticamente significativos en la tendencia decadal del máximo del nº de días secos consecutivos.

COMARCA	ANUAL	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
Bidasoa Beherea / Bajo Bidasoa	0,72	0,25	0,20	0,35	0,34
Debabarrena / Bajo Deba	0,57	0,10	0,59 ⁺	0,44	-0,04
Debagoiena / Alto Deba	0,02	0,19	0,53 ⁺	0,36	-0,26
Donostialdea / Donostia-San Sebastián	-0,46	-0,24	0,12	-0,05	-0,09
Goierri	-1,17	0,09	0,41	0,27	-0,15
Tolosaldea / Tolosa	-1,38	-0,09	0,02	-0,13	-0,30
Urola-Kostaldea / Urola Costa	0,11	0,18	0,38	0,47	0,09
GIPUZKOA	-0,45	0,10	0,34	0,26	-0,10

10. Tabla. Tendencia decadal del máximo del nº de días secos consecutivos (Pr<1mm) (días/década) para las distintas comarcas para el periodo 1971–2016. + Indica que las tendencias son estadísticamente significativas (p-valor<0,05). Fuente: Escenarios climáticos en Euskadi y series de datos elaborados por Neiker, Grupo de Meteorología de Santander (Universidad de Cantabria) y Predictia, para Ihobe-Gobierno Vasco, con financiación de los programas: KLIMATEK I+B+G del Gobierno Vasco (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático: “ESCENARIOS” y “ESCENARIOS II”) y LIFE de la Unión Europea (LIFE18 IPC/ES/000001, “LIFE-IP URBAN KLIMA 2050”).

El año 2022 fue un año en general seco en todo el territorio, con una precipitación media cerca de un -20% inferior de la del periodo de referencia, aunque hay diferencias espaciales. Mientras en el Goierri fue un año muy seco, en la zona más oriental del territorio la precipitación anual estuvo más cerca de los valores normales. Los valores más altos se registraron en el nordeste de Gipuzkoa,

incluida la costa, especialmente en la zona limítrofe con Navarra (2.288,9 mm en Eskas y 1.883,3 mm en Añarbe). Los menores acumulados se registraron en el Goierri (Agauntza 702,9 mm, Estanda 714). Es uno de los años más secos en el territorio, especialmente después de la serie de años muy húmedos reciente, pero aún hay años más secos, como el de 2006.



20. Fig. Anomalia (% de cambio con respecto al periodo 1971–2000) de la precipitación acumulada en la estación de Igueldo (Donostia-San Sebastián) en 2022. Se incluye el rango de anomalías máximo-mínimo y el rango intercuartil Fuente: elaboración propia a partir de los datos de AEMET.



En casi todos los meses se registraron precipitaciones inferiores a la media, salvo alguna excepción, ligadas en algunos casos a situaciones de precipitaciones persistentes con acumulados significativos. Estas condiciones deficitarias comenzaron en mayo y continuaron durante el verano y el otoño.

El invierno fue en general húmedo en relación al periodo de referencia 1981-2010, marcado por dos episodios de precipitaciones persistentes. Enero fue en general un mes seco en el litoral y más húmedo en la zona nordeste montañosa del territorio, con un menor número de días de lluvia de lo esperable. En el mes de febrero, en ninguna jornada se acumularon cantidades muy abundantes (≥ 30 mm), siendo un mes muy seco con respecto al periodo de referencia 1981-2010, por ejemplo, en Igeldo se registró menos de la mitad de lo normal (Fig. 20).

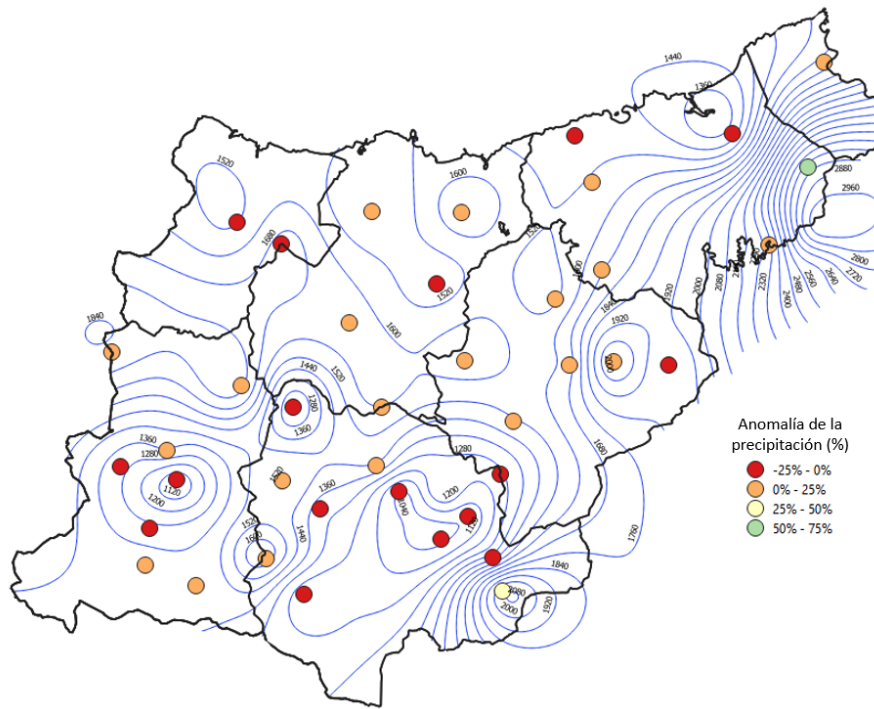
La primavera, continuando con la tendencia del año 2021, destacó por su carácter seco, siendo muy seca en la comarca del Goierri según el periodo normal 1981-2010. A pesar de este carácter seco, las tasas de precipitación en 2022 fueron superiores a las registradas en la primavera de 2021 (calificada como extremadamente seca), registrándose unas precipitaciones de 403,2 mm (+143,3% con respecto al mismo periodo en 2021) y 250,7 (+54,0% con respecto al año anterior) en las estaciones de referencia Lasarte y Arrasate, respectivamente. Mientras que marzo y abril fueron normales o incluso húmedos, en algunas zonas del territorio como en el litoral y el nordeste y aunque seco en el Goierri, mayo es uno de los más secos desde mediados del siglo pasado (desde 1987 en Donostia), con precipitaciones un 50% inferiores a lo normal.

Tras un final de primavera muy seco, el verano se caracterizó por un comportamiento muy seco, excepto en las comarcas litorales del territorio, con tendencia a valores normales con respecto al periodo de referencia 1981-2010. Siguiendo la tónica habitual, los mayores acumulados se concentraron en el nordeste de Gipuzkoa, tanto en los montes limítrofes con Navarra, así como en

el litoral más oriental. Junio fue húmedo en las comarcas del litoral y más seco en el interior. Julio fue extremadamente seco en relación al periodo 1981-2010, registrándose en Igeldo una precipitación casi un 75% inferior a la normal. Estas condiciones se mantuvieron durante el mes de agosto, a excepción de las comarcas de Donostialdea y Bajo Bidasoa donde fue húmedo respecto al periodo normal 1981-2010. Es importante destacar la ocurrencia de eventos extremos de precipitación durante el mes de junio como consecuencia de la entrada de calles tormentosas desde Navarra con intensidades puntualmente muy fuertes en el oeste de Gipuzkoa. Algunas de estas precipitaciones representan los registros más altos del siglo XXI para el mes de junio en algunas de las estaciones ubicadas en la cuenca del Oría. A excepción de estos eventos extremos de precipitación, el número de días de lluvia (≥ 1 mm) en el conjunto del territorio fue menor de lo esperable en esta época del año, especialmente en las comarcas del interior.

El otoño de 2022 se caracterizó por un comportamiento dispar entre la zona litoral y el interior del territorio como consecuencia de las anomalías positivas observadas durante los meses de septiembre y noviembre, especialmente en el litoral, y el carácter extremadamente seco del mes de octubre. En algunas estaciones, el mes de octubre fue el más seco de los octubres de este siglo, con un número muy reducido de días de lluvia, por ejemplo, sólo 4 días en Donostia.

Al considerar el último año hidrológico completo (1 octubre 2021-30 septiembre 2022), el año fue normal en cuanto a las precipitaciones en muchos puntos del territorio y húmedo especialmente en el litoral, siendo la precipitación acumulada anual alrededor de un 2,3% superior al valor medio del periodo de referencia 1981-2010. Los valores más altos se registraron en la zona montañosa del nordeste, limítrofe con Navarra (Eskas 2.2907 mm, Añarbe 2.159 mm y Ameraun 1.842 mm), seguido del litoral oriental del territorio. En lo que respecta a lo que va de siglo, estos valores se encuentran en una posición media, lejos de los años más húmedos 2021, 2017, 2013 y 2008.



21. Fig. Mapa de isoyetas y anomalía (% de cambio respecto a 1981-2010) de la precipitación en el año hidrológico 2021/2022 en las estaciones meteorológicas de referencia en el T.H. de Gipuzkoa. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de la DGOH-DFG.

La evapotranspiración muestra una tendencia creciente no significativa en Gipuzkoa para el periodo 1971-2016. Sin embargo, esta tendencia no es uniforme en el conjunto del territorio. Debagoiena, Goierri y Tolosaldea

muestran un crecimiento estadísticamente significativo en la serie climatológica analizada. En cambio, Bajo Bidasoa y Donostialdea muestran tendencias decrecientes, aunque no significativas.

PERIODO	GIPUZKOA	BAJO BIDASOA	BAJO DEBA	ALTO DEBA	DONOSTIALDEA	GOIERRI	TOLOSALDEA	UROLA KOSTA
1971-1980	2,26 ± 0,07	2,30 ± 0,06	2,40 ± 0,06	2,26 ± 0,08	2,14 ± 0,08	2,23 ± 0,08	2,14 ± 0,08	2,23 ± 0,07
1981-1990	2,29 ± 0,09	2,44 ± 0,08	2,40 ± 0,06	2,27 ± 0,10	2,21 ± 0,07	2,24 ± 0,10	2,21 ± 0,07	2,24 ± 0,11
1991-2000	2,23 ± 0,07	2,37 ± 0,09	2,30 ± 0,06	2,20 ± 0,07	2,11 ± 0,09	2,22 ± 0,07	2,11 ± 0,09	2,13 ± 0,08
2001-2010	2,29 ± 0,07	2,29 ± 0,12	2,37 ± 0,06	2,28 ± 0,07	2,26 ± 0,07	2,27 ± 0,08	2,26 ± 0,07	2,24 ± 0,07
2011-2016	2,35 ± 0,06	2,29 ± 0,07	2,43 ± 0,06	2,37 ± 0,07	2,35 ± 0,07	2,35 ± 0,08	2,35 ± 0,07	2,36 ± 0,08
Tendencia 1971-2016 (mm década ⁻¹)	0,02	-0,02	0,00	0,02*	-0,01	0,02*	0,04*	0,02

11. Tabla. Promedio de la evapotranspiración de referencia (mm año⁻¹) y tendencia anual para las distintas comarcas en el periodo 1971-2016. + Indica las tendencias que son estadísticamente significativas (p-valor < 0,05). Fuente de datos: Escenarios climáticos en Euskadi y series de datos elaborados por Neiker, Grupo de Meteorología de Santander (Universidad de Cantabria) y Predictia, para Ihobe-Gobierno Vasco, con financiación de los programas: KLIMATEK I+B+G del Gobierno Vasco (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático: "ESCENARIOS" y "ESCENARIOS II") y LIFE de la Unión Europea (LIFE18 IPC/ES/000001, "LIFE-IP URBAN KLIMA 2050").



3.3. TEMPERATURA DEL MAR

En el golfo de Vizcaya y la costa guipuzcoana se aprecia un calentamiento del mar a partir de 1980. Concretamente, las tasas de calentamiento observadas oscilan entre 0,13 °C y 0,25 °C, en función de la localización y la profundidad. Las tasas más altas corresponden a la temperatura superficial, en comparación con la columna de 0-100 m, y a la parte más oriental del golfo.

La serie histórica de temperatura superficial del mar del Aquarium de Donostia-San Sebastián permite analizar la evolución de esta variable durante el periodo 1946-2021. Se observan dos periodos diferenciados con tendencias diferentes, un primer periodo de 1946 a 1980

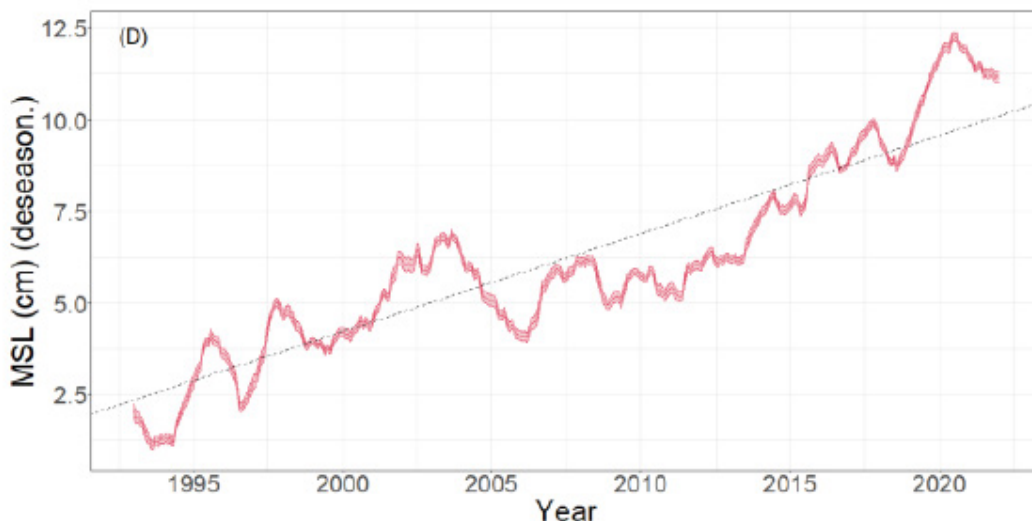
con una tendencia decreciente ($-0,19 \pm 0,06$ °C por década⁻¹), y el periodo más reciente de 1980 a 2021 con una tendencia creciente de $0,24 \pm 0,03$ °C década⁻¹. A escala del golfo de Vizcaya, los datos de satélite para el periodo 1981-2020 también indican una tendencia creciente y significativa con una tasa de $0,19 \pm 0,03$ °C década⁻¹.

El análisis de la temperatura en los primeros 100 metros de la columna de agua para el periodo 1986-2021, en una estación de medida situada frente a la costa de Pasaia, indica una tendencia creciente significativa a una tasa de $0,137 \pm 0,03$ °C década⁻¹.

3.4. NIVEL DEL MAR

Para analizar la evolución del nivel medio del mar en nuestra costa, se han utilizado los registros in situ que provienen de 6 mareógrafos instalados en la línea de costa del golfo de Vizcaya, analizándose las series

temporales desde su inicio hasta 2021. Asimismo, también se ha analizado el nivel medio del mar del golfo de Vizcaya mediante datos satelitales para el periodo 1993-2021.



22. Fig. Serie temporal del nivel del mar en el golfo de Vizcaya obtenida a partir de datos satelitales.

Los datos recogidos indican que el nivel medio del mar está ascendiendo significativamente en todos mareógrafos, con excepción del mareógrafo de Gijón cuya tendencia positiva está cercana al nivel de significación. Las tasas de ascenso para las series significativas oscilan entre $1,28 \pm 0,05$ cm década⁻¹ (en Brest, 1846–2021) y $3,72 \pm 0,59$ cm década⁻¹ (en A Coruña, 1992–2021). Al igual que ocurre a escala global, la tasa de ascenso también se está acelerando en el golfo de Vizcaya desde los años 90. El análisis

de la serie histórica más larga disponible, correspondiente al mareógrafo de Brest (Francia), se observa que la tasa de ascenso de 1992 a 2021 ($2,99 \pm 0,44$ cm década⁻¹) supera el doble del valor correspondiente el periodo completo de la serie 1846–2021 ($1,28 \pm 0,05$ cm década⁻¹). Los análisis del nivel medio del mar obtenido con sensores satelitales (1993–2021) indican que el nivel medio del mar del golfo de Vizcaya está ascendiendo a una tasa de $2,68 \pm 0,36$ cm década⁻¹ (p-valor<0,0001).

DESCRIPCIÓN	ESTACIÓN/ZONA	Periodo	Tendencia (cm década ⁻¹)
NMM VIGO2	Vigo2	1993-2021	$1,87 \pm 0,51^+$
NMM GIJÓN2	Gijón2	1995-2021	$0,99 \pm 0,55$
NMM SANTANDER2	Santander2	1992-2021	$2,11 \pm 0,33^+$
NMM CORUÑA2	Coruña2	1992-2021	$3,72 \pm 0,59^+$
NMM CORUÑA2	Coruña	1943-2021	$1,92 \pm 0,19^+$
NMM BILBAO2	Bilbao3	1992-2021	$3,12 \pm 0,32^+$
NMM PASAIA	Pasaia	2007-2020	$4,89 \pm 0,87^+$
NMM BREST	Brest	1992-2021	$2,99 \pm 0,44^+$
NMM BREST	Brest	1846-2021	$1,28 \pm 0,05^+$
NMM SATÉLITE	Golfo de Vizcaya	1993-2021	$2,68 \pm 0,36^+$

12. Tabla. Tendencia del nivel del mar en los mareógrafos del golfo de Vizcaya y la medida por satélite. + Indica que las tendencias son estadísticamente significativas (p-valor < 0,05).

El ascenso detectado en la costa guipuzcoana y en todo el mar del golfo de Vizcaya es consistente con el ascenso nivel global. El análisis de las series confirma que la subida del nivel de mar se está acelerando en esta región

en las últimas tres décadas de forma coherente con los resultados de los estudios en el que se analizan periodos más largos (Dangendorf et al., 2019).



3.5. PH DEL MAR

Para el análisis de la evolución del pH del mar en el litoral guipuzcoano, se han utilizado las series temporales de registros puntuales obtenidos en el proyecto 'Red de seguimiento del estado ecológico de las aguas de transición y costeras de la CAPV'.

El análisis de las estaciones litorales profundas situadas sobre la plataforma continental a 10 km de la costa y en fondos de 110 m de profundidad, muestra una tasa de descenso del pH del agua de mar de alrededor de $0,123 \pm 0,002$ unidades de pH por década en cada una de las

estaciones analizadas. Esta tasa en el sureste del golfo de Vizcaya es ligeramente superior a las observadas a partir de la revisión bibliográfica en el océano global ($-0,02$ unidades década⁻¹), en el océano Atlántico ($-0,013$ unidades década⁻¹) y en la costa occidental del golfo de Vizcaya ($-0,016$ unidades década⁻¹). Este resultado indica que el proceso de acidificación observado en la costa guipuzcoana podría estar asociado al proceso de acidificación del océano global, aunque es necesario continuar realizando labores investigativas y de análisis sobre la variación del pH a lo largo de la columna de agua.



Informe de Impacto
y Vulnerabilidad al
Cambio Climático
en Gipuzkoa



Análisis de los efectos del cambio climático en los recursos hídricos de Gipuzkoa

Gipuzkoako
Foru Aldundia
Jasangarritasun
Departamentua



Diputación Foral
de Gipuzkoa
Departamento de
Sostenibilidad

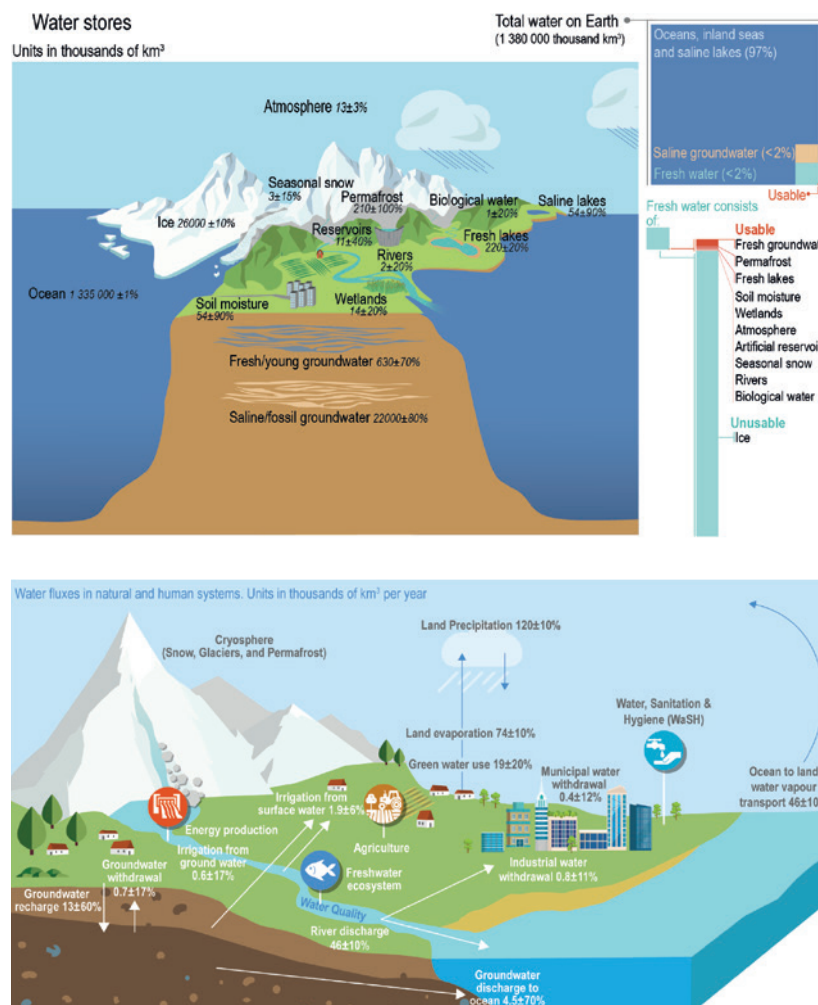


Naturklima
Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa

1. INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para la vida en la Tierra. El agua dulce es un recurso esencial tanto para los ecosistemas, así como para casi todas las actividades humanas, incluyendo el riego en agricultura, los procesos industriales y el abastecimiento seguro a la población, que requieren de cantidades suficientes y de calidad adecuada de agua dulce. Es el recurso que interconecta el clima, los sectores ambientales y todos los sectores socioeconómicos, por lo que el cambio en cualquiera de ellos puede inducir efectos en cascada en el resto de sistemas. Así, es un hecho reconocido que el principal medio a través del cual los ecosistemas y los sistemas socioeconómicos se van a ver afectados por el cambio climático es el agua (OMM, 2021).

El 71% de la Tierra está cubierta de agua, pero sólo una pequeña porción es agua disponible. En concreto, se estima que únicamente el 2,5% se encuentra en forma de agua dulce, siendo los océanos el principal reservorio de agua. Además, de dicha fracción de agua dulce, sólo alrededor del 4% se encuentra fácilmente accesible y disponible para el funcionamiento de los ecosistemas y para satisfacer las demandas socioeconómicas (Abbott, et al., 2019). A pesar de esta pequeña cantidad, la tasa de recirculación del ciclo hidrológico y la disponibilidad de agua es teóricamente suficiente para satisfacer dichas necesidades, aunque existen notables diferencias tanto a nivel geográfico como estacional.



1. Fig. (arriba) Reservas de agua. Fuente: IPCC(2021). (Abajo) El ciclo hidrológico, incluidas las intervenciones antrópicas. Fuente: Caretta et al. (2022).

El ciclo hidrológico está relacionado con todos los componentes del sistema climático: océano, atmósfera, hidrosfera, criosfera y biosfera. Debido al cambio climático, que afecta a todos estos sistemas, todas las componentes del ciclo hidrológico de gran escala se han visto también modificadas en las últimas décadas (Douville et al., 2021). Estos cambios en el ciclo hidrológico han ocurrido directamente a través de variaciones de las características e intensidad de la precipitación, evapotranspiración, la humedad del suelo, recarga de acuíferos, la escorrentía, los fenómenos climáticos extremos (inundaciones y sequías) y la calidad del agua, así como indirectamente a través de cambios más amplios en las cuencas hidrográficas (ej. cambios en la cubierta terrestre).

Las proyecciones, basadas en el uso de modelos climáticos, indican para mayores niveles de calentamiento global la intensificación del ciclo hidrológico, incluida su variabilidad y los fenómenos extremos y, con ello, un incremento de los riesgos ligados al agua (IPCC, 2021). En el caso de la zona sur de Europa y del litoral cantábrico, las proyecciones, a pesar de la gran variabilidad que muestran, indican como probable una disminución de la precipitación, de la escorrentía, de la disponibilidad de agua, así como un aumento de las precipitaciones extremas, un agravamiento de las sequías y afecciones a los parámetros de calidad del agua. Estos cambios, que inciden por tanto en la cantidad y calidad de los recursos hídricos disponibles, provocarán a su vez una serie de efectos en cascada sobre todos los sistemas ecológicos y sectores socioeconómicos que también dependen del agua, con implicaciones para la agricultura y ganadería, para el abastecimiento urbano y la producción hidroeléctrica, así como para los procesos ecológicos y para las especies y hábitats ligados a los sistemas acuáticos.

La reducción en la disponibilidad de recursos hídricos debida al cambio climático irá en muchos casos relacionada con un incremento de la demanda por aumento de la temperatura y también ligada a otros factores socioeconómicos (ej. crecimiento población, crecimiento económico, cambios tecnológicos). Esto, por tanto, podría reducir la disponibilidad de recursos hídricos y dar lugar a situaciones de déficit para hacer frente a las demandas de los distintos usos, esto es, escasez de agua. Distintos estudios de modelización estiman que, por cada grado de calentamiento global, aproximadamente un 7% de la población mundial estará expuesta a una disminución de los recursos hídricos renovables de al menos el 20% (Döll, 2009; Schewe et al., 2014). Con todo ello aumentará la escasez de agua debida al cambio climático, pero también a factores demográficos y socioeconómicos (Gossling & Arnell, 2013). En el caso concreto de Europa, se estima que aproximadamente el 20% del territorio, un 30% de la población, padece ya de media cada año situaciones de escasez de

agua. Se proyecta que esta situación se agravará en el sur del continente y se extenderá hacia el norte para los distintos escenarios de cambio climático (EEA, 2018; 2021; Toreti et al., 2022).

El aumento de la temperatura y los cambios en el ciclo del agua, inducidos por el cambio climático, pueden alterar las características físicas y químicas del agua, influyendo en su calidad y, por tanto, en los ecosistemas de agua dulce. Todo ello repercutirá en las especies y ecosistemas acuáticos, incluyendo importantes alteraciones como el desplazamiento de la barrera termal de las especies de aguas frías, efectos en el ciclo de vida de las especies debido a los cambios en el régimen hidrológico, reducción del contenido de oxígeno disuelto debido al incremento de la temperatura, aumento en la concentración de contaminantes en el agua debido a la reducción de aportaciones naturales, aumento de la eutrofización debido al aumento en la concentración de contaminantes y al aumento de la temperatura, desplazamientos de los hábitat, afecciones a la vegetación de ribera, etc. Se proyecta que estos riesgos para los ecosistemas aumentarán con el avance del cambio climático, disminuyendo proporcionalmente la biodiversidad de agua dulce con el aumento del calentamiento si se supera el nivel de calentamiento global de 1,5°C.

En resumen, el cambio climático tiene impacto en todos los aspectos del ciclo del agua, con impactos en todos los sectores de la economía y los ecosistemas, y se prevé que el riesgo se intensifique con cada grado de calentamiento global.

La relación entre los recursos hídricos y la disponibilidad de agua dulce son una preocupación de primer orden y un desafío para la gestión sostenible del recurso. Así, las distintas estrategias de adaptación, como la Estrategia Europea de Adaptación al Cambio Climático o el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) 2021-2030 establecen líneas de acción concretas para la adaptación y la gestión sostenible del agua y los recursos hídricos. A nivel europeo, la Directiva Marco del Agua (PE, 2000), cuyo objetivo es proteger las aguas y garantizar su sostenibilidad, tanto en términos cuantitativos como cualitativos, también contribuye a reducir la vulnerabilidad de estos sistemas ante los efectos del cambio climático. Los últimos Planes Hidrológicos de cuenca elaborados para el periodo 2022-2027 también han incluido el análisis de los riesgos asociados al cambio climático con el horizonte temporal a 2039, así como una propuesta de medidas de adaptación.

Gipuzkoa es un territorio estrechamente ligado al agua. Los principales núcleos urbanos y las actividades económicas están ligados a los ríos y al agua dulce. Se trata de

un territorio en el que, en general, el agua es considerada un recurso abundante, debido al elevado número de días de precipitación a lo largo del año, y se percibe que el mayor riesgo es debido a episodios de inundaciones, a pesar de haber sufrido algunos episodios de sequía. Rompiendo la trayectoria de los años previos muy húmedos, desde finales de 2019 las precipitaciones se han visto reducidas, siendo especialmente muy seco el último verano-otoño y en muchas comarcas del territorio. Así, la mayor variabilidad de la precipitación y la sequía en el territorio se han convertido en tema de conversación recurrente.

La importancia de este recurso para el territorio y la preocupación del impacto del cambio climático queda reflejada en la Estrategia Gipuzkoa Klima 2050, que establece el impacto de las sequías sobre la seguridad del abastecimiento como uno de los riesgos más importantes asociados al cambio climático y al que hay que adaptarse adecuadamente. También indica la necesidad de proteger los recursos naturales del territorio, incluido el agua, preservando la biodiversidad y soportando las actividades socioeconómicas. Distintas metas y acciones de la estrategia contribuyen a tal fin, como 'Monitorización y seguimiento de los impactos del cambio climático sobre el territorio', 'Actualizar y mejorar la cartografía, modelización y monitorización de riesgos' y 'garantizar el suministro de agua y adaptar las infraestructuras hidráulicas al cambio climático'. El objetivo último de todas estas acciones y metas y de la propia estrategia es adaptarse e incrementar la resiliencia del territorio frente al cambio climático, para lo que será fundamental garantizar que el agua dulce esté disponible de manera sostenible.

El objetivo de este Bloque II '*Análisis de los efectos del cambio climático en los recursos hídricos de Gipuzkoa*' es proporcionar una visión actualizada sobre el conocimiento de los impactos y riesgos ecológicos y sociales potenciales derivados de los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos en Gipuzkoa. Este conocimiento permitirá adaptarse y ser más resiliente frente a las amenazas climáticas. Para ello, en primer lugar, se han descrito las principales características de las cuencas. En segundo lugar, se han analizado las tendencias observadas en las variables hidrometeorológicas a partir de la recopilación de datos de diversas fuentes (DGOH-DFG, URA, Ihobe, et.) y el tratamiento estadístico de las mismas. Estas tendencias se ponen en contexto con las tendencias observadas en estudios a mayor escala y se comparan con estudios previos. A continuación, en el capítulo 4, se han analizado los principales impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos, considerando la precipitación, evapotranspiración, la humedad del suelo, la escorrentía, la recarga de acuíferos y los eventos climáticos extremos. Se han analizado los resultados de un conjunto de proyecciones regionalizadas para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 para el periodo de control 1961-2000 y los horizontes temporales 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100. Asimismo, en el capítulo 5 se han analizado las tendencias observadas en parámetros indicadores de la calidad del agua y los posibles riesgos futuros debidos al cambio climático sobre los ecosistemas acuáticos. Finalmente, en los capítulos 6 y 7 se ha analizado la demanda actual y a corto plazo y el riesgo de escasez de agua por disminución de los recursos hídricos para los distintos escenarios de cambio climático. El informe concluye recogiendo las principales conclusiones de los análisis realizados.

2. CUENCAS HIDROGRÁFICAS GUIPUZCOANAS

La planificación y gestión de los recursos hídricos se realiza a nivel de cuencas hidrográficas. Los impactos del cambio climático se están analizando también a esta escala espacial. La Directiva Marco del Agua define 'cuenca hidrográfica' como la superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes y ríos hacia el mar por una única desembocadura o estuario.

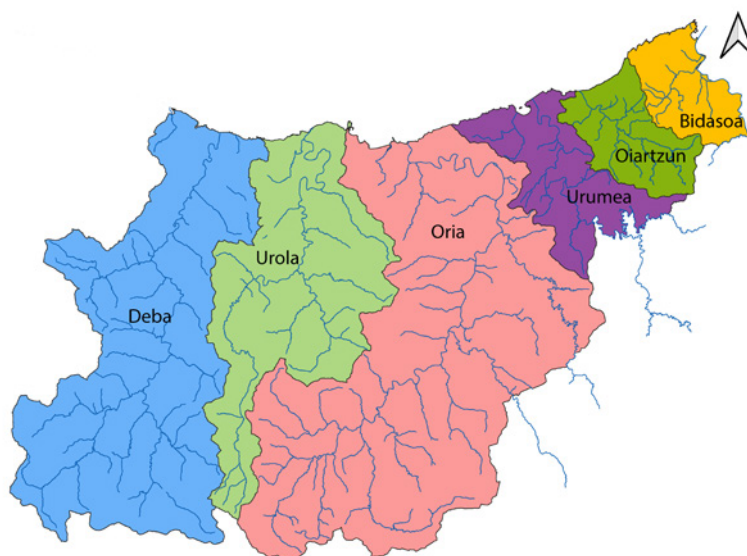
En este capítulo se realiza una descripción de las cuencas guipuzcoanas. Se realiza una caracterización física y climática. La descripción, en detalle, de las principales características físicas y el régimen climático medio de las cuencas hidrográficas se encuentra en el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico

Oriental para el periodo 2022–2027. Este plan está referido a la parte española de la demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental que incluye dos ámbitos competenciales de planificación: las Cuencas Internas del País Vasco, competencia de la CAPV a través de la Agencia Vasca del Agua, y las cuencas intercomunitarias de la vertiente cantábrica competencia de la Administración General del Estado, a través de la Conferencia Hidrográfica del Cantábrico. A continuación, se describen las principales características de las seis cuencas hidrográficas que se desarrollan en Gipuzkoa. Las cuencas del Urola y Oiartzun pertenecen íntegramente al T.H. y las cuencas del Deba, Oria, Urumea y Bidasoa se extienden por otros territorios de la CAPV, la Comunidad Foral de Navarra y Francia.

2.1. MARCO GEOGRÁFICO

El relieve montañoso y abrupto del territorio y la cercanía al mar Cantábrico de los relieves montañoso ha condicionado la formación de la red hidrográfica, dando lugar al desarrollo de un total de seis cuencas fluviales independientes. En general, estos valles son de pequeña extensión, cortos, profundos, encajados y con elevadas

pendientes, salvo en su curso bajo, dispuestos de forma más o menos paralela y con direcciones predominantes N-S, cuyos recorridos, de cauces cortos, también tienen elevadas pendientes. A pesar de su escaso desarrollo, los ríos son relativamente caudalosos, en términos de caudal medio anual, debido a las abundantes precipitaciones.



2.1. Fig. Cuencas y principales cauces en el T.H. de Gipuzkoa. Fuente de datos: GeoEuskadi.

Sistema	Área (km ²)	Longitud (km)	Principales acuíferos
BIDASOA	700,0	69,0	Jaizkibel
			Oiartzun
			Aiako Harria
			Macizos paleozoicos
			Basaburua-Ulzama
OIARTZUN	85,3	16,6	Jaizkibel
URUMEA	279,0	59,4	-
ORIA	882,5	82,7	Aralar
			Elduain
			Ernio
			Albiztur
UROLA	337,5	63,5	Izarraitz
			Gatzume
			Albiztur
DEBA	533,8	62,4	Izarraitz
			Aizkorri
			Aramotz

2.1. Tabla. Características de las cuencas fluviales. Fuente: modificada de la memoria del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental 2022-2027 (URA, 2022).

La cuenca del Deba es la cuenca más occidental del T.H. de Gipuzkoa. Con una superficie de 533,8 km², limita al este con el valle del Urola, al oeste con los valles de los ríos Artibai e Ibaizabal (Bizkaia) y al sur con el valle del Zadorra (Araba). Se extiende íntegramente por la CAPV, perteneciendo la mayor parte a Gipuzkoa. El cauce principal tiene una longitud aproximadamente de 60 km. El río Deba nace en las regatas de Leintz-Gatzaga, recibiendo aguas abajo de Arrasate las aportaciones del río Oñati en San Prudentzio. Continúa su curso a través de Bergara y Soralue; recibe aportes de los ríos Angiozar y Ubera que descienden desde Elgeta, y en Maltzaga se incorpora el degradado río Ego. A partir de este punto, el río sigue su curso por Elgoibar y Mendaro hacia Deba, donde desemboca en el mar.

La cuenca del Urola, con una superficie de 337,5 km², se encuentra en el centro del territorio, limitando al oeste con la cuenca del Deba y al este con la del Oria, encontrándose íntegramente en el T.H. de Gipuzkoa. El río Urola

discurre a lo largo de un eje sur-norte, desde el límite al sur con la Sierra de Aizkorri hasta su desembocadura en Zumaia. El curso alto del Urola, caracterizado por su estrechez y elevadas cotas, se extiende hasta Urretxu, el curso medio va desde Urretxu hasta Aizarnazabal, y de aquí hasta su desembocadura se extiende el tramo de estuario. En Azepeitia, se unen al Urola el río Errezil y el Ibaieder.

La cuenca del Oria, delimitada al oeste con la cuenca del Urola, al sur con el T.H. de Araba y al este con la cuenca del Urumea y la Comunidad Foral de Navarra, es la más extensa del T.H. de Gipuzkoa con 882,5 km². La longitud del cauce principal es de, aproximadamente, 74 km y presenta también afluentes importantes que pueden superar los 10 km de longitud. En el curso alto atraviesa el sector oriental de Aizkorri, aguas abajo cruza por Zumarraga-Beasain, donde recibe aportes del río Estanda. En Tolosa desembocan algunos de los afluentes importantes, como el Araxes, Albiztur y Berastegi, y en Andoain el Leitzarán que aporta un volumen importante al tramo final

del río. En Lasarte efectúa un brusco giro hacia el Oeste y desde Usurbil las aguas discurren lentamente describiendo amplios meandros hasta desembocar en el mar en Orio.

La cuenca del Urumea, delimitada al oeste con la cuenca del Oria y al este con la cuenca del Oiartzun se extiende por el T.H. de Gipuzkoa y parte de la Comunidad Foral de Navarra. El cauce principal tiene una longitud de 40 km, correspondiendo los 32 km inferiores, desde la presa de Añarbe hasta la desembocadura en Donostia, al tramo guipuzcoano.

La cuenca del Oiartzun, con una superficie de 85,27 km², es la cuenca más pequeña de los ríos que discurren por Gipuzkoa. Está delimitada al oeste por la cuenca del Urumea y al este por la cuenca del Bidasoa. La cabecera del río se ubica en la parte occidental del Macizo Paleozoico de Cinco Villas y la desembocadura se produce en la bahía de Pasaia, siendo la longitud del cauce principal de unos 15 km.

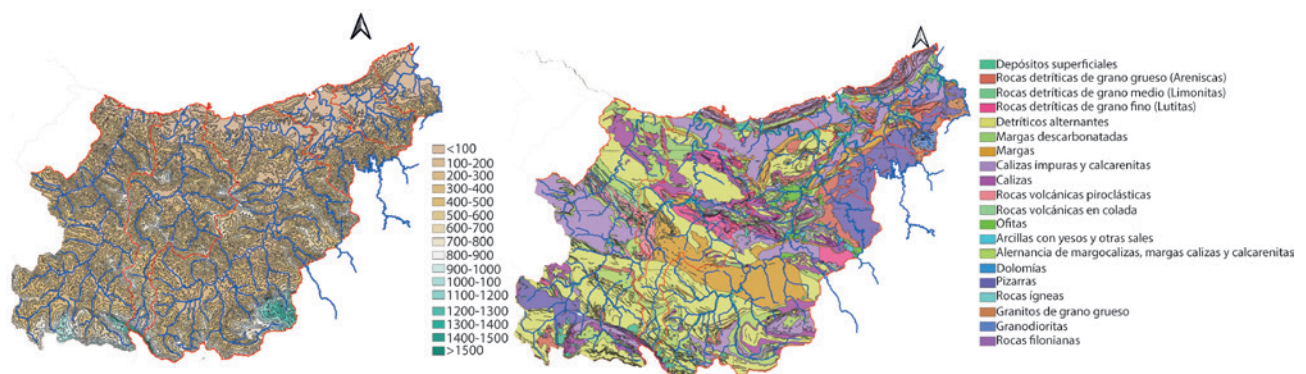
La cuenca del Bidasoa es la más oriental del T.H. de Gipuzkoa y comprende territorios de Gipuzkoa, la Comunidad Foral de Navarra y Francia. En el territorio navarro llega hasta Endarlatsa, marca durante 10 km la frontera con Francia y termina desembocando en el mar entre Hendaia y Hondarribia. Es la cuenca que presenta menos desarrollo en el T.H. de Gipuzkoa, ya que de sus 700 km² únicamente 62,7 km² y aproximadamente el 20% de la longitud del eje principal pertenecen a Gipuzkoa.

Marco físico y biótico

En cuanto a la geología, en el territorio predominan las rocas sedimentarias detríticas del cretácico, como areniscas, calizas, margas y arcillas, donde se hacen presentes formaciones flyshoideas, que propician en general relieves redondeados. En el extremo nororiental se encuentran los materiales más antiguos, paleozoicos del tipo pizarras, cuarcitas. Estos materiales generan un paisaje accidentado con importantes relieves.

Las condiciones climáticas caracterizadas por una elevada pluviometría y las condiciones orográficas, en la que los ríos deben salvar fuertes desniveles en recorridos muy cortos, propician que la erosión hídrica sea el agente geomorfológico de mayor actividad. En las zonas más bajas donde los valles se ensanchan y la pendiente disminuye, los ríos depositan su carga de sedimentos formando llanuras de inundación cuaternarias.

Agentes como la litología, la orografía y el clima condicionan los tipos de suelos. En Gipuzkoa presentan cierta homogeneidad, debido, por un lado, a las abundantes precipitaciones que lavan los suelos generando un horizonte superficial generalmente ácido, y, por otro, al predominio de terrenos con pendientes moderadas o abruptas en las que la intensa erosión no permite procesos de configuración suficientemente largos. Así, predominan los suelos jóvenes, de perfiles poco evolucionados y horizontes poco diferenciados.



2.2. Fig. Mapas topográfico (izquierda) y litológico (derecha). Fuente de datos: GeoEuskadi.

El marco biótico está caracterizado por una gran diversidad de ecosistemas, cada uno de ellos con una vegetación y una fauna características. Desde el punto de vista biogeográfico, el T.H. de Gipuzkoa pertenece a la región Eurosiberiana, provincia Cántabro-Atlántica,

sector Cántabro-Euskaldún. Considerando los factores que condicionan la vegetación, la vegetación potencial en el territorio guipuzcoano, esto es, la comunidad clímax que se desarrollaría naturalmente en condiciones ambientales estables, combina distintos tipos de bosques

de frondosas, cuya distribución depende de las condiciones climáticas generadas por el gradiente altitudinal y del sustrato rocoso sobre el que se asientan. Además de los bosques, algunos tipos de matorrales y prados allí donde predomine algún factor ecológico que impida el desarrollo de masas forestales como roquedos, cumbres venteadas, zonas encharcadas, enclaves salobres, etc. En las riberas de los cauces la vegetación característica sería la aliseda cantábrica o eurosiberiana, con presencia

de alisos (*Alnus glutinosa*), fresnos (*Fraxinus excelsior*), etc. Teniendo en cuenta la morfología de los cauces, los ecosistemas presentes podrían agruparse en tres grandes zonas: los ecosistemas asociados al curso alto del río, los asociados al curso medio del río y los asociados al curso bajo del río. No obstante, gran parte de los ecosistemas acuáticos ha sufrido importantes alteraciones debido a la presión humana sobre estos sistemas.



2.1.1. MASAS DE AGUA

Las masas de agua se han definido en el Plan Hidrológico 2022-2027 en base al marco normativo definido por la Directiva Marco del Agua (DMA). En el contexto de la DMA, se considera masa de agua a aquella unidad discreta y significativa de agua que presenta características homogéneas, de tal forma que su delimitación permite establecer una base espacial en la cual es coherente desarrollar un análisis de los impactos que la afectan, definir los programas de seguimiento y medidas derivados de estos análisis y comprobar el grado de cumplimiento de los objetivos ambientales que le sean de aplicación.

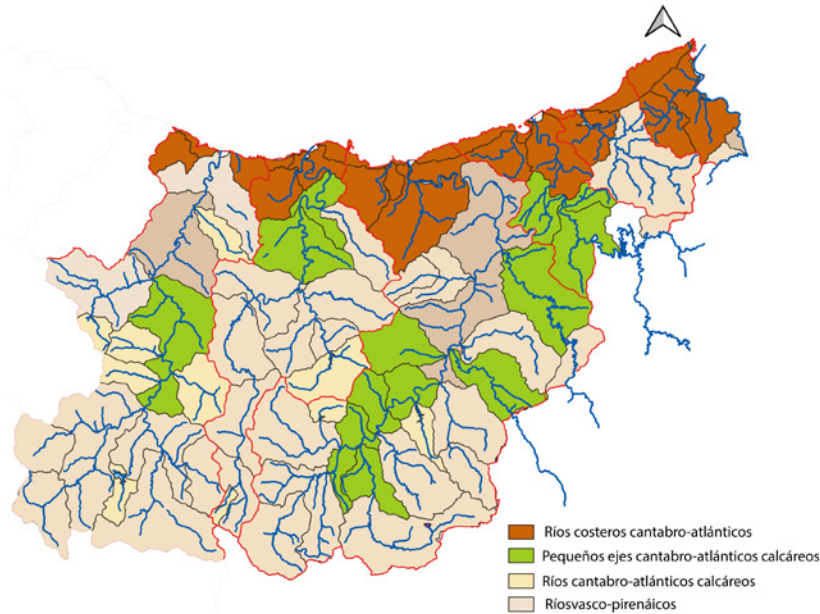
Los criterios que se aplican a la hora de delimitar las masas de agua superficiales de la categoría río tienen en cuenta que presenten tanto características homogéneas como un tamaño mínimo de cuenca. Sin embargo, ocasionalmente se consideran otros aspectos, como que sean de interés desde el punto de vista de abastecimiento.

Las masas de agua se clasifican en superficiales (ríos, lagos, embalses canales, estuarios y aguas coteras) y subterráneas.

a) Masas de agua superficial

La caracterización de las masas superficiales se realizó en el estudio 'Caracterización de las masas de agua

superficiales de la CAPV' (Gobierno Vasco, 2002). En las cuencas hidrográficas del T.H. de Gipuzkoa se han identificado tres tipos de categorías de ríos.



2.3. Fig. Mapa de las Tipologías en las que se dividen las masas de agua superficial de la categoría ríos en la CAPV. Fuente de datos: Geoeuskadi.

b) Masas de agua subterránea

Las aportaciones totales en régimen natural constan de una componente de escorrentía superficial directa y de una componente de origen subterráneo. Esta componente subterránea de la escorrentía total, coincide,

dejando al margen los efectos de transferencias subterráneas externas, con la recarga natural de los acuíferos. Los acuíferos subterráneos son fuente de agua crucial para la naturaleza, especialmente para los humedales, los ecosistemas urbanos y también para el abastecimiento de agua potable.



2.4. Fig. Masas de agua subterránea. Fuente de datos: Geoeuskadi.

Las masas de agua subterránea de las cuencas guipuzcoanas están constituidas en general, por acuíferos pequeños bastante compartimentados con numerosos puntos de recarga. En la actualidad no existen, en general, presiones significativas por extracción sobre estas masas de agua, aunque sí numerosos puntos de captación.

Destacar entre estas captaciones la importancia del sistema de abastecimiento de Kilimon, que abastece de agua para consumo humano a las poblaciones de Elgoibar, Mendaro, Mutriku y parte de Deba (unos 30.000 habitantes).

NOMBRE DE MASA	TIPOLOGÍA	Superficie (km ²)	Recursos renovables (hm ³ /año)	Recursos ambientales (hm ³ /año)	Recurso disponible (hm ³ /año)
Aranzazu	Kárstico en sentido estricto	60,0	45,5	5,4	40,1
Troya	Kárstico en sentido estricto	23,0	3,3	0,6	2,7
Sinclinorio de Bizkaia	Otros - Detrítico consolidado - Detrítico no consolidado	795,3	179,6	34,7	144,9
Anticlinorio norte	Detrítico consolidado - Kárstico en sentido estricto	345,4	52,4	9,2	43,3
Anticlinorio sur	Kárstico en sentido estricto - Detrítico no consolidado	1.608,8	438,0	64,4	373,6
Izarraitz	Kárstico en sentido estricto	112,2	54,2	7,5	46,6
Aralar	Kárstico en sentido estricto	77,8	58,3	11,1	47,2
Gatzume - Tolosa	Kárstico en sentido estricto - Kárstico de flujo difuso	316,5	170,6	23,8	146,8
Zumaia - Irun	Detrítico consolidado - Detrítico mixto	208,6	53,5	12,4	41,1
Andoain - Oiartzun	Kárstico de flujo difuso - Detrítico mixto - Detrítico no consolidado - Kárstico en sentido estricto	141,4	56,6	13,5	43,1
Jaizkibel	Detrítico mixto	33,7	12,2	2,9	9,4
Macizos paleozoicos	Otros	1.021,0	298,9	47,8	251,1

2.2. Tabla. Recursos de aguas subterráneas. Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental 2022-2027 (URA, 2022).

2.2. CONDICIONES CLIMÁTICAS

El clima en el T.H. de Gipuzkoa es de tipo mesotérmico, moderado en cuanto a las temperaturas, y muy lluvioso. Pertenece a la categoría de húmedo sin estación seca o clima atlántico. El factor orográfico explica la gran cantidad de lluvias distribuidas a lo largo de todo el año.

La disponibilidad de agua está determinada por los distintos componentes del balance hídrico. El resultado del balance de estas componentes es la evapotranspiración, por un lado, y el exceso de agua por otro, que dará lugar a la escorrentía superficial y la recarga de aguas subterráneas. Por lo tanto, los efectos del cambio climático sobre estas variables hidrometeorológicas, que determinan el balance hídrico, tendrán efectos también sobre la escorrentía o la recarga. Además de cambios en las condiciones medias, se espera que el cambio climático modifique la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos, como inundaciones y sequías. Todo esto tendrá

un impacto sobre el estado de las masas de agua y sobre las actividades socioeconómicas dependientes de este recurso. En esta sección se describen las condiciones medias de estas variables para cada una de las cuencas que se desarrollan en Gipuzkoa. Las tendencias observadas y las proyecciones de las variables hidrometeorológicas se analizan en los siguientes capítulos del documento.

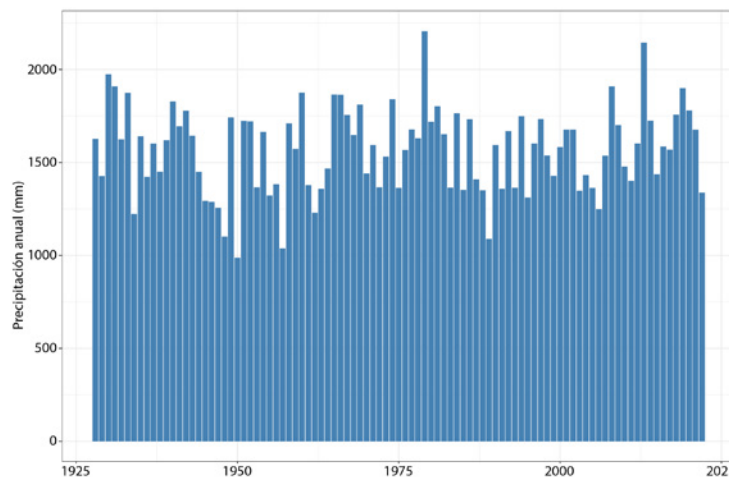
Las principales variables que permiten la caracterización climática de las cuencas y que determinarán la disponibilidad de agua son:

- Régimen de precipitaciones
- Régimen de temperaturas
- Evapotranspiración potencial
- Humedad del suelo
- Régimen hidrológico

2.2.1. RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES

El régimen de precipitaciones de Gipuzkoa se caracteriza por presentar precipitaciones frecuentes a lo largo de todo el año, con aproximadamente 140 días de lluvia. La pluviometría media anual del territorio para el periodo 1971-2016 es de 1.574,3 mm por año, con valores máximos cercanos a 2.100 mm por año y mínimos cercanos a 1.000 mm/año (Ihobe, 2017). Como se puede observar en la serie histórica de precipitaciones del

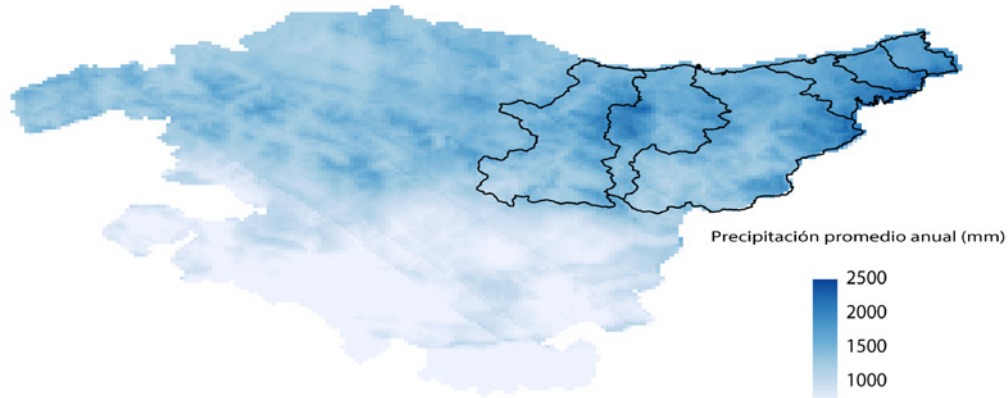
Observatorio meteorológico de Igueldo (San Sebastián), las precipitaciones más bajas se observan a finales de los 80 y principios de los 90 y la época de los 40-50. Durante los últimos años se han registrado algunos de los años más lluviosos de la serie histórica. En cuanto a la variación interanual, las precipitaciones máximas tienen lugar de octubre a abril y las mínimas en junio y agosto.



2.5. Fig. Serie histórica de precipitación anual registrada en el Observatorio Meteorológico de Igueldo. Fuente de datos: AEMET.

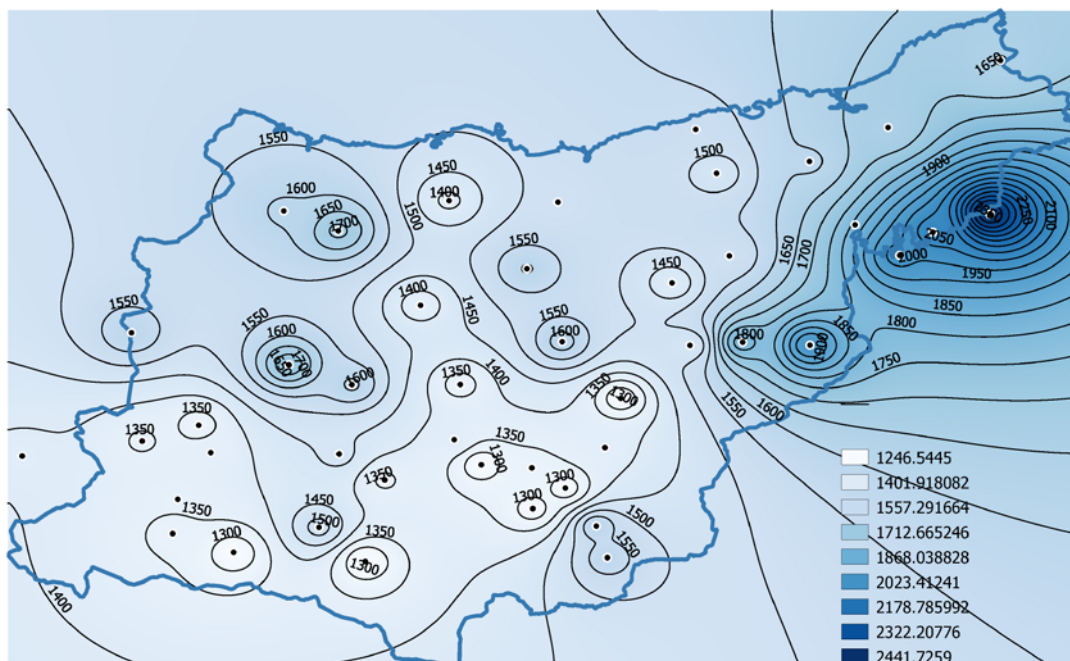
En cuanto a la distribución entre las distintas cuencas, el máximo de precipitaciones anual se da en la cuenca del Urumea (2.169 mm) seguido de las cuencas del Oiartzun y Bidasoa. La cuenca del Urola presenta la precipitación media más baja del territorio. En las cuencas más occidentales, Deba y Urola, existe una variabilidad

estacional más marcada, con mayores precipitaciones entre los meses de diciembre y enero y otro máximo en abril, con veranos más secos. En cambio, en las cuencas más orientales (Urumea, Oiartzun) la variabilidad estacional es menos marcada, con precipitaciones frecuentes a lo largo de todo el año.

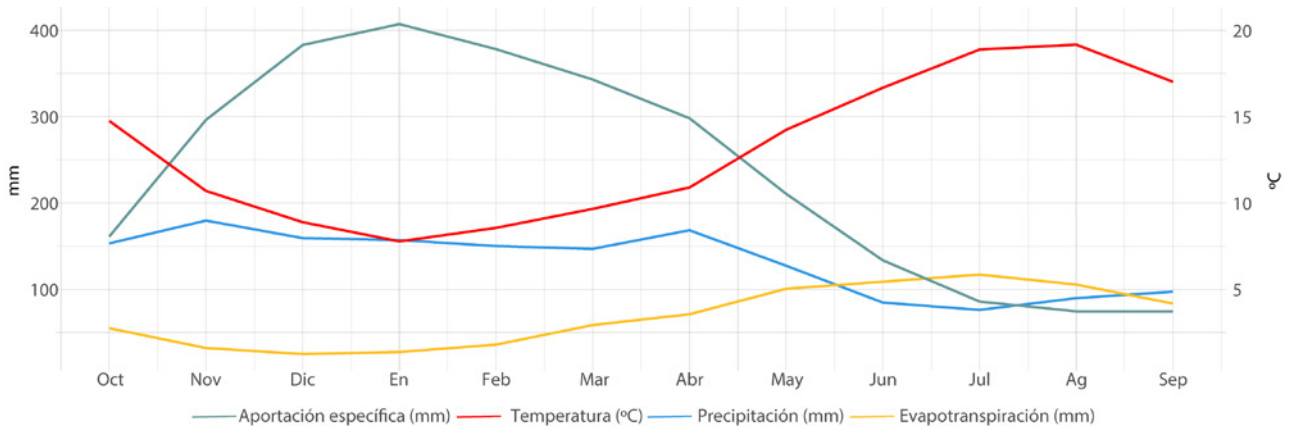


2.6. Fig. Precipitación media anual periodo 1971–2016. Fuente de datos: Ihobe (2017).

Este mapa de isoyetas muestra como en efecto el máximo de precipitación anual se produce en la parte más oriental del territorio, limitrofe con Navarra.



2.7. Fig. Mapa de isoyetas construido a partir de la precipitación media anual en los pluviómetros de Gipuzkoa. Fuente de datos: Ihobe (2017), Euskalmet, DGOH-DFG.

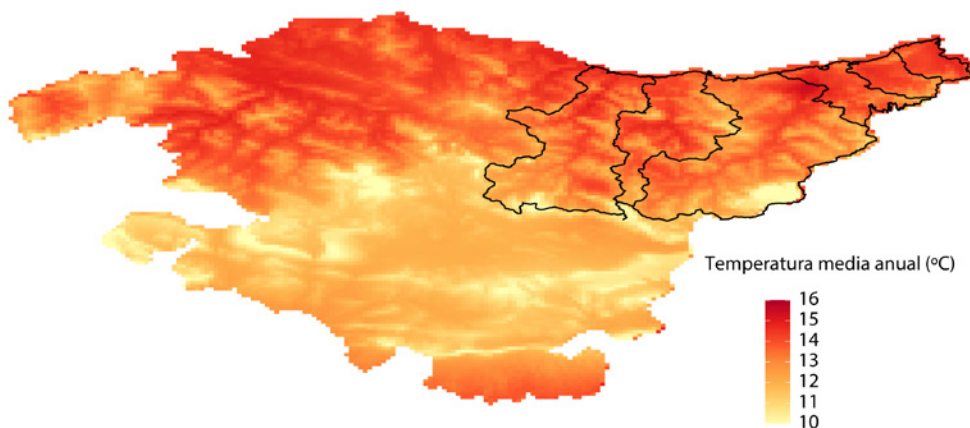


2.8. Fig. Evolución media intraanual de las principales variables hidroclimáticas en las cuencas del T.H. de Gipuzkoa. Fuente de datos: DFGOH-DFG.

2.2.2. RÉGIMEN DE TEMPERATURA

La temperatura en el territorio es en general suave, con temperaturas medias anuales de en torno a 13°C, con inviernos y veranos suaves, con temperaturas medias de 8,4°C y 18,2°C, respectivamente. La oscilación entre los meses más cálidos y los más fríos es de aproximadamente

11°C. Las temperaturas mínimas medias se alcanzan en enero y febrero y las máximas entre junio y agosto. La temperatura media anual es mayor en las cuencas más orientales del territorio, alcanzándose la máxima en la cuenca del Bidasoa.



2.9. Fig. Temperatura media anual 1971-2016. Fuente de datos: Ihobe (2017).

CUENCA	Precipitación (mm)	Temperatura media anual (°C)	Evapotranspiración potencial anual (mm)	Aportación (hm ³ /año)	Caudal medio (m ³ /s)	Caudal específico medio (l/s/km ²)
Deba	1.384	12,7	871	457	12,6	27,2
Urola	1.329	13,3	836	295	10,9	26,6
Oria	1.547	13,0	837	804	29,8	28,9
Urumea	2.500	13,5	882	413	13,6	46,9
Oiartzun	2.333	13,6	853	93	3,7	34,6
Bidasoa	2.100	14,2	865	78	28,7	36,6

2.3. Tabla. Principales variables hidroclimáticas en las cuencas guipuzcoanas. Fuente de datos: DGOH-DFG, URA.

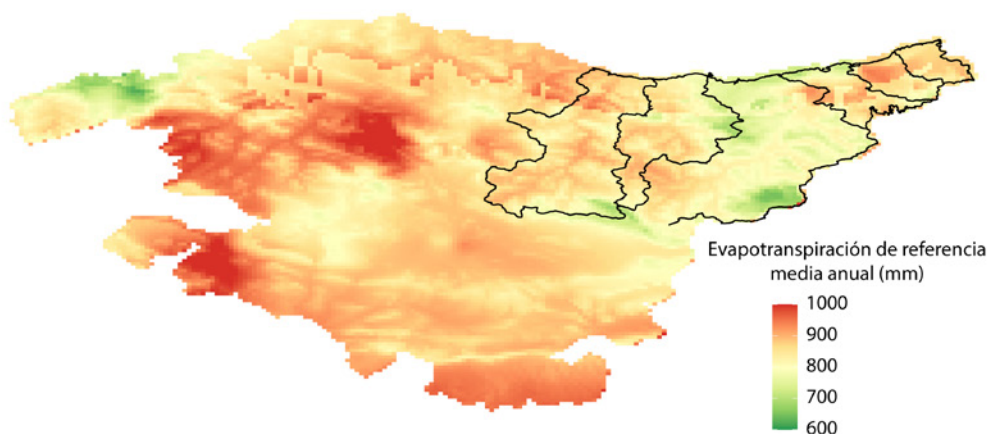
2.2.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

La evapotranspiración es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y desde la cubierta vegetal por transpiración. Es un proceso de gran importancia en el balance de recursos hídricos.

Ambos procesos, evaporación y transpiración, ocurren simultáneamente y no hay manera fácil de distinguir entre los dos procesos. Los factores principales para su determinación son la radiación, la temperatura del aire, la humedad del aire y el viento. La evapotranspiración engloba ambos procesos y se estima conjuntamente debido a la

dificultad de separarlos. Para ello se utiliza el concepto de evapotranspiración de referencia o potencial (ET_o), que indica la evapotranspiración de una cubierta bajo condiciones estándares sin limitación de agua edáfica y por lo tanto los únicos factores que afectan a ET_o son los parámetros climáticos.

La ET_o anual oscila entre 600 y 1000 mm a lo largo de las cuencas del territorio, con los menores valores en la cuenca del Oria. En cuanto a la variación estacional, los valores máximos de ET_o se producen en los meses de verano y mínimos en los meses de diciembre y enero.



2.10. Fig. Evapotranspiración de referencia media anual periodo 1971-2016. Fuente de datos: Ihobe (2019).

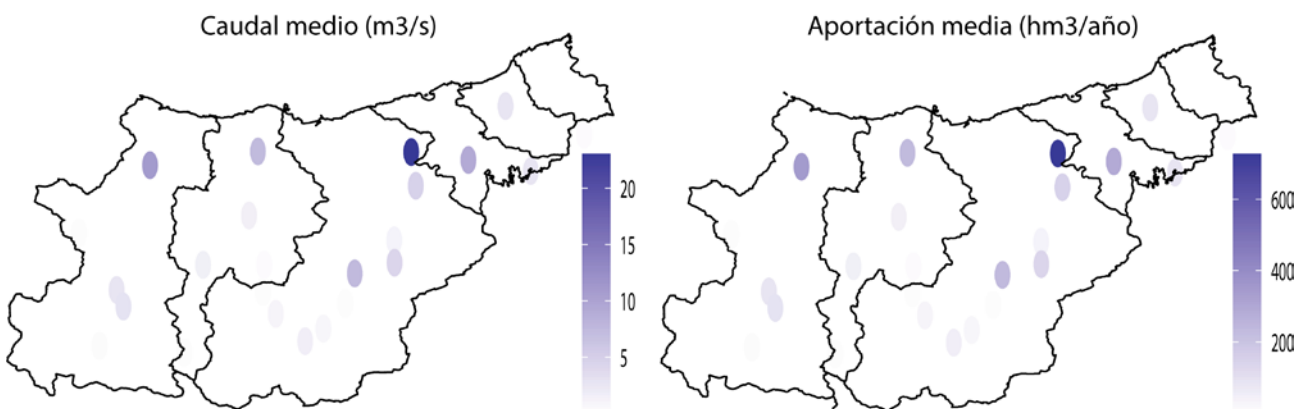
2.2.4. RÉGIMEN HIDROLÓGICO

Los caudales medios de los ríos son uno de los elementos que afectan a la disponibilidad de agua dulce en una cuenca fluvial, además de las fuentes de agua subterránea. Las variaciones en los flujos fluviales se determinan principalmente por la estacionalidad de la precipitación y la temperatura, así como por las características de captación tales como geología, suelo y superficie terrestre.

Del total de lluvia caída en la demarcación, cerca de 4.634 hm³/año, retornan a la atmósfera por medio de la evapotranspiración, aproximadamente un 49% y, por tanto, unos 4.575 hm³/año se convierten en escorrentía superficial y subterránea.

Existe una variabilidad espacial muy marcada de la escorrentía, encontrándose los valores más elevados de

caudal específico en las cuencas más orientales y disminuyendo hacia las cuencas occidentales. Se producen variaciones importantes de caudales entre los años secos y húmedos y también existe una acusada variabilidad interanual, los valores máximos se producen en los meses de enero y diciembre, pudiendo alcanzar, por ejemplo, las aportaciones de ambos meses el 30% del total de las aportaciones en la cuenca del Deba. Por su parte, los valores mínimos son registrados en los meses de estiaje, entre julio y septiembre. Esta variabilidad interanual y estacional es menor en las cuencas del Urumea, Oiartzun y Bidasoa en comparación con las cuencas más occidentales, ya que las características litológicas, suelo y vegetación de estas cuencas, junto con la elevada pluviometría anual, hacen que estas cuencas tengan una regulación natural muy elevada.



2.11. Fig. Caudal y aportación media anual en las cuencas de las estaciones de aforo de Gipuzkoa. Fuente de datos: DGOH-DFG.

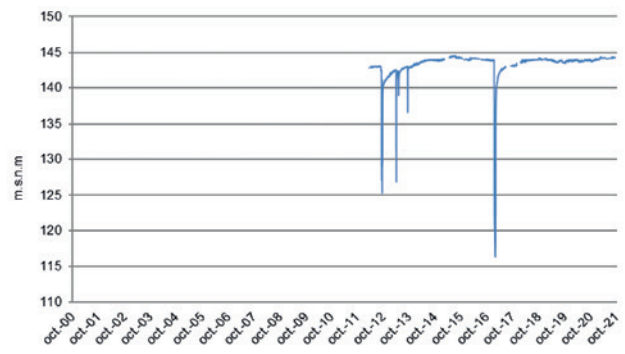
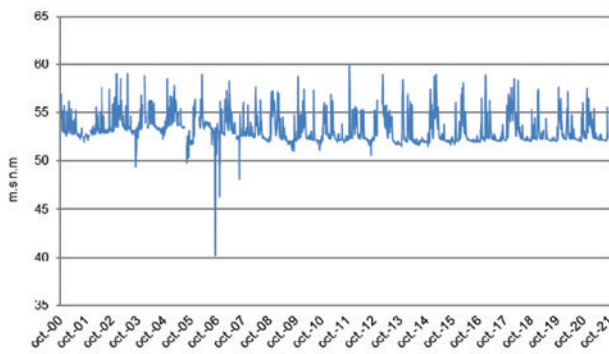
La recarga de los acuíferos depende de algunas variables, siendo la más significativa la precipitación, de modo que alteraciones o cambios en los patrones de precipitación pueden afectar a los niveles de agua en los acuíferos. La mayor parte del agua que recarga los acuíferos se descarga de manera diferida en el tiempo a la red fluvial, de forma difusa o a través de manantiales. Otra parte de la recarga, mucho más reducida, se transfiere subterráneamente a otros acuíferos o al mar en el caso de los acuíferos costeros.

A pesar de que el conocimiento de la recarga de los acuíferos es complejo, este es de gran interés ya que, junto con la consideración de las necesidades ambientales de las aguas superficiales relacionadas, delimita las posibilidades máximas de explotación sostenible a largo plazo de las aguas subterráneas de un acuífero.

Los niveles de aprovechamiento de las aguas subterráneas en el territorio son bajas. El seguimiento del estado cuantitativo de las diferentes masas subterráneas

se verifica a través de dos programas: el subprograma de control foronómico en continuo en los puntos de descarga más significativos y el subprograma de control piezométrico en sondeos de explotación, pozos y piezómetros de pequeño diámetro.

Al igual que ocurre en las estaciones de aforo de los ríos, en las estaciones foronómicas situadas más al este del territorio no se observa un marcado ciclo estacional, asociado a las precipitaciones elevadas a lo largo del año, mientras que en las estaciones ubicadas al oeste sí se observa claramente el patrón estacional en la evolución de los niveles piezométricos.



2.12. Fig. Evolución de los niveles piezométricos en la estación de Jaizkibel-5 (zquierda) y Kilimon-3 (derecha). Fuente: URA.



2.2.5. RÉGIMEN CLIMÁTICO EXTREMO

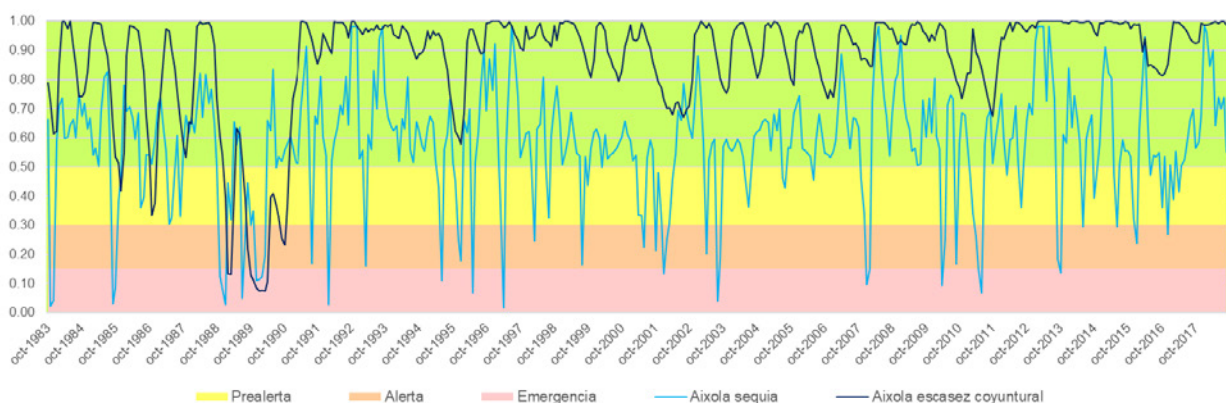
Los eventos extremos relacionados con el agua están caracterizados por las precipitaciones extremas, que dan lugar a inundaciones, y por las situaciones de sequía.

Las inundaciones han sido históricamente el principal riesgo natural del territorio, el que mayor número de vidas y costes económicos ha ocasionado. El análisis de los episodios de lluvias persistentes y muy persistentes, que han dado lugar a inundaciones, se han producido durante eventos extremos en los que los acumulados de precipitación en dos-tres días superan los 80 l m⁻² o tras periodos de precipitaciones persistentes y encadenadas en los que durante 5-10 días se acumulan cantidades importantes, por encima de los 150-200 l m⁻². En ocasiones también se producen inundaciones con acumulados de precipitación menores que coinciden con el deshielo de la nieve. Por último, los episodios tormentosos, muchas veces muy localizados y caracterizados por lluvia intensa en un corto espacio de tiempo, también pueden dar lugar a crecidas pasajeras locales y con ello pequeños desbordamientos de los ríos.

La sequía es un fenómeno natural que se produce principalmente por la falta de precipitación que da lugar a un descenso temporal significativo de los recursos hídricos disponibles. Una sequía prolongada puede producir deterioros temporales en el estado de las masas de agua e importantes reducciones en los caudales de los ríos. Por otra parte, una reducción prolongada de precipitaciones

(sequía meteorológica) que se propaga con el tiempo en déficits de humedad del suelo, escorrentía y almacenamiento de agua puede reducir temporalmente los recursos disponibles para los distintos usos socioeconómicos (sequía hidrológica) dando lugar a una situación de escasez. Hay que tener en cuenta que la sequía meteorológica no se traduce directamente en sequía hidrológica (relacionada con periodos de caudales o de volúmenes embalsados por debajo de lo normal), ya que el proceso de conversión de lluvia en escorrentía no es línea. Tampoco hay que confundir la sequía con la escasez, mientras que la sequía es un fenómeno natural relacionado exclusivamente con la reducción de las precipitaciones y aportaciones en régimen natural, la escasez está asociado a la dificultad, debido a una situación de déficit para responder a la demanda de agua.

A pesar de que las sequías no son un problema severo en las cuencas de Gipuzkoa, se han producido varios episodios de sequía y sobre todo de escasez en el territorio. Entre las sequías históricas catalogadas está la de los años 40, otra sequía importante entre agosto de 1988 y noviembre de 1990 y otras de menor duración después, siendo en 2011 la última registrada (hasta 2018). En estudios llevados a cabo sobre las sequías pluviométricas en Gipuzkoa, se ha identificado que la sequía de los años 1944-49 tiene un periodo de retorno de aproximadamente 25 años.



2.13. Fig. Evolución de los indicadores de sequía y escasez coyuntural en el embalse de Aixola. Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental 2022-2027 (URA, 2022).

2.3. RECURSOS HÍDRICOS

Los recursos hídricos disponibles están constituidos por los recursos hídricos naturales propios (incluyendo las escorrentías totales de aguas superficiales y subterráneas), los recursos no convencionales (procedentes de la reutilización de efluentes depurados) y los recursos externos (transferidos de otras cuencas) necesarios para atender las diferentes necesidades de agua.

Además, para la contabilización de los recursos hídricos potenciales que pudieran constituir una oferta para los distintos usos del agua en nuestras cuencas, hay que considerar con carácter previo las restricciones ambientales, esto es, la reserva de los caudales ecológicos. Estos caudales tienen como objetivo la protección, en determinados territorios y periodos de tiempo, de las funciones ambientales (fundamentalmente en los ecosistemas acuáticos) del agua mediante la reservación de caudales, de velocidades, niveles, volúmenes o de sus características fisicoquímicas.

Desde el punto de vista fluvial, en el T.H. de Gipuzkoa se encuentran 6 ‘sistemas de explotación’ equiparables a las 6 cuencas hidrográficas del territorio.

Las aportaciones de la componente subterránea coinciden básicamente, salvo las transferencias entre cuencas subterráneas, con la recarga natural de los acuíferos. La mayor parte que recarga los acuíferos se descarga de manera diferida en el tiempo a la red fluvial. En la evolución del recurso disponible de aguas subterráneas, se tiene que considerar también la preservación del recurso renovable, esto es, el volumen necesario para posibilitar la consecución de los objetivos ambientales. El recurso disponible en los acuíferos (considerando los acuíferos completos) es de 1.190 hm³/año.

Los recursos hídricos en las cuencas guipuzcoanas ascienden a 4.575 hm³/año para el periodo 1980/81–2017/18). Los recursos hídricos disponibles, descontando las restricciones medioambientales por caudales ecológicos de 339 hm³/año, ascienden a 4.236 hm³/año (URA, 2022).

SISTEMA	Recursos			Necesidades ambientales (hm ³ /año)
	Propios (hm ³ /año)	Externos (hm ³ /año)	Reutilización (hm ³ /año)	
Deba	422	1,4		74,15
Urola	249		0,4	9,38
Oria	761	1,26		142,94
Urumea	417	33		88,88
Oiartzun	103			23,70
Bidasoa	895	9		

2.4. Tabla. Recursos hídricos en los sistemas del T.H. de Gipuzkoa en la serie de referencia 1980/81–2017/18. Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental 2022–2027 (URA, 2022).

2.4. PRINCIPALES SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO

Se suele denominar sistema de abastecimiento al sistema formado como mínimo por una captación de agua, conducción y depósito que suministra agua a una o varias poblaciones. Los sistemas más sencillos y que suelen aparecer en zonas pequeñas son los sistemas de captación ya sea a manantial, pozo, acuífero o el propio río. Los principales sistemas constan de embalses que abastecen de agua a mayores poblaciones.

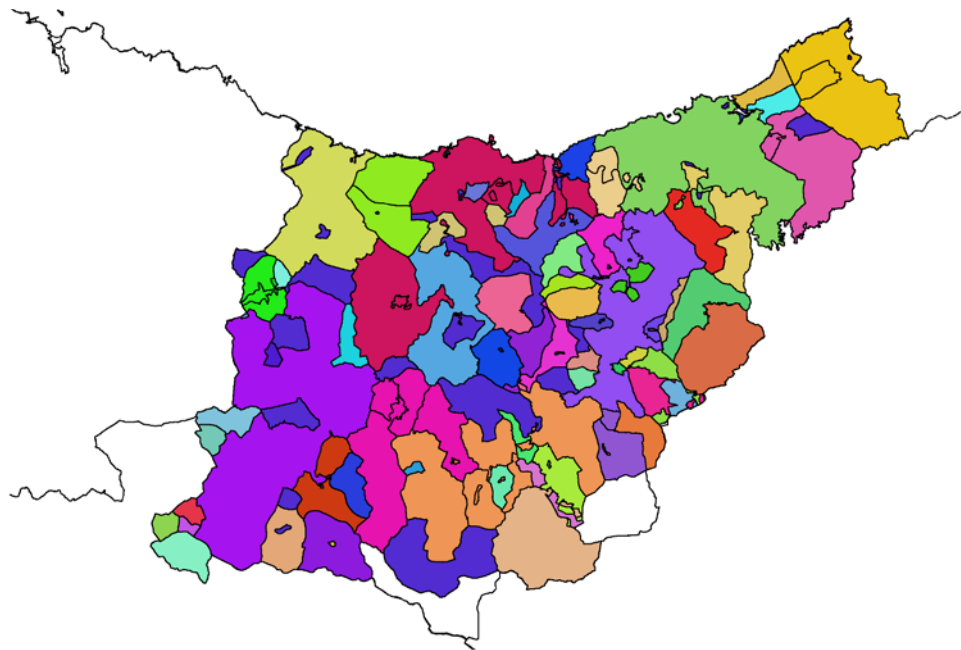
En el T.H. de Gipuzkoa contamos con 8 embalses más el de Endara, que pese a estar en Navarra abastece a los municipios del Bidasoa. Estos sistemas abastecen casi al 90% de la población del territorio. Estos sistemas se completan con sistemas de menor entidad.

Los embalses del territorio son:

EMBALSE	Población (hab.)	Capacidad (hm ³)	Municipios
Urkulu	65.495	10,00	Eskoriatza, Aretxabaleta, Arrasate-Mondragon, parte de Oñati, Bergara, Elgeta, Soraluze y Antzuola
Aixola	27.530	2,73	Eibar
Barrendiola	26.015	1,48	Legazpi, Zumarraga, Urretxu y Ezkio-Itsaso
Ibai-Eder	68.649	11,30	Azkoitia, Azpeitia, Zestoa, Aizarnazabal, Zumaia, Getaria, Zarautz, Orío y parte de Aia
Arriaran	36.398	3,01	Beasain, Idiazabal, Ormaiztegi, Segura, Gaintza, Mutiloa, Zerain, Zegama, Gabiria, Altzaga, Itsasondo, Legorreta, Arama, Abaltzisketa, Orendain, Olaberria y Baliarain, y parte de Lazkao y Ordizia
Ibiur	52.105	7,57	Ikaztegieta, Alegia, Altzo, Tolosa, Ibarra, Belauntza, Anoeta, Irura, Billabona, Andoain, Zizurkil, Aduna, Leaburu y parte de Asteasu
Lareo	1.514	2,23	Ataun
Añarbe	318.044	37,28	Urnieta, Hernani, Astigarraga, Donostia, Errenteria, Lasarte-Oria, Pasaia y Lezo. Complementa a Usurbil y Oiartzun
Endara-San Antón	71.500	5,00	Irun y Hondarribia

2.5. Tabla. Características de los embalses de Gipuzkoa y poblaciones que abastecen.





2.14. Fig. Zonas de Abastecimiento de agua de consumo humano en Gipuzkoa. Fuente de datos: GeoEuskadi

2.5. CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO AMBIENTAL ACTUAL DE LAS MASAS DE AGUA

La intensa actividad antrópica, históricamente vinculada a estos sistemas, y la elevada densidad poblacional ha dado lugar a la intensa modificación de estos sistemas con la ocupación de las vegas de los ríos, con la pérdida y fragmentación de hábitats y con la gran cantidad de obstáculos y aprovechamientos que inciden directamente sobre factores clave como la temperatura, la eutrofización, etc. A pesar de ello, existen todavía muestras de ecosistemas acuáticos que mantienen unas condiciones de conservación aceptables, en especial tramos fluviales con un buen estado de la vegetación de ribera. Asociada a los ambientes acuáticos se desarrolla una comunidad botánica y faunística muy rica en especies, de ahí el elevado valor de conservación que adquieren estos hábitats ligados al agua, importantes reservorios de biodiversidad.

La DMA y el texto refundido de la Ley de Aguas establecen una serie de objetivos ambientales para conseguir

una adecuada protección de las aguas. Estos objetivos ambientales generales implican que distintos indicadores del estado (incluyendo indicadores biológicos, fisicoquímicos e hidromorfológicos) muestren valores bajos de distorsión causada por la actividad humana, desviándose sólo ligeramente respecto a los valores asociados a condiciones inalteradas.

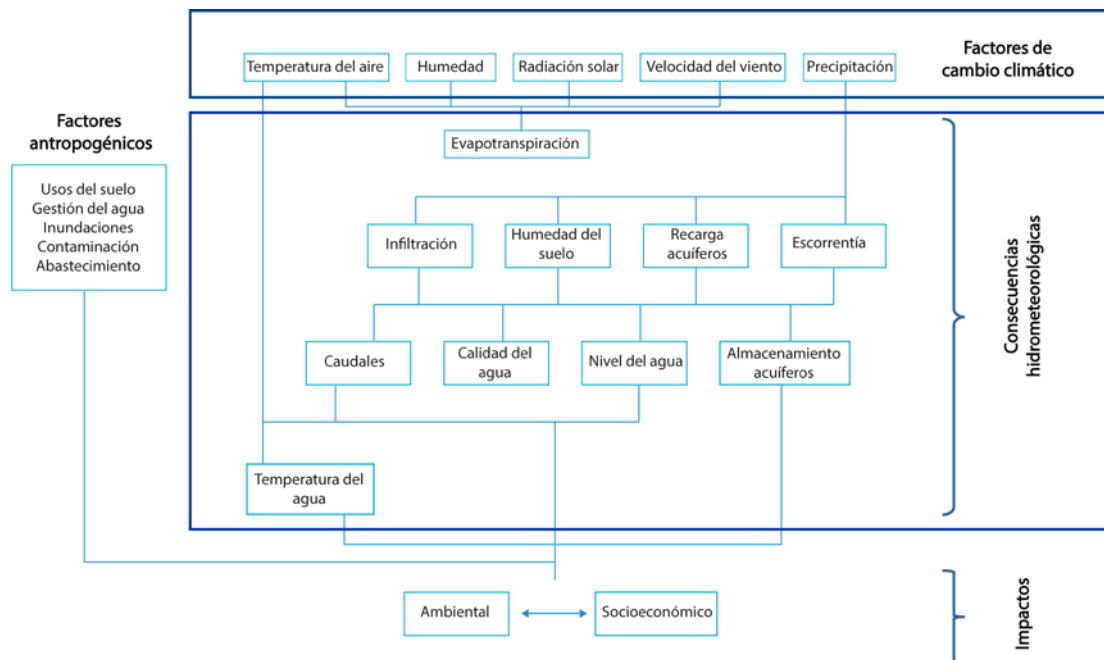
En los análisis realizados en 2021 por la Agencia Vasca del Agua en el marco del programa de seguimiento del estado de los ríos se determinó que, para el periodo 2017-2021, el 56% de las masas de agua superficiales de la categoría ríos presentaban un estado/potencial ecológico bueno, esto es, que cumplen los objetivos medioambientales establecidos por la DMA. El 36% presentaba un estado moderado y el 8% deficiente o malo. En relación con las masas de agua subterráneas, a partir de los estados cuantitativo y químico, se concluye que todas las masas de agua subterránea cumplen los objetivos medioambientales.

3. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

El cambio climático ha modificado todos los componentes del ciclo del agua desde mediados del siglo XX (Douville et al., 2021). Algunas de las evidencias de la afección del cambio climático en el ciclo hidrológico global son, por ejemplo, cambios en la intensidad de la precipitación, aumento de la evapotranspiración, en la escorrentía estacional de ríos o la creciente gravedad y frecuencia de inundaciones y sequías en algunas regiones (IPCC, 2021).

Los efectos del cambio climático sobre las variables hidrometeorológicas afectan, no solo a la cuantía de dichas

variables, sino también a su distribución espacial y temporal. La modificación del ciclo hidrológico por el calentamiento global puede ocurrir directamente a través de sus efectos sobre la precipitación, la humedad del suelo, la escorrentía, la recarga de las aguas subterráneas y los fenómenos climáticos extremos. Pero también, de forma indirecta, a través de los cambios más amplios en las redes de drenaje y cuencas debido principalmente a factores antropogénicos como pueden ser los cambios en la cubierta vegetal. Estos cambios en los recursos de agua dulce generan impactos en los ecosistemas y en las actividades socioeconómicas dependientes del agua (IPCC, 2021).



3.1. Fig. Factores climáticos de los cambios en el ciclo del agua, los efectos en la disponibilidad del agua y sus impactos.

Pese a estas evidencias, que demuestran que el cambio climático está modificando el ciclo hidrológico a escala global, a la hora de evaluar su impacto a una escala geográfica y temporal menor la incertidumbre es muy elevada. Además, hay que tener en cuenta en el análisis de variables hidrológicas que la detección de tendencias significativas a largo plazo es difícil, debido a la considerable variabilidad interanual y decadal y a que las tendencias hidroclimáticas observadas se ven influidas en gran medida por el periodo de estudio (Hannaford et al., 2013). Además, la atribución de los cambios observados es complicada debido a las modificaciones en los flujos de agua

naturales debido a cambios morfológicos, abstracciones de agua y cambios en los usos del suelo.

Para la Demarcación del Cantábrico Oriental en la que se encuentran las cuencas del T.H. de Gipuzkoa, la última actualización de los estudios de evaluación de recursos hídricos realizada por el CEDEX (2019) detecta cambios para el periodo 1979/1980 – 2014/2015 en los patrones de lluvia, la temperatura y aportación. En concreto, se estima que la precipitación media anual ha disminuido aproximadamente en un 5% y la aportación media anual en un 6%, mientras que la temperatura ha aumentado en un 4%.

En este capítulo se resume el conocimiento sobre la evolución temporal de los recursos hídricos en las cuencas guipuzcoanas, considerando la precipitación, evapotranspiración, la humedad del suelo, la escorrentía, las aguas subterráneas y los eventos climáticos extremos (inundaciones y sequías). En el capítulo 5 se analiza la evolución de indicadores relacionados con el estado de las masas de agua.

Los datos hidrometeorológicos proceden de distintas fuentes de información. En su mayoría proceden de la red de estaciones pluviométricas y de aforo de la DGOH-DFG. El periodo de análisis seleccionado es función de la información disponible para cada variable. Como se ha indicado, las tendencias observadas se ven influidas por el periodo seleccionado. Por ello, considerando la corta duración de muchas de las series analizadas, se ha incluido

también la información disponible en otros estudios que incluyen series más largas para nuestra región. Aun así, es un factor que se debe considerar a la hora de exponer las conclusiones obtenidas en este estudio.

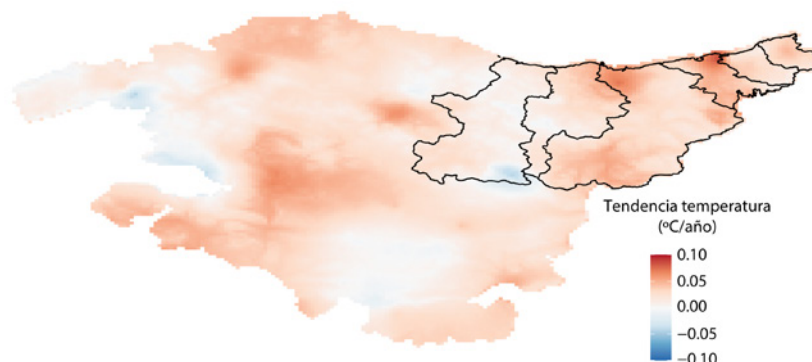
Para evaluar la magnitud de los cambios en las variables analizadas se han aplicado modelos de regresión lineal. La pendiente de la regresión entre la serie de tiempo y la variable de interés indica la magnitud del cambio. La significación estadística se ha evaluado utilizando el estadístico no paramétrico de Mann-Kendall. La significancia estadística ha sido testeada al nivel del 95%. Además, para algunas variables como la precipitación o caudal, se ha determinado la cantidad de cambio de la variable usando la cantidad relativa de cambio (%) en lugar de la cantidad absoluta, permitiendo esto la comparabilidad espacial entre las distintas estaciones.

3.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS

3.1.1. TEMPERATURA

El incremento de la temperatura global es una de las evidencias fundamentales que confirman el proceso de cambio climático, aunque no la única. A escala global, en 2022 la temperatura media respecto al periodo preindustrial fue de 1,15°C. En Gipuzkoa la temperatura media anual también presenta una tendencia positiva en prácticamente todo el territorio. La tendencia media anual ha ascendido en aproximadamente 1,2°C en los últimos 50 años, siendo la tendencia media del incremento de

temperatura desde 1971 de 0,024°C por año. Esta tendencia positiva se observa en todas las cuencas hidrográficas del territorio, siendo más intensa en la zona costera de las cuencas del Urumea y menor en la cuenca el Deba. La temperatura mínima diaria y la máxima diaria también han aumentado en este periodo, un +1,9°C y +1,5°C, respectivamente. En los meses de verano el incremento de la temperatura mínima puede ser de hasta +2,2°C. En el Anexo II, se incluyen las tendencias estacionales de la temperatura.



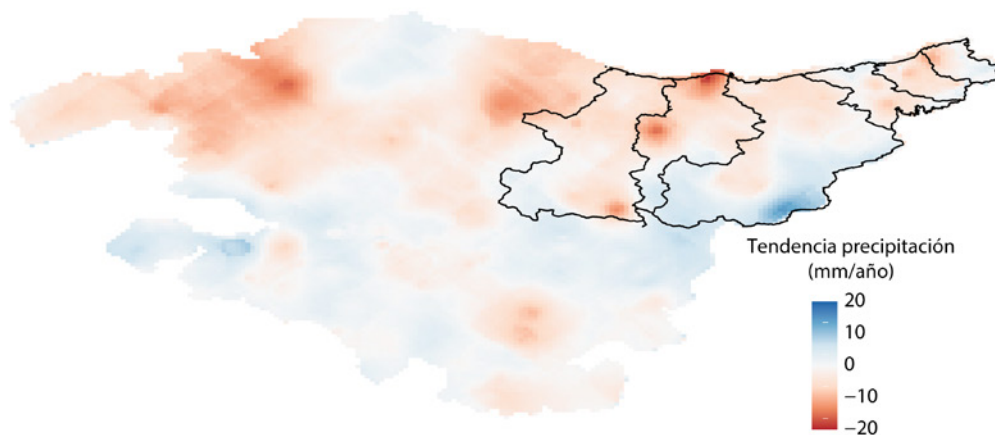
3.2. Fig. Tendencia de la temperatura media anual en el periodo 1971–2016. Los cambios se han determinado a partir del ajuste lineal para dicho periodo a partir de la climatología de alta resolución. Fuente de datos: proyecto Escenarios II (Klimatek, 2017).

3.1.2. PRECIPITACIÓN

A menudo se resume la influencia humana en el ciclo del agua como una intensificación del mismo (Zang et al., 2019). Así, es probable que se haya producido un aumento de la precipitación global sobre tierra desde 1950 y que probablemente este aumento se deba a la influencia humana (Douville et al., 2021). A escala europea, un análisis de series largas de precipitación (1850–2018) para el suroeste del continente indica que no existen tendencias de aumento a largo plazo estadísticamente significativas, pero sí una gran variabilidad interanual. Sí se encontraron tendencias significativas en su mayoría para periodos más cortos, destacando la predominancia de la variabilidad interdecadal e interanual en estas escalas de tiempo (Peña-Angulo et al., 2020).

Debido a la alta variabilidad temporal de las precipitaciones, la señal de cambio de largo plazo de la precipitación media anual no se distingue del ruido de variabilidad en muchas áreas (Hawkins et al., 2020). Así, muchas regiones han visto un aumento de las precipitaciones durante parte del año y una disminución de las precipitaciones en otras épocas, lo que ha llevado a pequeños cambios en la precipitación media anual.

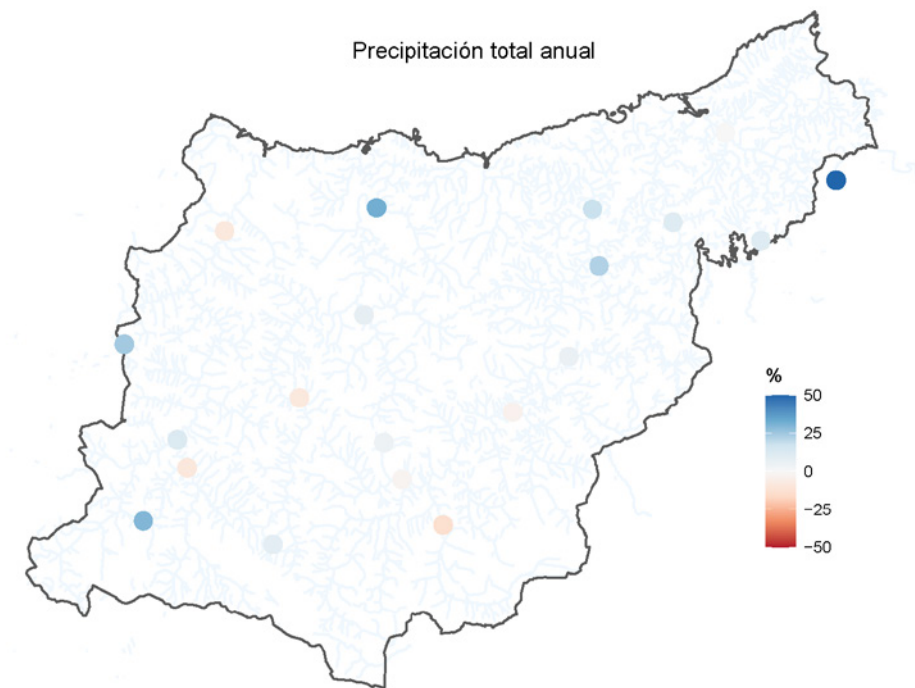
Para Gipuzkoa, la precipitación total anual no muestra, de forma general, tendencias significativas en las cuencas hidrográficas para el periodo 1971–2016 (basados en la serie climatológica de Ihobe (2017)). Al contrario que en la temperatura donde se observan tendencias crecientes generales para todo el territorio, la precipitación anual no presenta una tendencia uniforme en las distintas cuencas hidrográficas. Al sur de las cuencas del Deba, Urola y Oria, en la zona costera del Urumea y el este de la cuenca del Bidasoa se observa una tendencia creciente, con puntos donde la tendencia máxima observada es de hasta +20 mm por año. En cambio, las zonas con una mayor reducción de la precipitación para este periodo se localizan en la zona media y norte de la cuenca del Urola, con tendencias a la disminución de la precipitación anual de hasta -20 mm por año. En el Anexo II, se pueden ver las tendencias estacionales de la precipitación. En general se observa una tendencia al incremento de la precipitación, observándose únicamente descensos generalizados durante el verano en todas las cuencas. Durante el otoño y la primavera se observan incrementos para todo el territorio.



3.3. Fig. Tendencia de la precipitación total anual en el periodo 1971–2016. Los cambios se han determinado a partir del ajuste lineal para dicho periodo a partir de la climatología de alta resolución. Fuente de datos: proyecto Escenarios II (Klimatek, 2017).

El análisis de las series temporales más largas de precipitación disponibles en el territorio, correspondientes a los observatorios meteorológicos de Donostia, Igueldo (1928-2022) y Hondarribia, Malkarroat (1956-2022), no muestra tampoco tendencias significativas de la precipitación anual para la serie completa correspondiente a cada una de ellas. Para las series completas, la estación

de Igueldo muestra una tendencia creciente, mientras que en la de Hondarribia la tendencia es decreciente. Un estudio reciente en el que se analiza la evolución de la precipitación en el observatorio de Igueldo para el periodo 1927-2016 indica que tampoco se observan tendencias temporales (López et al., 2023).



3.4. Fig. Tendencias observadas en la precipitación total del año hidrológico en el periodo 1999/2000-2021/2022 en la red de estaciones en el T.H. de Gipuzkoa. Tendencias expresadas como porcentaje de cambio.



Se ha analizado también para todas las estaciones pluviométricas disponibles en el territorio la evolución de la precipitación en los años hidrológicos para el periodo 1999/2000–2021/2022 (comenzando el año en octubre), periodo seleccionado para el análisis de la evolución del caudal en las estaciones de aforo. La longitud de las series

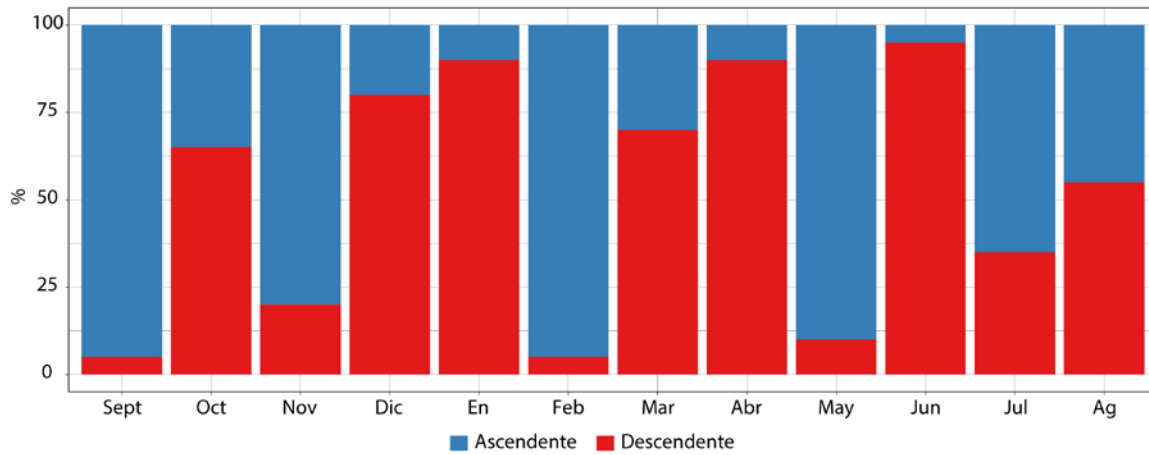
temporales de estas estaciones tomadas como válidas es muy diversa, por ello, considerando la influencia que el periodo temporal seleccionado tiene en los resultados del análisis, se ha seleccionado un periodo homogéneo para todas las series analizadas.

ESTACIÓN	Cuenca	Superficie cuenca (km ²)	Coord		Serie (años)
			X	Y	
Agautza	Oria	69,64	567033,01	4762906,08	24, 34
Aitzu	Urola	56,13	555086,32	4773482,39	24
Aixola	Deba	5,03	540536,35	4777916,69	24, 34
Aizarnazabal	Urola	269,77	561500,64	4789237,16	24
Alegia	Oria	333,34	572833,17	4772292,88	24
Altzola	Deba	464,25	548874,55	4787304,51	24
Añarbe	Urumea	47,69	593407,84	4786507,42	24
Arriaran	Oria	2,77	562103,26	4769752,20	24
Barrendiola	Urola	3,8	552904,98	4761311,39	24, 34
Elduain	Oria	33,34	577447,19	4776898,75	24, 34
Endara	Bidasoa	6,19	599653	4791540	24
Ereñotzu	Urumea	218,42	586123,11	4788021,43	24
Eztanda	Oria	55,02	563595,12	4766708,16	24, 34
Ibaieder	Urola	62,73	560460,46	4780334,22	24, 34
Lasarte	Oria	796,5	579431,41	4789117,58	24
Leitzaran	Oria	110,01	579978,29	4784421,61	24
Oiartzun	Oiartzun	56,6	590450,03	4795472,12	24
Oñati	Deba	105,78	545771,14	4767675,55	24, 34
San Prudentzio	Deba	121,78	544970,19	4769996,57	24
Urkulu	Deba	9,0	542977	4762252,57	24, 34

3.1. Tabla. Estaciones pluviométricas y de aforo consideradas, su localización y longitud de las series analizadas. Coordenadas en el sistema ETRS89 zona UTM 30N.

En el periodo 1999/2000–2021/2022, la mayoría de pluviómetros muestran una tendencia creciente de la precipitación anual, siendo estas tendencias significativas únicamente en el este del territorio, como las observadas en las estaciones de Endara o Ereñotzu en las cuencas del Bidasoa y Urumea, respectivamente. También se observa una tendencia creciente positiva significativa en

la estación meteorológica de Hondarribia, Malkarroa. Es, además, como se ha descrito en el capítulo 2, la zona del territorio en la que se acumula más precipitación. Las estaciones con tendencias decrecientes, no significativas, se encuentran principalmente en el interior de la cuenca del Oría y en la cuenca del Deba.



3.5. Fig. Distribución mensual de las tendencias de precipitación para el periodo 1999/2000–2021–2022.



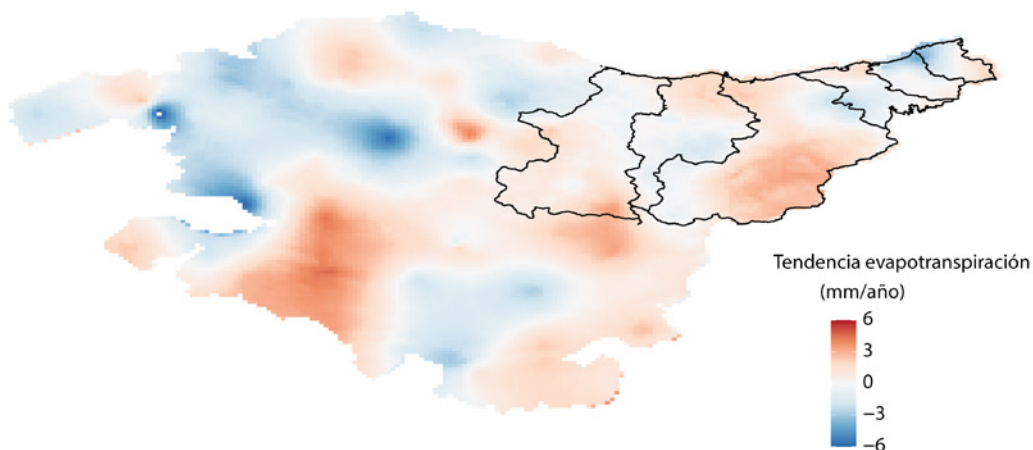
En cuanto al análisis de tendencias por estación, se observa una tendencia creciente generalizada durante el invierno, siendo esta tendencia muy clara para el mes de enero, con la práctica totalidad de las estaciones pluviométricas mostrando tendencias crecientes. Se observan tendencias decrecientes durante la primavera (60% de las estaciones), condicionada por los descensos en el mes de marzo que contrarresta los incrementos durante abril y mayo, y especialmente durante el verano (90% de las estaciones), condicionada en este caso por la reducción de la precipitación en agosto que contrarresta el aumento de la precipitación observado en junio. Durante el otoño las tendencias no son evidentes, con el 50% de las estaciones mostrando tendencias al aumento de la precipitación y el otro 50% tendencias a la disminución. Estas tendencias, en general, no son significativas, salvo en algunos meses para algunas de las estaciones, como la tendencia decreciente observada en Agauntza para el mes de abril o en Barrendiola para el mes de agosto. Estos resultados para el invierno y verano muestran tendencias semejantes que el estudio estacional de la precipitación a más largo plazo (1927–2016) realizado para el observatorio de Igueldo, que muestra tendencias crecientes y decrecientes respectivamente (López et al., 2023).

3.1.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL

Cambios en la evapotranspiración de referencia (ET_0) pueden modificar críticamente las condiciones de aridez incluso sin cambios en la precipitación, con importantes impactos en los cultivos y en los recursos hídricos. A escala global, la evapotranspiración anual presenta una tendencia creciente desde principios de la década de 1980 y puede en parte atribuirse al forzamiento antropogénico (IPCC, 2021), al ascenso de la temperatura registrada durante las últimas décadas. Sin embargo, el resto de variables implicadas en su determinación (radiativo, vinculado a la energía disponible para evitar la evapotranspiración y aerodinámico, vinculado a la capacidad del aire para almacenar vapor de agua adicional) presentan una dependencia regional, ya que sus tendencias varían en gran medida entre regiones (Wang et al., 2017). Así,

se han descrito tendencias tanto positivas como negativas de ET_0 , lo que implica condiciones más secas o húmedas, respectivamente. En un estudio en el que se analiza la tendencia de ET_0 en España se observa una tendencia positiva a largo plazo (1961–2014) en la mayor parte del área de estudio, pero se observan tendencias opuestas al analizar periodos más cortos (periodos de 20–30 años) (Vicente-Serrano et al., 2014; Tomas-Burquera et al., 2021).

En el caso de las cuencas guipuzcoanas, el aumento de temperatura registrado durante el periodo 1971–2016 ha producido un ligero aumento de ET_0 . Esta se ha incrementado en un 3,8% desde 1971, pasando de 2,2 mm a 2,3 mm por día.



3.6. Fig. Tendencia de ET_0 en el periodo 1971–2016. Los cambios se han determinado a partir del ajuste lineal para dicho periodo a partir de la climatología de alta resolución. Fuente de datos: proyecto Escenarios II (Klimatek, 2017).

ET_0 tampoco presenta una tendencia uniforme en las distintas cuencas hidrográficas. Los mayores incrementos durante el periodo analizado se han producido en la parte alta y media de la cunca del Oria, donde a pesar de registrarse un aumento de la precipitación anual se producen mayores aumentos de temperatura. También se observan incrementos en la parte alta de la cuenca del Deba y en las zonas costeras del Urola, Oria y Urumea. Los mayores descensos se observan en las cuencas del Urumea, Oiartzun

y Bidasoa, donde el incremento de la temperatura es más moderado y se observan incrementos de precipitación. A escala estacional (Anexo II), los principales cambios se observan en primavera (aumentos generalizados en todas las cuencas salvo en la zona costera de las cuencas de Oiartzun y Bidasoa) y verano (descensos generalizados salvo en la zona costera de Urola, Oria y Urumea y en el interior de las cuencas del Deba y Oria).

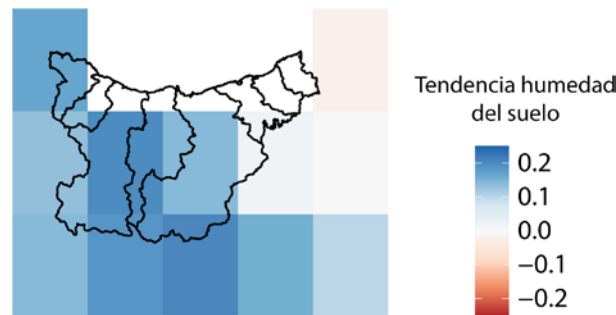
3.2. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LAS VARIABLES HIDROLÓGICAS

3.2.1. HUMEDAD DEL SUELO

Aunque la humedad del suelo puede parecer una componente muy pequeña del balance hidrológico, la presencia de humedad del suelo en la capa delgada de la superficie terrestre controla el éxito de la producción agraria, regula la división de la energía solar en energía latente y sensible y la precipitación en escorrentía e infiltración (Feng & Zhang, 2016).

La variabilidad espacio-temporal de la humedad del suelo está determinada por muchos factores, como la

temperatura, precipitación, topografía, usos del suelo, vegetación y tipo y profundidad del suelo (Deng et al., 2016). Los principales factores son la precipitación como ganancia (mayor humedad) y la temperatura/radiación neta como pérdida (aridez) por evapotranspiración. Distintos estudios indican que en las últimas cuatro décadas la humedad del suelo ha descendido en muchas regiones (Deng et al., 2020; Lal et al., 2023). En Europa, desde 1979 se observa una tendencia clara a su disminución.



3.7. Fig. Tendencia de la humedad del suelo, 1992–2019. Fuente de datos: C3S soil moisture v202012 PASSIVE.

El análisis de la evolución de la humedad del suelo para el periodo 1992–2019 en Gipuzkoa, a partir de datos de satélite, indica que la humedad del suelo en este

periodo más reciente ha aumentado, siendo este incremento más intenso en las cuencas más occidentales.

3.2.2. ESCORRENTÍA

A escala global, no existe una señal clara de cambio de la escorrentía, aunque sí existen evidencias de que el cambio climático ha alterado los flujos de agua a escala local o regional (Eyring et al., 2021; Gulev et al., 2021). Los factores climáticos, particularmente los cambios en la precipitación y evaporación (Zang & Liu, 2013; Greve et al., 2014; Ficklin et al., 2018), y el forzamiento antropogénico

(Gudmundsson et al., 2017; 2021) condicionan las diferencias espaciales en las tendencias medias anuales de caudal a escala global. Además de estos factores climáticos, factores antropogénicos como cambios en los usos del suelo o la extracción de agua pueden reducir la escorrentía (Sun et al., 2019; Vicente-Serrano et al., 2019).

El T.H. de Gipuzkoa se encuentra en una zona de transición entre la región mediterránea, donde se han observado descensos de caudal en las últimas décadas (Coch & Mediero, 2016; García-Ruiz et al., 2011; Yeste et al., 2018) y las regiones del noreste del continente europeo, en las que se han detectado incrementos en la precipitación y en los caudales (Dixon et al., 2006; Hannaford, 2015; Hannaford et al., 2013; Harrigan et al., 2018; Vicente-Serrano et al., 2019), incrementos principalmente durante el invierno y descensos durante el verano desde el año 1960. Las tendencias observadas pueden, en algunos casos, atribuirse a la variabilidad y tendencias climáticas, como ocurre en las tendencias observadas en el noreste europeo (Fenta et al., 2017; Vicente-Serrano et al., 2019), mientras que en otros casos las tendencias responden a la actividad humana, a través de la extracción del agua o cambios en los usos del suelo, construcción de embalses o irrigación (Wada et al., 2013; He et al., 2017; Vicente-Serrano et al., 2019).

La evolución del caudal en las estaciones de aforo en las cuencas guipuzcoanas se ha analizado previamente en el estudio 'Vulnerabilidad hídrica: de las tendencias del pasado reciente a las del futuro' (EHU-UPV & Iñobe, 2017). En dicho estudio se analizaron las tendencias temporales en 20 años (desde el año hidrológico 1995/1996 hasta el 2014/2015, comenzando el año en octubre), a diferentes escalas temporales, de caudales medios y bajos (Q20¹) a partir de las series temporales de caudales diarios. Los resultados del análisis no indicaron tendencias claras a escala diaria, con estaciones de aforo mostrando aumentos de caudales y otras con tendencias decrecientes. Al considerar escalas de tiempo mayores (mensual, estacionales y anual) los resultados del análisis señalaron tendencias positivas, aunque no significativas, en la mayoría de estaciones, no observándose diferencias espaciales. En cuanto a los caudales bajos, dicho estudio indicó una tendencia a la disminución en su duración y severidad en invierno y primavera y un ascenso en otoño. Otro análisis de los caudales medios a partir de los caudales diarios, en este caso a escala anual, para el periodo 1961-2012 muestra en general tendencias crecientes significativas para las estaciones de aforo más orientales del T.H. de Gipuzkoa (Vicente-Serrano et al., 2019). Además, en este estudio de Vicente-Serrano et al. (2019) atribuyen estas tendencias observadas en parte a las tendencias climáticas, esto es, a las tendencias de la precipitación.

Esta relación con la temperatura es menos evidente que la observada en Reino Unido o Francia.

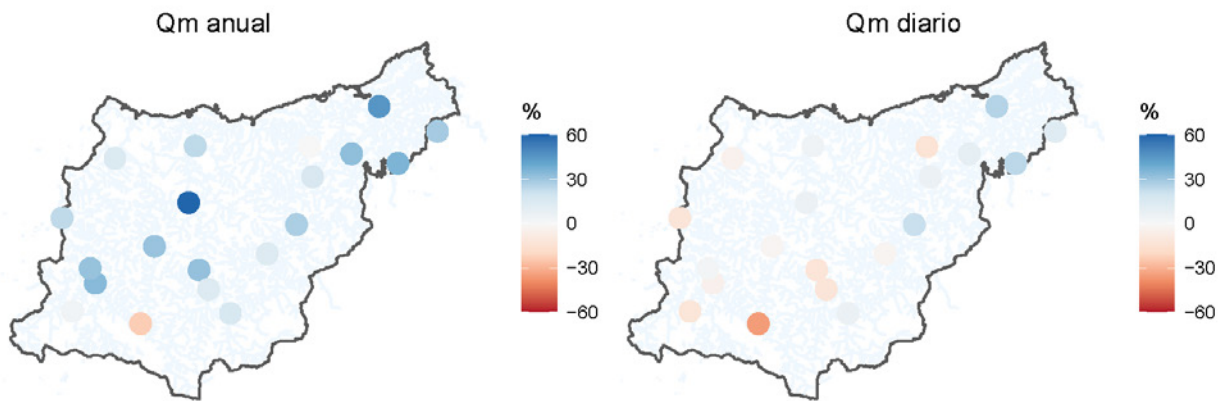
En el análisis de caudales realizados en este estudio se ha aplicado una metodología adaptada de la empleada en el estudio realizado por EHU-UPV & Iñobe (2017). En primer lugar, se ha modificado el periodo de análisis. Con las consideraciones indicadas previamente, en el análisis de la precipitación realizado en las series de pluviómetros ubicados junto a las estaciones de aforo, se han analizado las series temporales para los años hidrológicos 1999/2000-2021/2022, esto es, 24 años, para las estaciones de aforo con un mínimo de estos años. Además, para las estaciones con las series temporales más largas se han analizado las tendencias para el periodo 1989/1990-2021/2022, disponiendo así de una serie temporal de más de 30 años. También se ha modificado el análisis por estación realizado (invierno: diciembre, enero, febrero; primavera: marzo, abril, mayo; verano: junio, julio, agosto; otoño: septiembre, octubre, noviembre) para ser consistente con los meses considerados en las proyecciones de las variables hidrológicas mostradas en el siguiente capítulo. Una vez generalizadas las series, se ha aplicado la misma metodología para determinar la importancia de las tendencias, esto es, se ha aplicado el test de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall et al., 1987) que mide el grado en que una tendencia aumenta o disminuye monótonamente. Para eliminar la posible influencia de la autocorrelación que puede existir en las series se ha utilizado el método propuesto por Yue et al. (2002). El nivel de significancia se ha establecido al 95%. Para evaluar la magnitud del cambio, siguiendo la metodología aplicada por Vicente-Serrano et al. (2019), se ha utilizado un análisis de regresión lineal entre las series de tiempo (variable independiente) y la serie de caudal (variable dependiente) para las distintas escalas temporales analizadas. Esta magnitud de cambio se ha expresado en forma de porcentaje de cambio, eliminando así la influencia de las magnitudes de caudal entre las estaciones analizadas. Para determinar este porcentaje de cambio del caudal en cada una de las estaciones entre los años hidrológicos 1999/2000 y 2021/2022 se ha considerado el valor de caudal para dichos años, utilizando los coeficientes de regresión lineal obtenido en el análisis de regresión indicados. A partir de estos valores se obtiene el porcentaje de aumento o descenso entre 1999/2000 y 2021/2022 en relación con los valores iniciales de acuerdo a esta expresión:

$$C_{1999/2000-2021/2022} = \frac{100 RL_{2021/2022}}{RL_{1999/2000}} - 100$$

¹ Caudales por debajo del percentil Q20, definido como el caudal medio diario que es excedido en el 80% de los días de la serie de datos.

El análisis de las series temporales de caudal medio a escala diaria no muestra uniformidad en cuanto al signo de la tendencia, el 50% de las estaciones consideradas muestra tendencias crecientes y el otro 50% decrecientes. De las estaciones con caudales crecientes, 9 son significativas, mientras que de las estaciones con tendencias negativas solamente 3 (Arriaran, Aixola y Barrendiola) son significativas. En cuanto a las variaciones espaciales, los mayores descensos (colores rojos) se observan en las estaciones más al sur y al este del territorio, y los mayores incrementos (colores azules) en las estaciones más orientales. El sentido de las tendencias es semejante al

obtenido en el análisis de 20 años realizado por EHU-UPV & Iñobe (2017). Las tendencias contrarias entre estaciones relativamente cercanas, además de responder en algún caso a la disminución puntual de la precipitación local, se pueden deber a la influencia humana (ej. reservorios y abstracciones) en las cuencas individuales, pero también a posibles efectos del drenaje arterial (ej. ensanchamiento artificial y profundización de los canales), como se ha visto en estudios realizados en Reino Unido e Irlanda (Harrigan et al., 2014; Tjiedeman et al., 2018). No se ha realizado un análisis de atribuciones y las mencionadas son posibilidades no corroboradas.



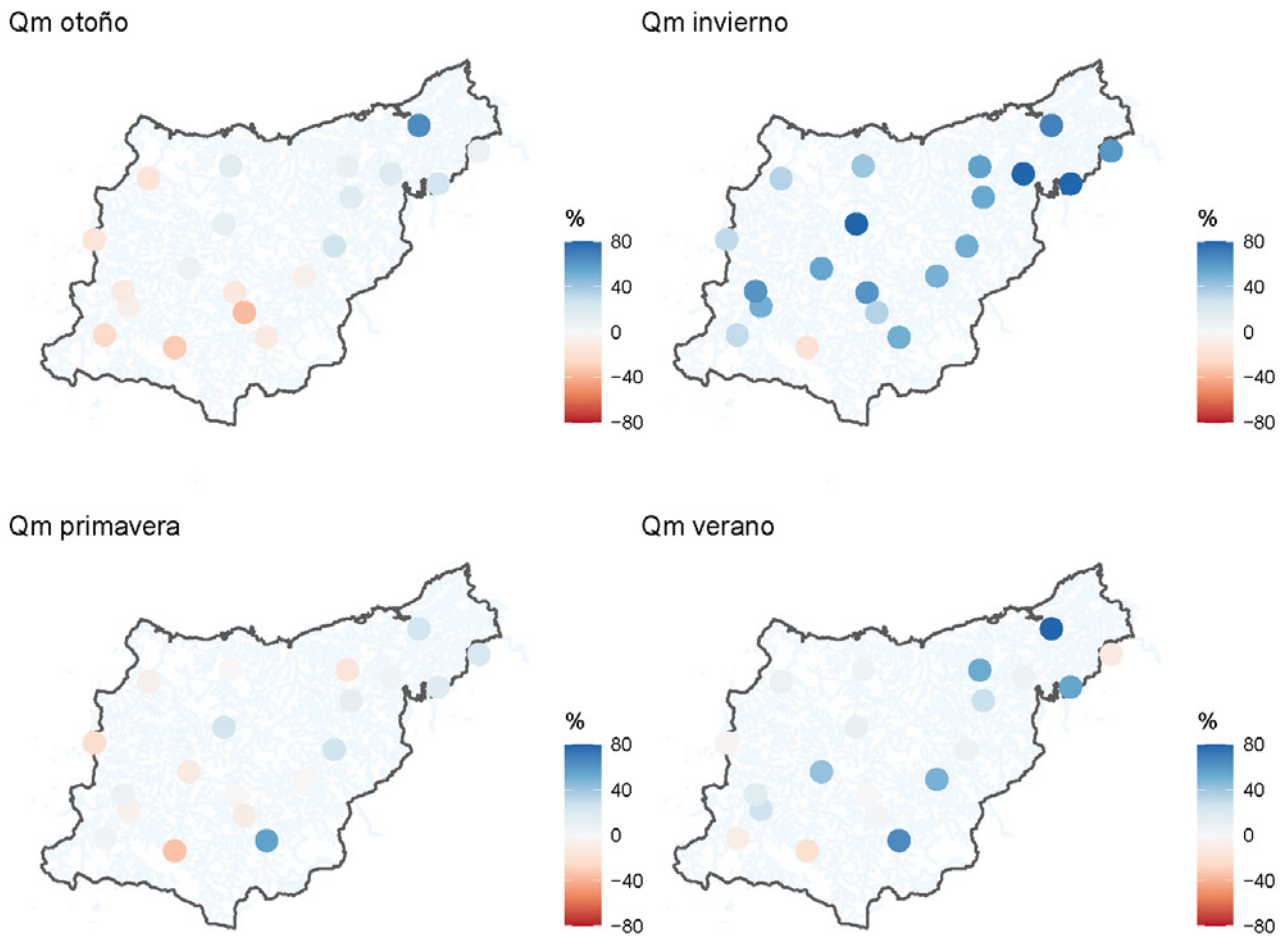
3.8. Fig. Tendencias, expresadas como porcentaje de cambio, de las series de caudales medios a escala anual (izquierda) y diaria (derecha) para el periodo de 24 años (1999/2000–2021/2022).

A escala anual, estacional y mensual no se observan de forma general cambios significativos del caudal medio. Como se indica en el estudio de vulnerabilidad de EHU-UPV & Iñobe (2017), hay que tener en cuenta que en el análisis realizado el paso de las escalas diarias a estas escalas conlleva pasar de considerar 365 datos por años a 1 por año (escala anual), lo que en estas escalas temporales reducidas hace que el número de datos analizados sea reducido.

A escala anual, prácticamente la totalidad de las estaciones presentan, en el periodo de 24 años analizado, una tendencia creciente del caudal medio. Esto puede estar

relacionado con el incremento de precipitación total anual observado a esta escala temporal. De hecho, existe una correlación temporal positiva y estadísticamente significativa entre la precipitación total y el caudal medio en todas las cuencas. Esta correlación positiva se da para todas las escalas temporales analizadas en todas las cuencas.

El análisis de la influencia temporal de la precipitación en el caudal medio, esto es, cuanto tiempo antes la precipitación que cae tiene influencia en el caudal un tiempo después, indica que la precipitación sigue teniendo influencia en el caudal registrado entre 2 y 3 meses después.

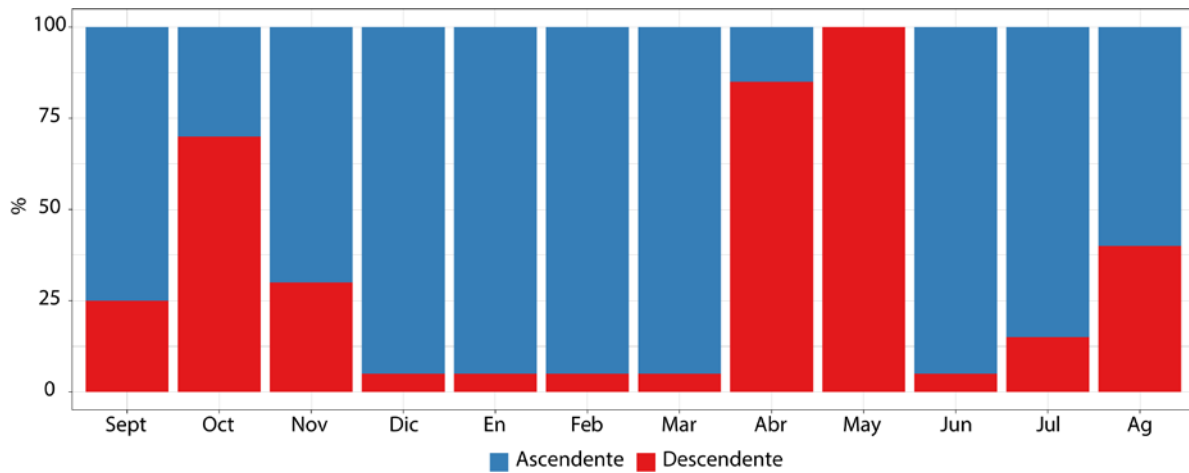


3.9. Fig. Tendencias estacionales, expresadas como porcentaje de cambio, de las series de caudales para el periodo de años (1999/2000–2021/2022).

En cuanto a las tendencias estacionales, para el otoño (septiembre, octubre y noviembre) y la primavera (marzo, abril y mayo), se observan estaciones con tendencias opuestas, con la misma distribución espacial que el caudal medio a escala diaria, esto es, descensos en las estaciones al sur y oeste del territorio e incrementos en las estaciones más orientales. Durante el verano (junio, julio y agosto) los cambios observados en el caudal son menores y predominan las estaciones que presentan una tendencia al aumento del caudal. Durante el invierno (diciembre, enero, febrero) todas las estaciones salvo una presentan una tendencia al aumento del caudal. Es, además, la estación del año en la que los cambios observados son mayores. Estos cambios no son estadísticamente significativos. Comparando los resultados obtenidos en el estudio previo de EHU-UPV & Ihobe (2017), se obtienen resultados parecidos para el invierno, con prácticamente todas las

estaciones mostrando tendencias crecientes. Para el resto de estaciones la distribución espacial de las tendencias también es muy semejante.

La tendencia creciente dominante durante el invierno en todas las estaciones analizadas responde a la tendencia también creciente durante los meses de diciembre a marzo en todas las estaciones, salvo alguna excepción. Por el contrario, durante abril y mayo predominan las estaciones que presentan tendencias decrecientes, aunque no consiguen contrarrestar las tendencias ascendentes generales observadas para el mes de marzo y por tanto durante la primavera no se observa una tendencia creciente generalizada. En el Anexo III están representadas las tendencias mensuales (en forma de porcentaje de cambio) para cada una de las estaciones de aforo analizadas.



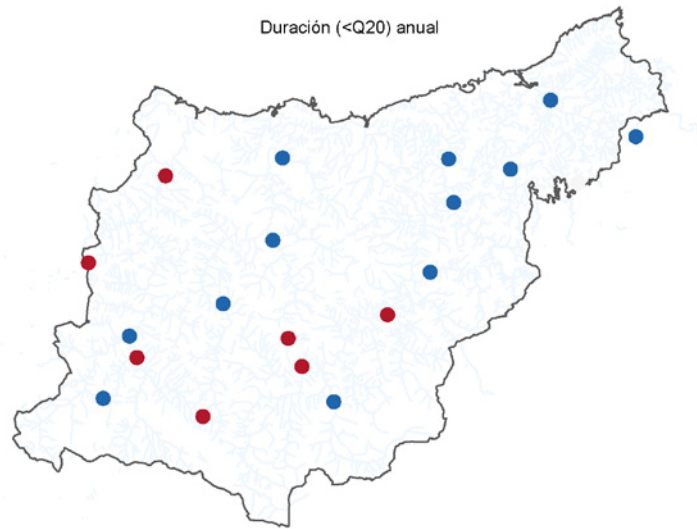
3.10. Fig. Distribución mensual de las tendencias de caudal medio para la serie de 24 años (1999/2000–2021/2022).

El análisis de las series temporales de caudal más largas disponibles, que en algunas estaciones de aforo llegan a los 34 años, se observan en general tendencias similares a las observadas para la serie histórica de 24 años. A escala anual y diaria no existe un patrón espacial claro, con estaciones mostrando tendencias de signo contrario. Lo mismo sucede para la primavera y el verano. Sí existen tendencias generalizadas al aumento del caudal medio durante el invierno y al descenso durante el otoño. El análisis de las series temporales de precipitación en las estaciones de aforo correspondientes muestra tendencias paralelas a las del caudal, con excepción del verano, donde existe una tendencia en las 8 estaciones analizadas a la reducción de la precipitación media, pero hay estaciones de aforo que muestran un incremento del caudal medio para esta estación del año. Existe en general también correlación entre la precipitación diaria y el caudal medio diario.

En resumen, las tendencias significativas generalizadas de las series de caudales se limitan al caudal medio diario, aunque sin una tendencia espacial homogénea, con estaciones mostrando tendencias de signo contrario. A escala anual, aunque no se encuentran tendencias significativas

generalizadas, sí se observa una tendencia al aumento del caudal medio en todas las cuencas. Esta tendencia anual está condicionada por la tendencia observada en otoño y primavera. El invierno es la estación con una tendencia ascendente en prácticamente todo el territorio.

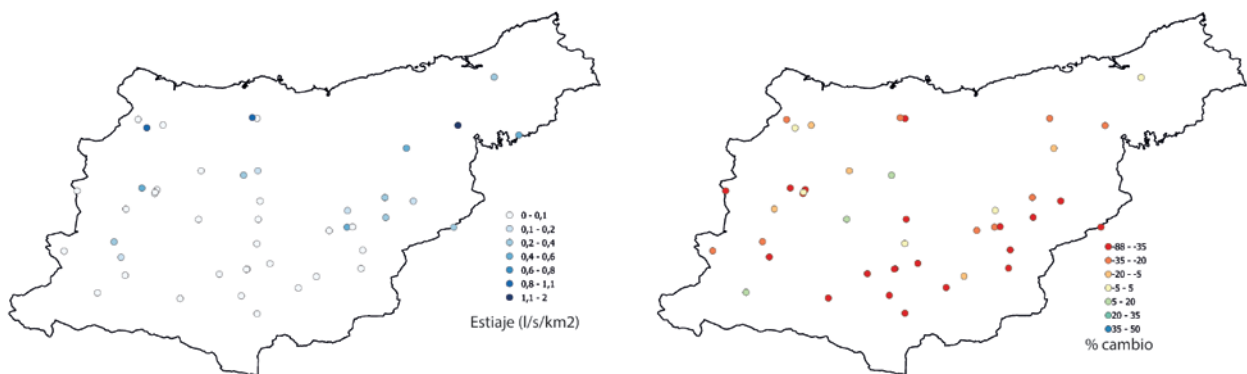
También se ha analizado la tendencia del periodo de tiempo (días) con valores de caudal por debajo del percentil Q20 (definido como el caudal medio diario que es excedido en el 80% de los días de la serie de datos). En general, no se observan tendencias significativas para ninguna de las escalas temporales analizadas. A escala anual, no hay una tendencia espacial uniforme, con tendencias opuestas entre las estaciones, el 60% muestra tendencias al descenso en la duración de Q20 y el restante 40% al aumento. Las estaciones con tendencia al aumento de la duración de caudales bajos se encuentran al sur de la cuenca del Oria y al este de la cuenca del Deba, coincidiendo en gran medida con las estaciones que muestran tendencias al descenso del caudal medio durante la primavera y el otoño. El aumento de la duración de los caudales bajos ocurre de forma más generalizada en julio y septiembre. Durante el resto de estaciones no se detectan cambios reseñables.



3.11. Fig. Tendencia de la duración de caudales bajos (Q20) a escala anual. En rojo se indican las estaciones con tendencia al aumento y en azul estaciones con tendencia a disminuir la su duración. Ninguna de las tendencias son estadísticamente significativas.

Los caudales mínimos anuales, esto es, los caudales de estiaje, se han analizado desde 1999 hasta 2022 en 8 campañas de aforo en 47 ríos y manantiales de Gipuzkoa. Los análisis indican que en general, desde 1999 estos

caudales han disminuido. Resaltar los resultados de la campaña realizada en 2022, en la que 18 de los puntos de muestreo presentaron mínimos históricos.



3.12. Fig. (drcha). Campaña de aforos de estiaje 2022 en los principales ríos y manantiales de Gipuzkoa. (izq.) Cambio en el aforo de estiaje entre 2022 y 1999.

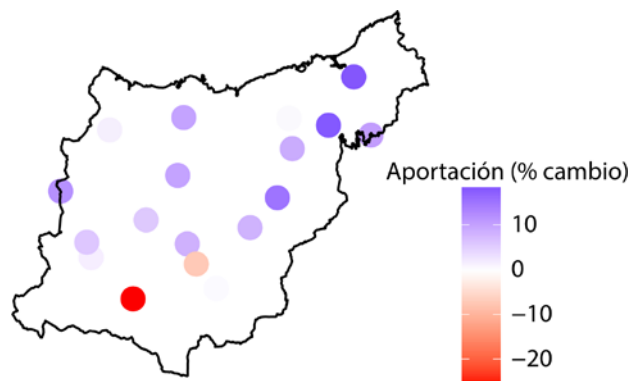
Las tendencias temporales de caudales máximos de la red se analizaron en el informe realizado por Naturklima en 2022. El análisis realizado para el periodo 1990–2021 concluyó que en diez de las estaciones de aforo analizadas se observaron incrementos significativos del caudal máximo anual, principalmente en las cuencas del Oria, Urola y

Oiartzun. Asimismo, al analizar la ocurrencia de eventos extremos de caudal elevado, definidos como el número de días al año con caudal superior al percentil 90 de la serie correspondiente a cada estación, se observaron tendencias crecientes significativas en las cuencas más orientales del territorio.

3.2.3. APORTACIONES

El análisis de las series históricas de aportaciones anuales para el periodo 2000-2020 muestra una tendencia general al incremento de las aportaciones, tendencias que en ningún caso son estadísticamente significativas. Se observan únicamente algunas tendencias negativas en estaciones de la zona alta de la cuenca del Urola y la zona media-oeste de esta cuenca y al sureste de la cuenca del Oria. El incremento de las aportaciones varía entre un +2% y un +50%, produciéndose los máximos

cambios en las estaciones al este del territorio, donde más ha aumentado la precipitación anual. Esta variable presenta una correlación (coeficiente r de Pearson entre 0,8 y 0,95) con la precipitación anual registrada en las cuencas. Por ello, el incremento de la precipitación anual registrado durante el periodo analizado puede explicar esta tendencia al aumento en las aportaciones anuales, principalmente al este del territorio donde el incremento de precipitación anual es mayor y la correlación es más intensa.



3.13. Fig. Tendencia de aportación anual. Porcentaje de cambio de la aportación anual. Ninguna de las tendencias son estadísticamente significativas.

3.2.4. AGUAS SUBTERRÁNEAS

La temperatura, precipitación y evapotranspiración pueden afectar a la recarga, descarga y calidad de las aguas subterráneas y, por lo tanto, a todos sus usos. Variaciones en estas variables meteorológicas pueden provocar cambios significativos en la tasa de recarga de los acuíferos (Jyrkama & Sykesa, 2007), que pueden conducir a importantes variaciones de nivel piezométrico.

A escala global no se observan tendencias uniformes en cuanto a la evolución del agua subterránea. En algunas regiones, como en los trópicos, el aumento de la intensidad de las precipitaciones, en parte debido a la influencia humana, ha mejorado la recarga de las aguas subterráneas. En otros, en cambio, se observa un descenso intenso desde al menos el inicio del siglo XXI como consecuencia de las retiradas de agua subterránea para irrigación en zonas agrícolas (IPCC, 2022). Hay que tener en cuenta de todos modos que la atribución de cambios en el almacenamiento de aguas subterráneas observados localmente por piezometría o estimados a partir de satélite a

una escala regional es complicado por la influencia antropogénica, que incluye cambios de usos del suelo y las retiradas de agua.

En este informe se han analizado datos procedentes de la Red Básica de Control de Aguas Subterráneas de a CAPV que permite realizar el seguimiento del estado cuantitativo y del estado químico de las diferentes masas de agua subterránea. Algunas estaciones presentan particularidades, con caudales captados para abastecimiento, riego o aprovechamiento hidroeléctrico aguas arriba de los puntos de control.

Un análisis preliminar de los niveles y caudales registrados en las estaciones de control foronómico y piezométrico indica que, a escala diaria no todos, pero sí la mayoría de las estaciones presentan tendencias descendentes significativas de caudal y nivel. No se ha extendido este análisis a mayores escalas temporales.

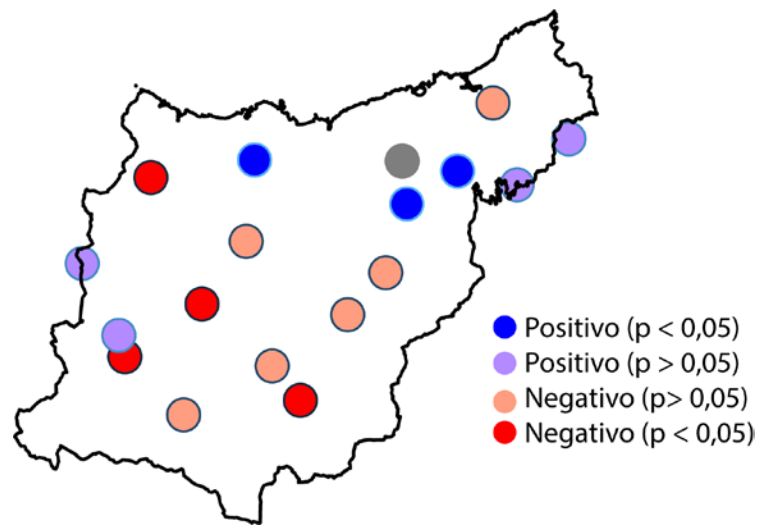
3.3. RÉGIMEN CLIMÁTICO EXTREMO

El sexto informe del IPCC (IPCC, 2021) determina que el calentamiento global ya ha provocado el aumento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos climáticos y meteorológicos extremos, como olas de calor, precipitaciones extremas e inundaciones o sequías, desde la época preindustrial. Esto provoca que las sociedades sean cada vez más vulnerables a los desastres relacionados con el agua. Alrededor del 74% del total de desastres naturales a escala global entre 2001 y 2018 fueron relacionados con el agua, con inundaciones y sequías.

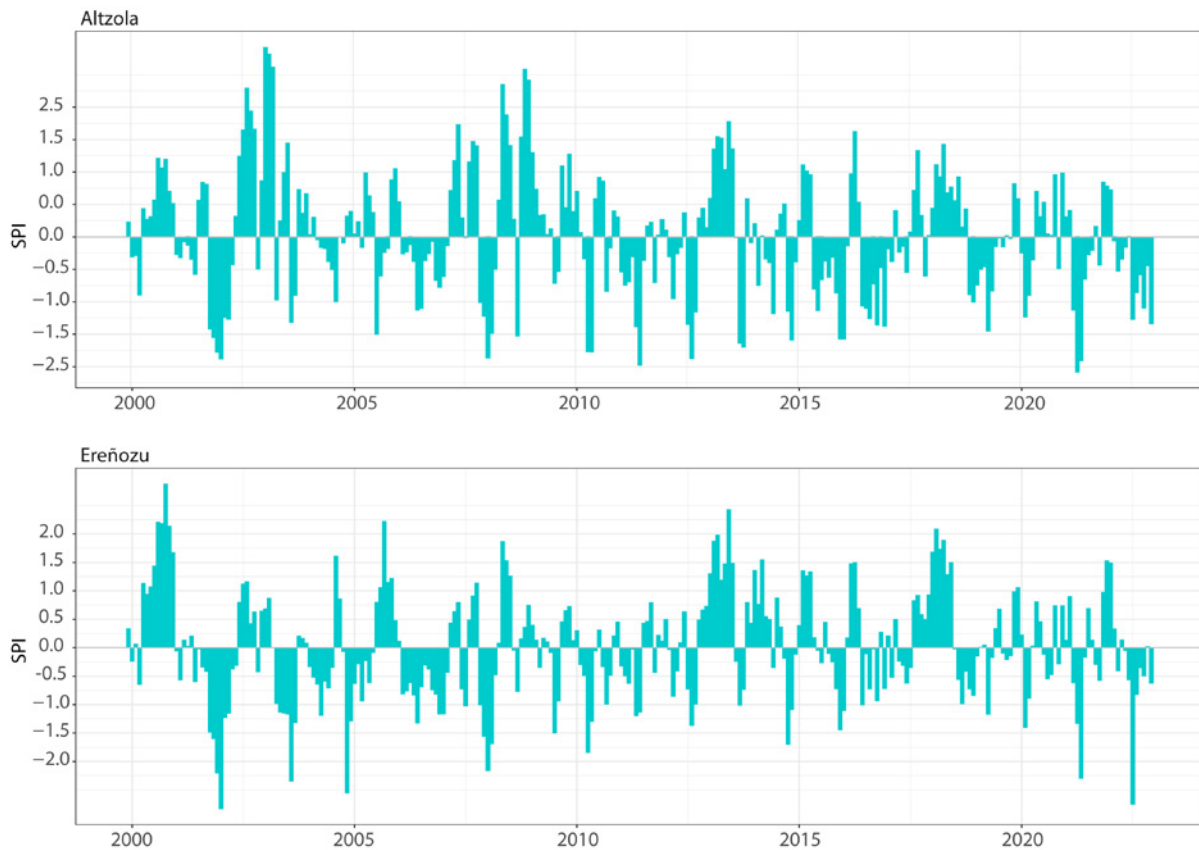
Las inundaciones constituyen el principal riesgo natural del territorio. Las inundaciones son fenómenos complejos resultado de la interacción de numerosos factores como las causas meteorológicas (precipitaciones extremas), características físicas de la cuenca, topografía de las zonas inundables, la capacidad de drenaje o cambios en los usos del suelo y vegetación. A escala global, las inundaciones globales y los eventos de lluvia extrema han aumentado en más de un 50% esta década, y ahora se están produciendo a una tasa cuatro veces mayor que en 1980 (EASAC, 2018). En Europa las precipitaciones extremas se han intensificado en el norte y noreste de Europa mientras que no se observan tendencias claras en la región mediterránea y sur de Europa (Peña-Angulo et al., 2020). En el caso de Gipuzkoa, distintos informes indican una tendencia al incremento de la torrencialidad de las precipitaciones (DGOH-DFG, 2017) y la intensificación de los eventos de precipitación intensa, especialmente durante la última década (Naturklima, 2023). No es fácil el análisis de tendencias en la frecuencia e intensidad de eventos de inundación, ya que hay que tener en cuenta la baja ocurrencia temporal y espacial de las inundaciones, los mayores daños ocasionados por los mismos debido a la ocupación de las áreas inundables durante determinados periodos y también la disminución de los daños por las distintas obras llevadas a cabo para disminuir el riesgo, que están consiguiendo durante los últimos años un descenso significativo del riesgo y un descenso de los daños producidos. El análisis de eventos pasados no es necesariamente representativo de las inundaciones actuales (URA, 2021). En el 'Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa 2022' (Naturklima, 2022) se recoge el registro histórico de eventos de inundación en el territorio.

Diversos episodios de sequía han afectado en las últimas décadas al abastecimiento urbano e industrial en el territorio. El episodio más significativo corresponde al periodo de agosto de 1988 a noviembre de 1990. Entre los años 1991-1995, 1999-2001 y 2003-2005 aunque no de forma tan generalizada, también se produjeron reducciones en la escurrentía. El Plan Especial de Sequías del Norte (2007) y el Plan Especial de Sequías de las Cuencas Internas del País Vasco (URA, 2021) contienen información sobre sequías pasadas. El análisis de las tendencias de la sequía es complejo, dada la dificultad para definir y cuantificar este fenómeno. A escala europea, existen estudios que muestran tendencias opuestas. La incertidumbre de estos resultados está vinculada al uso de diferentes periodos de análisis y al uso de distintas métricas que definen la sequía (Vicente-Serrano et al., 2021). Un estudio reciente que analiza las tendencias a largo plazo (1851-2018) indica que no se observan tendencias significativas a escala europea, con excepción de algunos puntos y para periodos de análisis más cortos. Las mayores tendencias hacia condiciones más secas se observan para el verano en Reino Unido e Irlanda.

Considerando que la precipitación sigue siendo el factor meteorológico determinante en la variabilidad e intensidad de las sequías (Briffa et al., 2009), una de las métricas más utilizadas y recomendadas para el análisis de la evolución de la sequía es el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) (MCKEE 1933-1995). Este índice se define como un valor numérico que representa el número de desviaciones estándar de la precipitación a lo largo del periodo de acumulación de que se trate, respecto de la media, una vez que la distribución original de la precipitación ha sido transformada a una distribución normal. En este estudio se ha determinado, a partir de las series de precipitación acumulada de 3 meses en la red de pluviómetros en el territorio, el indicador SPI para el periodo 1999/2000-2021/2022 utilizando el paquete SPEI en R (Beguería et al., 2014). Los resultados del análisis de tendencias del indicador indican que predominan las estaciones con tendencias negativas (condiciones más secas) aunque no significativas, con estaciones tanto al oeste como al este del territorio mostrando tendencias positivas (más húmedas).



3.14. Fig. Tendencia de cambio y significancia del mismo (p-valor, p) en las series de SPI (SPI acumulado de 3 meses) en las estaciones pluviométricas.



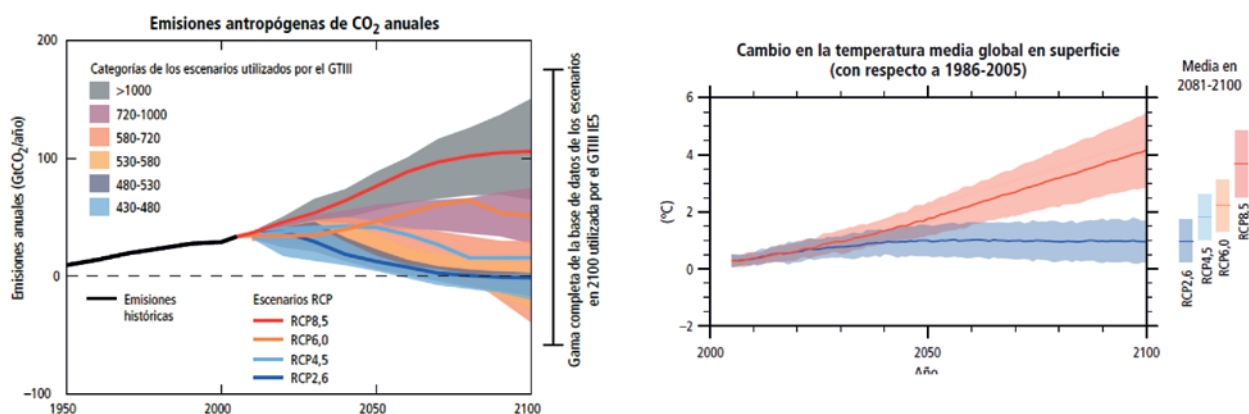
3.15. Fig. Evolución del índice SPI (acumulado de 3 meses) en las estaciones de Altzola y Ereñozu.

4. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS

Como consecuencia del cambio climático y del calentamiento global, se prevé que los regímenes de temperatura y precipitación varíen en muchas regiones del planeta. Esto, a su vez, podría generar impactos muy importantes sobre el sistema hídrico, afectando al régimen de caudales y de recarga de los ríos y acuíferos, y por tanto con impactos en la disponibilidad de recursos hídricos. En este capítulo se analizan los impactos potenciales del cambio climático en los recursos hídricos, a través de la evaluación de los posibles cambios en las variables climáticas e hidrológicas anuales y mensuales.

A la hora de analizar los efectos que provoca el cambio climático se suelen utilizar los resultados de los modelos climáticos globales para obtener los pronósticos climáticos del clima futuro. Estos modelos, denominados modelos de circulación general (GCMs por sus siglas en inglés), son modelos que simulan numéricamente las interacciones de la atmósfera, los océanos, los hielos y el relieve terrestre. Aunque el principal forzamiento de los GCMs es la radiación solar, todos los modelos son también forzados con concentraciones de gases atmosféricos, tanto de origen antropogénico como natural. Debido al desconocimiento acerca de la posible evolución futura de la situación socioeconómica global, que afecta al sistema climático de diversas formas, en los GCMs estos cambios se modelan

mediante escenarios sintéticos de emisiones de gases de efecto invernadero y cambios de usos del suelo, que proporcionan situaciones de referencia para la simulación, de acuerdo con distintos escenarios plausibles de desarrollo socioeconómico. En este informe se han utilizado los principales escenarios de cambio climático definidos en el IPCC-AR5, RCP4.5 y RCP8.5 (Representative Concentration Pathways, RCP), con el objetivo de abarcar el espectro más razonable en función de la evolución reciente de emisiones de GEI y por ser los escenarios disponibles para el territorio. Estos escenarios RCP se caracterizan por su forzamiento radiativo total para el año 2100, 4,5 W/m² y 8,5 W/m², respectivamente. El conjunto de escenarios RCP4.5 se corresponde con escenarios en los que se produce una transformación del modelo económico en las próximas décadas, situando el pico de emisiones de gases de efecto invernadero, equivalente de CO₂, aproximadamente en 2050. En cambio, los escenarios RCP8.5 consideran que las emisiones de gases de efecto invernadero seguirán aumentando durante todo el siglo, situando el pico de emisiones a finales de este siglo o inicios del siguiente. Bajo el escenario RCP4.5, el incremento de la temperatura del aire global media en superficie alcanzaría los 2 °C y en el escenario RCP8.5 los 4 °C.



4.1. Fig. (izq.) Emisiones de CO₂ sólo en los RCP (líneas) y las categorías de escenarios asociados (las áreas coloreadas muestran el rango del 5% al 95%) definidos en el IPCC-AR5. (dcha.) Cambio en la temperatura media global en superficie de 2006 a 2100 determinados por simulaciones multimodelos. Cambios en relación con 1986-2005. Las series temporales de las proyecciones y la medición de la incertidumbre (sombreado) para los escenarios RCP2.6 y RCP8.5. Fuente: IPCC-AR5 (2014).

Partiendo de los GCMs, dada que su escala es muy baja para conocer en detalle cómo podría variar el clima en una zona concreta y, por tanto, aplicarlos en los estudios de impacto, es necesario aplicar técnicas de reducción de escala (downscaling) para su regionalización. De este modo se obtienen los escenarios climáticos regionalizados o proyecciones climáticas. Cada proyección climática es una hipótesis climática que es susceptible de ser analizada para estudiar los impactos que producirá, en este estudio en concreto sobre el ciclo del agua.

En este estudio se han utilizado las proyecciones regionalizadas disponibles más adecuadas para nuestra región, basados en la información de distintas bases de

datos que proporcionan directamente la evaluación del recurso hídrico para escenarios de cambio climático. Se han utilizado proyecciones para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 y para tres periodos futuros de impacto de 30 años cada uno: el corto plazo (2011-2040), medio plazo (2041-2070) y largo plazo (2071-2100). El estudio se ha centrado en comparar los impactos de los tres periodos futuros respecto a un periodo de control. Se ha evaluado el impacto de distintas proyecciones climáticas disponibles con objeto de recoger la incertidumbre asociada a las simulaciones climáticas y así expresar mejor el impacto del cambio climático. Las bases de datos utilizadas en este análisis se detallan en las siguientes secciones.

4.1. PRINCIPALES IMPACTOS METEOROLÓGICOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Los cambios en la temperatura y precipitación afectarán directamente a la disponibilidad de agua (Schewe et al., 2014). La precipitación condiciona de forma directa el volumen de agua disponible mientras que los cambios de temperatura alteran la evaporación y transpiración, modificando la cantidad y las características de los recursos hídricos. Los efectos del cambio de precipitación y temperatura sobre los recursos hídricos se producirán por cambios en la cantidad de recurso, en su distribución espaciotemporal, y en la calidad de los mismos.

Los resultados de los pronósticos de cambio climático de estas variables hidrometeorológicas, temperatura y precipitación, sirven para alimentar los modelos hidrológicos y así evaluar el efecto del cambio climático sobre la disponibilidad de recursos hídricos y su impacto sobre los usos.

Para la caracterización de las variables meteorológicas futuras se han utilizado los escenarios climáticos regionalizados de alta resolución elaborados para la CAPV en distintos proyectos:

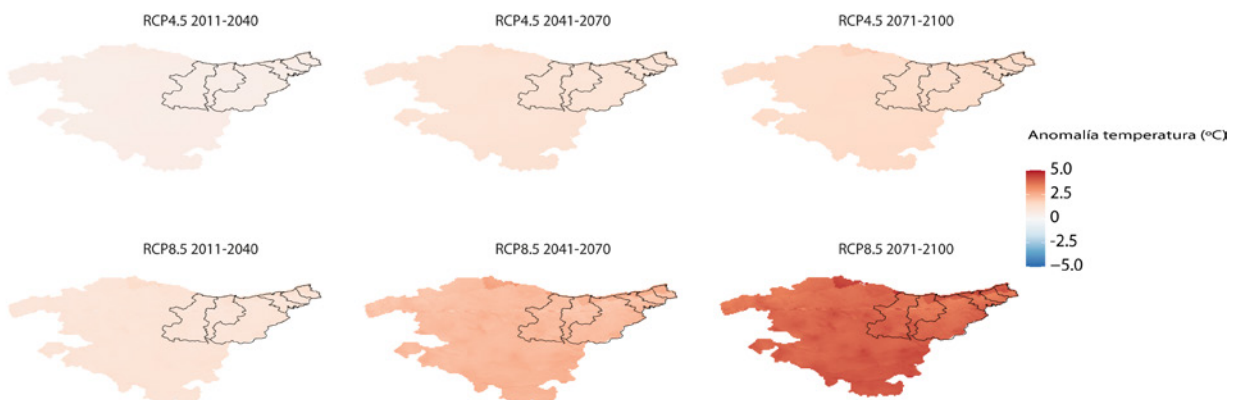
- Proyecto ESCENARIOS: 'Elaboración de escenarios regionales de cambio climático de alta resolución sobre el País Vasco' (2016). En este proyecto, realizado para Ihobe (Sociedad Pública de Gestión Ambiental), participaron Neiker y Predictia Intelligent Data Solutions S. L.
- Proyecto ESCENARIOS II: 'Escenarios de cambio climático de alta resolución para el País Vasco. Fase II: Datos diarios con metodología de corrección de sesgo' (2017). En este proyecto, realizado para Ihobe (Sociedad Pública de Gestión Ambiental), participaron Neiker, Tecnalia y el Grupo de Meteorología de Santander (IFCA-MACC, CSIC-UC).
- Proyecto URBAN KLIMA 2050 ('Systemic implementation of the CC action in the Basque Country for increased urban resilience as full territory enabler').

A continuación, se resumen los principales resultados de estos proyectos para las cuencas guipuzcoanas.

4.1.1. VARIACIONES EN LA TEMPERATURA

Las distintas proyecciones de temperatura media anual proyectan un aumento generalizado a lo largo del siglo XXI para ambos escenarios, que alcanzaría entre +3 °C y +4 °C a finales de siglo en el escenario más pesimista. En concreto, el promedio de los modelos señala incrementos para la temperatura media anual en los

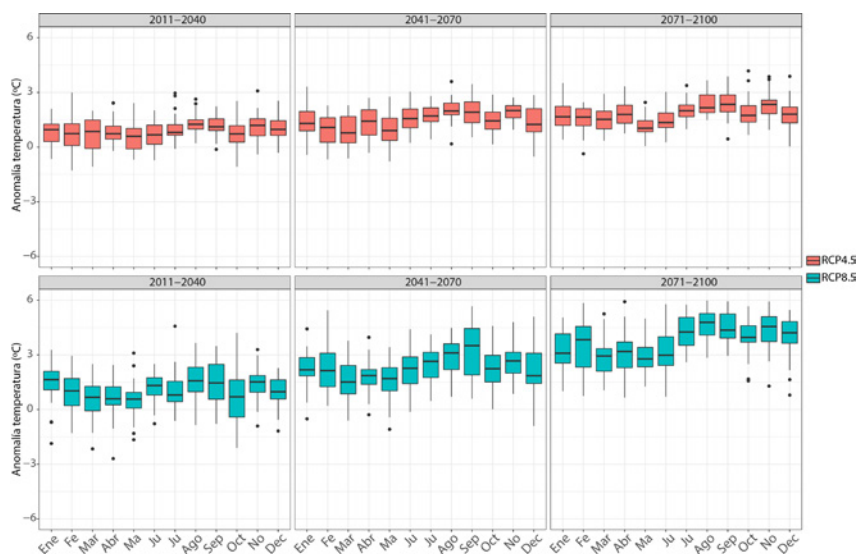
escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente, de 0,7 °C y 0,8 °C para el periodo 2011-2040, de +1,4 °C y +1,9 °C en el periodo 2041-2070 y de +1,8 °C y +3,3 °C para el periodo 2071-2100. No se observan grandes variaciones espaciales, siendo el incremento prácticamente uniforme en todas las cuencas guipuzcoanas.



4.2. Fig. Cambio de temperatura media anual para el promedio de los modelos para cada periodo de impacto y escenario respecto al periodo de control 1971-2000. Fuente de datos: Ihobe (2019).

En cuanto al ciclo anual, se observan incrementos de temperatura para todos los meses del año, siendo este ligeramente mayor para los meses de verano y menor para

la primavera. Esta diferencia se acentúa para el último periodo de impacto y es mayor en el escenario RCP8.5 que RCP4.5.



4.3. Fig. Cambios en el ciclo anual de la temperatura media para cada periodo de impacto respecto al periodo de control 1971-2000 para el conjunto de Gipuzkoa para cada escenario. Fuente de datos: Ihobe (2019).

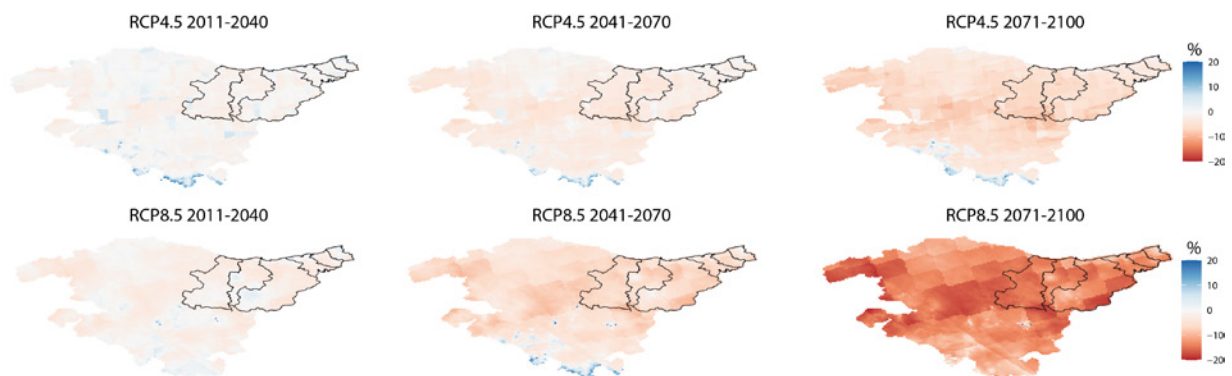
4.1.2. VARIACIONES EN LA PRECIPITACIÓN

Los cambios proyectados en la precipitación media anual no son uniformes para las distintas regiones del planeta. Se proyecta que el rango de precipitación promedio anual aumente o disminuya hasta un 40% para un nivel de calentamiento global de 4 °C. Los cambios de precipitación proyectados son menores a niveles más bajos de calentamiento global. Sí se prevén en general incrementos de la variabilidad y de los extremos de precipitación para todos los escenarios de cambio climático. Es importante destacar que, en la mayoría de las regiones terrestres, los cambios proyectados están sujetos a una gran incertidumbre, incluso respecto al signo del cambio proyectado (IPCC-AR6, 2021).

Los cambios en la precipitación anual estimada para el conjunto de Gipuzkoa durante el periodo 2011-2100 revelan una tendencia decreciente según avanza el siglo para el conjunto de proyecciones para ambos escenarios RCP. El promedio de los cambios de las proyecciones señala para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 descensos

respectivamente del -1,7% y -1,4% para 2011-2040, -5,2% y -5,8% para 2041-2070 y -6,8% y -15,0% para 2071-2100. Destacar la variabilidad e incertidumbre del resultado de las proyecciones. Los cambios proyectados se intensifican a partir del segundo periodo y también las diferencias entre ambos escenarios son mayores. Dado que la precipitación es la variable que más influye en el ciclo hidrológico, conviene tener en cuenta estas incertidumbres a lo largo del análisis del impacto del cambio climático en el ciclo hidrológico.

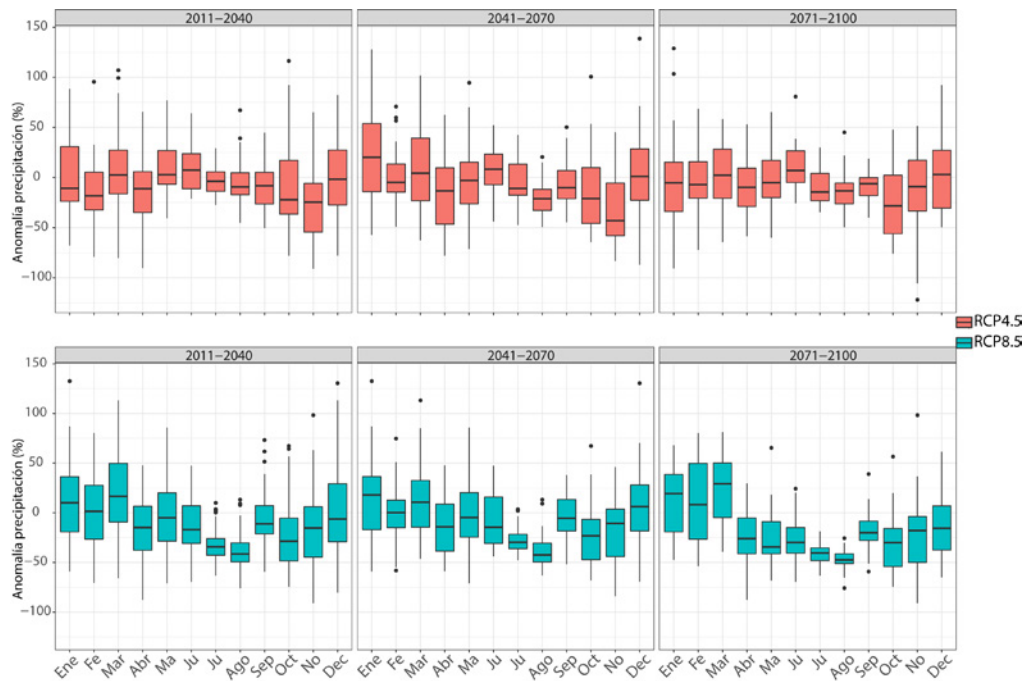
Existen pequeñas diferencias en las proyecciones de precipitación anual para las distintas cuencas, aunque esta es inferior a un 5%. La menor reducción de precipitación se proyecta para las cuencas de Oiartzun y Bidasoa, mientras que el porcentaje de reducción se incrementa hacia el oeste y el interior del territorio. Así, para el escenario más pesimista y el último periodo de impacto las mayores reducciones, cerca del -15,0%, se proyectan para las cuencas del Urola y Deba.



4.4. Fig. Porcentaje de cambio de la precipitación anual para el promedio de los modelos para cada periodo de impacto y escenario respecto al periodo de control 1971-2000. Fuente de datos: Ihobe (2019).

En cuanto a los cambios en el ciclo anual, no se observan patrones claros ya que los resultados varían mucho según la proyección climática. Lo más destacado es una reducción de la precipitación en los meses de julio y agosto, hacia el final del año hidrológico, especialmente marcada en el escenario RCP8.5 a partir del periodo de

impacto 2041-2070, siendo el promedio de la reducción casi del -50%. A final de siglo en este escenario también se observa, aunque con un alto grado de incertidumbre, una tendencia al incremento de la precipitación en los meses de enero, febrero y marzo.



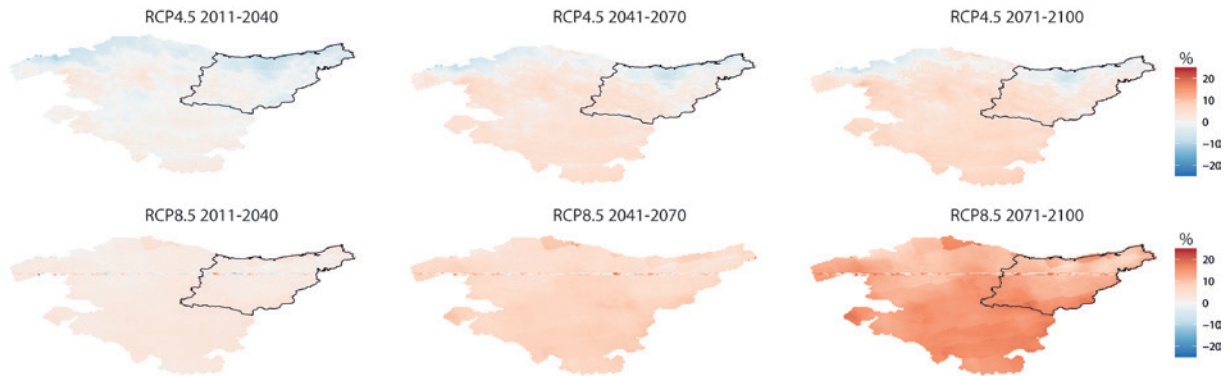
4.5. Fig. Cambios (%) proyectados en el ciclo anual de la precipitación para cada periodo de impacto respecto al periodo de control 1971-2000 para el conjunto de Gipuzkoa para cada escenario. Fuente de datos: Ilobe (2019).

4.1.3. VARIACIONES EN LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ET_0)

La variación de la evapotranspiración potencial (ET_0) responde a la tendencia creciente de las temperaturas. Así, a escala global se proyectan incrementos de esta variable. A escala regional, sin embargo, la incertidumbre es mayor (IPCC, 2021).

Para el conjunto del T.H., la ET_0 únicamente presenta una tendencia decreciente generalizada para el corto plazo (2011-2040) en el escenario RCP4.5. En este escenario, a medida que avanza el siglo la ET_0 se incrementa desde el suroeste del territorio hacia la zona costera. Las proyecciones para el escenario RCP8.5 presentan

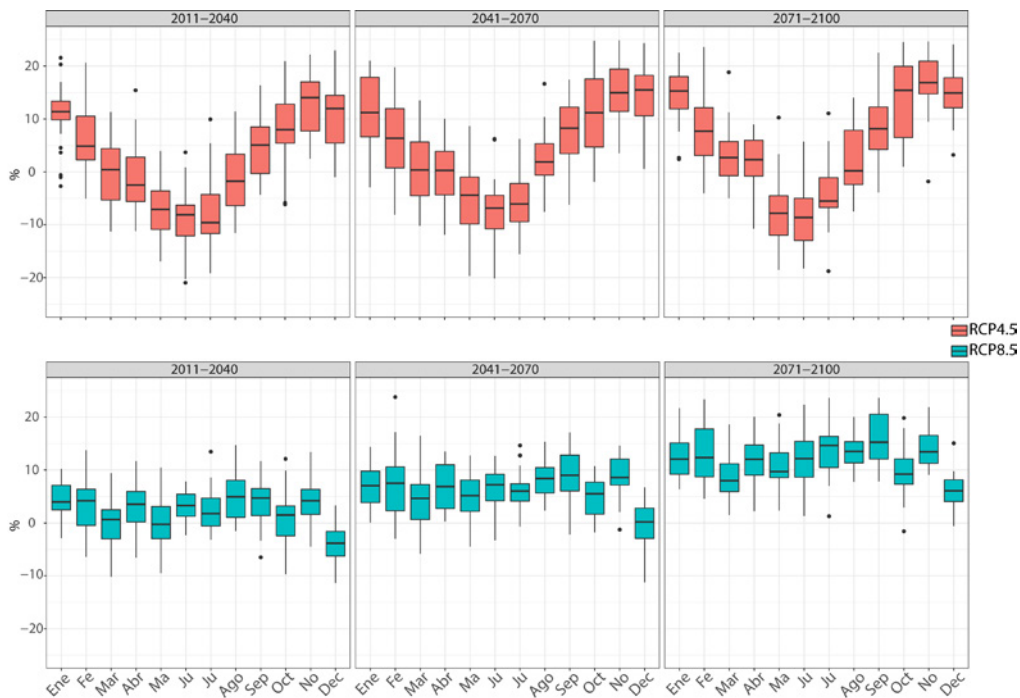
tendencias crecientes de ET_0 para todos los periodos, intensificándose a media que avanza el siglo. El promedio de las proyecciones para el conjunto del territorio indica cambios del -2,3% y +2,8% para 2011-2040, +0,5% y +6,8% para 2041-2070 y +1,7% y +12,6% para 2071-2100. La distribución espacial muestra un mayor incremento de la evapotranspiración en la zona interior y menor en el litoral. La diferencia es más acentuada en el escenario RCP4.5 como se ha indicado, con tendencias opuestas entre estas dos zonas.



4.6. Fig. Porcentaje de cambio de la evapotranspiración potencial para el promedio de los modelos para cada periodo de impacto y escenario respecto al periodo de control 1971-2000. Fuente de datos: Ihobe (2019).

Respecto al ciclo anual, existen claras diferencias entre los dos escenarios de emisiones. En el escenario RCP4.5, se proyectan descensos de hasta un -10% de media para los tres periodos de impacto en los meses de abril a agosto, mientras que para el resto de meses se proyectan incrementos, mayores en los meses de invierno. En el escenario RCP8.5, prácticamente todos los meses presentan tendencias crecientes, mayores según avanza

el siglo. En el corto plazo, los cambios proyectados por los modelos presentan mayor variabilidad en cuanto al signo del cambio. A partir del segundo periodo de impacto, para 2041-2070 y 2071-2100, hay un mayor consenso en el signo y así para el último periodo prácticamente todos los modelos proyectan incrementos de ET_0 a lo largo de todo el año.



4.7. Fig. Cambios (%) en el ciclo anual de ET_0 para cada periodo de impacto respecto al periodo de control 1971-2000 para el conjunto de Gipuzkoa para cada escenario. Fuente de datos: Ihobe (2019).

4.2. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CICLO HIDROLÓGICO

El informe del IPCC-A6 WGI (IPCC, 2021) concluyó con gran confianza que sin una reducción a gran escala de las emisiones de gases de efecto invernadero, se prevé que el calentamiento global provoque cambios sustanciales en las variables clave del ciclo hidrológico, tanto a escala global como regional. Sin embargo, también observaron grandes incertidumbres en muchos aspectos de las proyecciones regionales. A pesar de estas incertidumbres, sí se espera que la variabilidad del ciclo hidrológico y los extremos aumenten más rápidamente que los cambios medios en la mayoría de regiones del mundo y en todos los escenarios de emisiones.

Los efectos del cambio climático sobre las variables hidrometeorológicas afectan, no solo a la cuantía de dichas variables, sino también a su distribución espacial y temporal. Esto puede suponer variaciones en el balance hídrico, la escorrentía, la recarga de acuíferos o la incidencia de fenómenos extremos. La variación de estas variables hidrológicas podrá tener repercusión en el estado de las masas de agua, analizado en detalle en el capítulo 5.

Para la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental el aumento proyectado en la temperatura y el consiguiente aumento en la evapotranspiración potencial, junto con la reducción en las precipitaciones provocará una reducción generalizada en los recursos hídricos naturales, aumentando por tanto la escasez, que irá en aumento a medida que avanza el siglo XXI, así como un cambio en el régimen de sequías hidrológicas que, de acuerdo con la mayoría de proyecciones climáticas, aumentará en frecuencia a medida que avance el S. XXI, tal y como se recoge en el documento 'Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y Sequías en España' (CEDEX, 2017).

La evaluación de la incidencia del cambio climático sobre los recursos hídricos se ha analizado previamente para la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental y para el T.H. en el estudio 'Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y Sequías en España' (CEDEX, 2017). A partir de las proyecciones mensuales regionalizadas de precipitación y temperaturas máximas y mínimas realizadas por AEMET para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, se alimentó el modelo hidrológico SIMPA (Sistema Integrado para la Modelación del proceso

Precipitación Aportación), y se evaluó el impacto sobre las variables características (precipitación, evapotranspiración, infiltración y escorrentía) para los tres periodos de impacto 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 y para seis modelos diferentes. La información está agregada para el conjunto de España, para cada Demarcación Hidrográfica y para cada provincia. En este trabajo se han analizado los datos del cambio climático sobre estas variables, expresados como cambios porcentuales en los periodos de impacto, respecto al periodo de referencia para Gipuzkoa a través de la aplicación CAMREC (Barranco et al., 2018).

El análisis de los impactos sobre los recursos hídricos se ha completado con los indicadores de impacto climático relacionados con la hidrología de 1970 a 2100 derivados de los pronósticos climáticos europeos ajustados al sesgo (Copernicus Climate Change, 2021). Este conjunto de datos proporciona variables e indicadores del agua basados en modelos de impacto hidrológico, forzados por simulaciones climáticas regionales ajustadas al sesgo del Experimento Regional Coordinado Europeo de Reducción del Clima (EURO-CORDEX). El conjunto de datos contiene datos de Variables Climáticas Esenciales (ECV) en forma de caudal medio diario del río, así como un conjunto de indicadores de impacto climático para la cantidad y calidad del agua. Se utilizan ocho simulaciones de modelos para forzar una configuración del modelo hidrológico E-HYPEcatch. Para los indicadores se han calculado valores medios anuales (valores medios anuales durante un periodo de 30 años) y medios estacionales (valores medios mensuales, promedios durante cada mes natural durante un periodo de 30 años). Los indicadores se expresan como cambios relativos respecto al periodo de referencia 1971-2000 para los tres periodos de impacto (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100) para dos RCP (RCP4.5 y RCP8.5). Los indicadores incluyen la descarga de ríos, la escorrentía, la humedad del suelo e indicadores de calidad del agua (temperatura, empleado en el capítulo 5).

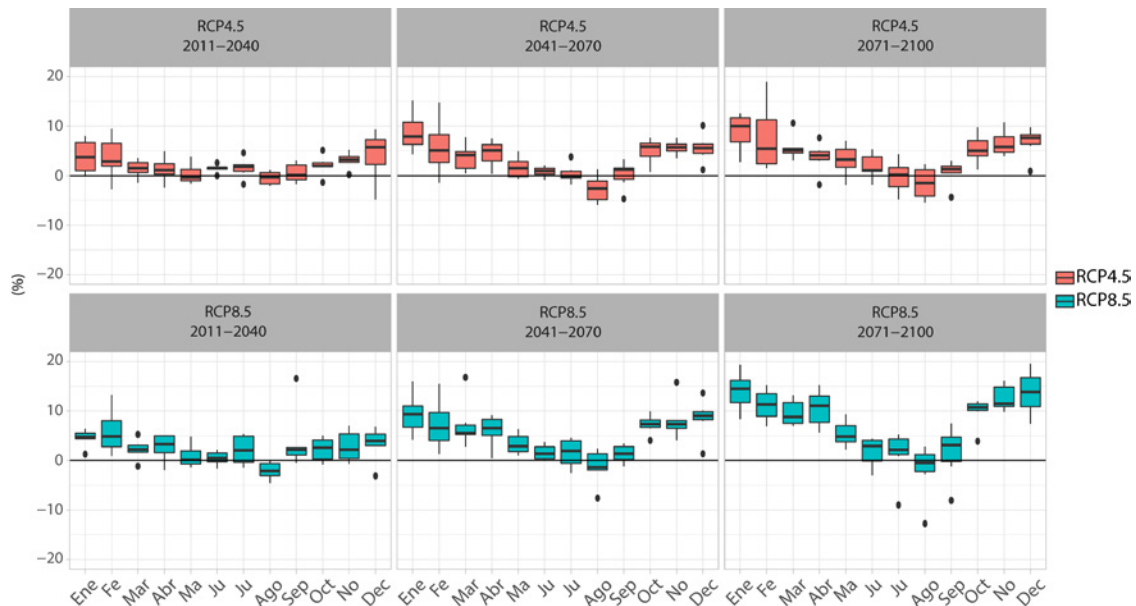
Se ha evaluado el impacto sobre los recursos hídricos considerando un conjunto de proyecciones climáticas lo más amplio y variado posible con el objetivo de recoger gran parte de la variabilidad y reflejar las incertidumbres de estas proyecciones.

4.2.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL (ETR)

Si bien los cambios en la ETR responden a los cambios en ET_0 , estos presentan una mayor sensibilidad frente a las variaciones de la precipitación y humedad del suelo, ya que influye en el agua disponible para ser evaporada. Para el conjunto del territorio, la media de los incrementos para los RCP4.5 y RCP8.5 son respectivamente del +1,4% y +1,7% para 2010–2040, del +2,3% y +4,1% para 2040–2070 y del +3,1% y +6,4% para 2070–2100. Todos los modelos considerados proyectan en promedio para el territorio incrementos para todos los periodos y los dos escenarios. Los incrementos proyectados para todos los periodos indican que la variación de ETR está más

condicionada por el ascenso de la ET_0 que por el descenso de la precipitación.

Respecto a cambios en el ciclo anual, se aprecia un patrón que consiste en una concentración de la ETR en los meses con mayor disponibilidad de agua. Esta diferencia del ciclo anual se intensifica a lo largo del siglo y es mayor para el escenario RCP8.5. Mientras que en los meses invernales a final de siglo se estiman incrementos próximos al 10%, en los meses de verano no se proyectan cambios significativos.



4.8. Fig. Cambios (%) en el ciclo anual de ETR para cada periodo de impacto respecto al periodo de control 1971–2000 para el conjunto de Gipuzkoa para cada escenario. Fuente de datos: CEDEX (2017).

4.2.2. HUMEDAD DEL SUELO

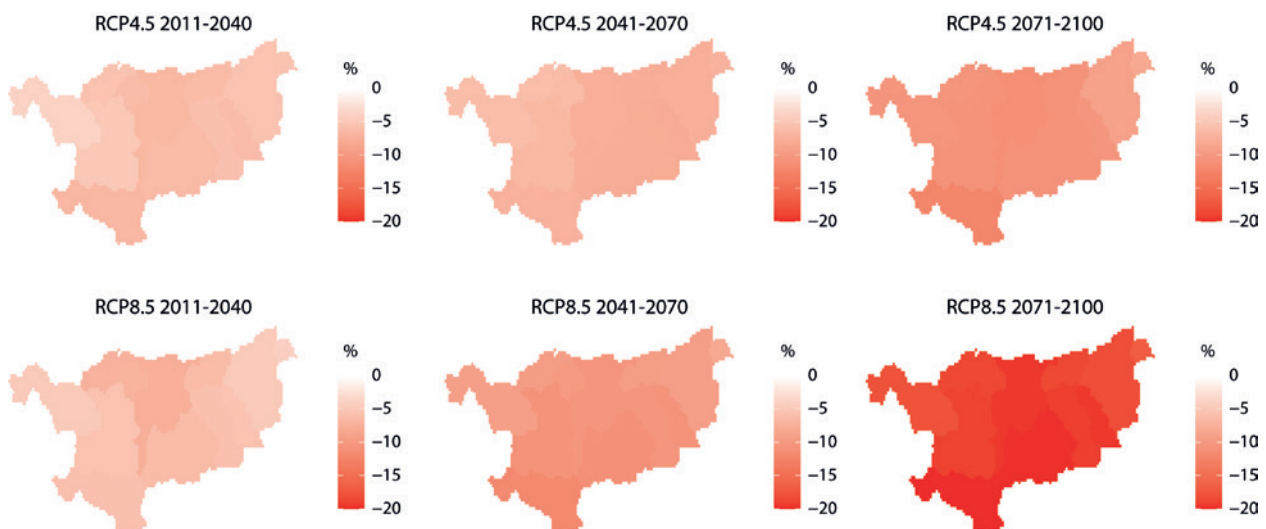
Los cambios en la humedad del suelo responden en gran medida a los cambios de precipitación y a la disponibilidad de agua. Mayores niveles de evapotranspiración podrían conducir a menores niveles de humedad del suelo. Las proyecciones globales de humedad del suelo prevén mayores cambios para mayores niveles de

calentamiento global. Sin embargo, las incertidumbres son grandes, asociados en muchos casos a la incertidumbre de las proyecciones regionales de precipitación. Así, se proyectan tanto aumentos como descensos en el nivel de humedad del suelo (IPCC, 2021).

El descenso progresivo de las precipitaciones y el aumento de la ET_0 proyectados para Gipuzkoa dan lugar a tendencias decrecientes en la humedad del suelo a medida que avanza el siglo. Los cambios proyectados para la humedad del suelo siguen el mismo patrón que el observado para la precipitación, mayores descensos a medida que avanza el siglo y para el escenario RCP8.5. Las diferencias entre ambos escenarios se acentúan en el último periodo de impacto. Los datos que la base de datos de indicadores de impacto de Copernicus Climate Change (2021) muestran para este indicador, señalan cambios medios para el conjunto del territorio bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente de -5,6% y -5,7% para 2011-2040, -7,0% y -8,7% para 2041-2070 y de -10,3% y -17,8% para 2071-2100. No se observan grandes

diferencias entre las cuencas. En general, se esperan ligeramente mayores cambios en las zonas altas de las diferentes cuencas que en sus zonas bajas.

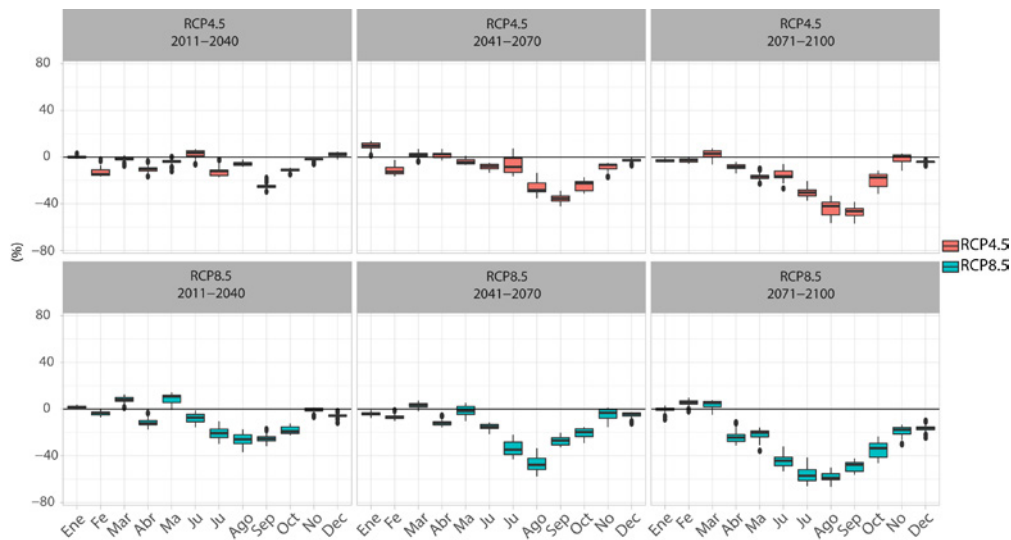
Estos cambios proyectados son superiores a los cambios estimados en el estudio del CEDEX (2017) para la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental. Las diferencias entre ambas bases de datos se acentúan con el escenario y periodo de impacto. Los cambios medios proyectados para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 son respectivamente de -2,0% para 2011-2040, -4,0% y -5,0% para 2041-2070 y -4,0% y -9,0% para 2071-2100.



4.9. Fig. Porcentaje de cambio de la humedad del suelo para el promedio de los modelos para cada periodo de impacto y escenario respecto al periodo de control 1971-2000. Fuente de datos: Copernicus Climate Change (2021).

En cuanto a los cambios en el ciclo anual, al igual que se observa para la precipitación, los menores cambios de humedad del suelo se proyectan en todos los escenarios y horizontes temporales para los meses de noviembre a marzo. Incluso en algunos meses para determinados periodos se proyectan incrementos de la humedad del suelo. Las mayores reducciones en la humedad del suelo se

proyectan para los meses de julio a septiembre, con reducciones que en el peor de los escenarios y en el horizonte 2071-2100 podrían llegar a -50% respecto al periodo histórico.



4.10. Fig. Cambios (%) en el ciclo anual de la humedad del suelo para cada periodo de impacto respecto al periodo de control 1971–2000 para el conjunto de cuencas guipuzcoanas para cada escenario. Fuente de datos: Copernicus Climate Change (2021).

4.2.3. RECARGA SUBTERRÁNEA

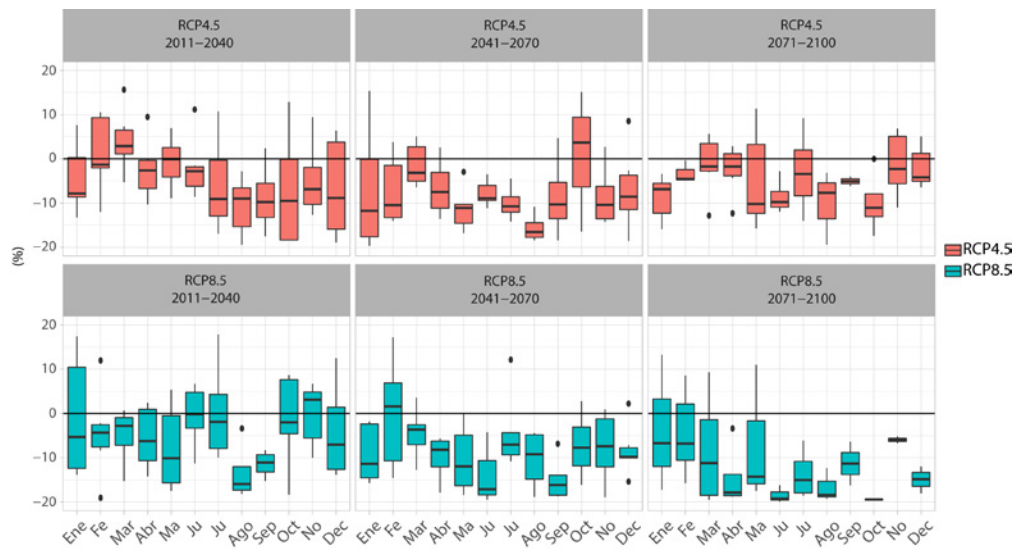
El incremento de la temperatura, la disminución de la precipitación anual, el cambio en la estacionalidad o la intensidad de la precipitación, implican posibles alteraciones en los procesos del ciclo hidrológico en su fase subterránea, afectando también a la recarga de los acuíferos (Pernía & Fornes, 2009). Según Molina et al. (2013), cambios previstos en las variables meteorológicas, como la temperatura y precipitación, pueden provocar cambios significativos en las tasas de recarga de los acuíferos (Jyrkama & Sykesa, 2007), que pueden conducir a importantes variaciones del nivel piezométrico. En cuanto a las salidas de los acuíferos, una reducción en las entradas y almacenamiento afectaría a manantiales, crítico para el suministro de agua en algunas zonas. Los ríos también se verían afectados, al reducirse el caudal base. Es decir, una reducción en las entradas y del almacenamiento se traduce en una reducción de las salidas, incluyendo la descarga de acuíferos al sistema fluvial.

Según Molina et al. (2013), estudios a nivel mundial predicen tanto disminución en la recarga (Merritt et al., 2006; Herrera-Pantoja & Hiscock, 2008), como posibles aumentos de la recarga de acuíferos según ciertas condiciones y periodos (Green et al., 2007; Döll, 2009). A escala de la península ibérica, Pulido-Velazquez et al. (2018) proyectan una reducción de la tasa media de recarga de

entorno al -12%, con una mayor reducción en el centro y sureste del territorio, pudiendo llegar a reducciones de hasta un -28% en algunas áreas y para futuro cercano (periodo de impacto 2016–2045).

Los datos para el conjunto del territorio extraídos del estudio del CEDEX (2017), muestran una tendencia decreciente de la recarga de acuíferos anual a medida que avanza el siglo para ambos RCP, siendo más acusado el descenso en el RCP8.5, especialmente en el periodo de impacto 2071–2100. A pesar de la variabilidad de los distintos modelos, todos muestran tendencias medias decrecientes para todos los periodos y los dos escenarios. Los cambios medios proyectados para los RCP4.5 y RCP8.5 son, respectivamente, del -2,8% y -5,2% para 2010–2040, -8,7% y -9,6% para 2041–2070 y -8,1% y -19,5% para 2071–2100.

No se observan unos patrones claros de cambio en el ciclo anual de la recarga subterránea ya que los resultados varían mucho según el modelo analizado. La tendencia clara a la reducción en la recarga se observa para los meses de agosto a octubre, que se acentúa en el escenario RCP8.5 y a medida que avanza el siglo. Durante el invierno la incertidumbre de los modelos es mayor.



4.11. Fig. Cambios (%) en el ciclo anual de la recarga subterránea para cada periodo de impacto respecto al periodo de control 1971-2000 para el conjunto de cuencas guipuzcoanas para cada escenario. Fuente de datos: CEDEX (2017).

Algunos estudios indican que la concentración de la precipitación anual en periodos más cortos y menos

frecuentes podría modificar el ritmo de recarga de los acuíferos.

4.2.4. ESCORRENTÍA

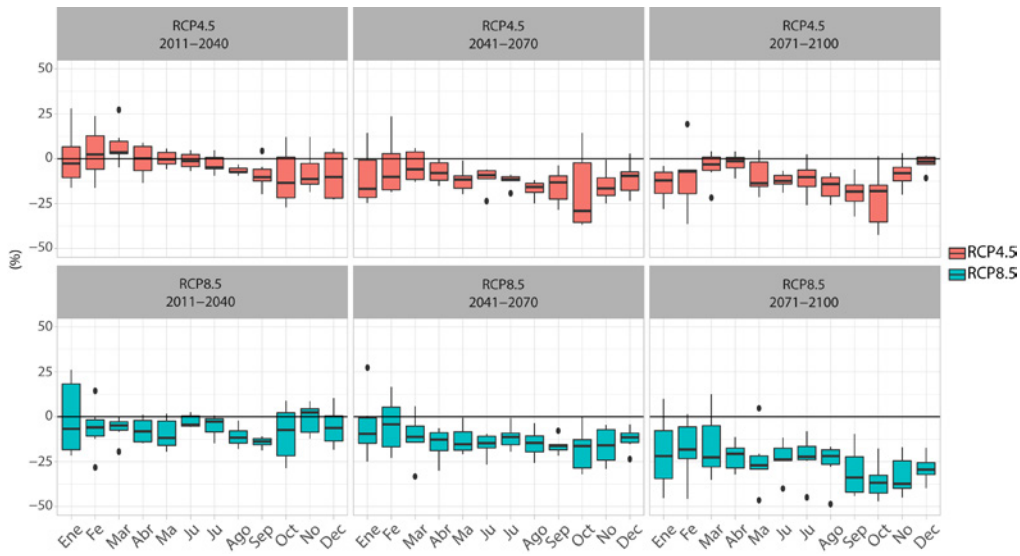
PCC-AR6 WGI concluyó con mediana confianza que la escorrentía global aumentará con el calentamiento global, pero con importantes variaciones regionales y estacionales, incluido en el signo del cambio. Esta incertidumbre se debe a las incertidumbres en las proyecciones regionales de la precipitación y en los modelos hidrológicos, incluida la respuesta de la vegetación al incremento de CO₂ y sus efectos en la evapotranspiración. Se prevé que la magnitud del cambio aumente con las emisiones. Las proyecciones futuras de escorrentía a escalas de cuenca muestran una incertidumbre considerable, incluyendo las diferencias de señales en muchas regiones.

En Europa, las proyecciones de escorrentía y caudal indican incrementos en el norte del continente y descensos en el sur para los escenarios de cambio climático. Sí que se prevén cambios significativos en la estacionalidad de la escorrentía. Se prevé que los flujos de verano disminuyan en la mayor parte de Europa, incluso en las regiones para las que se proyectan incrementos anuales.

Las proyecciones realizadas por el CEDEX (2017) para Gipuzkoa muestran una tendencia decreciente según

todas las proyecciones y en ambos RCP. Los descensos son superiores en el RCP8.5 que en el RCP4.5 y mayores cuanto más avanza el siglo XXI, acentuándose también las diferencias entre ambos escenarios. El promedio del resultado de las proyecciones estima una reducción de la escorrentía para Gipuzkoa para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente del -2,5% y -6,4% para 2011-2040, -10,9% y -12,5% para 2041-2070 y del -10,0% y -25,4% para 2071-2100, respecto al periodo de control 1961-2000.

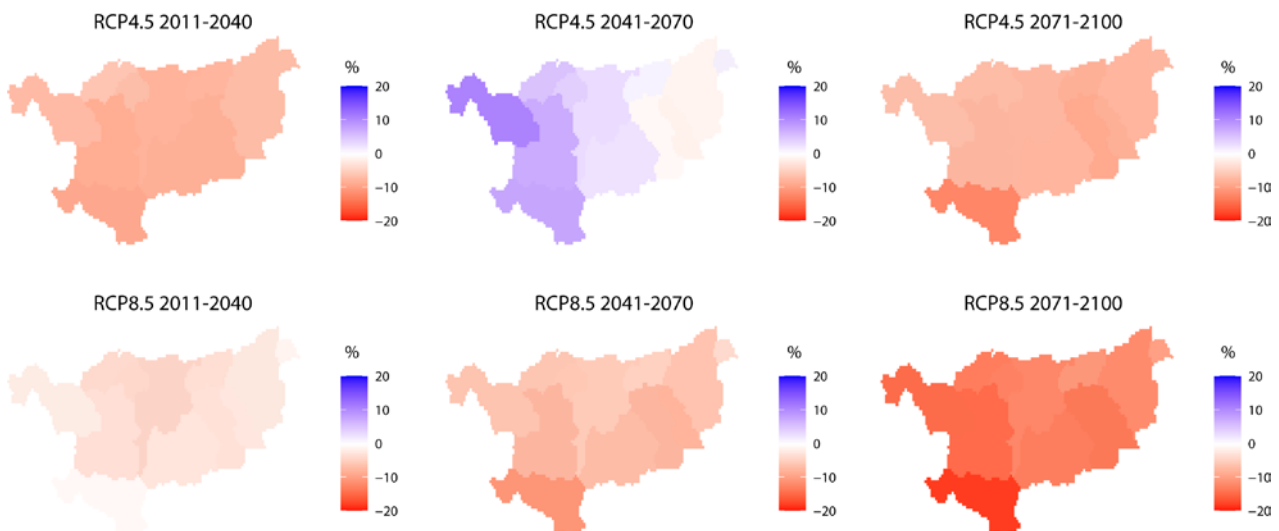
En cuanto a las variaciones en el ciclo anual, se observan descensos significativos en la escorrentía para los meses de marzo a octubre a partir del segundo periodo de impacto. En los meses de invierno la variabilidad entre los modelos es mayor y no se observa un patrón de cambio claro, salvo en el último periodo de análisis, 2071-2100, en el que sí parece descender la escorrentía para todos los meses. Para los meses de marzo a octubre, los descensos proyectados varían entre un -12% y -25%.



4.12. Fig. Cambios (%) en el ciclo anual de la escorrentía para cada periodo de impacto respecto al periodo de control 1971-2000 para el conjunto de cuencas guipuzcoanas para cada escenario. Fuente de datos: CEDEX (2017).

Las proyecciones regionalizadas de los indicadores hidrológicos de Copernicus Climate Change presentan diferencias respecto a las proyecciones proporcionadas por el CEDEX. Hay diferencias en cuanto al signo del cambio para el escenario RCP8.5 en el corto y medio plazo, proyectando estos indicadores incrementos, y en cuanto a la magnitud del cambio proyectado, especialmente en

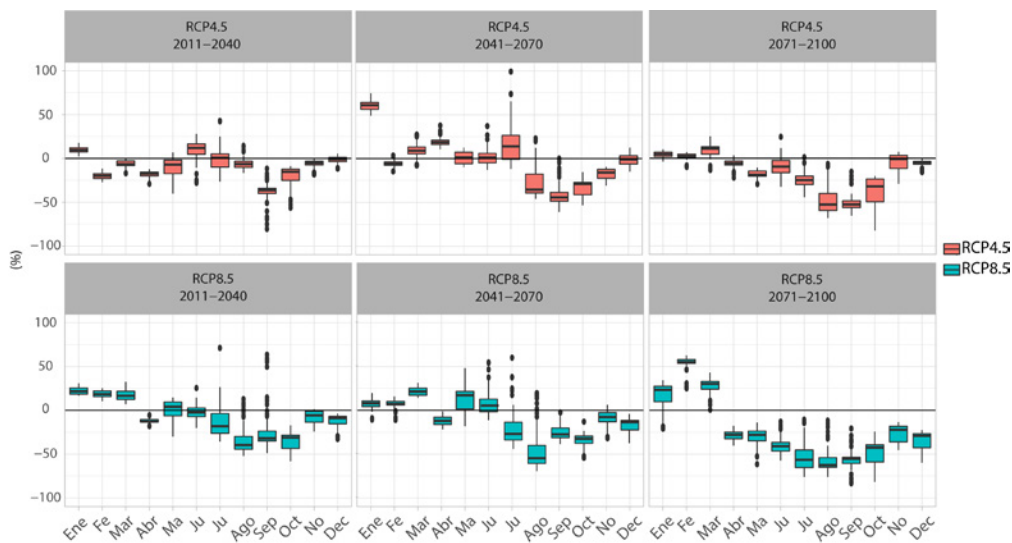
el largo plazo para el RCP8.5, siendo menos de la mitad el cambio proyectado respecto al del CEDEX. Las proyecciones de la escorrentía de Copernicus Climate Change muestran cambios para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente, del -7,4% y -2,6% para 2011-2040, +3,2% y -6,5% para 2041-2070 y -7,9% y -13,1% para 2071-2100.



4.13. Fig. Cambios (%) en la escorrentía media anual para el promedio de proyecciones, para cada periodo de impacto y RCP, respecto al periodo de control 1971-2000. Fuente de datos: Copernicus Climate Change (2021).

En cuanto a los cambios estacionales, al igual que las proyecciones proporcionadas por el CEDEX, estos indicadores muestran una tendencia a la reducción de la escorrentía entre marzo y octubre, mayor a medida que avanza el siglo y para el escenario RCP8.5. Los indicadores de Copernicus Climate Change muestran mayores reducciones

para estos meses que las del CEDEX, alcanzando en el periodo 2071-2100 y RCP8.5 descensos del -50%, frente a -30% del CEDEX. En los meses de enero a marzo se proyectan incrementos de la escorrentía, mayores en general en el RCP8.5.



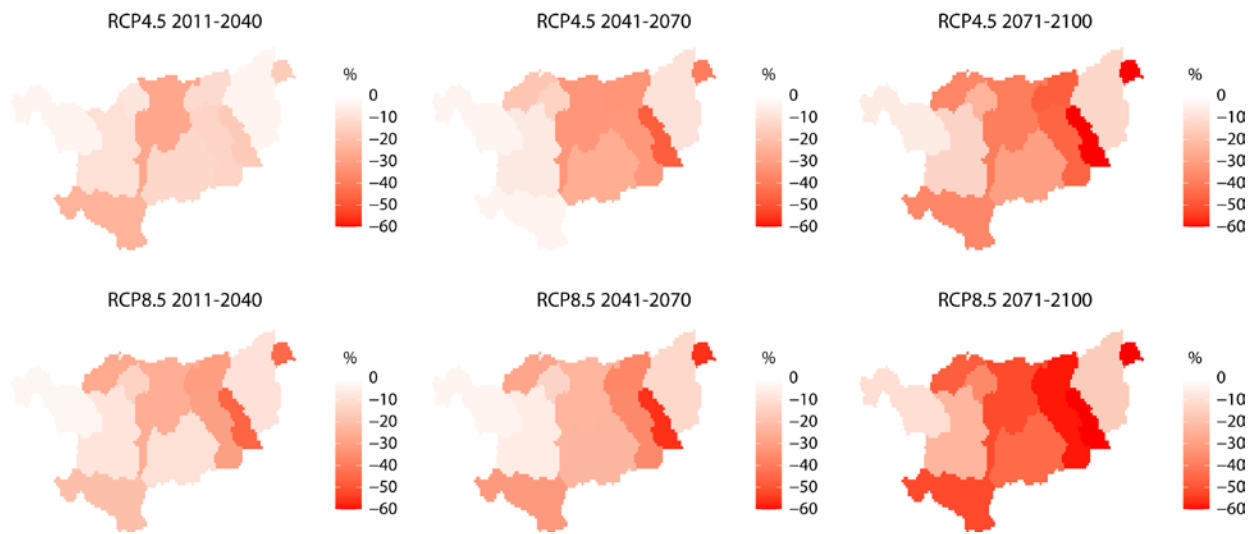
4.14. Fig. Cambios (%) en el ciclo anual de la escorrentía para cada periodo de impacto respecto al periodo de control 1971-2000 para el conjunto de cuencas guipuzcoanas para cada escenario. Fuente de datos: Copernicus Climate Change (2021).

CAUDALES MÁXIMOS Y MÍNIMOS

Las proyecciones para distintos escenarios de cambio climático indican, en general, un cambio en la distribución de la escorrentía hacia una escorrentía más extrema (Zhai et al., 2020). En escenarios pesimistas, con un nivel de calentamiento de 4 °C a final de siglo, se proyecta que aproximadamente el 10% de la superficie terrestre se enfrente simultáneamente al aumento de caudales máximos extremos y a caudales mínimos extremos (IPCC, 2022).

Los indicadores de impacto relacionados con la hidrología proporcionados por Copernicus Climate Change

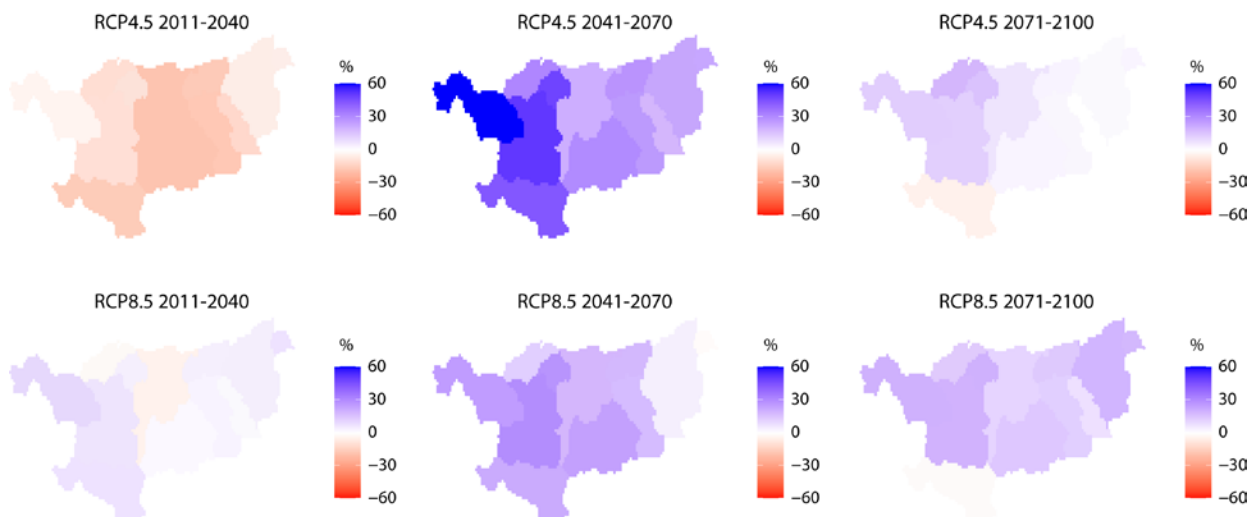
incluyen las variaciones proyectadas en los caudales máximos y mínimos anuales. En el caso de los caudales mínimos anuales los promedios de los modelos proyectan descensos que oscilan entre un -3,0% y un -60,0% para todos los periodos de impacto y los dos RCP. El cambio medio estimado para las subcuencas guipuzcoanas para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 son respectivamente, del -10,8% y -22,1% para 2011-2040, -23,1% y -26,7% para 2041-2070 y -34,5% y -45,0% para 2071-2100. Esto agravaría las condiciones de estiaje y sus repercusiones descritas en el capítulo anterior.



4.15. Fig. Cambios (%) en el caudal mínimo anual para el promedio de proyecciones, para cada periodo de impacto y RCP, respecto al periodo de control 1971-2000. Fuente de datos: Copernicus Climate Change (2021).

En cuanto a los caudales máximos anuales, el conjunto de modelos proyecta incrementos, salvo para el periodo 2011-2040 y RCP4.5 en el que se proyectan descensos. Los cambios proyectados son mayores para el periodo 2041-2070 y mayores en el escenario RCP4.5 que en el

RCP8.5. El cambio medio estimado para las subcuencas guipuzcoanas para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 son respectivamente, del -11,5% y +3,4% para 2011-2040, +33,7% y +16,5% para 2041-2070 y +6,0% y +13,7% para 2071-2100.

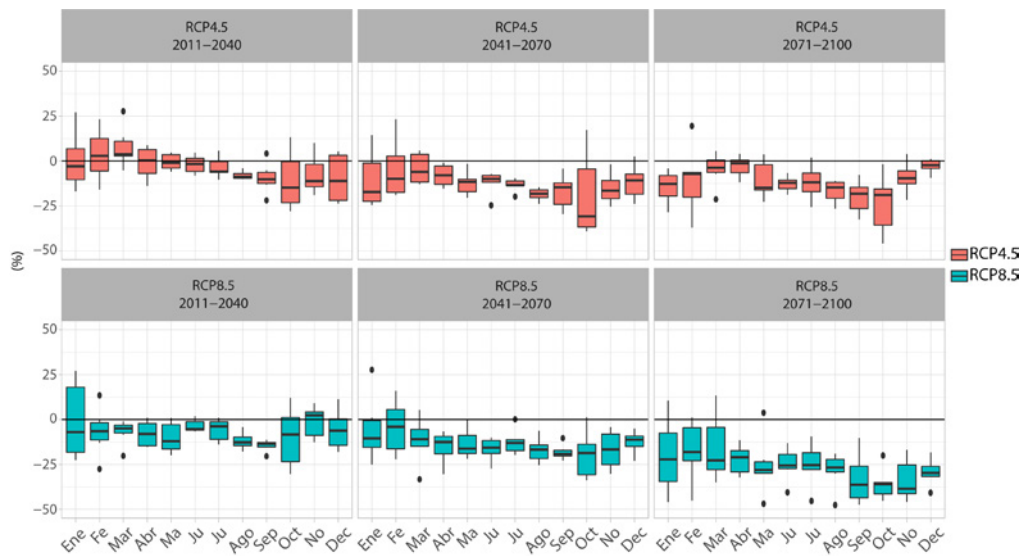


4.16. Fig. Cambios (%) en el caudal máximo anual para el promedio de proyecciones, para cada periodo de impacto y RCP, respecto al periodo de control 1971-2000. Fuente de datos: Copernicus Climate Change (2021).

4.2.5. APORTACIONES

La aportación hídrica es una variable relacionada con la escorrentía e indica el volumen de agua que circula por el río en un periodo de tiempo dado. Por ello, los cambios proyectados para las aportaciones son similares a los cambios en la escorrentía, pero, con la metodología empleada para su determinación, estos reflejan además los cambios en la escorrentía en la cuenca vertiente. Los impactos se han analizado por celdas de los ríos más representativos.

Las proyecciones muestran, salvo en uno de los modelos, descensos para Gipuzkoa, que se intensifican a medida que avanza el siglo XXI y mayores descensos para RCP4.5 que para RCP8.5. Teniendo en cuenta los ríos del territorio, los promedios de las proyecciones para los escenarios RCP4.8 y RCP8.5 son $-3,1\%$ y $-6,8\%$ para 2010–2040, $-12,0\%$ y $-13,7\%$ para 2041–2070 y $-11,3\%$ y $-29,3\%$ para 2071–2100. En general, se proyectan reducciones de la aportación a lo largo de todo el año, siendo menor en los meses de enero, febrero y marzo.



4.17. Fig. Cambios (%) en el ciclo anual de las aportaciones para cada periodo de impacto respecto al periodo de control 1971–2000 para el conjunto de cuencas guipuzcoanas para cada escenario. Fuente de datos: CEDEX (2017).

4.2.6. VARIACIÓN EN LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA DIARIA Y HORARIA

Existe una gran incertidumbre respecto a la evolución de la precipitación promedio anual a escala global y bajo distintos escenarios de cambio climático. Sí que existe un mayor consenso entre las proyecciones que señalan un aumento de las fuertes precipitaciones con mayores niveles de calentamiento en la mayoría de las zonas terrestres. En general, se prevén menos días de lluvia, pero un aumento de la intensidad media. Las proyecciones indican que los extremos de precipitación aumentarán en casi todas las regiones de la tierra, incluso en aquellas regiones en las que se proyectan disminuciones de

la precipitación estacional. Las proyecciones señalan, con un alto grado de confianza, que los eventos de precipitación intensa se harán todavía más intensos (IPCC, 2021).

El estudio sobre el impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España (CEDEX, 2021), señala que, para los distintos escenarios de cambio climático, para nuestra región no son esperables cambios significativos en la precipitación máxima diaria, ni tampoco para variables asociadas como el número de días de precipitación intensa.

En el caso de la precipitación horaria máxima anual, las proyecciones indican una intensificación muy notable en el escenario RCP8.5, principalmente en el último periodo de cálculo (2071–2100) y mayor para mayores periodos de retorno. Esto indica una tendencia al incremento de las precipitaciones para intervalos temporales más pequeños y, por tanto, una mayor aportación de los extremos en la cantidad anual de precipitación y un incremento de la

torrencialidad, de acuerdo con la idea general de que el efecto del cambio climático es mayor en lluvias extremas asociadas con duraciones de lluvia más cortas (Westra et al., 2014). No se proyectan cambios significativos para las precipitaciones máximas para distintos periodos de retorno. Hay que tener en cuenta que todas estas proyecciones están sujetas a una gran incertidumbre.

4.2.7. RESUMEN DEL IMPACTO SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS

En general, todos los estudios indican un descenso de la precipitación y de la escorrentía anual y un aumento de la temperatura media que llevaría asociado un incremento de la evapotranspiración potencial y real, con la consecuente disminución de la disponibilidad de recursos hídricos en el territorio. Las reducciones son mayores conforme avanza el siglo XXI y para el RCP8.5, siendo la

diferencia entre ambos RCP más clara para el largo plazo (2071–2100).

En la siguiente tabla se recogen los resultados medios, para los tres periodos de impacto, de cada una de las variables hidrológicas analizadas en el estudio del CEDEX (2017) para Gipuzkoa.

Periodo horizonte Escenario	2011–2040		2041–2070		2071–2100	
	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5
Precipitación	-1,3%	-3,5%	-6,0%	-6,4%	-5,0%	-13,4%
ET₀	2,4%	3,2%	4,8%	6,9%	6,0%	11,9%
ETR	1,4%	1,7%	2,3%	4,1%	3,1%	6,4%
Humedad del suelo	-2,0%	-2,0%	-4,0%	-5,0%	-4,0%	-9,0%
Recarga	-2,8%	-5,2%	-8,7%	-9,6%	-8,1%	-19,5%
Escorrentía	-2,5%	-6,4%	-10,9%	-12,5%	-10,0%	-25,4%
Aportación	-3,1%	-6,8%	-12,0%	-13,7%	-11,3%	-29,3%

4.1. Tabla. Afección al cambio climático con respecto al periodo 1961–2000 para cada periodo de impacto y escenario en el T.H. de Gipuzkoa. Promedio de las proyecciones para cada uno de ellos. Fuente de datos: CEDEX (2017).

Los resultados del informe del CEDEX muestran descenso de la precipitación para el conjunto del T.H. del -1,2% y -3,5% para 2011–2040, del -6% y -6,4% para 2041–2070 y del -5,0% y -13,4% para 2071–2100. Se estiman aumentos de la ET₀ para los tres periodos de impacto. La variación de la ET₀ responde sobre todo a la variación de la temperatura. Todas las proyecciones señalan incrementos medios para el conjunto del T.H. en todos los periodos y escenarios. Los promedios de las proyecciones indican cambios en los RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente del 2,4% y 3,2% para 2011–2040, 4,8% y 6,9 para 2041–2070 y 6,0% y 11,9% para 2071–2100. En el caso de la ETR, se estiman

aumentos debidos al aumento de la ET₀. Estos aumentos son mayores a medida que avanza el siglo y mayores para el RCP8.5. En el largo plazo y para el RCP8.5 el promedio de los modelos señala un incremento del 6,4%.

En lo que respecta a los acuíferos, los cambios en la recarga se acentúan a medida que avanza el siglo. Para el conjunto del T.H., la media de los descensos para los RCP4.5 y RCP8.5 son respectivamente del -2,8% y -5,2% para 2011–2040, del -8,7% y -9,6% para 2041–2070 y del -8,1% y -19,5% para 2071–2100. En el caso de la escorrentía, sigue los patrones de cambio de la precipitación. La

media de los descensos proyectados para los RCP4.5 y RCP8.5 son respectivamente del -2,5% y -6,4% para 2010-2040, del -10,9% y -12,5% para 2041-2070 y del -10,0% y -25,4% para 2071-2100. En lo que respecta a la aportación, se proyectan descensos para los RCP4.5 y RCP8.5 del -3,1% y -6,8% para 2011-2040, -12,0% y -13,7% para 2041-2070 y del -11,2% y -29,3% para 2071-2100.

En general, se observa una reducción de los recursos hídricos en escenarios de cambio climático, descensos que varían entre un -2,5% en el corto plazo a un -30% en

el largo plazo dependiendo del escenario de emisiones, produciéndose esta reducción de forma progresiva a lo largo del siglo.

Los cambios en la recarga y en la escorrentía son indicativos de la variación en la disponibilidad de recursos subterráneos y superficiales respectivamente, y servirán de base para la definición del escenario futuro de cambio climático a efectos de observar el balance entre disponibilidad de recurso y usos del agua.

4.3. IMPACTOS EN EL RÉGIMEN DE SEQUÍAS

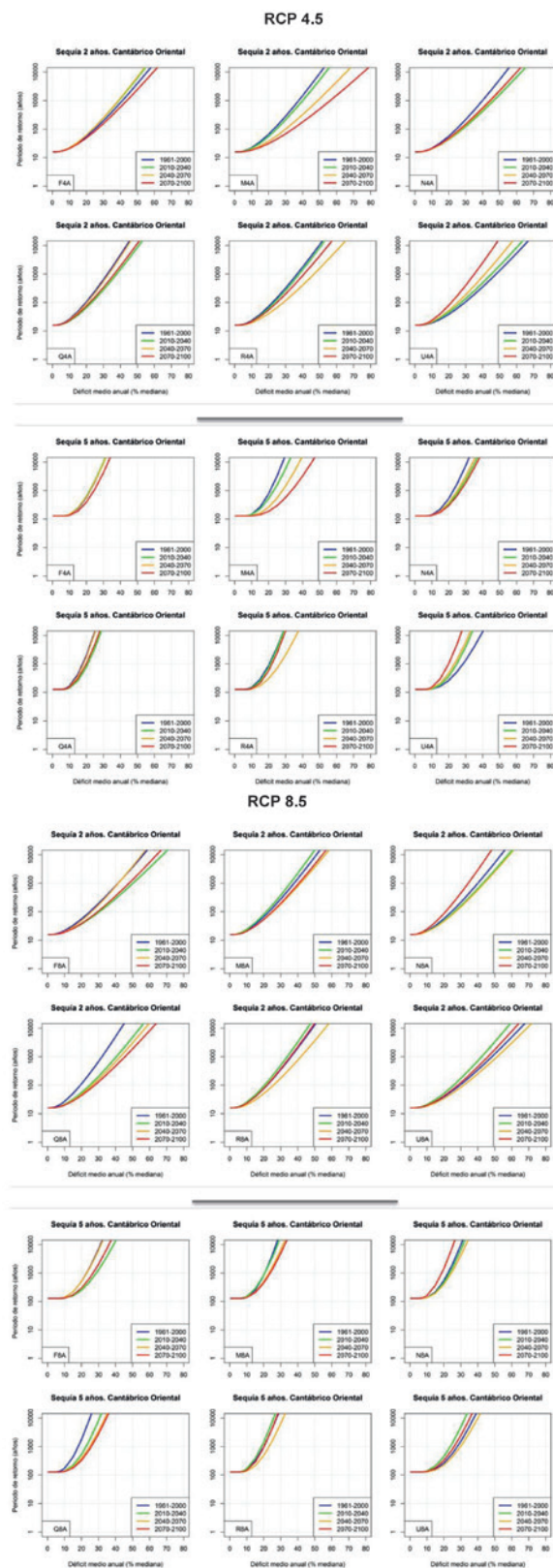
La sequía, entendida como la anomalía temporal de la precipitación o caudal natural, podría producir una situación de insuficiencia en los suministros de agua, en función del nivel de demanda de agua existente.

Las proyecciones futuras del clima en respuesta al cambio climático, basadas en diferentes indicadores de sequía, sugieren que es probable que grandes zonas de Europa se vean afectadas por graves episodios de sequía a finales del siglo XXI (ej. Forzieri et al., 2014; Samaniego et al., 2018; Spinoni et al., 2018).

El estudio del CEDEX (2017) analiza también el impacto del cambio climático en las sequías, reflejado como el cambio en el periodo de retorno de las sequías en cada uno de los periodos de impacto respecto al periodo de referencia. En este informe de CEDEX se identifican las sequías como rachas de años seguidos cuyo valor de escorrentía es inferior a la mediana de los valores de

escorrentía de cada periodo. Se analizan dos características de interés de las sequías, la duración (expresada en años) y el déficit de cada año (entendido como la diferencia entre el umbral (mediana) y la escorrentía de ese año).

Para la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental, en términos generales, se observa un aumento en la frecuencia (o disminución del periodo de retorno) en las sequías de 2 años de duración en la mayoría de las proyecciones futuras para el escenario RCP4.5. Esto se traduce en que, para un mismo periodo de retorno, las sequías serán más intensas ya que presentan déficits mayores. No obstante, algunos modelos no presentan aumentos en la frecuencia de sequías en escenarios futuros e, incluso muestran una disminución en la incidencia. Estos resultados son más probables en las sequías de 5 años de duración, donde sólo algunos modelos proyectan una clara disminución del periodo de retorno.



4.18. Fig. Variación en el periodo de retorno de las sequías de dos y cinco años según las proyecciones de los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. Fuente: CEDEX (2017).

Si bien puede parecer probable un aumento del riesgo de sufrir sequías más a menudo y más intensas, dado que no empeoran las condiciones en el escenario RCP8.5 respecto al RCP4.5, no se puede afirmar de forma

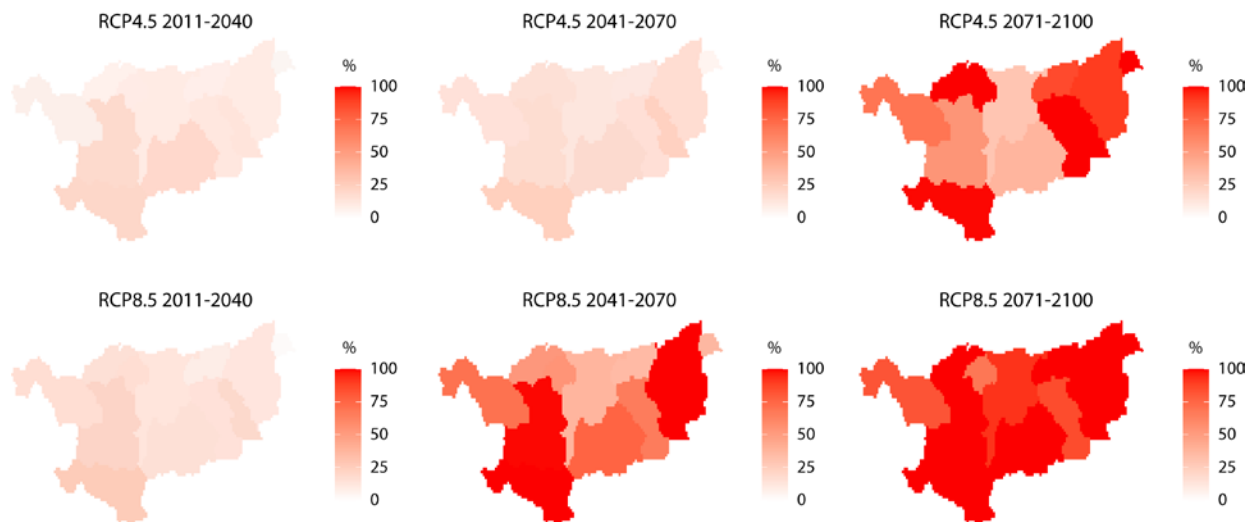
concluyente un aumento en la incidencia de la sequía, pero sí parece razonable pensar que las sequías que se den en el futuro serán más intensas (URA, 2022).

ARIDEZ

A diferencia de la sequía, la aridez describe la sequedad media a largo plazo. Es una situación permanente con muy baja precipitación anual o estacional, lo que conduce a un contenido limitado o bajo de agua en el suelo.

Los indicadores de impacto climático relacionados con la hidrología (Copernicus Climate Change, 2021), incluyen indicadores de la aridez. El indicador de aridez real,

definido como la ratio entre la ETR y precipitación, indica los cambios en la disponibilidad de humedad del suelo. Las proyecciones indican que las condiciones de aridez en Gipuzkoa se intensificarán conforme avanza el siglo XXI y serán más intensas para el escenario RCP4.5 que para el RCP8.5.

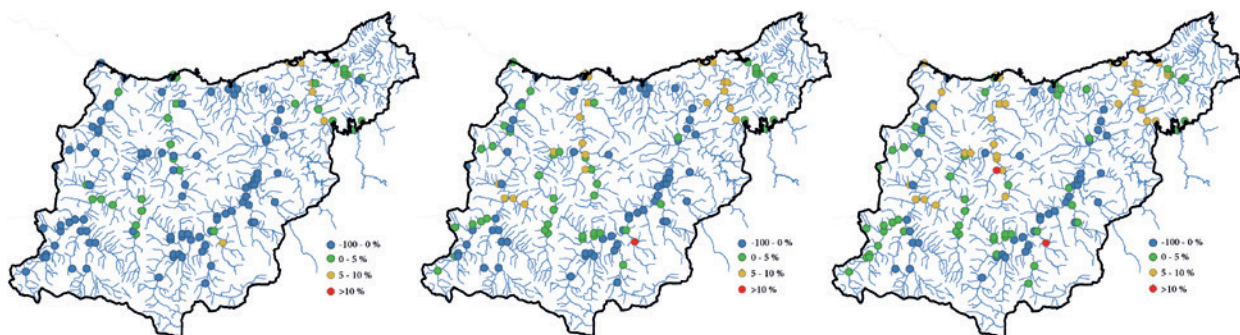


4.19. Fig. Cambios (%) en índice de aridez anual para el promedio de proyecciones, para cada periodo de impacto y RCP, respecto al periodo de control 1971-2000. Fuente de datos: Copernicus Climate Change (2021).

4.4. IMPACTOS EN LAS INUNDACIONES

Las proyecciones indican una tendencia a la intensificación de los episodios de lluvia intensa en los escenarios de cambio climático para la mayoría de regiones. Sin embargo, existe una menor confianza sobre cómo la frecuencia de inundaciones cambiará regionalmente, ya que estas dependen en gran medida de las características de la propia cuenca, de las condiciones precedentes y de cómo los sistemas de circulación atmosférica responden al cambio climático. Sí que existe una mayor confianza sobre cómo el aumento de la intensidad y cantidad de precipitación durante los eventos muy húmedos intensificará las inundaciones graves cuando se produzcan estos eventos (IPCC, 2021).

Un estudio de los cambios de inundabilidad por efecto del cambio climático en Gipuzkoa (DGOH-DFG, 2018), indica que puede haber tanto aumentos como disminuciones en los caudales extremales para periodos de retorno de T=10, T=25 y T=50 años para distintos puntos analizados bajo el escenario RCP8.5. La variación porcentual de los caudales para los distintos periodos de retorno varía entre un -9 - +15% para la cuenca del Deba, -4 - +6 % en el Oria, 0 - 37% en el Urola, 6 - 8% en el Urumea y 5 - 7% en la cuenca del río Oiartzun, mayores para los periodos de retorno más elevados. En este estudio no se estimaron los cambios de caudal en la cuenca del Bidasoa.



4.20. Fig. Variación porcentual de caudales (-100-0 % en azul, 0-5% en verde, 5-10% naranja y >10% en rojo) para el escenario de cambio climático RCP8.5 respecto al clima actual para los periodos de retorno de (izq.) 10, (medio) 25 y (drcha.) 50 años. Fuente: DGOH-DFG (2018).

En el estudio de las posibles repercusiones del cambio climático en la incidencia de inundaciones realizado en el marco de la revisión y actualización del plan de gestión del riesgo de inundación de 2º ciclo (URA, 2021), se señala que los cambios en el régimen de precipitaciones y en la evapotranspiración, debido al cambio climático, darían lugar en el horizonte 2100 a aumentos en los caudales de avenida para periodos de retornos de T=100 y T=500 años, siendo nulos o con una ligera tendencia a la disminución para T=10 años. Hay que señalar que estos

posibles incrementos de caudales de avenida no se traducen en un aumento proporcional de la inundabilidad. La probabilidad de desbordamiento de los cauces y el comportamiento de las llanuras de inundación dependen de múltiples factores que a su vez pueden experimentar cambios en el contexto del cambio climático. Ponderando todos estos factores, se espera un incremento probable altamente significativo del riesgo de inundación en pequeñas áreas de los tramos bajos del río Urola y en los tramos medios de los ríos Deba, Oria y Bidasoa.

5. IMPACTOS EN EL ESTADO DE LAS MASAS DE AGUA

La Directiva Marco del Agua (DMA)¹ introdujo un nuevo concepto de diagnóstico y seguimiento de la calidad de las masas de agua, *'estado ecológico de las masas de agua'*, basado en un punto de vista ambiental, y no del uso al que se destinaba el agua para definir su calidad. Se define así el estado ecológico como *'expresión de la calidad de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas'*. Para ello se basa en la evaluación de una serie de indicadores biológicos (fauna bentónica de invertebrados, flora acuática, fauna ictiológica y fitoplancton), indicadores químicos y fisicoquímicos de soporte a los elementos de calidad biológicos (temperatura del agua, concentración de oxígeno disuelto, estado de acidificación y nutrientes) e indicadores hidromorfológicos de soporte a los elementos de calidad biológicos.

La calidad del agua depende por tanto de interacciones complejas entre las variables climáticas (como la temperatura, las precipitaciones anuales y los fenómenos extremos como inundaciones y sequías, (Banaleau et al., 2019)) y variables y procesos biogeoquímicos. Al mismo tiempo, e igualmente importante, la calidad del agua depende de factores antropogénicos, como la regulación del caudal, el uso de la tierra, la urbanización, los vertidos, etc.

El estado de las masas de agua se ha visto afectada principalmente por actividades humanas de origen urbano, industrial y agrícola. El cambio climático puede acelerar la degradación de las masas de agua de forma indirecta mediante el aumento de la temperatura y mediante cambios en el ciclo hidrológico. Por ejemplo, la cantidad de precipitación puede influir en la erosión del suelo, o en los caudales y concentración de contaminantes o el aumento de la temperatura del agua puede afectar a la solubilidad de gases como el oxígeno o afectar a procesos biológicos. Algunos de los posibles impactos del cambio climático son:

- Incremento de las concentraciones de contaminantes de origen antropogénico debido a la disminución de los recursos hídricos, especialmente en periodos de estiaje y sequía.
- Disminución de los caudales por debajo de los caudales ecológicos.
- Incremento de los aportes de nutrientes y sustancias contaminantes antropogénicas debido a la mayor frecuencia e intensidad de inundaciones, problemas de eutrofización.

- Disminución de los niveles de oxígeno disuelto como consecuencia del aumento de la temperatura, principalmente durante el periodo estival de bajo caudal.
- Incremento de la temperatura del agua.
- Alteraciones en los ciclos biológicos de nutrientes y proliferación de algas.
- Alteración/reducción del hábitat y distribución de los organismos acuáticos.
- Cambios en las condiciones bacteriológicas y la incidencia de algunos patógenos.
- Cambio del estado de las masas de agua superficial.
- Afección al pH.
- Intrusión salina en las aguas subterráneas.

Todos estos procesos pueden afectar a las comunidades biológicas acuáticas y provocar problemas estructurales y funcionales en los ecosistemas fluviales.

Los ríos guipuzcoanos reciben los vertidos de una densidad de población elevada, así como vertidos industriales de sectores como el papelero, metalúrgico, de tratamientos superficiales, etc. Los bajos caudales que se dan en el estiaje agravan la situación, puesto que la capacidad de dilución es menor. Sin embargo, el desarrollo en los últimos años de la red de saneamiento, las medidas anticontaminantes en las industrias y la gran capacidad de autodepuración mostrada por los ríos del territorio, son factores que han propiciado una importante recuperación de la calidad de las aguas.

Existen otros factores que limitan la plena recuperación ecológica en nuestras cuencas. La gran cantidad de encauzamientos que alteran las condiciones hidrológicas, la ocupación antrópica de las vegas con destrucción de la vegetación de ribera y la gran cantidad de obstáculos y aprovechamientos que inciden directamente en factores clave como la temperatura, la concentración de nutrientes, la reducción de caudales por derivaciones, el desarrollo excesivo de algas, etc. En los últimos años se está trabajando en la mejora de la continuidad de los cauces y sus condiciones morfológicas a través de la eliminación de obstáculos (DGOH-DFG, 2020).

La monitorización continuada de las masas de agua del territorio es clave para conocer su estado ecológico y la construcción de series de larga duración permiten

¹ Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

analizar la evolución en el tiempo. Esta monitorización la viene realizando la Agencia Vasca del Agua – URA para dar cumplimiento a la DMA en colaboración con la Dirección General de Obras Hidráulicas de la Diputación Foral De Gipuzkoa. El Real Decreto 817/2015² establece los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. Los últimos resultados disponibles, correspondientes al año 2021, indican que en el periodo 2017–2021, el 56% de las masas de agua en el territorio presentaron un buen estado ecológico. Solamente alguna masa, en el eje principal del Deba y Oria, presentaron un estado ecológico deficiente o malo. El 36% de las masas analizadas presentaron un estado moderado, encontrándose en el eje del Oria, en la cuenca baja del Urola, todas las masas de la cuenca del Oiartzun, y en tributarios y el eje principal del Deba. El estado ecológico estuvo condicionado en estas masas por el estado biológico, ya que todas las masas presentaron un buen estado químico, resultado de las mejoras en

el saneamiento realizadas durante los últimos 15 años. En cuanto a las aguas subterráneas, todas las masas también presentan un buen estado a lo largo de los últimos años.

La compleja interacción de los factores climáticos en unos sistemas tan antropizados como nuestros ríos dificulta analizar y precisar los cambios inducidos exclusivamente por el cambio climático. En muchos sistemas la calidad futura del agua dependerá en gran medida de las actividades humanas, incluyendo las decisiones de gestión, y en una medida mucho menor del cambio climático.

La red de puntos de control en las cuencas guipuzcoanas es extensa, con más de 90 puntos repartidos en los ejes principales y afluentes más importantes. Este estudio se ha basado en la información procedente de las estaciones de calidad automatizadas situadas en las estaciones de aforo y se ha completado con diversos informes realizados.

5.1. TENDENCIAS EN LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS DE CALIDAD DEL AGUA

5.1.1. TEMPERATURA DEL AGUA

Uno de los cambios más rápidos en los sistemas fluviales ligados al cambio climático es el cambio en la temperatura del agua (Hassan et al., 1998; Hammond & Pryce, 2007). La temperatura del agua es una de las variables más importantes para los ecosistemas acuáticos, influyendo tanto en procesos químicos como biológicos. También es un factor importante para los distintos usos socioeconómicos del agua en sectores como la agricultura, energía o usos domésticos.

El cambio climático afecta a la temperatura a través del aumento en la temperatura del aire y los cambios en los patrones de precipitación. La temperatura del agua está en equilibrio con la temperatura del aire y, a medida que esta aumenta debida al calentamiento global, también lo hará la temperatura del agua de los ríos. Esta influencia es mayor cuanto menor es el nivel, menor es el caudal o hay poca cobertura boscosa de ribera que



² Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.

proporcione sombra y amortigüe la variación diaria. Así, tanto los cambios en la temperatura del aire como cambios en los patrones de precipitación, y por tanto de caudal, tendrán efecto en la temperatura del agua.

A escala global ya se observan cambios en la temperatura del agua de diversos ríos (Morrison et al., 2002; Webb and Nobilis, 2007; van Vliet et al., 2013; Null et al., 2013; Ficklin et al., 2014; Hannah and Garner, 2015; Watts et al., 2015; Santiago et al., 2017; Dugdale et al., 2018; Jackson et al., 2018). Para el periodo 1901–2010 se han observado cambios que oscilan entre $-1,21\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+1,08\text{ }^{\circ}\text{C}$ (IPCC, 2022). A escala europea se han reportado incrementos de entre $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ en los últimos 100 años para algunos de los principales ríos del continente como el Rin o el Danubio (EEA, 2017) o incrementos de $0,33 \pm 0,03\text{ }^{\circ}\text{C}$ por década en el periodo 1980–2018 en ríos suizos (Michel et al., 2020).

Se han analizado las series históricas de temperatura del agua medida en las estaciones de calidad del agua de la red de estaciones de la DGOH-DFG para los años hidrológicos 1999/2000–2021/2022. Para ello, se han aplicado

modelos de regresión lineal y la significación estadística se ha evaluado utilizando el estadístico no paramétrico de Mann-Kendall. La significancia estadística se ha testado al nivel del 95%. A escala anual, los resultados indican un incremento generalizado de la temperatura media (incrementos en 7 de las 10 estaciones analizadas), siendo estos incrementos estadísticamente significativos solamente en tres de las estaciones (Ereñotzu, Lasarte y Leitzarán).

En cuanto al ciclo anual, aunque no se observa un patrón uniforme de incremento de la temperatura en todas las estaciones de aforo, se observan incrementos generalizados en todas las estaciones del año. Las tendencias al incremento son mayores, en general, en verano (alcanzando $+1,15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{década}$ en la estación de Leitzarán) y en otoño. Este incremento de la temperatura observado, en la mayoría de los casos, está directamente relacionado con el incremento de la temperatura del aire observado en las estaciones (coeficiente de correlación de Pearson $> 0,85$ para la mayoría de estaciones analizadas). Únicamente dos estaciones en la cuenca del Deba no presentan correlaciones tan intensas, Altzola y Aizarnazabal.

ESTACIÓN	CUENCA	ANUAL	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
OÑATI	DEBA	-0,33	-0,09	-0,88	0,00	-0,21
ALTZOLA	DEBA	0,42	0,33	0,19	0,67	0,49
AITZU	UROLA	0,13	-0,01	-0,35	0,00	0,06
AIZARNAZABAL	UROLA	0,35	0,25	0,64	0,50	-0,41
EZTANDA	ORIA	-0,10	0,00	-0,33	-0,07	-0,02
ALEGIA	ORIA	0,39	0,51	0,02	0,54 ⁺	0,26
LEITZARAN	ORIA	1,06 ⁺	0,72	0,74	1,15 ⁺	0,40
LASARTE	ORIA	-0,69 ⁺	-0,08	-1,00 ⁺	-0,85	-0,50
EREÑOTZU	URUMEA	0,44 ⁺	0,17	0,12	0,41	0,73 ⁺
OIARTZUN	OIARTZUN	0,20	0,16	-0,17	0,10	0,22

Tabla 5.1. Variación decadal de la temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$ década⁻¹) por estación de aforo para el periodo 1999/2000 y 2021/2022. + Indica que las tendencias son estadísticamente significativas. Fuente de datos: DGOH-DFG (2023).

El incremento de la temperatura del agua como consecuencia del cambio climático irá modificando las distintas reacciones químicas que se van produciendo en los ecosistemas acuáticos. Esto provoca variaciones en otros parámetros fisicoquímicos del agua como el pH y el oxígeno disuelto.

5.1.2. PH

La acidificación de los ríos depende de muchos factores tanto naturales, como de las propiedades del suelo de la cuenca hidrográfica, del intercambio de aguas subterráneas, de procesos biológicos, de la deposición atmosférica, etc., como de aquellos ligados a la actividad humana, de modo que es difícil atribuir los cambios observados al cambio climático.

El pH afecta a la mayoría de procesos químicos y biológicos en el agua. Es uno de los factores ambientales más importantes que limitan la distribución de especies en los hábitats acuáticos. Una pequeña anomalía de pH estresa fisiológicamente a muchas especies y puede resultar en una disminución de su reproducción, disminución de su crecimiento, enfermedad o muerte. Esto puede llevar a reducir la diversidad biológica del ecosistema fluvial.

Además, el pH altera el estado químico de muchos contaminantes, cambiando su solubilidad, transporte y disponibilidad. Esta modificación del pH a consecuencia del cambio climático podría provocar el aumento de la toxicidad de ciertos contaminantes de origen antropogénico (Camargo y Alonso, 2006).

Los estudios de acidificación de los sistemas fluviales son complejos y sus resultados menos claros que en el caso de los sistemas oceánicos, siendo por tanto menos numerosos y concluyentes. Sí se han observado incrementos de CO₂ y, por tanto, la correlacionada acidificación (descenso de pH) en embalses y lagos (Weiss et al., 2018). En Estados Unidos, sí se ha observado en un estudio acidificación en cuencas durante periodos de estiaje (Schindler, 1997).

ESTACIÓN	CUENCA	ANUAL	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
OÑATI	DEBA	-0,02	-0,04	0,02	-0,14	0,16
ALTZOLA	DEBA	0,23 ⁺	0,19 ⁺	0,27 ⁺	0,30 ⁺	0,19 ⁺
AITZU	UROLA	0,01	0,06	0,22 ⁺	0,03	0,22 ⁺
AIZARNAZABAL	UROLA	0,13 ⁺	0,03	0,10	0,10	0,10
EZTANDA	ORIA	0,05	0,04	0,08	0,06	0,12
ALEGIA	ORIA	0,22 ⁺	0,28 ⁺	0,16 ⁺	0,26 ⁺	0,30 ⁺
LEITZARAN	ORIA	0,14	0,12	0,22 ⁺	0,35 ⁺	0,04
LASARTE	ORIA	0,12 ⁺	0,15	0,13 ⁺	0,18 ⁺	0,15
EREÑOTZU	URUMEA	0,02	0,08	0,04	-0,02	0,03
OIARTZUN	OIARTZUN	-0,05	0,03	-0,04	-0,13	0,02

Tabla 5.2. Variación decadal del pH (unidades pH década⁻¹) por estación de aforo para el periodo 1999/2000 y 2021/2022. + Indica que las tendencias son estadísticamente significativas. Fuente de datos: DGOH-DFG (2023).

En este estudio se ha analizado la evolución del pH medido en las estaciones de calidad en el territorio para el periodo 1999/2000–2021/2022. En general, se observan tendencias crecientes del pH (tendencia a la alcalinidad). En cuanto al ciclo anual, en general, los menores incrementos de pH se dan en verano, salvo algunas estaciones que presentan los mayores incrementos durante este periodo. Con respecto a las tendencias negativas (tendencia a la acidificación) únicamente se observa durante el

verano en las estaciones de aforo de Oiartzun y Oñati, en las cuencas del Oiartzun y Deba respectivamente. En ningún caso estas tendencias negativas son estadísticamente significativas. La tendencia generalizada al incremento en el pH del agua (alcalinidad) está ligada con la mejora de la calidad de las aguas como consecuencia de las medidas de saneamiento adoptadas en los últimos años tras la entrada en vigor de la DMA.

5.1.3. OXÍGENO DISUELTO EN EL AGUA

El oxígeno disuelto es el mejor indicador de la salud de los ecosistemas acuáticos (CWC, 2019). De hecho, es la variable fisicoquímica principal para apoyar la interpretación de los datos biológicos (Comisión Europea, 2009). Su presencia en niveles adecuados indica el buen estado químico y biológico de la masa de agua, por lo que su reducción podría implicar pérdidas potenciales de hábitats. Arluziaga (2002) señala que el oxígeno no es, en general, un factor limitante para la vida en los ríos del territorio guipuzcoano debido fundamentalmente a su carácter torrencial y caudaloso.

Conocer cómo puede afectar el cambio climático al contenido en oxígeno en las aguas superficiales de estos ecosistemas es fundamental para analizar la calidad futura del agua en escenarios de cambio climático. El principal efecto del cambio climático son los cambios en la saturación del oxígeno disuelto debido al cambio en la temperatura. La temperatura del agua presenta una correlación negativa con la concentración de oxígeno, de forma que cada incremento de temperatura tiene consecuencias en el oxígeno disuelto y, por tanto, en la calidad del agua. Otros factores que pueden influir en la concentración de oxígeno del agua son la actividad biológica a través de la fotosíntesis, el caudal afluyente o la existencia de turbulencias que favorecen la oxigenación, problemas de eutrofización, vertidos, u otras presiones de origen antropogénico.

Debido a la multitud de factores que afectan a la concentración de oxígeno disuelto en agua y a la corta longitud de las series de datos de calidad del agua, muy pocos estudios se han centrado en analizar las causas de los cambios observados. Uno de ellos muestra, para algunas cuencas mediterráneas como la del Ebro y Adige, un incremento de la temperatura del agua y reducción del

oxígeno disuelto para el periodo 1990–2015, ambos correlacionados con las tendencias crecientes de la temperatura del aire (Diamantini et al., 2018).

El análisis de las series históricas de oxígeno disuelto en las estaciones de calidad del territorio para los años hidrológicos 1999/2000–2021/2022 señala un incremento generalizado. Se observan incrementos en la concentración de oxígeno disuelto en prácticamente todas las estaciones de calidad y en las distintas escalas temporales, anual y estacional. Esta mejora está condicionada por la mejora en la calidad del agua tras la adopción de medidas de saneamiento con la entrada en vigor de la DMA a finales del año 2000. Esto explica el brusco incremento observado en la concentración de oxígeno disuelto a partir de los años 2010–2013 en muchas de las estaciones, que condiciona las tendencias observadas a largo plazo. A pesar de esta tendencia creciente a largo plazo, se observa una tendencia decreciente para los últimos años en algunas estaciones. Esta tendencia negativa podría estar relacionada con el incremento observado de la temperatura del agua (el coeficiente de correlación de Pearson entre la temperatura del agua y el oxígeno disuelto varía entre $-0,6$ y $-0,8$) y con la disminución de caudal en estiaje y anual de los últimos años. Existe una correlación, pero positiva y más débil con el caudal (con lluvias fuertes las aguas difícilmente presentan déficit de oxígeno, mientras que condiciones de sequía pueden provocar descensos). Resultados similares para los últimos años se han encontrado en estaciones de medición en los estuarios, con descensos de la concentración de oxígeno durante el verano y otoño resultado de la intensificación y prolongación del estiaje (DGOH-DFG, 2023). Sin embargo, estas series son cortas para extraer conclusiones del efecto del cambio climático sobre estas variables.

ESTACIÓN	CUENCA	ANUAL	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
OÑATI	DEBA	0,42	0,33	0,19	0,67*	0,83
ALTZOLA	DEBA	1,69*	1,03*	1,72*	2,29*	1,18*
AITZU	UROLA	0,84*	0,91	1,24*	0,66*	0,67*
AIZARNAZABAL	UROLA	0,37*	0,28*	0,17	0,60*	0,27*
EZTANDA	ORIA	0,64*	0,73*	0,85*	1,38*	1,09*
ALEGIA	ORIA	1,17*	0,91*	0,86*	1,67*	1,30*
LEITZARAN	ORIA	0,20	0,69*	0,07	0,94*	0,94*
LASARTE	ORIA	1,24*	0,79	1,06*	1,11*	1,71*
EREÑOTZU	URUMEA	0,13	-0,10	0,21	0,26	0,09
OIARTZUN	OIARTZUN	0,53*	0,16	1,07*	0,64*	0,02*

Tabla 5.3. Variación decadal de la concentración de oxígeno disuelto en agua (mg O₂/L década⁻¹) por estación de aforo para el periodo 1999/2000 y 2021/2022. + Indica que las tendencias son estadísticamente significativas. Fuente de datos: DGOH-DFG (2023).

5.2. ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

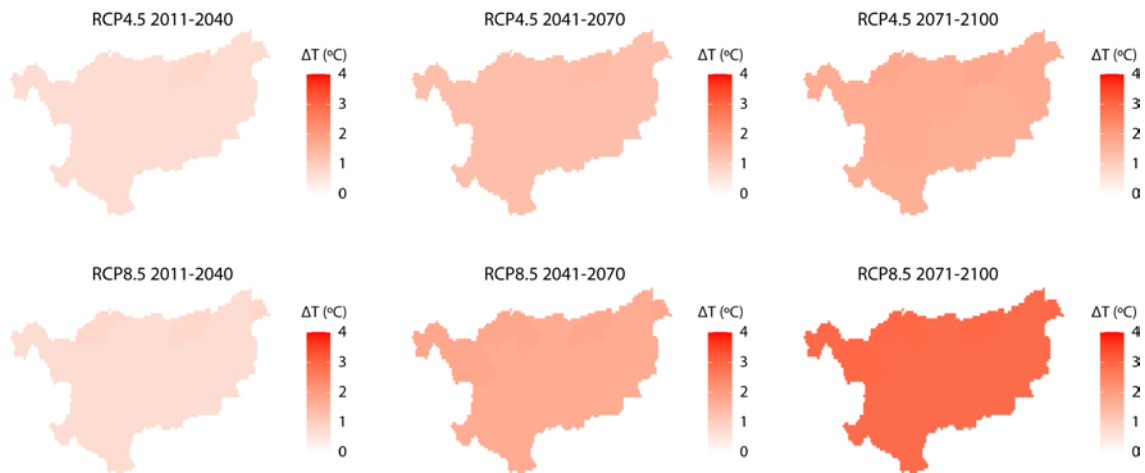


Los escenarios de cambio climático prevén que la temperatura del aire en Gipuzkoa aumente a lo largo del siglo XXI. Estos escenarios también prevén cambios en el ciclo hidrológico del territorio. Asociado a estos cambios es previsible que el cambio climático pueda afectar a las variables físico-químicas de calidad del agua y, en consecuencia, al estado ecológico de los ecosistemas acuáticos.

5.2.1. TEMPERATURA DEL AGUA

Los escenarios de cambio climático prevén que la temperatura del aire en Gipuzkoa aumente a lo largo del siglo XXI. Asociado a este aumento se producirá un aumento de la temperatura del agua.

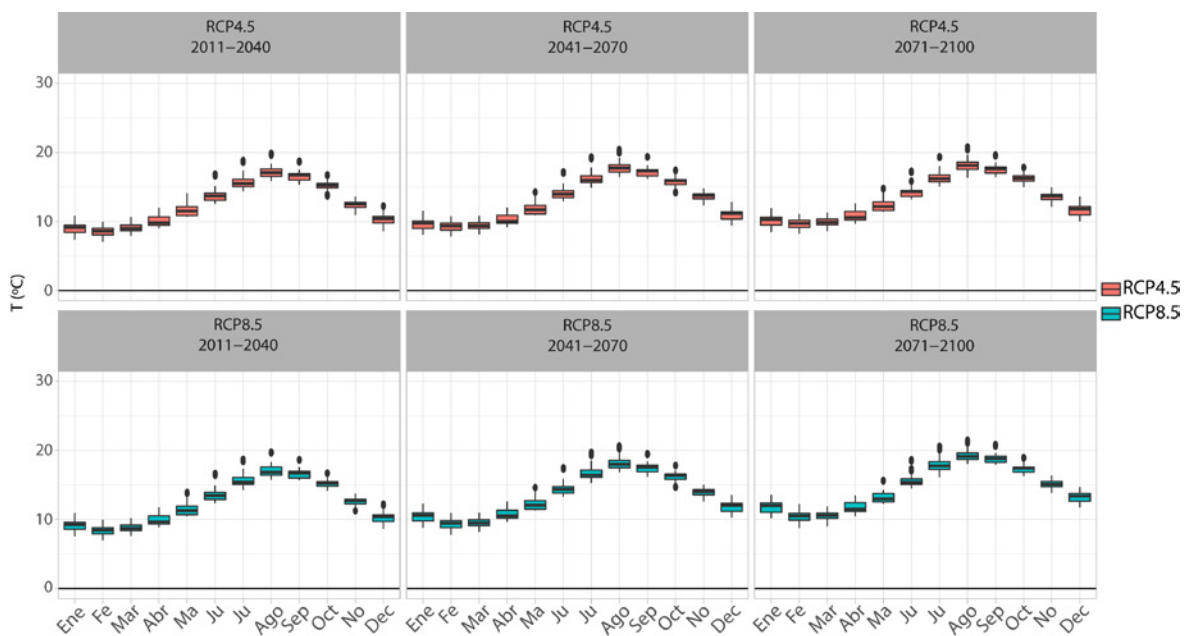
El análisis del impacto del cambio climático en la temperatura del agua se basa en los indicadores de impacto climático relacionados con la hidrología, empleados en el análisis de escenarios futuros de las variables hidrológicas (capítulo 4).



5.1. Fig. Proyecciones de la temperatura media anual del agua en los ríos locales. Fuente de datos: Copernicus Climate Change (2021).

A grandes rasgos, se observa un incremento de la temperatura media anual del agua, no observándose grandes diferencias en los incrementos esperados para las distintas cuencas. No existen grandes diferencias en las proyecciones entre los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 en el corto plazo (2011-2040), con incrementos de 0,7-0,8 °C en ambos escenarios, y a medio plazo (2041-2070), con

incrementos entre 1,3 °C y 1,7 °C, respectivamente. Las diferencias entre ambos escenarios se intensifican en el largo plazo (2071-2100), proyectándose incrementos de 1,6 °C y 2,9 °C para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. Se observan temperaturas medias anuales del agua, en el escenario más pesimista y para el último periodo, de 25 °C.



5.2. Fig. Proyecciones mensuales de la temperatura media del agua en las subcuencas guipuzcoanas. Fuente de datos: Copernicus Climate Change (2021).

En cuanto al ciclo anual, se observan incrementos de la temperatura del agua para todos los meses del año y ambos escenarios, con incrementos entre 0,5 °C y 4 °C. Los mayores incrementos se muestran para el otoño, los meses de septiembre a noviembre, y ligeramente inferiores en verano. Estas estimaciones para agosto son inferiores a las estimadas a partir de la temperatura del aire mediante la utilización de fórmulas empíricas de tipo lineal, que correlacionan la temperatura del aire con la del agua, definidas en el ‘Estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua. Efecto

del cambio climático en el estado ecológico de las masas de agua’ (CEDEX, 2012). En base a esta correlación, para los ríos de la CAPV se estiman incrementos de la temperatura el agua para el mes de agosto de entre 1,0 y 1,1 °C en el corto plazo, 2010–2040, entre 1,6 y 2,1 °C en el medio plazo, 2041–2070 y entre 2,0 y 3,7 °C en el largo plazo, 2071–2100. Estos valores se han obtenido como promedio de los seis modelos empleados y el rango marca los valores correspondientes a los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5, respectivamente (URA, 2022).

5.3. RIESGOS PARA LOS ECOSISTEMAS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO: INCREMENTO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA

La respuesta de las especies de agua dulce está estrechamente relacionada con su entorno físico. Múltiples evidencias, combinadas con las tendencias consistentes observadas en todos los continentes, indican que es muy probable que muchos de los cambios observados en los rangos de distribución, la fenología, la fisiología y morfología de las especies de agua dulce puedan atribuirse a los cambios climáticos regionales y global, en particular a los aumentos en la frecuencia y gravedad de los eventos extremos (IPCC, 2022).

Se espera que el impacto más inmediato del cambio climático sea el incremento de la temperatura del agua (Hassan et al., 1998). Este incremento puede tener impactos en el estado de las masas de agua, afectando especialmente a procesos ecológicos, las especies y hábitats ligados a los ecosistemas acuático. La mayoría de las reacciones químicas y procesos bacteriológicos son más rápidos a una temperatura más alta. La temperatura también influye en la concentración de gases disueltos. Además, la temperatura controla las tasas de crecimiento del fitoplancton, algas e incluso regula el comportamiento de los organismos, como la migración de peces. Todo ello hace que los ecosistemas de agua dulce sean sensibles al aumento de la temperatura.

En el estudio ‘Determinación de los mapas de peligrosidad, exposición, vulnerabilidad y riesgo asociados al cambio climático en España’ (Estrela-Seguelles et al., 2020) se ha evaluado, a partir de la peligrosidad asociada al incremento de temperatura del agua, el riesgo de la pérdida de hábitat de especies piscícolas de aguas frías, la reducción en el oxígeno disuelto en el agua, y la afección de especies de macroinvertebrados para dos escenarios de cambio climático (RCP4.5 y RCP8.5) y tres periodos

de análisis (2010–2040, 2041–2070 y 2071–2100). Para la evaluación del riesgo en este estudio se ha seguido el enfoque establecido en el IPCC-AR5 (IPCC, 2014), en la que el riesgo se entiende como una combinación de la amenaza o peligrosidad y la exposición al peligro, que permiten determinar la distribución de los impactos, y la vulnerabilidad, entendida como la predisposición del sistema al impacto. En el marco de la elaboración del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental correspondiente al ciclo 2022–2027 se han revisado las conclusiones más relevantes para las cuencas de la CAPV. A continuación, partiendo de esta información, se extraen las principales conclusiones para las cuencas guipuzcoanas.

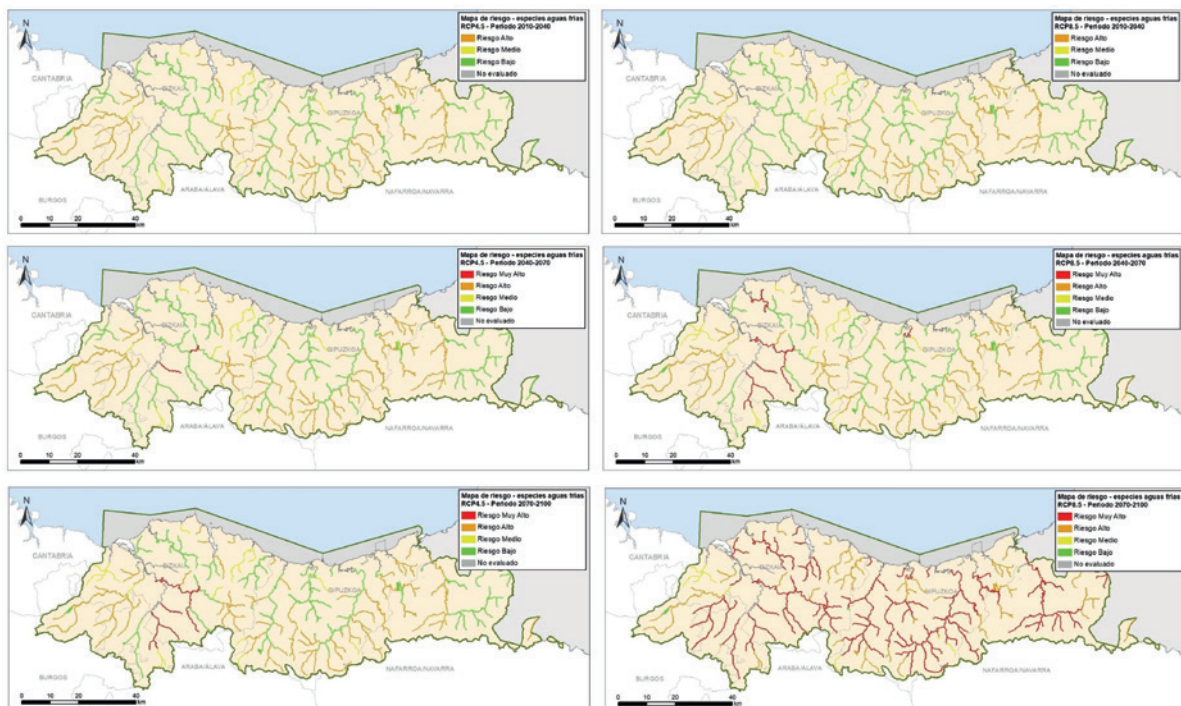


5.3.1. PÉRDIDA DE HÁBITAT PARA ESPECIES DE AGUAS FRÍAS

La determinación del riesgo de pérdida de hábitat ante el aumento de la temperatura del agua para las especies de agua fría se ha realizado para la Trucha común o Trucha marrón, *Salmo trutta*.

De forma puntual, la especie puede aguantar temperaturas en el agua de hasta 25 °C, pero si hablamos de una temperatura sostenida a lo largo de todo un mes este límite baja a los 21,8 °C. La variable, por tanto, que marcará los mapas de peligrosidad es la temperatura media en el mes de agosto, mes en el que se alcanzan las mayores temperaturas. El incremento medio de temperatura

del agua en agosto debido al cambio climático se estima entre 1,0 y 1,1 °C en el corto plazo, 2011–2040, entre 1,6 y 2,1 °C en el medio plazo, 2041–2070, y entre 2,0 y 3,7 °C en el largo plazo, 2071–2100. El mapa de vulnerabilidad se ha determinado a partir del estado de la vegetación de ribera, considerando que un buen estado de la vegetación de ribera proporciona zonas de sombreado y reduce la cantidad de radiación solar incidente sobre el agua, además de proporcionar refugios para los peces. En contrapartida, un peor estado de la vegetación de ribera hace que el sistema sea más vulnerable al incremento de temperatura.



5.3. Fig. Mapas de riesgo de reducción del hábitat potencial de las especies piscícolas de aguas frías para los tres periodos de análisis y los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental 2022–2027 (URA, 2022).

Los resultados indican que el riesgo es alto en muchos tramos de la red hidrográfica del territorio, en ambos escenarios en el corto y medio plazo, siendo el riesgo muy alto en el escenario RCP8.5 en el largo plazo (2071–2100) (URA, 2022). En las cuencas del Deba y Oria el riesgo es bajo en el eje principal del río, con afluentes donde el riesgo es

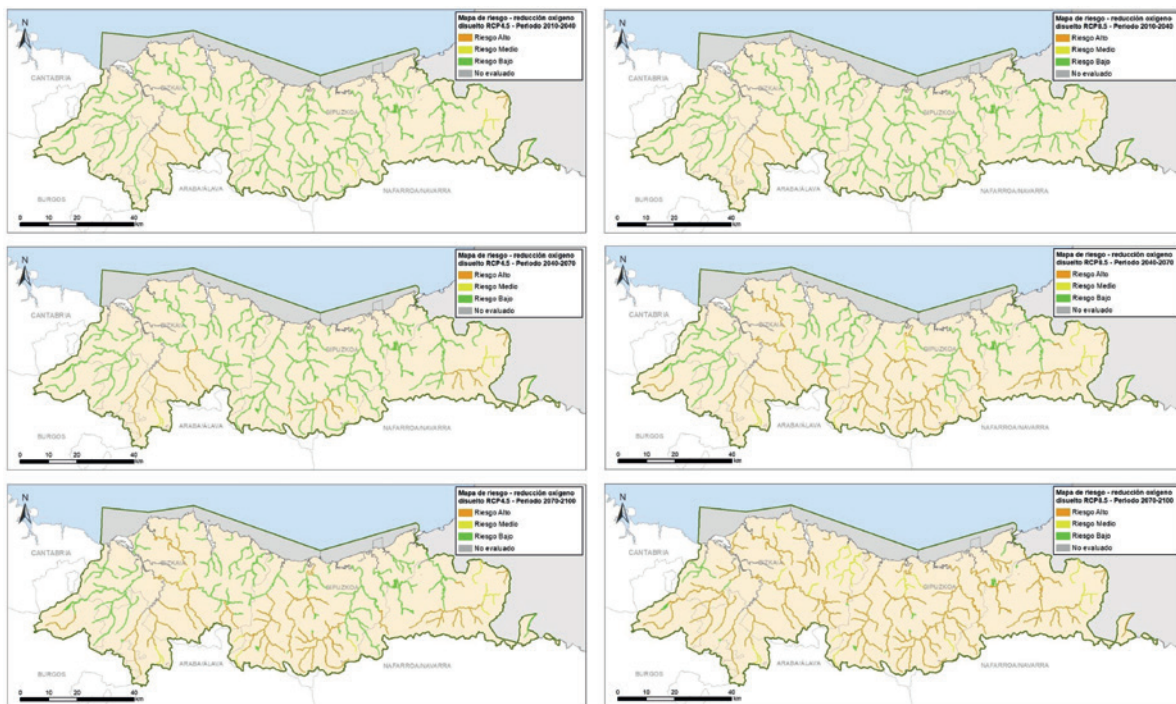
alto. En el caso del río Urola, el riesgo es alto en el tramo alto, siendo bajo en el resto. En gran parte de las cuencas de los ríos Urumea y Oiartzun y en la parte guipuzcoana del Bidasoa, el riesgo es alto. Para el escenario RCP8.5 y el periodo 2071–2100 el riesgo es entre alto y muy alto en todos los tramos analizados.

5.3.2. RIESGO DE REDUCCIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO EN EL AGUA

La concentración de oxígeno disuelto es uno de los parámetros que se tienen en cuenta para la evaluación del estado físico-químico de las masas de agua superficial. Además, es un parámetro determinante para la presencia y buen estado de la biota acuática y su reducción puede suponer pérdidas potenciales de hábitat y afectar a otros parámetros y al estado ecológico de la masa en su conjunto.

La temperatura del aire y del agua afectan directamente a la concentración de oxígeno disuelto en agua. En el marco de la elaboración del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental, correspondiente al ciclo 2022-2027, se ha analizado el riesgo

de la reducción del oxígeno disuelto en el agua debido al incremento de la temperatura del agua por efecto del cambio climático. Para ello, se ha evaluado la concentración de oxígeno utilizando una expresión función de la temperatura y la altitud. Los resultados de variación de temperatura en el mes de agosto muestran una reducción entre 0,16 y 0,26 mg/l en el escenario RCP4.5 y entre 0,18 y 0,26 mg/l en el RCP8.5. En este análisis se concluye que, si bien todas las masas de agua se ven impactadas en cierta medida, en ningún caso se producen bajadas del contenido en oxígeno por debajo de 5 mg/l, límite entre en el estado bueno y moderado para la evaluación de las masas de agua tipo ríos.



5.4. Fig. Mapas de riesgo de reducción de oxígeno disuelto en agua para los tres periodos de análisis y los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental 2022-2027 (URA, 2022).

5.3.3. RIESGO DE AFECCIÓN A MACROINVERTEBRADOS

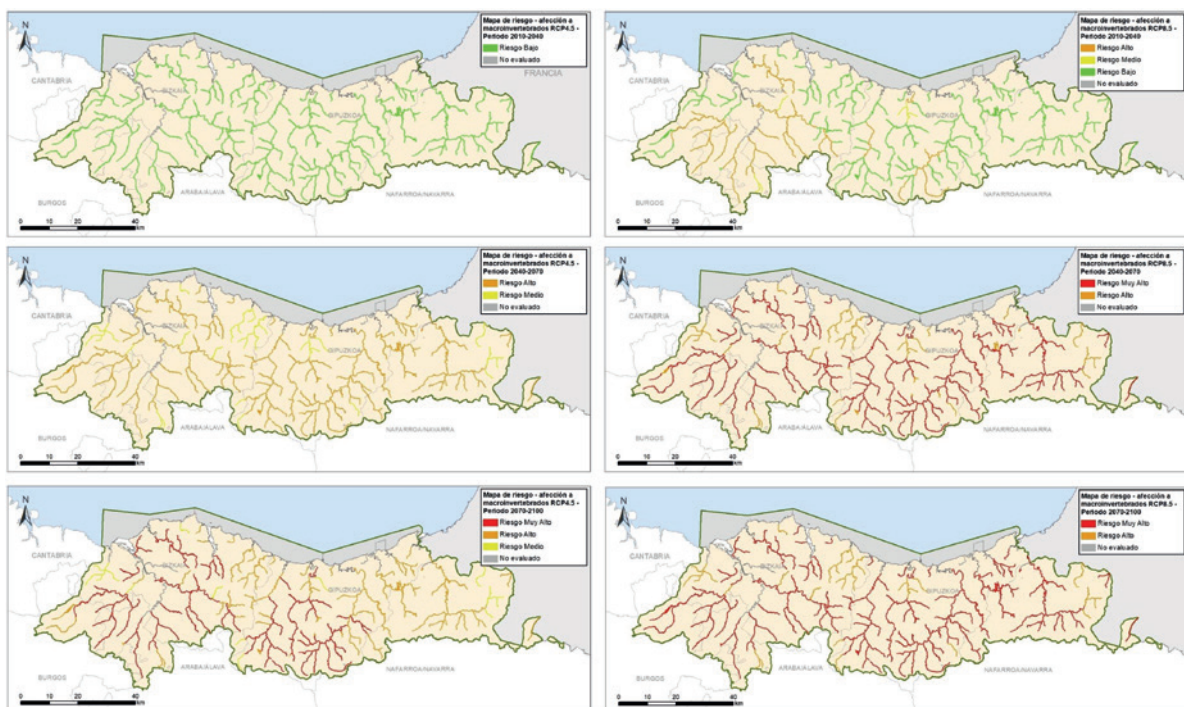
Los macroinvertebrados acuáticos son organismos que habitan en los sedimentos de los sistemas acuáticos o en cualquier otro tipo de sustrato como hojas, macrofitos, etc. Constituyen un excelente indicador biológico de las condiciones de calidad de las aguas, ya que, sus periodos de residencia, dependiendo del tipo de especie son diferentes (cortos, prolongados y exclusivamente acuáticos), lo que permite recabar información muy valiosa debido a su alto valor para los ecosistemas acuáticos.

La fauna invertebrada de los ecosistemas acuáticos continentales es diversa, tanto en forma como en tolerancia a las condiciones ecológicas del medio. Por ello, se espera que el cambio climático afecte en distinto grado y de distinta manera a las diferentes especies en función de la alteración que el cambio climático vaya provocando sobre las condiciones fisicoquímicas y la calidad del medio.

La evaluación de la afección del cambio climático a los macroinvertebrados se ha realizado a partir de la relación entre el índice IBMWP (Iberian Biological Monitoring

Working Party) y el incremento esperado en la temperatura del agua. Este índice, se basa en la asignación de valores de tolerancia a la contaminación o a estados alterados a cada familia de macroinvertebrados. Las puntuaciones más bajas corresponden a las familias poco exigentes y las más altas a las más sensibles. Así, la suma de los valores obtenidos para todas las familias de un punto indica el grado de contaminación o el estado de la masa de agua.

La relación entre IBMWP y el efecto del cambio climático se ha establecido obteniendo el porcentaje de individuos de macroinvertebrados que cambian su puntuación en función del incremento de temperatura (CEDEX, 2012). Para cada escenario analizado se determina un nuevo valor del índice afectado por el incremento de temperatura previsto. El parámetro considerado para la vulnerabilidad es el estado de la vegetación de ribera, el mismo que el empleado para analizar el riesgo de la pérdida de hábitat, ya que el peligro analizado es también la temperatura.



5.5. Fig. Mapas de riesgo de afección a macroinvertebrados para los tres periodos de análisis y los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. Fuente: Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental 2022-2027 (URA, 2022).

El nivel de riesgo para macroinvertebrados aumenta con el periodo de análisis y el escenario considerado. Para el corto plazo y el escenario RCP4.5 el nivel de riesgo es bajo en todos los tramos, incrementándose a medio-alto en el tramo medio del Deba, tramo bajo del Urola y tramo alto del Oria. En el medio plazo y en el escenario RCP4.5

todos los tramos presentan niveles de riesgo alto mientras que se elevan a muy alto en el escenario RCP8.5. En el último periodo de análisis en el escenario RCP4.5, el nivel de riesgo se incrementa en las cuencas del Deba y Urola y en el tramo alto del Oria a muy alto, mientras que en el RCP8.5 todos los tramos presentan un riesgo muy alto.

5.4. CONCLUSIONES

El análisis histórico de los parámetros fisicoquímicos del estado de masas de agua superficiales indica una mejora significativa desde finales de la década de los 90, como consecuencia de la introducción de las tecnologías de depuración de las aguas residuales urbanas e industriales. La fuerte antropización de los ríos guipuzcoanos acontecida desde mediados del siglo XIX dificulta establecer evidencias de tendencias en los parámetros analizados que pudieran atribuirse a los cambios del clima.

Con respecto a las proyecciones futuras, se prevé que el incremento de la temperatura del aire y consiguiente temperatura del agua modifique los parámetros fisicoquímicos (acidez y oxígeno disuelto) y provoque cambios en la biología de la fauna más sensible a estos cambios (especies de agua fría y macroinvertebrados). Con respecto al oxígeno disuelto, a corto plazo se espera un riesgo bajo que irá incrementándose paralelamente al incremento

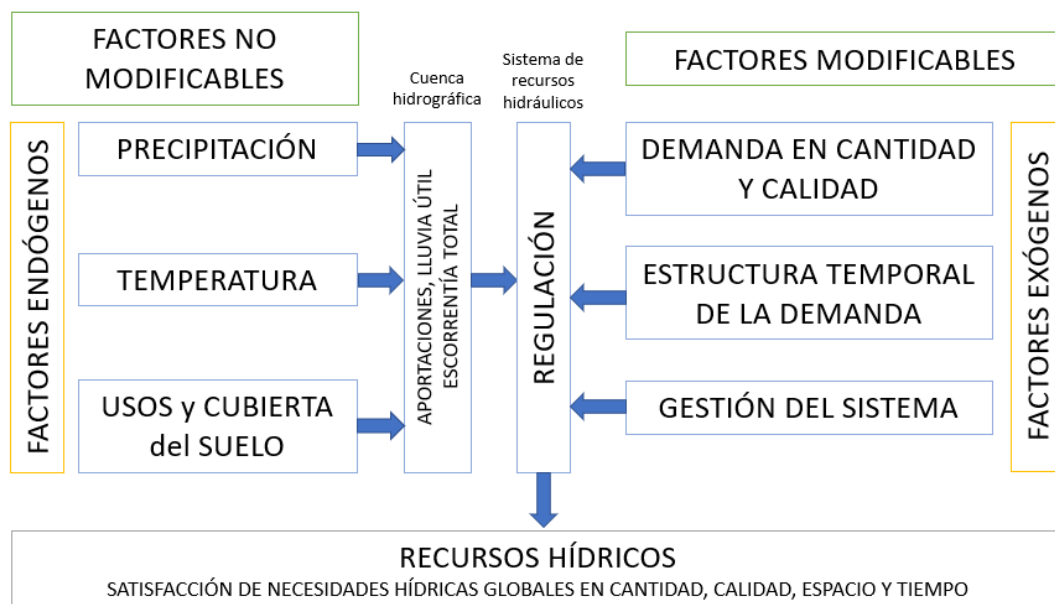
de la temperatura del agua para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5., siendo estos impactos más notables en los tramos altos de los afluentes del interior del territorio. En cuanto a los indicadores biológicos analizados, se prevé un incremento en la pérdida o descenso de la población de ciertas especies de agua fría como la trucha común o marrón o los salmónidos y modificaciones poblacionales de los macroinvertebrados. El riesgo de pérdida a corto plazo es muy significativo en los ríos más septentrionales del territorio, mientras a que medio-largo plazo el riesgo va incrementándose en todas las cuencas del territorio, llegando a alcanzar niveles de riesgo alto y muy alto para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 a medio y largo plazo, respectivamente. En el caso de los macroinvertebrados, al igual que con las especies de agua fría, se espera que los riesgos sean altos y muy altos en todo el conjunto de los ríos del T.H. sobre todo para los periodos a medio y largo plazo.

6. USOS Y DEMANDAS DE AGUA ACTUALES Y SU EVOLUCIÓN A CORTO PLAZO

El agua es un recurso básico y necesario tanto para satisfacer las necesidades sociales y económicas como para la interacción con los ecosistemas. En los escenarios futuros de cambio climático proyectados, que prevén una reducción en la disponibilidad de recursos hídricos, es posible que se produzcan afecciones para su extracción y consumos diversos como el doméstico, el industrial, el agrario o la generación de energía, así como dificultades para mantener en buen estado de las masas de agua. Es por tanto necesario conocer los usos y demandas del agua y estimar si se podrá garantizar la seguridad de su suministro en las condiciones de escasez proyectadas. En este capítulo, y el siguiente, se analizan los usos actuales y futuros del agua y, en base a los impactos del cambio climático en la disponibilidad de recursos, los balances entre

oferta y demanda actuales y en escenarios de cambio climático, respectivamente.

Es importante destacar que los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos, impactos en calidad y cantidad, no solamente dependen de las aportaciones del propio ciclo hidrológico, condicionadas por el uso y cubierta del suelo, la temperatura y la estructura temporal de la precipitación (factores endógenos), sino que también dependen de la demanda y su gestión (factores exógenos). Estos últimos factores pueden ser modificados por el hombre, mientras que los factores endógenos, con excepción de los usos del suelo, dependen directamente de la variación de las aportaciones del ciclo hidrológico (Iglesias et al., 2005).



6.1 Fig. Factores endógenos y exógenos dentro del ciclo hidrológico del agua. Fuente: Iglesias et al. (2005).

La explotación en forma de demanda, su estructura temporal, así como la propia gestión del sistema son los factores que condicionan mayoritariamente los usos y la capacidad de satisfacer las demandas futuras. De hecho, predecir las demandas potenciales a largo plazo constituye uno de los mayores desafíos actuales a los que deben

enfrentarse los gestores de los recursos hídricos y sus infraestructuras (Gallego-Ayala, 2013).

A escala global se prevé que sean los factores endógenos los que determinen el grado de escasez de agua. A escala regional, sin embargo, es probable que la escasez

de agua sea significativa incluso en aquellas cuencas donde las proyecciones actuales indican una mayor disponibilidad como consecuencia del cambio climático. Actualmente, se estima que el límite de la demanda anual para consumo humano directo a nivel global se sitúa aproximadamente en 12.500 km³/año (UN Water Conference, 2023), límite que podría verse disminuido como consecuencia del aumento de la evapotranspiración y una mayor demanda debida al incremento de la temperatura. Estos aumentos pueden provocar déficits hídricos sobre los diferentes sistemas socioeconómicos que dependen de este recurso

para su subsistencia. Por tanto, predecir la demanda de este recurso y cómo va a verse afectado por las amenazas climáticas, para los distintos periodos temporales y escenarios, es fundamental para garantizar un uso sostenible de los recursos hídricos.

Dentro de este capítulo se recogen los principales usos actuales del agua, así como las demandas de agua actuales para satisfacer tales usos, y estimaciones de la demanda futura a corto plazo (año 2039) por cuenca y a nivel municipal para el T.H. de Gipuzkoa.

6.1. USOS DEL AGUA

Los usos del agua se definen como los distintos modos de utilización de este recurso, así como las actividades que pudieran tener repercusiones significativas sobre su estado. Los usos considerados son los mismo que los recogidos en el Plan Hidrológico de la Demarcación del Cantábrico Oriental del tercer ciclo de planificación: 2022-2027 Memoria – Anejo III: Usos y demandas del agua’ publicado por la Agencia Vasca del Agua – URA en 2022. Dicho informe recoge, para la Demarcación, los diferentes usos del agua y el cálculo de las demandas actuales y a corto plazo (horizonte 2039). En este capítulo se extraen las conclusiones más relevantes para Gipuzkoa.

Los principales usos del agua a nivel del territorio son:

- Abastecimiento de poblaciones. Dentro de esta categoría se incluyen los usos que se dan a través de las redes de abastecimiento urbano. Esto incluye los usos de la población permanente y estacional (uso turístico), usos municipales e institucionales, uso comercial e industrial conectadas a la red y finalmente, el suministro a las explotaciones agropecuarias conectadas a las redes de suministro urbano, así como los volúmenes utilizados para el riego de jardines y pequeños huertos urbanos, así como para el ocio (p. ej., llenado de piscinas privadas).
- Uso agrario. El uso agrario incluye el riego de cultivos y el uso de agua en la producción ganadera tanto desde tomas propias como suministrados a través de la red de suministro urbano.
- Uso industrial. Los usos industriales comprenden las actividades de la industria manufacturera y extractiva principalmente. Dentro de este uso se incluye el agua suministrada mediante redes de abastecimiento urbana y los usos consuntivos mediante tomas propias.
- Uso energético. Usos para la producción de energía, fundamentalmente aprovechamientos hidroeléctricos.
- Uso municipal-institucional. Este uso se refiere al agua empleada por los servicios público locales e institucionales para llevar a cabo tareas de limpieza viaria, red de parques y jardines, actividades deportivas municipales (p. ej. llenado de piscinas públicas), edificios municipales, etc.
- Otros usos. Instalaciones asociadas a la demanda turística conectada y tomas propias (p. ej. campos de golf).

6.2. DEMANDAS DE AGUA ACTUALES

La demanda de agua es el volumen de agua, en cantidad y calidad, que los usuarios están dispuestos a adquirir para satisfacer un determinado objetivo de producción o consumo. Existen dos tipos de demanda: consuntivas y no consuntivas. Las detracciones no consuntivas, caudales devueltos en su totalidad posteriormente a su uso, se corresponden principalmente a los caudales utilizados para la producción de energía hidroeléctrica.

La demanda que concentra Gipuzkoa representa aproximadamente el 39,7% de la demanda total de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental. La demanda de agua consuntiva total de las cuencas guipuzcoanas asciende en la actualidad a 92,21 hm³, siendo las cuencas del Urumea (31,24%) y el Oria (23,93%) las de mayor demanda. De esta demanda, 82,75 hm³ (el 89,7%) corresponde al territorio de Gipuzkoa.

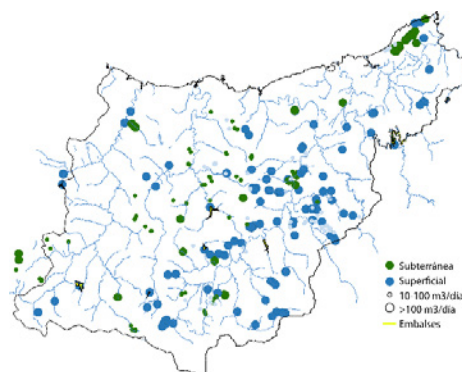
Cuenca	DEMANDA TOTAL ACTUAL (hm ³ /año)	
	Total	Porcentaje (%)
Deba	10,98	11,91%
Urola	5,71	6,19%
Oria	22,07	23,93%
Urumea	28,81	31,24%
Oiartzun	11,63	12,61%
Bidasoa	13,01	14,11%
GIPUZKOA	92,21	100,0%

6.1. Tabla. Demanda total actual de Gipuzkoa por cuenca. Fuente de datos: URA – Agencia Vasca del Agua (2022)

Para satisfacer las demandas de agua, ésta se distribuye a través de las redes de abastecimiento o se extrae a través de distintos puntos de captación y/o tomas propias, tanto superficiales como subterráneas, situados a lo largo del territorio.

En cuanto a las infraestructuras hidráulicas de captación, Gipuzkoa cuenta con un total de 9 embalses y una capacidad de embalse total en torno a 81 hm³. Estos embalses se caracterizan por ser de pequeño tamaño

(capacidad inferior a 12 hm³), salvo el embalse de Añarbe con una capacidad total de embalse aproximada de 37 hm³. Los embalses satisfacen aproximadamente el 95% de la demanda bruta del territorio. En Gipuzkoa, la extracción de aguas subterráneas satisface únicamente alrededor del 4% de la demanda bruta total del territorio. Destacar entre estas captaciones, por su importancia, el sistema de abastecimiento de Kilimon que abastece de agua para consumo humano a los municipios de Mutriku, Mendaro y Elgoibar y parte de Deba.



6.2. Fig. Zonas de captación de agua superficial y subterránea para abastecimiento urbano. Fuente datos: URA – Agencia Vasca del Agua (2023).

6.2.1. DEMANDA URBANA

El abastecimiento urbano comprende el uso doméstico, la provisión a servicios locales e institucionales y el servicio a los alojamientos turísticos, comercios, industria y agrario conectados a la red de suministro municipal.

Dentro de la demanda urbana hay que distinguir entre la demanda bruta, demanda en baja y demanda en alta. La demanda bruta se refiere al agua total entregada a la población en el punto de captación o salida del embalse, incluyendo las pérdidas en conducciones, depósitos (incontrolados) y la demanda en alta. La demanda en alta se define como el agua suministrada a las redes de distribución medida por los contadores en los depósitos de regulación y finalmente, la demanda en baja es la referida al volumen de agua consumida por los distintos usos urbanos.

La demanda urbana bruta, 69,08 hm³/año, representa aproximadamente el 75% del total de las captaciones que se realizan en el territorio. La demanda urbana en baja asciende actualmente a 49,92 hm³/año para el conjunto del territorio. De la demanda bruta, el 47,45% corresponde al uso doméstico, mientras que el uso industrial supone un 17,73%. Con menor porcentaje se sitúan, a continuación, los usos agrarios (0,77%) y ganaderos (2,06%) y finalmente, el uso turístico (1,19%). El volumen total de incontrolados asciende a 19,16 hm³, lo que supone el 27,7% de la demanda bruta total del territorio.

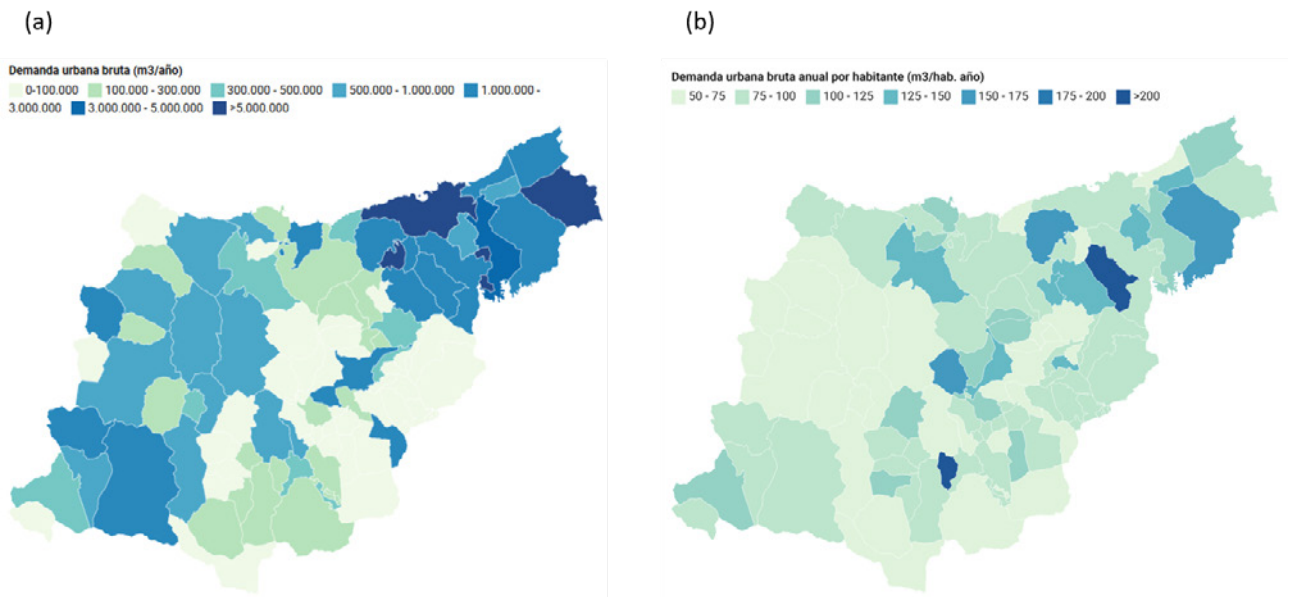
Por cuenca, las mayores demandas corresponden a los sistemas de explotación del Urumea (Donostia, Hernani, Errenteria, etc.) y Oria (Andoain, Tolosa, etc.). Considerando toda la DH del Cantábrico Oriental, la demanda de Gipuzkoa supone el 32,4% del total.

DEMANDA URBANA ACTUAL (hm ³ /año)								
Cuenca	Doméstica	Turística	Industrial	Riego	Ganadería	Municipal	Total Urbana en Baja	Total Urbana Bruta
Deba	5,66	0,06	2,04	0,04	0,17	0,17	8,14	10,48
Urola	2,87	0,05	0,92	0,02	0,11	0,13	4,10	5,05
Oria	6,85	0,12	3,39	0,12	0,43	0,32	11,23	15,30
Urumea	10,7	0,41	3,23	0,01	0,1	0,82	15,27	20,38
Oiartzun	2,99	0,03	1,09	0,01	0,04	0,17	4,33	7,75
Bidasoa	3,71	0,15	1,58	0,33	0,57	0,51	6,85	10,12
GIPUZKOA	32,78	0,82	12,25	0,53	1,42	2,12	49,92	69,08

6.2. Tabla. Demanda urbana actual en Gipuzkoa por cuenca y sector. Fuente: URA – Agencia Vasca del Agua (2022).

Estos datos de consumo por cuenca se ven reflejados a nivel municipal. En Donostia-San Sebastián la demanda urbana total bruta por habitante se sitúa actualmente por encima de los 15 hm³/año, mientras que las menores demandas se corresponden con los municipios más pequeños del territorio. Sin embargo, el análisis de los datos de la demanda bruta por habitante indica que ciertos municipios como Olaberria y Urnieta, con una población

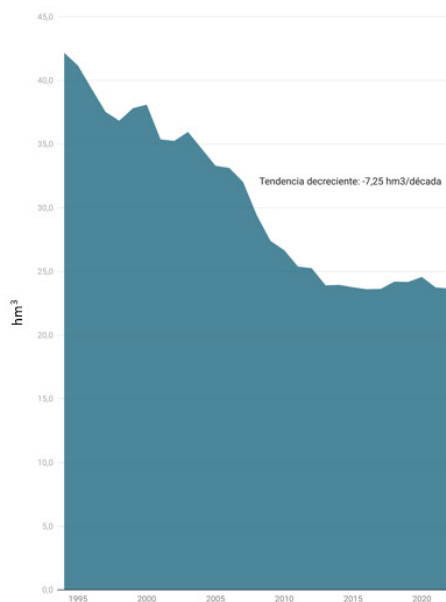
inferior a 10.000 habitantes, presentan las mayores demandas urbanas brutas por n.º de habitante de todo el territorio, como consecuencia de la elevada demanda de agua por parte del sector industrial (168,46 m³/hab. año y 144,64 m³/hab. año, respectivamente) y, concretamente en el caso de Urnieta, también por las altas demandas del sector agroganadero (2,96 m³/hab. año) y municipal-institucional (5,72 m³/hab. año).



6.3. Fig. Distribución de la (a) demanda urbana bruta actual por municipio y de la (b) demanda urbana bruta actual por habitante y municipio. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de URA – Agencia Vasca del Agua (2020) e INE (2018).

Con respecto a la evolución de la demanda bruta a nivel urbano, se observa una reducción generalizada del mismo como consecuencia de las obras acometidas para reducir los inconcontrolados en las redes de distribución. En

Gipuzkoa, es significativo el descenso experimentado en los sistemas más importantes como el de Añarbe con una tendencia decreciente promedio en el consumo de 7,25 hm³/década entre los años 1995 y 2022.



6.4. Fig. evolución del agua suministrada por Aguas del Añarbe – Añarbeko Urak. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Aguas del Añarbe – Añarbeko Urak (2023).

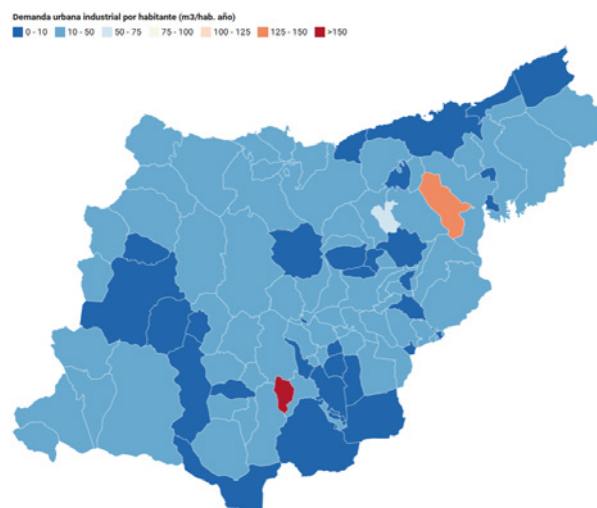
6.2.2. DEMANDA INDUSTRIAL

La demanda de agua industrial total representa el 36,92% de la demanda bruta de agua del territorio. Esta es suministrada a través del ciclo integral del agua (agua urbana) o mediante tomas propias que realizan las propias industrias. El porcentaje de la demanda de agua industrial urbana representa el 35,97% de la demanda industrial. Esto implica que un alto porcentaje de empresas del territorio se abastecen mediante fuentes propias y/o mixtas.

Los valores de demanda de agua por el sector industrial en cada una de las cuencas del territorio indican un peso significativamente mayor de los sistemas de explotación en el Urumea y Oria con un 32,4%, y 27,9% del total, respectivamente.

DEMANDA INDUSTRIAL ACTUAL (hm ³ /año)			
	Industrial urbana	Industrial toma propias	Total
Deba	2,04	0,40	2,44
Urola	0,92	0,58	1,50
Oria	3,39	6,19	9,58
Urumea	3,23	8,27	11,5
Oiartzun	1,09	3,85	4,94
Bidasoa	1,58	2,51	4,09
GIPUZKOA	12,25	21,80	34,05

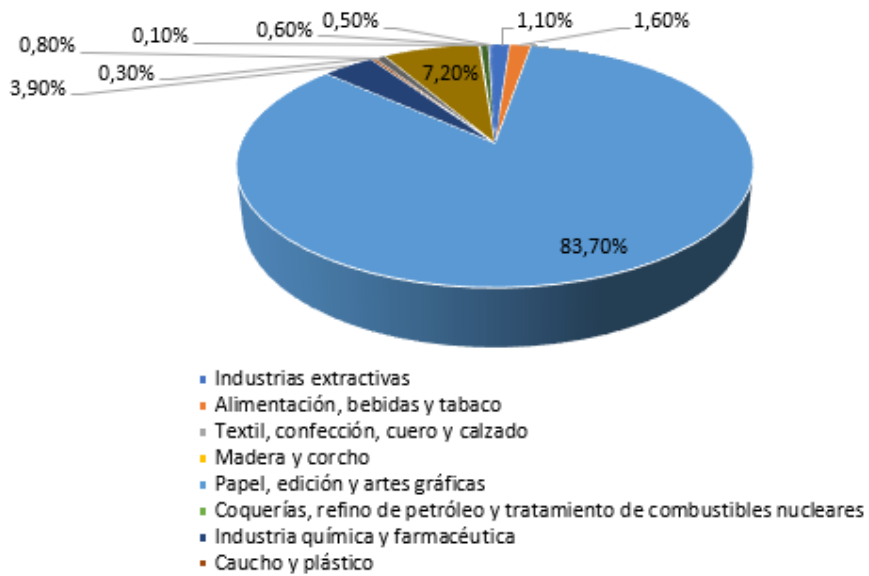
Tabla 6.3. Demanda agua industrial actual en Gipuzkoa por cuenca. Fuente: URA – Agencia Vasca del Agua (2022).



6.5. Fig. Demanda actual de agua industrial por habitante y municipio. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de URA – Agencia Vasca del Agua (2020) e INE (2018).

Por sectores industriales, como principales demandantes de agua destacan las agrupaciones de empresas del sector metalúrgico y fabricación de productos metálicos y

las del sector papero, edición y artes gráficas con un 7,2% y 83,7%, respectivamente (EUSTAT, 2021).



6.6. Fig. Demanda industrial por sectores en Gipuzkoa durante el año 2021. Fuente: EUSTAT (2022).



6.2.3. DEMANDA PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA

En cuanto a los usos energéticos del agua en Gipuzkoa, estos se han centrado fundamentalmente en la producción hidroeléctrica. Las minicentrales hidroeléctricas tienen una gran tradición en el territorio, asociada principalmente a los asentamientos industriales y a la electrificación de las zonas rurales. Existen un total de 65 minicentrales repartidas en las 6 cuencas del territorio con una potencia instalada total de 32,8 MW y una producción media anual de 123,5 MWh.

La demanda anual para la generación de energía hidroeléctrica total en Gipuzkoa se sitúa en torno a 1.850 hm³ año⁻¹. La mayor demanda se concentra en los sistemas de explotación del Oria y Deba y, en menor medida, en la cuenca del Urumea.

DEMANDA PARA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ACTUAL (hm ³ /año)						
Cuenca	N.º de centrales	Potencia instalada (kW)	Caudal concesional (m ³ /s)	Producción media anual (kWh)	Volumen anual turbinado considerado (hm ³ /año)	Volumen anual turbinado (hm ³ /año)
Deba	15	7.806	39,93	28.926	515,48	503,20
Urola	12	2.125	11,38	6.089	190,55	154,36
Oria	27	16.505	75,61	65.981	835,96	806,27
Urumea	7	3.684	25,83	15.204	348,27	365,39
Oiartzun	2	751	0,68	1.711	5,90	6,42
Bidasoa	2	2.001	0,94	5.598	14,96	14,96
GIPUZKOA	65	32.872	154,36	123.509	1.911,12	1.850,60

6.4. Tabla. Demanda de agua actual para la producción de energía hidroeléctrica. Fuente: URA – Agencia Vasca del Agua (2022).

6.2.4. DEMANDA AGROPECUARIA

Dentro del uso agrario se incluye el riego de cultivo y el uso para la producción ganadera. Las explotaciones agrícolas y ganaderas existentes en el territorio son, en su mayoría, de tamaño reducido y de tipo extensivo. La

demanda agro-ganadera, considerando aquellas demandas satisfechas por la red urbana, asciende a un total de 3,92 hm³, de los cuales 1,44 hm³ corresponden al riego y 2,48 hm³ al consumo ganadero.

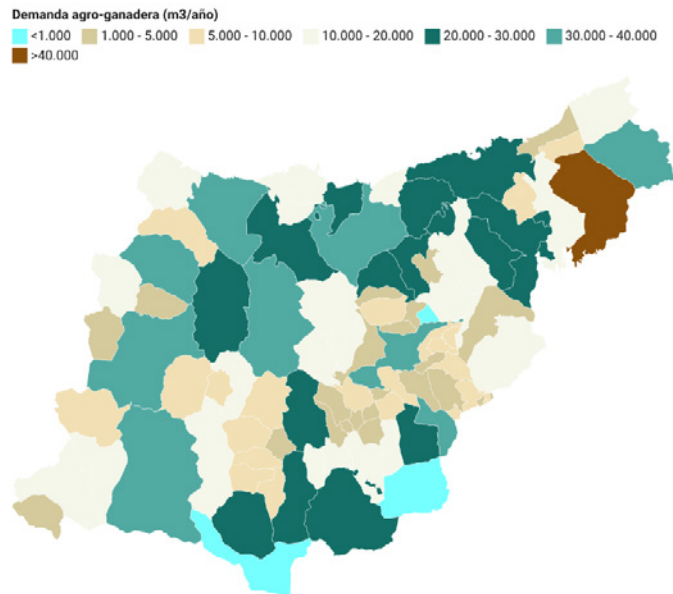
DEMANDA AGRO-GANADERA ACTUAL (hm ³)				
Cuenca	Ganadería con toma propia	Ganadería conectada a red urbana	Riego con toma propia	Riego conectado a red urbana
Deba	0,10	0,22	n.s.(*)	0,05
Urola	0,08	0,13	n.s.(*)	0,02
Oria	0,22	0,59	0,34	0,14
Urumea	0,02	0,14	0,09	0,01
Oiartzun	0,03	0,08	n.s.(*)	0,02
Bidasoa	0,03	0,84	0,28	0,49
GIPUZKOA	0,48	2,00	0,71	0,73

6.5. Tabla. Demanda de agua agro-ganadera actual en Gipuzkoa por cuenca. Fuente: URA – Agencia Vasca del Agua (2022).

(*) n.s. no significativo

La demanda total de este sector en el territorio asciende a 3,92 hm³/año. Por cuencas, las mayores demandas se encuentran situadas en las cuencas del Bidasoa (1,64 hm³) con el 41,8% y el Oria (1,29 hm³), que concentra el 32,9%

de la demanda total. Por municipios, el mayor demandante de agua agro-ganadera es Oiartzun (22.998 m³/año a través de suministro urbano y 18.242 m³/año mediante tomas propias).



6.7. Fig. Demanda actual de agua sector agro-ganadero por municipio. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de URA – Agencia Vasca del Agua (2020) e INE (2018).

6.2.5. OTRAS DEMANDAS

Dentro de este apartado se agrupan a aquellos usos que no suponen una demanda consuntiva significativa. Las principales necesidades de demanda dentro de este

grupo están asociadas a los campos de golf del territorio. La demanda actual por esta actividad en el territorio asciende aproximadamente a unos 0,18 hm³ anuales.

DEMANDA ACTUAL PARA OTROS USOS (hm ³ /año)		
Cuenca	Red urbana	Red propia
Deba	0,004	-
Urola	0,002	-
Oria	0,027	0,019
Urumea	-	0,055
Oiartzun	-	-
Bidasoa	0,007	0,063
GIPUZKOA	0,04	0,137

6.6. Tabla. Demanda actual de agua para otros usos en Gipuzkoa. Fuente: URA – Agencia Vasca del Agua (2022).

6.3. EVOLUCIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA A CORTO PLAZO

En el marco del Plan Hidrológico se ha estimado la demanda futura de agua a nivel de la CAPV para distintos escenarios futuros. En este apartado se resumen los resultados de las demandas para el horizonte temporal 2039 para Gipuzkoa.

En el caso de la demanda urbana bruta, se proyectan ligeros incrementos derivados de la evolución socioeconómica del territorio (PIB, población, evolución precios del agua, evolución del sector turístico, tasas de crecimiento de las cabañas ganaderas, etc.) y de la evolución del consumo humano (debido al incremento de la temperatura proyectado se esperan incrementos en la demanda urbana de agua para consumo, riego, etc.). Sin embargo, estos incrementos se prevén que estén compensados por las mejoras en las redes de distribución planificadas, que proyectan reducir los incontrolados hasta un 25%. El

resultado neto sería una reducción de la demanda de agua del territorio.

En cuanto a la evolución de las demandas agrarias, industrial y otros usos, debido a las actuales incertidumbres socio-económicas existentes a nivel internacional sobre los sectores de explotación, se ha preferido mantener ciertos márgenes de seguridad, manteniendo la previsión de la demanda, al menos, a corto plazo.

El balance final entre incremento de la demanda urbana y la reducción de incontrolados muestra un descenso generalizado en todas las cuencas. Por cuencas, la Tasa de Variación (TV) para 2039 arroja valores negativos en todas las cuencas, con excepción de la cuenca del Urola, donde se prevé un aumento de la demanda de un +4,16%.

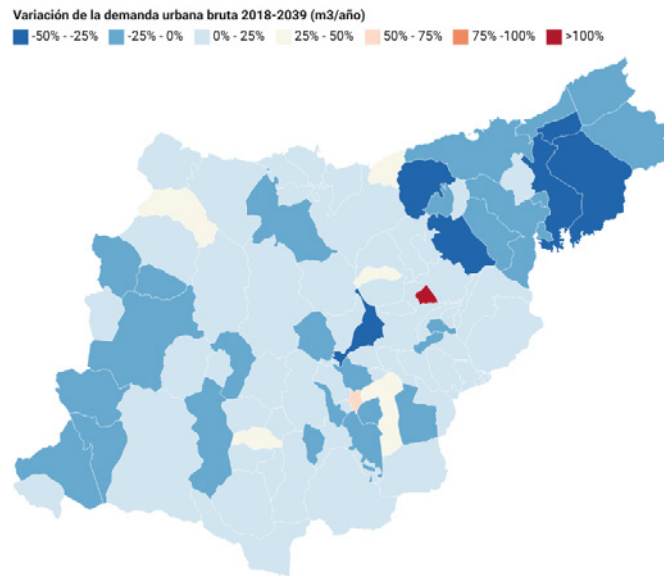
CUENCA	ACTUAL	2039	TV (ACTUAL-2039)
Deba	10,48	9,99	-4,68%
Urola	5,05	5,26	+4,16%
Oria	15,3	14,92	-2,48%
Urumea	20,38	19,68	-3,43%
Oiartzun	7,75	5,66	-26,97%
Bidasoa	10,2	9,06	-11,18%
GIPUZKOA	69,16	64,57	-6,68%

6.7. Tabla. Demanda de agua urbana actual y futura (2039) y tasa de variación (%) por cuenca. Fuente: URA – Agencia Vasca del Agua (2022).

Estos datos de consumo por cuenca proyectados a 2039 se ven trasladados nuevamente a nivel municipal. En Donostia-San Sebastián se espera una demanda urbana bruta ligeramente inferior a la actual con un valor en torno a 15 hm³ anuales (15,45 hm³/año) frente a los 16,09 hm³/años actuales. En municipios de la cuenca del Bidasoa se esperan demandas anuales en torno a 5,18 hm³/año en Irún y 1,31 hm³/año en Hondarribia. En los sistemas Urumea-Oiartzun, los municipios con mayores demandas serán Errenteria (2,92 hm³/año) y Lasarte-Oria (1,31 hm³/año) mientras que, en la cuenca del Oria, los municipios que presentarán mayores demandas serán Zarautz (1,98 hm³/año) y Tolosa (1,29 hm³/año). Finalmente, en las cuencas del Deba (Eibar y Arrasate con 1,52 hm³/año y 1,49 hm³/año, respectivamente) y Urola (Azpeitia con 1,01 hm³/año y

Azkoitia con 0,91 hm³/año), las mayores demandas se corresponden con los municipios con mayor número de habitantes en 2039.

Estas demandas, sin embargo, serán inferiores a la actuales en la mayoría de los municipios. Las mayores caídas con respecto al escenario actual en la demanda urbana bruta se esperan en los municipios de Andoain (-41,13%), Lezo (-33,72%) y Usurbil (-30,98%) asociados fundamentalmente a la reducción del porcentaje de incontrolados. El mayor aumento de la demanda se prevé en los municipios de Irura (+100,10%), Altzaga (+66,58%) y Mendaro (+45,36%) debido al incremento esperado en la demanda doméstica en 2039 como consecuencia del incremento de la población esperada en dicho horizonte temporal.



6.8. Fig. Variación de la demanda total urbana bruta (%) por municipios en 2039 en comparación con el escenario actual. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de URA – Agencia Vasca del Agua (2020).

7. RIESGOS EN LA DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS: ESCASEZ DE AGUA

Los cambios en el ciclo del agua inciden en la cantidad y calidad de los recursos hídricos disponibles, con impactos en actividades socioeconómicas como el abastecimiento urbano, la agricultura, la producción industrial, etc. que necesitan este recurso básico (Estrela-Sagrelles, 2020). En el capítulo 6, la Figura 6.1., se resumen los principales factores, tanto endógenos (factores climáticos) como exógenos (demanda de agua en cantidad y calidad y gestión de las infraestructuras y demandas) que determinan la disponibilidad de recursos hídricos. La evolución futura de estos factores, bajo escenarios de cambio climático, puede conducir a situaciones de desequilibrio entre el nivel de demanda de agua y su disponibilidad natural, planteando riesgos tanto para el consumo humano como de los distintos sectores socioeconómicos. Esta situación en la que los recursos disponibles no pueden dar respuesta a las demandas ambientales y de los distintos usos socioeconómicos en términos de calidad, cantidad o dificultad en el acceso al agua, se denomina estrés hídrico. Cuando se hace referencia únicamente a la disponibilidad en términos de cantidad se denomina 'escasez de agua'. Actualmente la escasez de agua afecta anualmente, de media, al 20% del territorio europeo y 30% de su población, cifras que llegan a incrementarse durante el verano hasta el 53% en las regiones mediterráneas (EEA, 2018).

Los distintos escenarios proyectan para el futuro importantes cambios en la disponibilidad de agua en toda Europa como consecuencia del cambio climático. Estas proyecciones indican que se van a experimentar condiciones de escasez de agua de forma irregular, pero con una frecuencia, duración, intensidad e impacto cada vez mayores (EEA, 2021). Se prevé que estas condiciones se extiendan a la mayor parte del continente, incluso a las regiones que actualmente disponen de abundantes recursos. Las condiciones de escasez no dependen solamente de la disponibilidad de recurso, sino que estará también determinada por cambios en la demanda y consumo de agua y su distribución temporal, que dependen en gran medida de la población y cambios socioeconómicos. Bajo estos escenarios climáticos de previsible escasez y sequía,

será esencial la adecuada gestión de los recursos hídricos para mantener el equilibrio entre disponibilidad de agua y demanda total necesaria para abastecer los diferentes usos consuntivos (urbano, agrícola e industrial).

En Gipuzkoa, al año, se utilizan 82,75 hm³ de agua para los principales usos consuntivos frente a unos recursos disponibles de unos 4.200 hm³ por año. Por lo tanto, la demanda de agua corresponde al 2,0% de los recursos renovables anuales de agua dulce. Si analizamos estos balances a nivel de cuenca, la demanda corresponde a entre un 1,4% y 10,4% de los recursos. Esto es, todos los sistemas disponen, en general, de recurso suficiente para abastecer los distintos usos y demandas. Sin embargo, aunque la variabilidad interanual de las aportaciones totales no es muy alta, puede generar sucesos extremos y problemas de escasez en determinadas circunstancias y en puntos del territorio. De acuerdo a los balances entre demanda y recurso realizados en el marco del Plan Hidrológico de la Demarcación del Cantábrico Oriental, los principales sistemas de abastecimiento del territorio cumplen, en general, las condiciones de garantía de suministro y servicio, quedando la demanda asegurada con las fuentes de recursos existentes. Es cierto que, en determinados sistemas, se detectan ligeras dificultades en situaciones de estiaje que dificultan garantizar el equilibrio entre el servicio de abastecimiento de las demandas y el mantenimiento de los caudales ecológicos mínimos.

En este capítulo se determina el riesgo de escasez de agua de las cuencas guipuzcoanas bajo escenarios de cambio climático. Para ello, se determina la disponibilidad de recurso para los distintos escenarios y periodos de impacto, a partir de un balance hídrico, y de cambios en la escasez de agua ligados al cambio en la disponibilidad de recurso, no considerando variaciones en la demanda. Se trata de un ejercicio prospectivo basado en una serie de hipótesis simplificadas y en datos medios anuales. Una de las limitaciones de este ejercicio es que no determina los riesgos estacionales de escasez de agua, que pueden quedar enmascarados en el análisis anual, a pesar de que puedan suponer un mayor riesgo.

7.1. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS RENOVABLES

Los recursos naturales propios de las cuencas corresponden al volumen total de agua que discurre por el cauce del río, después de producirse la precipitación sobre la propia cuenca y una vez ocurridos los procesos de evapotranspiración e infiltración. En apartados anteriores se ha mostrado que, en general, los estudios indican un descenso de la precipitación y de la escorrentía anual y un aumento de la temperatura media para los distintos escenarios de cambio climático, lo que llevaría asociado un incremento de la evapotranspiración y la consecuente disminución en la disponibilidad de recursos hídricos.

Los cambios en la disponibilidad de agua se pueden determinar a través de los cambios en la relación de equilibrio entre las diferentes componentes de la ecuación del balance hídrico. Esta ecuación se basa en los principios de conservación de masa en un sistema y refleja que, la tasa de cambio del agua almacenada (ΔS) en una unidad hidrológica (cuenca) se equilibra con la cantidad de volumen de agua que entra y que sale de la misma.

Las entradas de agua en la ecuación del balance hídrico son la precipitación (P) y los aportes superficiales y subterráneos recibidos desde otros territorios o cuencas ($QSI + QVI$). Las salidas en la ecuación incluyen la evapotranspiración real (ETR) y el exceso de agua en la cuenca en forma de caudales de los ríos (escorrentía superficial, ESC) y la recarga de las aguas subterráneas por infiltración (I). Por tanto, el balance hídrico para cualquier masa de agua y cualquier intervalo de tiempo, en su forma más general, puede representarse por:

$$P + QSI + QVI - ETR - ESC - I - \Delta S = 0$$

Teniendo en cuenta que las cuencas analizadas presentan entradas de agua procedentes de otras cuencas, esta ecuación permite determinar los recursos disponibles ($R = ESC + I + S$), como la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración real:

$$R = ESC + I + \Delta S = P - ETR$$

Para promedios a largo plazo (en este caso periodos de 30 años), suponiendo condiciones estacionarias, se puede suponer que el cambio en el almacenamiento para un periodo anual es marginal e igual a cero. Así, el balance de agua en una cuenca a largo plazo es el siguiente:

$$R = ESC + I = P - ETR$$

Esta expresión simplificada del balance de agua en una cuenca permite estimar de forma orientativa el agua que puede ser utilizada como recurso para las actividades humanas y realizar una rápida estimación de los recursos disponibles.

A partir de los datos disponibles de recurso en el periodo de referencia (1961-2000), y las proyecciones regionalizadas disponibles de la afección del cambio climático en los recursos hídricos (CEDEX, 2017) se ha podido determinar, para las distintas cuencas guipuzcoanas, la disponibilidad de recurso medio anual para distintos escenarios de cambio climático y los distintos horizontes temporales 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

Cuenca	2010-2040				2040-2070				2070-2100			
	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	% R/Rref	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	% R/Rref	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	% R/Rref
Deba	1.309,5	554,0	755,5	-3,0	1.245,6	556,6	689,0	-12,0	1.341,0	561,1	779,9	-10,9
Urola	1.400,1	578,1	822,0	-7,2	1.334,7	581,9	752,8	-15,7	1.350,3	586,9	763,4	-14,7
Oria	1.561,1	584,3	976,8	-2,7	1.491,6	590,3	901,2	-10,7	1.507,5	594,8	912,7	-9,9
Urumea	1.825,1	620,9	1.204,2	-2,2	1.746,6	629,7	1.116,9	-9,5	1.776,5	634,5	1.142,0	-7,8
Oiartzun	1.883,6	616,4	1.267,2	-2,2	1.838,7	625,3	1.213,3	-7,1	1.836,7	629,7	1.207,0	-7,3
Bidasoa	1.865,3	625,8	1.239,5	-2,3	1.783,5	632,3	1.151,3	-9,6	1.814,3	636,8	1.177,5	-7,8

7.1. Tabla. Valores medios del conjunto de modelos para cada una de las cuencas bajo el escenario RCP4.5 para cada horizonte temporal de precipitación (P), evapotranspiración real (ETR) y recursos disponibles (R). También la tasa de cambio (% R/Rref) de los recursos disponibles en cada horizonte temporal respecto al periodo de referencia 1961-2000. Valores medios de los seis modelos considerados.

Cuenca	2010-2040				2040-2070				2070-2100			
	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	% R/Rref	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	% R/Rref	P (mm)	ETR (mm)	R (mm)	% R/Rref
Deba	1.277,6	553,6	723,9	-7,6	1.230,5	582,3	689,0	-17,4	1.127,8	575,5	552,3	-28,5
Urola	1.370,9	578,9	791,9	-11,2	1.323,3	592,0	731,3	-17,5	1.218,7	603,9	614,8	-29,8
Oria	1.529,7	586,3	943,4	-6,5	1.481,9	607,4	874,5	-13,0	1.365,5	615,0	750,5	-24,8
Urumea	1.792,8	624,3	1.168,5	-5,4	1.668,5	640,5	1.028,0	-15,4	1.629,9	661,2	968,7	-20,8
Oiartzun	1.858,2	619,9	1.238,2	-4,8	1.811,9	635,7	1.176,3	-9,2	1.689,3	655,7	1.033,6	-19,8
Bidasoa	1.835,7	628,6	1.207,1	-5,2	1.793,9	642,5	1.151,4	-9,2	1.660,0	710,1	950,0	-23,9

7.2. Tabla. Valores medios del conjunto de modelos para cada una de las cuencas bajo el escenario RCP8.5 para cada horizonte temporal de precipitación (P), evapotranspiración real (ETR) y recursos disponibles (R). También la tasa de cambio (% R/Rref) de los recursos disponibles en cada horizonte temporal respecto al periodo de referencia 1961-2000. Valores medios de los seis modelos considerados.

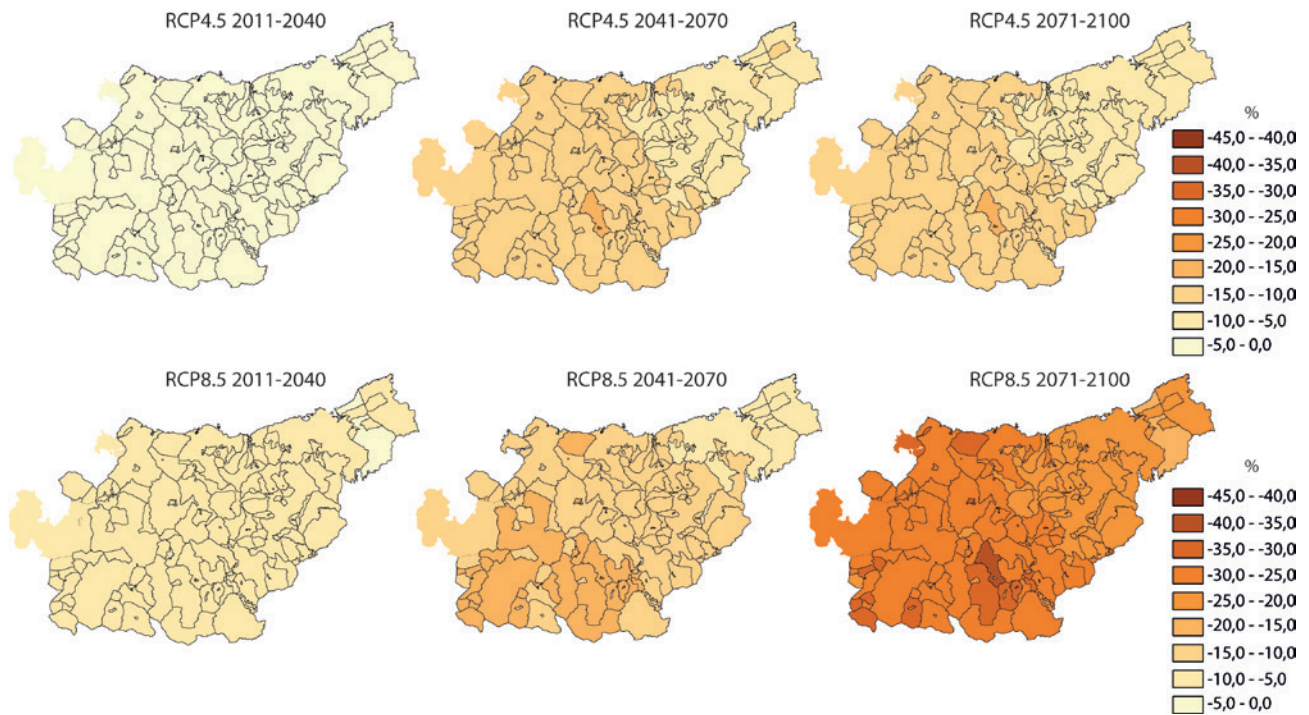
Los resultados del balance aplicado a los distintos horizontes temporales y escenarios de cambio climático muestran una tendencia a la reducción en la disponibilidad de recursos hídricos en todas las cuencas guipuzcoanas, reducción que se intensifica conforme avanza el siglo XXI, siendo mayor en el escenario RCP8.5 que RCP4.5, diferencia ésta que se intensifica para el último periodo de impacto. Estos resultados son coherentes con el análisis del impacto del cambio climático en los recursos hídricos mostrado en el capítulo 4, donde se muestra el impacto sobre las variables que determinan la disponibilidad de recurso en este sencillo balance, la precipitación y evapotranspiración real.

La disminución media estimada de recurso anual disponible en Gipuzkoa, ponderados por la superficie de cada cuenca, bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 es, respectivamente, un -4,5% y -7,8% para 2011-2040, -11,9% y -15,7% para 2041-2070 y finalmente, -8,6% y -26,8% para 2071-2100. En todos los escenarios y horizontes temporales, los mayores descensos en el recurso disponible se estiman para la cuenca del Urola, seguido de la del Deba. Los menores descensos se producen en la cuenca del Oiartzun, seguido de la del Urumea.

En la Figura 7.1 se muestran las reducciones de recursos por sistema de abastecimiento de agua de consumo

humano (Gobierno Vasco, 2023). Si bien este no es un indicador de la disponibilidad real de recurso en estos sistemas, ya que los sistemas de abastecimiento principales están ligados a los embalses que proporcionan recursos no considerados en estos balances simples, permiten conocer la evolución de la disponibilidad de recursos en sistemas menores independientes o para aquellos usos con extracción directa. Las principales reducciones se proyectan para los sistemas en las cuencas del Deba, Urola y en la parte alta del Oria, especialmente en las comarcas de Alto Deba y Goierri, con algunos de los sistemas presentando reducciones de hasta un -45% en el escenario RCP8.5 y el horizonte 2071-2100. Estos resultados, extrapolados a sistemas tan pequeños, deben considerarse con cautela debido a la alta incertidumbre y a que ésta aumenta al reducirse la escala geográfica.

No se han considerado los balances mensuales, que pueden ser importantes en algunos sistemas pequeños, ya que en el capítulo 4 se ha visto como para el verano se proyectan mayores reducciones de las aportaciones, pudiendo llegar a ser de hasta un -40%. Esto supondría una mayor reducción en la disponibilidad de recurso durante los meses estivales, cuando también la demanda aumenta en muchos de los sistemas de abastecimiento.



7.1. Fig. Distribución espacial, en base a unidades de abastecimiento, de los recursos hídricos disponibles (R) para los periodos de impacto 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 y los escenarios RCP4.5 y RCP4.5, tasa de cambio respecto a los valores del periodo de referencia 1961-2000. (Medias de los 6 modelos).



AGUAS SUBTERRÁNEAS

En la ecuación del balance hídrico aplicada en el apartado 7.1. los recursos subterráneos disponibles a través de la infiltración han sido determinados conjuntamente con las aguas superficiales. Al disponer, en las proyecciones realizadas por el CEDEX (2017), de información sobre la recarga de acuíferos se ha analizado el cambio en la disponibilidad de estos recursos.

Las proyecciones (CEDEX, 2017) indican, para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente, reducciones de la recarga media anual del territorio del -3,0% y -5,2% para 2011-2040, del -9,0% y -9,6% para 2041-2070 y del -8,2% y -19,5% para 2071-2100. Partiendo de los datos de reducción de aportación en la aplicación CAMREC (Barranco et al., 2018) se han determinado las tasas de reducción en la recarga para cada una de las masas de agua subterráneas.

Masa de agua	RCP4.5			RCP8.5		
	2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100
Aranzazu	-3,3%	-10,3%	-10,1%	-6,8%	-12,6%	-24,1%
Troya	-3,9%	-10,7%	-10,2%	-6,5%	-12,1%	-23,1%
Sinclinorio de Bizkaia	-3,9%	-10,7%	-10,2%	-6,3%	-11,6%	-23,2%
Anticlinorio Norte	-4,0%	-11,1%	-10,3%	-6,3%	-11,9%	-24,0%
Anticlinorio Sur	-3,9%	-10,8%	-10,3%	-6,4%	-12,6%	-24,1%
Izarraitz	-3,1%	-10,1%	-9,2%	-5,9%	-11,4%	-23,0%
Aralar	-3,0%	-9,7%	-9,0%	-6,2%	-10,6%	-21,3%
Gatzume-Tolosa	-2,7%	-8,5%	-8,0%	-5,1%	-9,5%	-19,6%
Zumaia-Irun	-2,3%	-7,6%	-6,9%	-4,2%	-6,0%	-16,6%
Andoain-Oiartzun	-1,9%	-6,1%	-5,4%	-3,3%	-5,5%	-12,7%
Jaizkibel	-1,9%	-6,9%	-5,7%	-3,7%	-6,3%	-14,0%
Macizos-Paleozoicos	-2,1%	-6,0%	-5,4%	-3,3%	-5,7%	-12,1%

7.3. Tabla. Tasa de cambio media anual de la recarga de las masas de agua subterráneas por efecto del cambio climático. Fuente de datos: CEDEX (2017), media de los 6 modelos.

7.2. RIESGO DE ESCASEZ DE AGUA EN ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

El Sexto Informe de Evaluación del IPCC (IPCC-AR6, 2022) define el riesgo como la posibilidad de que se produzcan consecuencias adversas para los sistemas humanos o ecológicos. Las consecuencias adversas incluyen impactos sobre la vida, la economía, la salud, así como impactos sociales y culturales, sobre la infraestructura, los

servicios o sobre especies y ecosistemas. En este apartado se analiza si la reducción prevista en los recursos disponibles conducirá a situaciones de riesgo de escasez, esto es, situaciones en las que la cantidad de recurso disponible no sea capaz de satisfacer las necesidades locales y temporales de agua, y, por tanto, afectar a sus distintos usos.

7.2.1. ESCASEZ DE AGUA

En primer lugar, se determinan las condiciones de escasez de agua actuales y para los distintos escenarios de cambio climático. Para ello, es necesario comparar el agua consumida por todas las actividades socioeconómicas con los recursos de agua dulce renovables en un área y periodo determinado. Hemos visto que la disponibilidad de recursos hídricos naturales se verá afectada por el cambio climático, disminuyendo su disponibilidad. La demanda de agua también puede verse afectada por efecto del cambio climático, pero también por cambios en los usos del suelo, la actividad económica y por la propia evolución de la población. Tal como se ha indicado en el capítulo 6 del documento, en base a los estudios realizados de demanda de agua de la CAPV (URA, 2020), a pesar de que el incremento de la temperatura proyectado para los distintos escenarios de cambio climático puede provocar incrementos en la demanda de agua, se espera a medio plazo (horizonte temporal a 2039), una disminución neta de la demanda como resultado de la reducción de los incontrolados asociada a la mejora de las redes de suministro.

Una de las formas de analizar el riesgo de estrés hídrico es a través de indicadores que muestran la presión que las actividades humanas, a través de la demanda y

consumo de agua, ejercen sobre los recursos totales renovables de agua dulce disponible en un territorio definido y para un periodo de tiempo determinado. Algunos de los indicadores más utilizados a escala europea son el WEI (Water Exploitation Index) y el WEI+ (Water Exploitation Index +, ratio de consumo). El índice WEI es el cociente entre las derivaciones de agua (demanda bruta) y el recurso hídrico renovable potencial, mientras que el índice WEI+ es el ratio del agua extraída (Extracción – Retornos) por el recurso hídrico renovable potencial. Por lo tanto, los valores del WEI son siempre mayores que los del WEI+, siendo la diferencia entre ambos la consideración de los flujos de retorno. Estos índices muestran el grado de utilización del agua y las condiciones de escasez o estrés hídrico respectivamente, considerando únicamente la cantidad de recurso y no las limitaciones del uso del agua debidas a una posible calidad insuficiente. Valores del indicador WEI superiores a 1 indican que el agua se utiliza y devuelve al sistema para ser nuevamente utilizado por los sistemas de explotación. Los valores de WEI+ por debajo del 10% indican 'estrés hídrico bajo', valores entre un 10% y 20%, 'estrés hídrico moderado', valores mayores que un 20% 'estrés hídrico' y valores superiores al 40% 'estrés hídrico grave' (Feargemann, 2012).

$$WEI+ = \frac{\text{Extracción} - \text{Retornos}}{R.\text{renovable de agua} + R.\text{no convencionales} - \text{Necesidades ambientales}}$$

Los recursos hídricos naturales totales no están plenamente disponibles para su explotación y su uso con fines de consumo. Parte de estos recursos deben garantizar el mantenimiento de los caudales ecológicos. Por tanto, el recurso natural potencial disponible es la parte del recurso natural una vez tenidas en cuenta estas restricciones medioambientales. Además de los recursos naturales potenciales (determinados en el apartado 7.1), hay que considerar también los recursos no convencionales (procedente de la reutilización de efluentes depurados) y los recursos externos procedentes de transferencias intercuenca. El principal trasvase actual es el de Antzania-Oria, utilizado para un uso no consuntivo como es la producción de energía eléctrica.

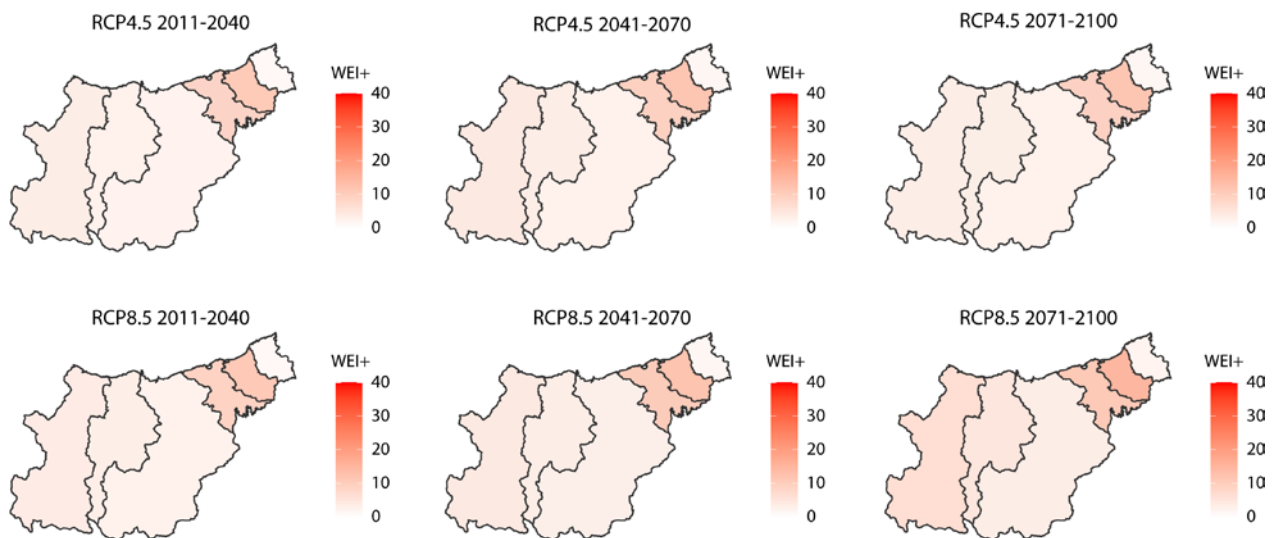
En base a las reducciones anuales de recursos renovables proyectados para las distintas cuencas y las demandas de agua (demanda bruta y neta) para cada

una de ellas, se han estimado los valores de estos índices por cuenca, tanto para el escenario actual como para los distintos escenarios de cambio climático. La determinación de estos índices para los distintos escenarios de cambio climático, sin considerar cambios en la demanda derivados de cambios socioeconómicos (evolución de la población, cambios en los usos del suelo u otros factores socioeconómicos), permite aislar el efecto del cambio climático en la escasez de agua de otros factores antrópicos. Se han considerado todas las cuencas por separado, si bien los sistemas del Urumea y Oiartzun se suelen considerar habitualmente conjuntamente, ya que este sistema recibe suministros de agua del sistema del Añarbe, ubicado en la cuenca del Urumea. A pesar de ello, en este ejercicio simplificado se ha preferido mantener el análisis a nivel de cuenca, para ilustrar las condiciones en cada una de ellas sin considerar la gestión realizada sobre los mismos.

Cuenca		Deba	Urola	Oria	Urumea	Oiartzun	Bidasoa
Demanda neta (hm ³ /año)		8,6	4,8	18,0	23,6	8,2	9,7
P. referencia	R natural (hm ³ /año)	419,1	311,6	893,3	345,3	111,1	894
	R disponibles (hm ³ /año)	255,6	201,4	747,0	291,1	179,4	772,5
	WEI	4,3	2,8	3,0	9,9	14,6	1,7
	WEI+	3,4	2,4	2,4	8,1	10,3	1,2
RCP4.5 2071-2100	R natural (hm ³ /año)	416,3	257,6	805,4	318,6	102,9	824,2
	R disponibles (hm ³ /año)	252,8	147,4	659,1	264,4	71,2	702,7
	WEI	5,4	4,0	3,4	11,2	16,2	1,9
	WEI+	4,2	3,3	2,8	9,2	11,4	1,4
RCP8.5 2071-2100	R natural (hm ³ /año)	294,8	207,5	662,3	270,3	88,2	665
	R disponibles (hm ³ /año)	131,3	97,3	516,0	216,1	56,5	543,5
	WEI	8,4	5,9	4,3	13,3	20,6	2,4
	WEI+	6,6	4,9	3,5	10,9	14,5	1,8

7.4. Tabla. Demanda neta, recursos naturales y disponibles, y cálculo de los índices de explotación WEI y WEI+ en las distintas cuencas para el periodo de referencia y el periodo de impacto 2071-2100 para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

Los resultados para el periodo de referencia indican que ninguna de las cuencas tiene valores del índice WEI que superan el 1. Respecto al índice WEI+, ninguna de las cuencas presenta valores por encima de 10, lo que indica que se encuentran en un nivel de estrés hídrico bajo.

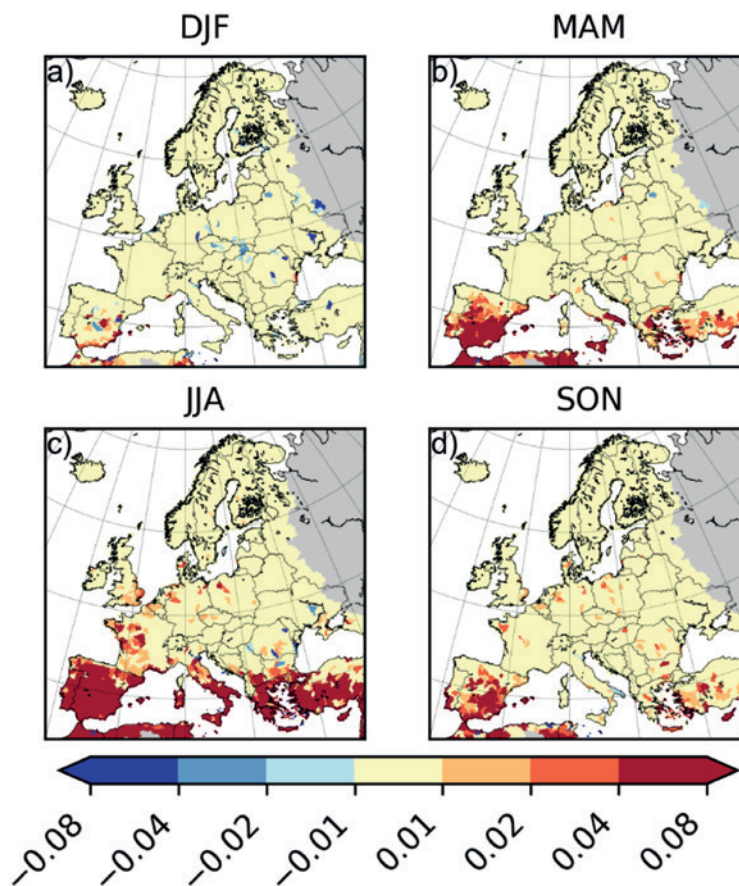


7.2. Fig. Índice WEI+ para los periodos de impacto 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 y los escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

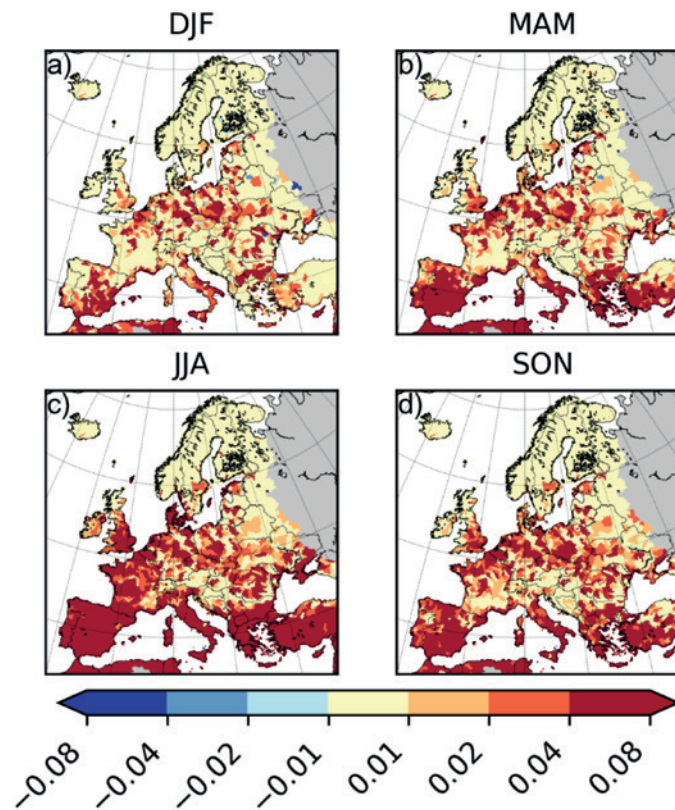
Los resultados bajo los escenarios de cambio climático muestran un ligero incremento de WEI+ para todas las cuencas. Los incrementos relativos oscilan entre un +4% para el RCP4.5 en el horizonte 2011–2040 y un +45% para el RCP8.5 en el horizonte temporal 2071–2100. En términos absolutos los incrementos en todas las cuencas son inferiores a 0,05. A pesar de estos incrementos, los valores de WEI+ en todos los escenarios y cuencas se mantienen muy por debajo de 20. Los resultados indican que, únicamente, las cuencas del Urumea y Oiartzun podrían encontrarse en situación de estrés hídrico moderado durante el periodo 2071–2100 bajo el escenario RCP8.5. Para el resto de cuencas y en los demás periodos considerados, se mantienen las condiciones de estrés hídrico bajo. No obstante, es preciso tener en cuenta que los valores del WEI+ proyectados están muy próximos al 10%, valores estos que, sin considerar las incertidumbres asociadas a las proyecciones, dificultan hacer la consideración de si,

a futuro, continuarán en dicha situación. Estos resultados coinciden con los mostrados en un estudio a escala europea en los que, si bien se proyectan ligeros incrementos de WEI+ en nuestras cuencas, no se proyectan situaciones de estrés hídrico a largo plazo.

Estos balances entre oferta y demanda de agua se han realizado a una escala anual. Sin embargo, las proyecciones de cambio climático indican una mayor reducción de los recursos hídricos naturales para ciertos meses del año, especialmente durante el periodo estival. Durante estos meses, en los que la demanda de agua además suele incrementarse, las condiciones de escasez pueden agravarse. En un estudio a escala europea se proyectan incrementos del indicador WEI+ en todas nuestras cuencas, siendo mayores durante el verano y el otoño y especialmente significativas para el periodo de impacto 2071–2100 bajo el escenario RCP8.5.



7.3. Fig. Cambios estacionales del indicador WEI+ bajo un escenario de cambio climático de incremento de la temperatura global de +2 °C respecto al periodo de control (1981–2010) (media de los 11 modelos CORDEX). Fuente: Bisselink et al. (2018).



7.4. Fig. Cambios estacionales del indicador WEI+ en el periodo de impacto 2071–2100 y escenario RCP8.5 respecto al periodo de control (1981–2010) (media de los 11 modelos CORDEX). Fuente: Bisselink et al. (2018).

Debe tenerse en cuenta que el índice WEI+ puede ser un indicador cuantitativo de interés, pero hay que tener en cuenta las limitaciones del mismo. Como se indica en el documento de definición del indicador, elaborado en el seno del 'Water Scarcity and Drought Expert Group' de la Comisión Europea, su aplicación en zonas donde el

almacenamiento artificial de agua desempeña un papel relevante en la gestión, difícilmente puede hacerse mediante formulaciones o expresiones sencillas. Así mismo, la escala espacial y temporal también introducen incertidumbres importantes.

RECURSOS HÍDRICOS DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Para cada una de las masas de agua subterránea se ha realizado un balance entre la extracción, que se identifica como el volumen de demandas de origen subterráneo, y el recurso disponible, obteniendo el índice de explotación (IE) de cada una de las masas de agua subterránea. Estos cálculos se han realizado tanto para el escenario actual como para los escenarios proyectados, en función de las reducciones en la recarga proyectadas. En la actualidad este índice es bajo en todas las masas analizadas, ya que la extracción de agua de los acuíferos es pequeña.

La reducción de recursos de agua subterránea debida al cambio climático implica muy poca variación en el índice de explotación de las masas de agua subterráneas en los distintos escenarios. En todas las masas y para todos los escenarios analizados el índice de explotación se mantiene por debajo de 0,4, manteniéndose así las condiciones de grado de explotación bajo con poco estrés hídrico.

Masa de agua	Actualidad			RCP4.5 2071-2100		RCP8.5 2071-2100	
	R. disponible (hm ³ /año)	Extracciones (hm ³ /año)	IE	R. disponible (hm ³ /año)	IE	R. disponible (hm ³ /año)	IE
Aranzazu	40,1	4,26	0,11	35,50	0,12	29,13	0,15
Troya	2,7	0,007	0,00	2,36	0,00	1,94	0,00
Sinclinorio de Bizkaia	144,9	1,42	0,01	126,58	0,01	103,23	0,01
Anticlinorio Norte	43,3	0,68	0,02	37,89	0,02	30,70	0,02
Anticlinorio Sur	373,6	5,23	0,01	328,49	0,02	268,04	0,02
Izarraitz	46,6	3,41	0,07	41,71	0,08	34,23	0,10
Aralar	47,2	2,39	0,05	41,95	0,06	34,78	0,07
Gatzume-Tolosa	146,8	0,85	0,01	133,15	0,01	113,36	0,01
Zumaia-Irun	41,1	0,56	0,01	37,41	0,01	32,22	0,02
Andoain-Oiartzun	43,1	14,07	0,33	40,04	0,35	35,91	0,39
Jaizkibel	9,4	0,4	0,04	8,60	0,05	7,59	0,05
Macizos-Paleozoicos	251,1	0,33	0,00	234,96	0,00	214,93	0,00

7.5. Tabla. Recursos disponibles e índice de explotación en la actualidad y tres periodos de impacto en el escenario RCP4.5.

7.2.1. RIESGO DE ESCASEZ DE AGUA

En el contexto del cambio climático, los riesgos resultan de las interacciones entre los peligros climáticos, y la exposición y vulnerabilidad de los sistemas, natural y humano, afectado por estos peligros. En el caso del riesgo de escasez de agua, es la probabilidad de sufrir consecuencias adversas o de pérdidas resultantes de la

interacción entre el peligro (posible aparición futura de situaciones de escasez), la exposición a la escasez (población, industrias, en áreas en las que puede ocurrir escasez) y la vulnerabilidad a la escasez. Para la definición y análisis de las distintas componentes del riesgo se suelen emplear indicadores.



7.5. Fig. Esquema de la metodología propuesta para la determinación del riesgo asociado al cambio climático. Figura adaptada de Segrelles & Pérez-Martín (2021).

Los peligros climáticos se definen como la ocurrencia potencial de un evento. En este caso, los peligros son la posible aparición futura de situaciones de escasez. Por tanto, el peligro puede definirse a través de los índices de escasez de agua como el WEI+. De acuerdo a los resultados de este indicador para los distintos escenarios mostrados en el apartado anterior, el peligro es bajo en todas las cuencas y para todos los escenarios analizados.

De acuerdo a las definiciones del IPPC, la exposición estará definida por los elementos (población, industrias, etc.) ubicados en áreas negativamente afectadas por los peligros de escasez de agua. Considerando que ninguna de las cuencas se encuentra en situación de estrés hídrico bajo los escenarios analizados, la exposición en todas ellas al peligro es baja. Únicamente la exposición es alta en aquellas captaciones superficiales que satisfacen principalmente demandas industriales, en las que actualmente ya existen problemas durante la temporada de estiaje principalmente. Por tanto, dado que el peligro y la exposición son bajas, el impacto por escasez de agua en las cuencas del T.H. se espera que sea, en general, bajo.

Siguiendo esta metodología, la vulnerabilidad representa la predisposición de los sistemas (social y económico) a ser negativamente afectados por el cambio climático. Así mismo, incluye la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad para afrontarlo y adaptarse. Algunos de los indicadores de sensibilidad utilizados en el análisis de este tipo son el consumo de agua por persona, el PIB, la población, el uso de agua industrial, etc. Algunos de los indicadores de capacidad de adaptación utilizados son, por ejemplo, la capacidad total de los embalses. Considerando que la demanda de agua en todos los sistemas se está reduciendo, tanto por las mejoras en la red de distribución, por los procesos industriales más eficientes, por la capacidad de los embalses y su estado medio histórico y por la capacidad de trasvase de agua entre determinados sistemas deficitarios, la vulnerabilidad de las distintas cuencas es, en general, baja. En aquellos sistemas de abastecimiento aislados de los embalses y dependientes de manantiales o regatas, con menor capacidad de adaptación, se espera que la vulnerabilidad sea mayor. Dado que no se encuentra entre los objetivos de este informe, no se ha analizado la vulnerabilidad asociada a las redes de suministro, esto es, de los sistemas vulnerables a situaciones de rotura o

accidentes que repercutirían gravemente en el abastecimiento a la población y a los sectores socioeconómicos.

De acuerdo a las proyecciones, el peligro de todas las cuencas para los dos escenarios y los tres periodos de impacto es bajo. En la actualidad no se producen presiones significativas por extracción y tampoco hay impacto, por lo que la exposición y la vulnerabilidad son bajas. Con todo ello, el riesgo en todas las cuencas guipuzcoanas ante la escasez de agua por disminución de los recursos disponibles para los tres periodos de impacto (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100) y los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 es bajo. El riesgo se incrementa en aquellos sistemas de abastecimiento de pequeño tamaño, dependientes de manantiales, regatas o captaciones superficiales y en los usos industriales no conectados a redes urbanas en los que en la actualidad ya existen problemas durante los periodos de estiaje. Finalmente, es importante destacar que no se ha analizado el riesgo a una escala estacional. Considerando que las proyecciones de cambio climático indican mayores variaciones estacionales en la disponibilidad de agua, a esta escala podrían producirse mayores situaciones de riesgo sobre todo durante el periodo de estiaje.

A pesar de que a nivel anual y a escalas climáticas el riesgo de escasez de los sistemas de abastecimiento de Gipuzkoa es en general bajo, sí que situaciones puntuales de sequía meteorológica prolongada pueden dar lugar a situaciones de riesgo en determinados sistemas de pequeño tamaño y en el sur del territorio. Entre los meses de enero y mayo de 2023 las precipitaciones acumuladas en algunos puntos del territorio han sido mucho menores de lo normal. Por ejemplo, en los pluviómetros de Urkulu y Legazpi, los datos muestran que ha sido el más seco de la serie histórica de datos (más de 50 años) comparando con el mismo periodo de otros años. Como resultado, los embalses de Arriarán, Barrendiola y Urkulu a finales de mayo se encontraban en situación de prealerta, alerta o incluso emergencia, aunque el abastecimiento estaba asegurado por unos meses más, aunque no hubiera precipitaciones.

Será por tanto necesario profundizar en los análisis de riesgo de estos sistemas de abastecimiento pequeños en el sur del territorio bajo estos escenarios puntuales de sequía en escenarios de cambio climático y diseñar medidas de adaptación más adecuadas.

8. CONCLUSIONES

El agua es esencial para la vida en la Tierra y un recurso fundamental para la mayoría de los sistemas socioeconómicos. Los cambios en el ciclo hidrológico debidos al cambio climático, incluyendo cambios en la temperatura, en los patrones de precipitaciones o los fenómenos meteorológicos extremos como inundaciones y sequías, pueden alterar la disponibilidad de este recurso, su calidad y provocar afecciones en los ecosistemas y en la gestión sostenible de estos recursos. Por ello, el análisis de los impactos y riesgos del cambio climático sobre los recursos hídricos es de especial interés.

El objetivo de este informe ha sido analizar a escala de Gipuzkoa el impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos y la vulnerabilidad y riesgo de las cuencas del territorio. Con dicho objetivo, en primer lugar, se han analizado las series hidrometeorológicas históricas existentes y su evolución futura en base a los modelos de cambio climático para dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP4.5 y RCP8.5). A partir de los cambios

proyectados, se ha analizado el riesgo del incremento de la temperatura del agua sobre el estado de las masas de agua (riesgo de pérdida de hábitat de especies piscícolas de aguas frías, riesgo de reducción de oxígeno disuelto y riesgo de afección de especies de macroinvertebrados) y el riesgo de escasez de agua por cambios en la relación entre la disponibilidad y la demanda de este recurso.

Los resultados presentados en este estudio están sujetos a las incertidumbres, de diversas magnitudes, propias de los estudios de impacto del cambio climático, asociadas a las proyecciones climáticas. Hay que considerar que las proyecciones de la precipitación, principal variable relacionada con la hidrología, está sujeta a una mayor variabilidad que las de la temperatura, incertidumbre que se incrementa además al disminuir la escala espacial (CEDEX, 2017). Con el objetivo de reflejar la variabilidad de los modelos y reflejar las incertidumbres, en este trabajo se ha evaluado el impacto tomando en consideración un conjunto de proyecciones climáticas lo más amplio y variado posible.

8.1. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS RECURSOS HÍDRICOS

En general, se prevé un descenso de la precipitación y un aumento de la temperatura media para los distintos escenarios de cambio climático, que llevaría asociado un incremento de la evapotranspiración, con la consiguiente disminución de recursos hídricos en el territorio. Las reducciones son mayores conforme avanza el siglo XXI y para el RCP8.5, siendo la diferencia entre ambos escenarios de emisiones más clara en el largo plazo (2071-2100).

Las proyecciones, de media, indican una reducción de los recursos hídricos en Gipuzkoa que varían entre un -2,5% en el corto plazo (2011-2040) a un -30% en el largo plazo (2071-2100) dependiendo del escenario de emisiones, produciéndose esta reducción de forma progresiva a lo largo del siglo.

8.1.1. HUMEDAD DEL SUELO

Los análisis realizados indican tendencias decrecientes en la humedad del suelo a lo largo del siglo. Los cambios medios proyectados para el conjunto del territorio bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 son

respectivamente, -5,6% y -5,7% para 2011-2040, -7,0% y -8,7% para 2041-2070 y -10,3% y -17,8% para 2071-2100, no observándose grandes diferencias entre las cuencas del T.H.

8.1.2. RECARGA DE ACUÍFEROS

En lo que respecta a los acuíferos, se proyectan descensos en la recarga anual que se incrementan a medida que avanza el siglo. Para el conjunto del T.H., la media de los descensos para los RCP4.5 y RCP8.5 son

respectivamente del -2,8% y -5,2% para 2011-2040, del -8,7% y -9,6% para 2041-2070 y del -8,1% y -19,5% para 2071-2100.

8.1.3. ESCORRENTÍA Y APORTACIONES

Se prevé una tendencia decreciente de la escorrentía superior para el escenario RCP8.5 en comparación con el escenario RCP4.5 y conforme avanza el siglo XXI. El promedio del resultado de las proyecciones estima una reducción de la escorrentía para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente del -2,5% y -6,4% para 2011-2040, -10,9% y -12,5% para 2041-2070 y del -10,0% y -25,4% para 2071-2100.

Con respecto a los caudales mínimos, los promedios de los modelos proyectan descensos que oscilan entre un -3,0% y un -60,0% para todos los periodos de impacto y los dos RCP, intensificándose a medida que avanza el

siglo. En el caso de los máximos, el conjunto de modelos proyecta incrementos, salvo para el periodo 2011-2040 y RCP4.5 en el que se proyectan descensos. Los cambios proyectados son mayores para el periodo 2041-2070 y mayores en el escenario RCP4.5 que en el RCP8.5.

Finalmente, en cuanto a las aportaciones, las proyecciones indican, en general, descensos que se intensifican a medida que avanza el siglo XXI. La media de los modelos indica descensos para los RCP4.5 y RCP8.5 respectivamente, del -3,1% y -6,8% para 2011-2040, -12,0% y -13,7% para 2041-2070 y del -11,2% y -29,3% para 2071-2100.

8.1.4. RÉGIMEN DE SEQUÍAS

Para la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental, el estudio del CEDEX (2017) señala, en términos generales, un aumento en la frecuencia de las sequías de 2 años de duración en la mayoría de las proyecciones futuras analizadas. No obstante, algunos modelos no indican un aumento en la frecuencia de sequías en escenarios futuros e incluso muestran una disminución en la incidencia. En las sequías de 5 años de duración la

incertidumbre de los modelos es mayor y no es tan evidente esta disminución en el periodo de retorno. No existen grandes diferencias entre los dos escenarios analizados, RCP4.5 y RCP8.5. En resumen, no se puede afirmar que el cambio climático vaya a incrementar la incidencia de la sequía, aunque sí parece que las sequías que se den en el futuro serán más intensas.

8.2. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ESTADO DE LAS MASAS DE AGUA

Los cambios debidos al cambio climático en la temperatura y precipitación, y con ello en el ciclo hidrológico, pueden modificar también las características físicas y químicas del agua, influyendo en su calidad. Algunas de las variables indicadoras de la calidad de las aguas que pueden verse afectadas son la temperatura del agua, el oxígeno disuelto, el pH, la concentración de nutrientes y la de otros contaminantes. Estos impactos en las masas de agua, a su vez pueden generar alteraciones graves en los ecosistemas acuáticos (cambios en la distribución de especies, fenología, fisiología y morfología). El riesgo de estos ecosistemas dependerá de la sensibilidad y capacidad de adaptación de las distintas especies.

Las proyecciones disponibles para el territorio prevén un incremento de la temperatura del agua para los distintos escenarios de cambio climático. A partir de la peligrosidad asociada al incremento de la temperatura, se ha evaluado el riesgo de la pérdida de hábitat de especies piscícolas de aguas frías, el riesgo de reducción de oxígeno disuelto y el riesgo de afección de especies de macroinvertebrados. En concreto, se han resumido los principales resultados para las cuencas guipuzcoanas a partir de los análisis realizados en el marco del Plan Hidrológico

de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental (URA, 2022).

Con respecto a la reducción del oxígeno disuelto, a corto plazo se espera un riesgo bajo que irá incrementándose para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 a medida que avanza el siglo XXI. Se espera que los impactos más notables ocurran en los tramos altos de los afluentes del interior del territorio. A pesar de la reducción proyectada, esta no implicaría en ningún caso la pérdida de buen estado de las masas de agua.

En cuanto a los indicadores biológicos, el riesgo de reducción y/o pérdida de hábitat de especies de agua fría, el riesgo es alto en el corto y medio plazo en ambos escenarios y se incrementa a muy alto en el escenario RCP8.5 a largo plazo. El riesgo de afección a invertebrados en el corto plazo es bajo en general en ambos escenarios, incrementándose a alto y muy alto en el medio plazo para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, respectivamente. En el último periodo de análisis en el escenario RCP4.5, el nivel de riesgo se incrementa en las cuencas del Deba y Urola y en el tramo alto del Oria a muy alto, mientras que en el RCP8.5 todos los tramos presentan un riesgo muy alto.

8.3. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS

Uno de los principales impactos de la reducción de los recursos hídricos es la escasez de agua, esto es, situaciones en la que la cantidad de recurso disponible no sea capaz de satisfacer las necesidades de agua para sus distintos usos (doméstico, agrario, industrial, etc.). Para evaluar el impacto de escasez de agua se han utilizado dos índices, el índice WEI+ (Water Exploitation Index +) a nivel de cuenca y el índice de explotación (IE) de las distintas masas de agua subterráneas. Aunque se proyectan ligeros incrementos de los índices, todos los escenarios analizados indican una situación de bajo estrés hídrico para los tres periodos de impacto.

Partiendo de este potencial impacto, se ha analizado el riesgo de escasez de agua en las distintas cuencas. En los dos escenarios de emisiones y para los tres periodos

de impacto el riesgo de escasez de agua es bajo para todas las cuencas. Únicamente se prevé un mayor riesgo en aquellos sistemas de abastecimiento de pequeño tamaño, dependientes de manantiales, regatas o captaciones superficiales y en los usos industriales no conectados a redes urbanas y donde, a día de hoy, ya existen problemas sobre todo durante el periodo de estiaje

Una de las limitaciones del análisis de riesgo realizado es la consideración de los balances de recurso y demanda anuales. Considerando que las proyecciones de cambio climático indican mayores variaciones estacionales en la disponibilidad de agua, por lo que el riesgo de escasez estacional podría ser mayor, sobre todo durante el periodo de estiaje.

En el presente informe se expone el estudio sobre el impacto del cambio climático en los recursos hídricos y las afecciones que provocará sobre el estado de las masas de agua y la disponibilidad de agua dulce para los distintos usos socioeconómicos. Se pronostica una reducción de recursos hídricos que se irá acentuando conforme avanza el siglo XXI, siendo más notable en el último periodo de impacto (2071-2100) y mayor bajo el escenario RCP8.5 que en el caso del RCP4.5. Se proyecta asimismo una mayor variabilidad de la precipitación y, por tanto, de la disponibilidad de recurso. No obstante, hay que considerar la gran disparidad de resultados según las proyecciones, lo que indica el alto grado de incertidumbre de los mismos. Así, la reducción media anual de recursos hídricos, considerando la media de todos los modelos, para el último periodo de impacto bajo el escenario RCP8.5, es de -27,0%. Sin embargo, las reducciones para este escenario oscilan entre -10,0% en el modelo más optimista y -45,0% en el más pesimista.

El principal riesgo del cambio climático que afecta al estado de las masas de agua analizado es el incremento de la temperatura del agua. El riesgo sobre de los ecosistemas de agua dulce se incrementa conforme avanza el siglo y es mayor en el escenario RCP8.5 que RCP4.5.

Medidas de adaptación que contribuyan a reducir la temperatura del agua contribuirán a reducir el impacto del cambio climático en el estado de las masas de agua y ecosistemas asociados.

En los escenarios de cambio climático no se proyectan impactos generalizados en la disponibilidad de agua para los distintos usos socioeconómicos asociados a la reducción de los recursos naturales. El riesgo se incrementa para aquellos sistemas de abastecimiento pequeños que son dependientes de manantiales, regatas o captaciones superficiales, así como para los usos industriales no conectados a redes urbanas y donde, a día de hoy, ya existen problemas, especialmente durante el periodo de estiaje. Si bien en situaciones climatológicas promedio el riesgo es bajo, en situaciones de sequía prolongada sí podrían producirse desequilibrios entre disponibilidad y demanda en los sistemas de pequeño tamaño. Dada la mayor variabilidad de la precipitación proyectada, con periodos secos más largos seguidos de periodos de lluvia intensa, una de las medidas de adaptación podría ser el análisis de posibles medidas alternativas de abastecimiento que refuercen los sistemas existentes en situaciones de escasez.





Informe de Impacto
y Vulnerabilidad al
Cambio Climático
en Gipuzkoa



ANEXOS

Gipuzkoako
Foru Aldundia
Jasangarritasun
Departamentua



Diputación Foral
de Gipuzkoa
Departamento de
Sostenibilidad



Naturklima
Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa

ANEXO I

INDICADORES DE SEGUIMIENTO DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN GIPUZKOA

Con el objetivo de diseñar un cuadro de mando para la monitorización, seguimiento y evaluación de la situación y evolución de los efectos del cambio climático en Gipuzkoa, así como el efecto de las medidas de adaptación implementadas, se ha definido un sistema de indicadores. Esta batería de indicadores, estructurados en torno a sectores (recursos hídricos, agroforestal, energía, infraestructuras y ordenación del territorio y salud³) facilitarán la toma de decisiones, todo ello encaminado a mejorar e incrementar la resiliencia del territorio frente al cambio climático.

El objetivo de estos indicadores es:

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

Los indicadores se clasifican, según la información que aportan, en indicadores de (A) adaptación, (E) exposición, (I) impacto, (P) peligro y (V) vulnerabilidad.

³ Los indicadores de seguimiento del estado y evolución del sistema marino costero se han presentado en la sección IV: Informe de evolución de los indicadores marino-costeros.

		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
VARIABLES CLIMÁTICAS														
	Temperatura media anual	P	12,7	14,0	13,1	14,1	13,7	13,6	13,5	13,5	13,3	13,9	13,2	14,5
	Media de temperaturas mínimas diarias	P	8,7	9,9	8,9	10,0	9,6	9,5	9,3	9,6	9,1	9,9	9,4	10,2
	Media de temperaturas máximas diarias	P	17,6	18,8	18,2	17,5	18,7	18,5	18,6	18,0	18,7	19,0	17,7	19,6
	Mínimo de las temperaturas mínimas diarias	P	-4,8	-3,0	-5,2	-2,6	-3,8	-1,7	-4,7	-5,7	-2,8	-1,1	-3,1	-2,8
	Máximo de las temperaturas máximas diarias	P	36,1	38,4	39,6	37,6	37,4	38,2	37,0	34,9	38,9	38,9	34,2	40,5
	Número de días fríos	P		173	202	203	180	194	196	190	216	183	200	169
	Número de días cálidos	P		8	15	8	12	14	12	6	10	10	3	19
	Número de olas de calor	P	0	0	1(3DÍAS)	0	0	1(4DÍAS)	0	0	1(5DÍAS)	0	0	3
	Número de días de helada	P	25	11	21	12	12	6	20	14	9	6	9	15
	Precipitación media anual	P	141,3	127,0	132,5	204,7	157,9	147,8	147,5	159,1	165,6	142,4	148,9	115,4
	Número de noches tropicales	P		1,2	3,6	4,4	2,9	1,8	2,7	1,9	1,9	2,9	1,4	7,5
	Número de días de lluvia	P	186,5	165,0	188,0	210,0	185,8	198,0	185,0	211,0	143,0	187,0	177,0	168,3
	Número de días soleados/despejados	P	31,7	45	38	33	38	33	47	29	44	42	36	44
	Precipitación máxima en 24 horas	P	68,6	114,3	54,1	73,5	88,5	78,0	71,3	81,6	64,9	60,2	85,8	104,7
	Número máximo de días secos consecutivos	P		17	20	17	22	22	19	15	22	18	19	18
	Número máximo de días húmedos consecutivos	P		9	10	13	11	10	10	13	19	11	18	9
	Número de días con precipitación > 20 mm	P		14	16	30	19	16	21	19	21	19	20	14
	Máximo de precipitación acumulada en 5 días	P		220,6	114,9	188,5	175,6	131,8	155,6	147,8	153,3	124,5	211,4	
	Humedad relativa	P	82,4	80,8	82,2	83,3	81,1	81,7	81,8	84,4	80,2	79,4	81,2	78,8
	Velocidad media del viento	P	10,4	10,0	9,6	10,7	10,5	10,6	10,2	10,1	9,1	10,4	9,8	9,0
	Número de alertas meteorológicas	P	9	9	9	9	10	7	12	9	7	9	9	9
	Días grados de refrigeración	I		131,4	164,2	128,3	121,6	145,0	148,7	118,9	134,0	146,5	84,2	
	Días grados de calefacción	I		872,40	1059,3	1045,4	833,9	905,1	1009,4	1017,2	936,2	871,8	932,1	

ANEXO I

INDICADORES DE SEGUIMIENTO DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN GIPUZKOA

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

ANEXO I

INDICADORES DE SEGUIMIENTO DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN GIPUZKOA

RECURSOS HÍDRICOS													
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Número de eventos de inundación		1	0	2	1	2	0	1	3	1	0	2	2
Número de eventos de embates de mar		1	2	1	4	1	4	3	1	4	5	2	1
Nivel piezométrico	P												
Elduaien-3		21,8	19,8	10,7	17,9	17,6	23,9	23,4	15,7	20,3	22,8	22,9	
Kilimon-3		6,2	6,0	5,6	6,4	6,0	6,2	6,0	5,6	6,0	6,1	5,80	
Hernani-C		3,4	3,6	3,3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,4	3,5	3,6	3,50	
Legorreta-5		-62,9		-64,5	-63,0					-31,2	-54,8	-57,0	
Aralar-P4		-39,2	-5,0	-55,5	-46,5	-48,6	-47,9	-48,1	-58,2	-48,7	-45,9	-50,0	
DTH-1		109,9	110,0	106,6	107,7	24,2	107,8	108,1	105,4	105,7	105,1	102,8	
Jaizkibel-5			38,2	37,6	36,3	35,7	35,9	38,8	36,1	36,2	36,2	35,8	
Makinetxe		5,3	1,5	1,5	2,4	2,6	15,2	22,9	1,5	2,8	15,0	5,0	
Inurritza-3		2,0	2,0	1,9	1,8	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	2,10	
Calidad de las aguas. Porcentaje de masas de agua con estado o potencial ecológico bueno o muy bueno.	V	35%	41%	63%	62%	53%	53%	60%	76%	67%	46%	58%	
Estado ecológico de las aguas de transición y costeras. Porcentaje de masas de agua con estado o potencial ecológico bueno o muy bueno.	I	56%	56%	33%	67%	67%	78%	78%	89%	89%	89%	89%	
Demanda total de agua por habitante (litros/habitante/día)	A	179,1	177,4		175,5	170,2	172,5	172,4	168,1	171,0	150,0	165,9	140,0
Número de habitantes que pueden verse afectados dentro de zonas inundables (hab./año)	E						2.444					3.408	
N.º de EDAR en zonas inundables	E					1						1	

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
SECTOR AGROFORESTAL													
Bosque	V	46.825					47.981		47.721	48.299	47.928	48.046	48.091
Bosque de plantación	V	76.558					74.865		72.231	72.359	72.827	72.897	72.913
Bosque de galería	V	956					944		921	921	921	922	921
Superficie del territorio bajo figura de protección	A						44.776,8	44.776,8	44.776,8	44.776,8	44.776,8	44.776,8	44.776,8
Porcentaje de superficie forestal ordenada	V	124.339,0					123.790,0		120.873,0	121.579,0	121.676,0	121.865,0	
Hectáreas anuales quemadas por incendios forestales	I	77,4	87,3	97,8	87,3	294,0	10,7	37,5	10,8	89,7	49,0		
Superficie de agricultura ecológica (ha)	E					627,0	666,0	750,0	848,0	1.224,0	6.789,0		
Suelo agroforestal con actividades económicas	E	63,20%					62,6%		61,4%	61,4%	61,6%	61,6%	
Superficie afectada por plagas forestales	I						2.466,0	1.354,0	19.208,0	8.541,0			
Evapotranspiración de referencia	I	2,1	2,0	1,9	2,1	2,2	2,1	2,1	2,0	2,1	2,1	2,0	2,2
Duración o longitud de la estación de crecimiento	I	330,0	310,0	298,0	350,0	325,0	347,0	323,0	308,0	344,0	357,0	346,0	
Porcentaje del Valor añadido bruto de agricultura, ganadería y pesca	V	0,5%	0,7%	0,6%	0,6%	0,6%	0,6%	0,7%	0,6%	0,7%	0,6%	0,6%	
ENERGÍA													
Consumo final de energía (ktep)	I	1.978,3	1.950,2	1.887,7	1.852,8	1.868,1	1.860,4	1.981,1	1.933,8	1.912,2	1.642,1	1.787,1	
Intensidad energética final (x10-4)	A	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	

ANEXO I

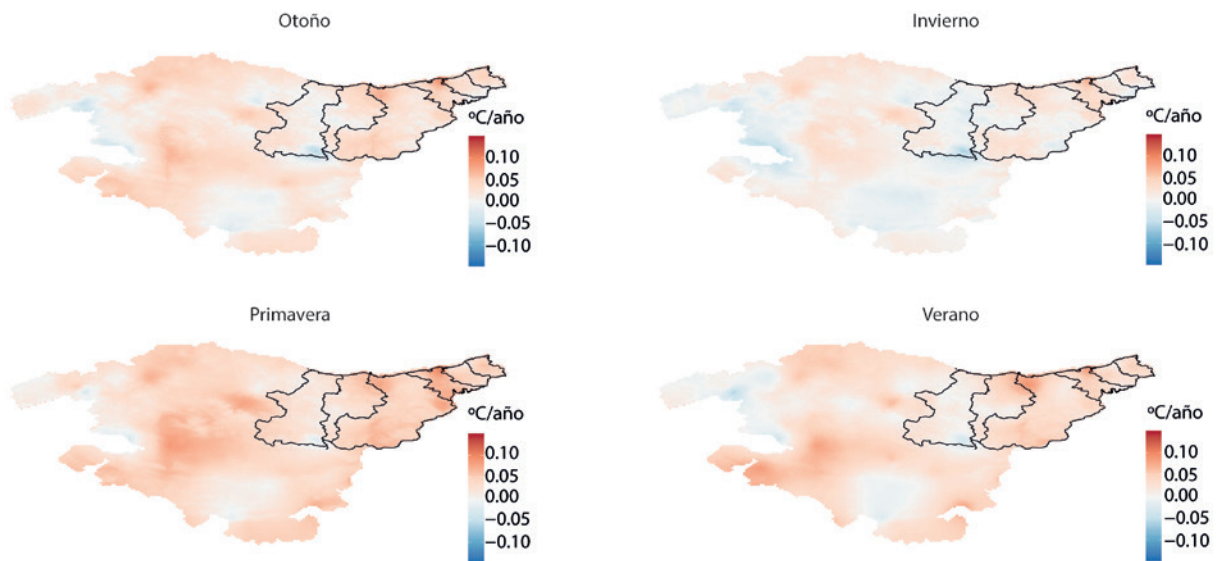
INDICADORES DE SEGUIMIENTO DE LOS IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN GIPUZKOA

INFRAESTRUCTURAS Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Usos del suelo (ha)														
V	Matorral		8.023,0					7.497,0		10.252,0	9.722,0	9.592,0	9.472,0	9.431,0
V	Herbazal		2.957,0					3.472,0		3.572,0	3.523,0	3.509,0	3.502,0	3.501,0
V	Monte sin veg. Superior		2.827,0					2.672,0		2.672,0	2.670,0	2.669,0	2.667,0	2.667,0
V	Agrícola		1.876,0					2.454,0		2.454,0	2.447,0	2.440,0	2.437,0	2.522,0
V	Artificial		10.024,0					10.612,0		10.610,0	10.609,0	10.624,0	10.625,0	10.624,0
V	Agua		1.144,0					1.097,0		1.098,0	1.093,0	1.093,0	1.093,0	1.092,0
I	Autopistas y autovías		2.140,0					2.288,0		2.288,0	2.294,0	2.293,0	2.301,0	2.302,0
I	Minería-escombreras-vertederos		589,0					575,0		575,0	575,0	580,0	582,0	582,0
V	Prado con setos / con sebes		523,0					487,0		487,0	517,0	517,0	517,0	514,0
V	Prado		37,2					36,9		36,9	36,9	36,8	36,8	36,7
V	Pastizal-matorral		5,8					5,7		5,8	5,7	5,7	5,7	5,7
V	Porcentaje de población mayor de 65 años		19,4%	19,8%	20,1%	20,6%	21,0%	21,3%	21,6%	21,9%	22,2%	22,4%	23,1%	23,1
V	Porcentaje de población menor de 4 años		5,1%	5,1%	5,1%	4,9%	4,8%	4,7%	4,5%	4,3%	3,1%	3,1%	2,2	2,2%
I	Daños en los bienes causados por inundación (fluvial + embate de mar)	252.542	55.197.517	1.410	3.961.028	13.992.221	3.976.899	2.552.927	3.982.495	949.152	751.409	47.666	5.251.466	
V	Superficie de espacios libres (parques, jardines y zonas verdes urbanas) por habitante (m ² /hab.)		51,3	47,8	47,5	46,3	46,3	47,3	43,2	32,4	371	36,8	42,9	
I	Daños en los bienes causados por embates del mar		52.018,2	0,0	22.059,0	12.560.394,6	19.596,6	2.113.354,8	23.392,8	11.183,4				
V	Densidad población		354,9	356,3	357,4	357,8	358,9	359,2	360,3	361,0	362,5	364,2	363,4	362,2
V	Porcentaje de suelo artificializado		6,7%	6,7%	6,7%	6,8%	6,8%	6,8%	6,8%	6,8%	6,9%	6,9%	6,9%	8,5%
I	Indemnizaciones por desastres naturales (consorcio de compensación de seguros)		9.973.190	55.204.529	21.987	14.228.929	4.089.417	2.555.451	7.190.063	978.036	4.186.809	2.025.623	5.389.864	

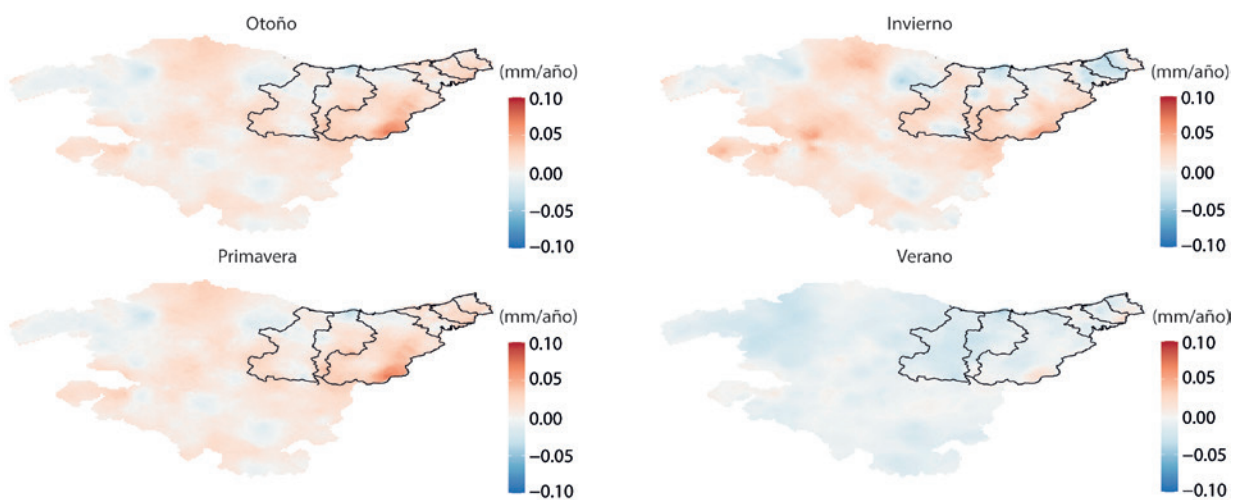
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
SALUD													
Casos autóctonos e importados de paludismo, virus del Nilo Occidental, enfermedad de Lyme, etc.	I						88,0	64,0	59,0				
Porcentaje de personas >80 años que vive solas	V									29%	31%		
Número de alertas por altas temperaturas	P	1	3	1	0	1	2	1	0	2	1		2
Defunciones atribuibles a la temperatura (exceso o defecto)	I					49	56	59	45	31	18	15	19
Universal Thermal Climate Index (UTCI)	I	14,9	15,7	17,1	14,0	16,8	16,8	18,9	17,6	16,9	16,5		
Porcentaje de días en los que se supera el valor límite para la protección de la salud humana (O ₃) (considerando el peor valor de las estaciones de referencia)	P			11%	17%	13%	5%	6%	7%	11%	3%	3%	2%
Porcentaje de días en los que se supera el valor límite diario de PM ₁₀ (considerando el peor valor de las estaciones de referencia)	P			13%	11%	7%	1%	1%	2%	4%	2%	3%	4%
Porcentaje de días en los que se supera el valor límite diario de PM _{2.5} (considerando el peor valor de las estaciones de referencia)	P				21%	19%	23%	24%	19%	13%	12%	24%	8%

ANEXO II

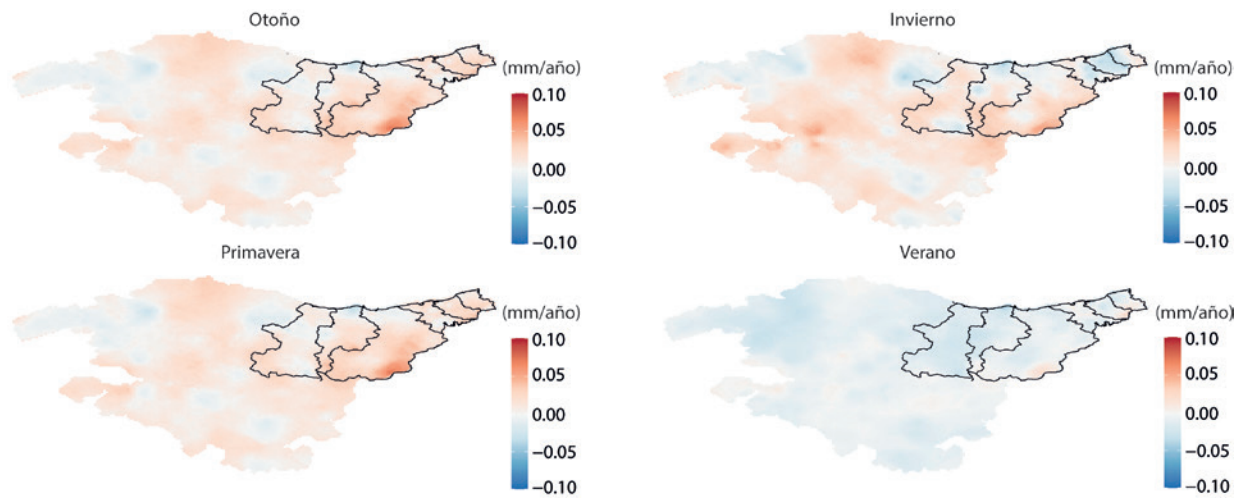
TENDENCIAS ESTACIONALES OBSERVADAS EN LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS



1. Fig. Tendencia estacional de la temperatura media en el periodo 1971–2016. Los cambios se han determinado a partir del ajuste lineal para dicho periodo a partir de la climatología de alta resolución. Fuente de datos: proyecto Escenarios II (Klimatek, 2017).



2. Fig. Tendencia estacional de la precipitación en el periodo 1971–2016. Los cambios se han determinado a partir del ajuste lineal para dicho periodo a partir de la climatología de alta resolución. Fuente de datos: proyecto Escenarios II (Klimatek, 2017).



3. Fig. Tendencia estacional de la evapotranspiración en el periodo 1971–2016. Los cambios se han determinado a partir del ajuste lineal para dicho periodo a partir de la climatología de alta resolución. Fuente de datos: proyecto Escenarios II (Klimatek, 2017).

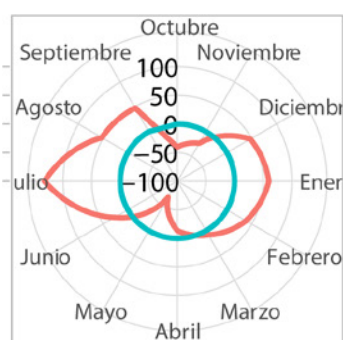
ANEXO III

TENDENCIAS MENSUALES DEL CAUDAL

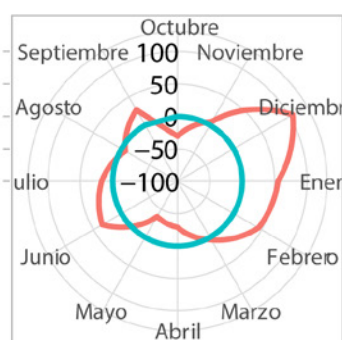
Tendencias mensuales del caudal medido en las estaciones de la red de aforos de Gipuzkoa.

Tendencias expresadas como porcentaje de cambio respecto al año hidrológico de referencia 1999/2000.

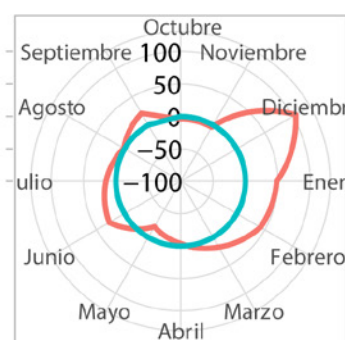
Urkulu



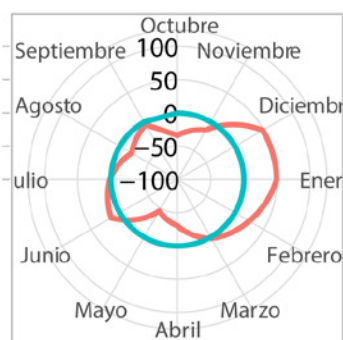
Oñati



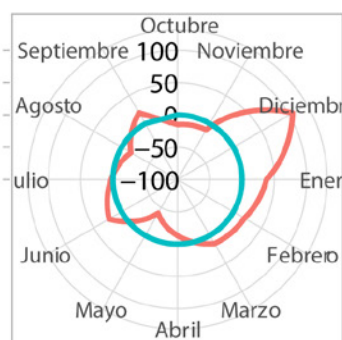
San Prudentzio



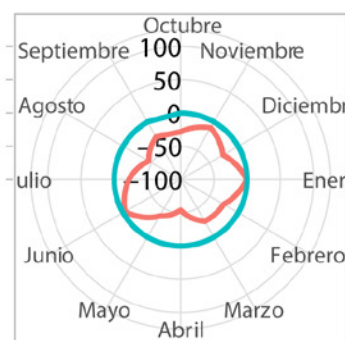
Aixola



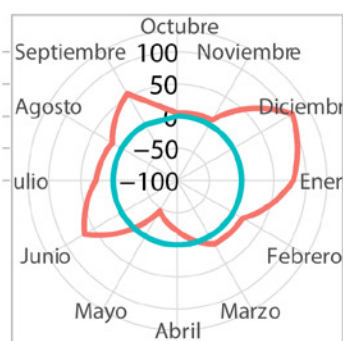
Altzola



Barrendiola



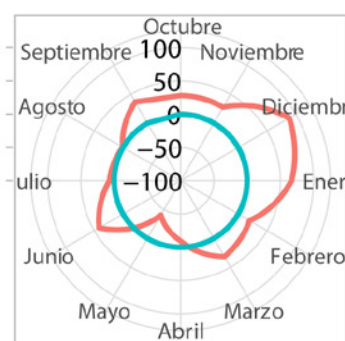
Aitzu



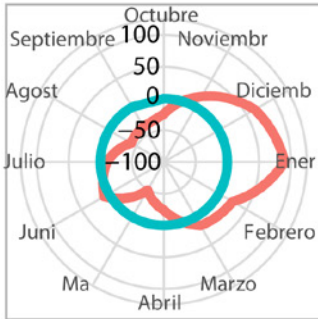
Ibaieder



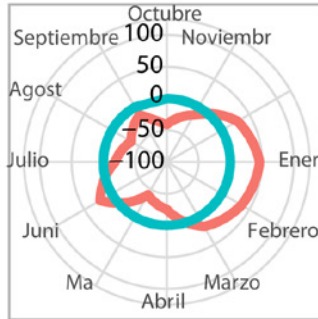
Aizarnazabal



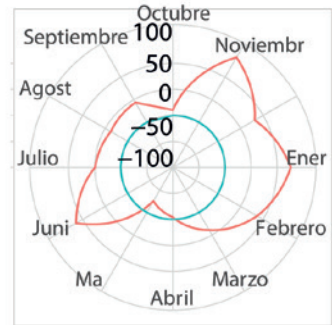
Urkulu



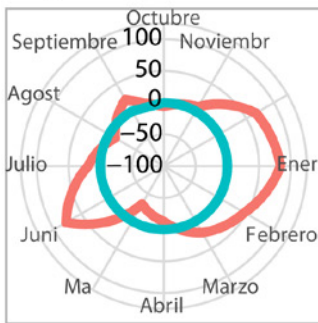
Estanda



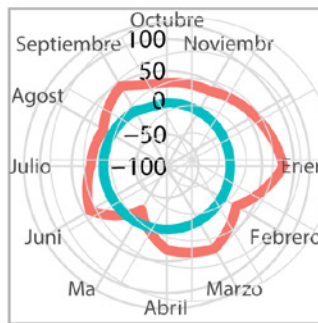
Añarbe



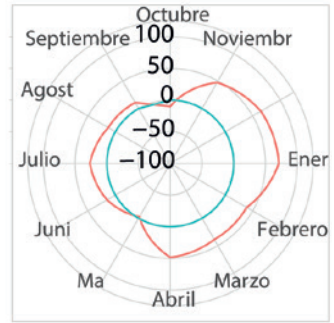
Alegia



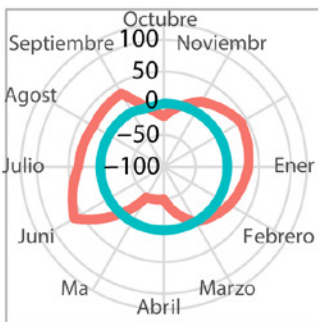
Belauntza



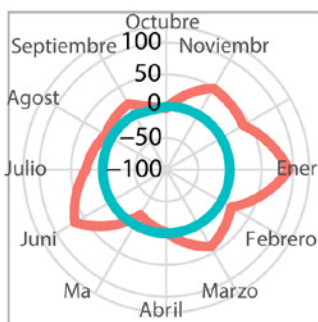
Endara



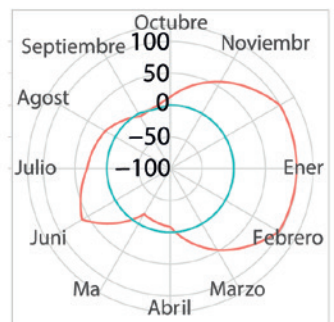
Lasarte



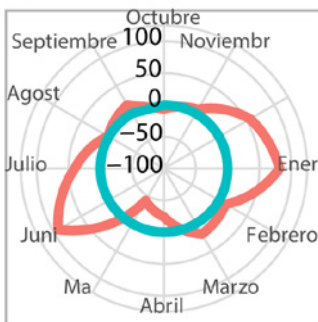
Leitzarar



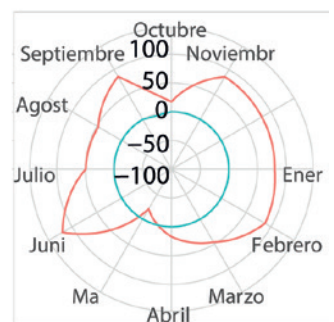
Ereñozu



Agauntza



Oiartzun



GLOSARIO

Acuífero: formación permeable capaz de almacenar y transmitir agua.

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

Año hidrológico: período continuo de doce meses seleccionado de manera que la mayoría de la precipitación tiene su escorrentía dentro del mismo. El año hidrológico incluye a la estación en la que la escorrentía es máxima de tal forma que se minimiza la cantidad de agua de un año que se incorpora al siguiente. En Gipuzkoa, se considera que el año hidrológico comienza el 1 de octubre y finaliza el 30 de septiembre.

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

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

Balance hídrico: se denomina balance hídrico o hidrológico a la evaluación de los aportes y descargas de agua de un sistema, normalmente un acuífero o una cuenca hidrográfica, para un período de tiempo determinado. El cálculo numérico se basa en el principio de que el aporte total a una cuenca o masa de agua (mediante precipitaciones y afluencias) debe ser igual a la salida total de agua (mediante evaporaciones y salidas fluviales) más la variación neta en el almacenamiento acumulado.

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

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

Caudal de un río: cantidad de agua por unidad de tiempo que pasa por la sección de un río.

Caudal ecológico: es aquel que contribuye a alcanzar el buen estado o buen potencial ecológico de los ríos y mantiene, como mínimo, la vida acuática que de manera natural habitan en un río, así como la vegetación de su ribera.

Caudal específico de una cuenca: caudal por unidad de superficie.

Ciclo hidrológico: el ciclo hidrológico, también conocido como ciclo del agua, describe el movimiento continuo del agua en la atmósfera, sobre la superficie de la tierra y los océanos y en el subsuelo, incluyendo sus cambios de fase o estado.

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

Climatologías: variables promedio a lo largo de un período largo, normalmente 30 años.

Demanda bruta: agua entregada a la población con respecto a la captada en los embalses u otros puntos. Incluye las pérdidas en conducciones, depósitos y distribución en alta.

Demanda en alta: agua suministrada a las redes de distribución medida por los contadores en los depósitos de regulación. Incluye las pérdidas en conducciones y distribución en baja, los consumos no facturados, consumos domésticos, industriales, comerciales, etc.

Demanda en baja: volumen de agua consumido por los usuarios urbanos.

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

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

Escenario de emisiones: representación plausible de la evolución futura de las emisiones de sustancias que son, en potencia, radiativamente activas (por ejemplo, gases de efecto invernadero). En el IPCC-AR5 se han definido cuatro escenarios de emisión denominados Sendas Representativas de Concentración (RCP), que definen su forzamiento radiativo total para el año 2100 que varía entre 2,6 y 8,5 W m⁻².

Escorrentía: parte de la precipitación que fluye por la superficie del terreno hacia un curso de agua (escorrentía superficial) o por el subsuelo (escorrentía subterránea o flujo hipodérmico).

Estación de aforos: lugar en un curso de agua donde se mide regularmente el caudal de un río o manantial.

Estacionalidad: variación estacional de una serie temporal en la variación periódica y predecible de la misma con un periodo inferior o igual a un año. Es una de las componentes de las series temporales, y se contrapone a la tendencia y a la variación cíclica.

Estado ecológico: concepto establecido por la Directiva Maco del Agua (2000/60/CE) basado en factores biológicos (flora acuática, macroinvertebrados, peces), físico-químicos (temperatura, pH, oxígeno, contaminantes, etc.) e hidromorfológicos (caudal, características del cauce, etc.).

Estiaje: menor caudal de un río, situación que se repite todos los años en la misma época que, generalmente, coincide con el verano.

Estrés hídrico: situación que se da cuando la demanda de agua es más alta que la cantidad de recurso disponible durante un periodo determinado o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad.

Evaporación: proceso por el cual el agua pasa de estado líquido a gaseoso, transfiriéndose a la atmósfera

Evapotranspiración potencial (ETP): máxima cantidad de agua que una superficie totalmente cubierta de vegetación, y que no padece de falta de agua, puede liberar a

la atmósfera en las condiciones atmosféricas del momento en que se realiza el cálculo.

Evapotranspiración real (ETR): cantidad de agua realmente consumida por un terreno cultivado de acuerdo con las disponibilidades de agua.

Evapotranspiración: pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación durante un periodo determinado. Se expresa en milímetros.

Exposición: presencia de personas, medios de subsistencia, especies o ecosistemas, funciones ambientales, servicios y recursos, infraestructura o activo económico, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente. En este documento hace referencia a los recursos hídricos y elementos asociados analizados que por sus características, ubicación y relaciones, podrían verse afectados por el cambio climático.

Helada: estado atmosférico en superficie en el que la temperatura del aire se encuentra a 0 °C o por debajo de este valor.

Impactos climáticos: consecuencias o efectos sobre los sistemas naturales y humanos. En este informe, los impactos a largo plazo hacen referencia a los efectos sobre las infraestructuras de los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos y el cambio climático. Derivan de la interacción de las amenazas, la exposición y la vulnerabilidad.

Incertidumbre: expresión del grado de desconocimiento de un valor como, por ejemplo, el futuro estado del sistema climático.

Incontrolados: se define como la diferencia entre la demanda bruta y la demanda en baja (consumida). Estos incontrolados son debidos a errores de subcontaje, fugas, acometidas fraudulentas, pérdidas en conducciones, etc.

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

Índice de precipitación estandarizado (SPI): es un índice normalizado que representa la probabilidad de ocurrencia de una cantidad de lluvia comparada con la climatología de precipitación en una cierta localización geográfica y sobre un periodo largo de referencia. Su valor numérico representa el número de desviaciones estándar de la precipitación caída a lo largo del periodo de acumulación de que se trate respecto de la media, una vez que la distribución original de la precipitación ha sido transformada a una distribución normal.

Infiltración: Proceso por el cual el agua se transfiere desde la superficie del terreno hacia las profundidades. Depende de la morfología y composición del terreno.

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

Isoyeta: línea trazada sobre un mapa que une puntos de igual precipitación.

Masa de agua: en el contexto de la Directiva Marco del Agua, una masa de agua se considera aquella unidad discreta y significativa de agua que presenta características homogéneas; por ejemplo, un río completo o un tramo de río.

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

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

Periodo de control: periodo utilizado como referencia para evaluar los cambios futuros.

Periodo de impacto: periodo de años futuros en los que se analiza el impacto del cambio climático con relación al periodo de control. En este trabajo se utilizan tres periodos de impacto: 2011-2040, 2041-2070 y 2070-2100.

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

Precipitación: Hidrometeoro consistente en la caída de un conjunto de partículas acuosas. Las formas de precipitación son: lluvia, llovizna, nieve, cinarra, nieve granulada, polvo diamante, granizo y gránulos de hielo.

Proyección climática: es la respuesta simulada –generalmente mediante el uso de modelos climáticos– del sistema climático a un escenario de emisiones o concentraciones futuras de gases de efecto invernadero y aerosoles. Las proyecciones climáticas se distinguen de las

predicciones por su dependencia del escenario de emisión o concentración considerado. Las proyecciones están por lo tanto condicionadas a las suposiciones relativas a los escenarios que pueden o no tener lugar.

RCP: Vías de Concentración Representativa. Un escenario futuro de concentración de gases de efecto invernadero atmosférico utilizado para definir posibles futuros en la modelización climática definida en el IPCC-AR5.

RCP4.5: vía intermedia de estabilización en las cuales el forzamiento radiativo se estabiliza en $4,5 \text{ Wm}^{-2}$ después de 2100.

RCP8.5: vía alta para la cual el forzamiento radiativo alcanza más de $8,5 \text{ Wm}^{-2}$ para 2100 y continúa aumentando durante cierto tiempo.

Recarga de acuífero: proceso mediante el cual el agua ingresa al almacenamiento subterráneo del acuífero.

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

Regionalización: técnicas de proyección regional ('downscaling') que trasladan los resultados obtenidos por los modelos climáticos globales a regiones de más detalle considerando las características locales, como la orografía, influencia oceánica, usos del suelo, etc.

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

Riesgo: potencial consecuencia cuando algo de valor está en peligro y cuando la ocurrencia y el resultado son inciertos. A menudo se representa como la probabilidad de acaecimiento de tendencias o sucesos peligrosos multiplicada por las consecuencias en caso de que ocurran tales sucesos. El riesgo es analizado considerando la interacción entre el peligro, la exposición y la vulnerabilidad.

Rutas de Concentración Representativas (RCP -Representative Concentration Pathways): escenarios que incluyen series temporales de emisiones y concentraciones del conjunto completo de gases de efecto invernadero y aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso del suelo. La palabra representativa significa que cada RCP proporciona solo uno de los muchos escenarios posibles que conducirían a las características específicas de forzamiento radiativo.

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

Sequía: la sequía consiste en una anomalía transitoria, más o menos prolongada, caracterizada por un periodo de tiempo con valores de las precipitaciones inferiores a los normales en el área. La causa inicial de toda sequía es la escasez de precipitaciones (sequía meteorológica) lo que deriva en una insuficiencia de recursos hídricos necesarios para abastecer la demanda existente (sequía hidrológica).

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

Sistema de explotación: Conjunto de infraestructuras (embalses, canalizaciones, etc.) y medios personales y materiales mediante los que se organiza la provisión de agua para los distintos usos y aprovechamientos existentes en su ámbito territorial.

Usos del agua: distintas clases de utilización del recurso, así como cualquier otra actividad que tenga repercusiones significativas en el estado de las aguas. Estos usos incluyen los de abastecimiento a la población regadíos y

usos agrarios, usos industriales, acuicultura, producción de energía eléctrica, usos recreativos, navegación y transporte acuático.

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

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

REFERENCIAS

- Ajasa, A., & Ahmed, N. (2023). In: Multiple agencies concur: '2022 was one of the Earth's hottest years. The Washington Post. [Internet]. Disponible en: <https://www.washingtonpost.com/climate-environment/2023/01/12/2022-sixth-warmest-record-earth/>
- Allan, R. P., Barlow, M., Byrne, M. P., Cherchi, A., Douville, H., Fowler, H. J., Gan, T.Y., Pendergrass A.G., Rosenfeld, D., Swann, A.L.S., Wilcox, L.J., & Zolina, O. (2020). Advances in understanding large-scale responses of the water cycle to climate change. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1472(1), 49–75.
- Almodóvar, A., Nicola, G., Ayllón, D., & Elvira, B. (2012). Global warming threatens the persistence of Mediterranean brown trout. *Global Change Biology*, 18(5), 1549–1560.
- Arizaga, J., Arrieta, M., Cabido, C., Castro, A., Díaz, B., Fernandes, U., Fernández-Arrieta, A., García, Y., García del Bao, Laso, M., A., Mitxelena, A., & Urkiola, L. (2022). Propuesta de hábitats y especies centinelas para medir los efectos del cambio climático sobre la biodiversidad de Euskadi. Sociedad de Ciencias Aranzadi para Naturklima, Inédito.
- Arluziaga, I. (2002). Variación de la calidad de las aguas de los ríos guipuzcoanos al cabo de veinte años (1981–2001). *Munibe*, 53, 39–56.
- Barranco, L., Dimas, M., Jiménez, A., & Estrada, F. (2018). Nueva evaluación del impacto futuro del cambio climático en los recursos hídricos en España. *Revista Digital Del CEDEX*, (191), 34–55.
- Bates, B.C, Kundzewicz, Z.W., Wu, S., & Palutikof, J.P. (2008). El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra, 224 pág.
- Beguiría, S., Vicente-Serrano, S.M., Reig, F., & Latorre, B. (2014). Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. *International Journal of Climatology*, 34(10), 3001– 3023.
- Bisselink, B., Bernhard, J., Gelati, E., Adamovic, M., Guenther, S., Mentaschi, L., & De Roo, A. (2018). Impact of a changing climate, land use, and water usage on Europe's water resources. EUR 29130 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79-80287-4.
- Blunden, J., & Boyer, T. (2022). State of the Climate in 2021. *Bulletin of American Meteorological Society*, 103(8), S1–S465.
- Briffa, K.R., van der Schrier, G., & Jones, P.D. (2009). Wet and dry summers in Europe since 1750: evidence of increasing drought. *International Journal of Climatology*, 29, 1894– 1905.
- Camargo, J. A., & Alonso, Á. (2006). Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: a global assessment. *Environment international*, 32(6), 831–849.
- Campos, J. A., Garcia-Baquero, G., Cano, L., Biurrun, I., García-Mijangos, I., Loidi, J., & Herrera, M. (2016). Climate and human pressure constraints co-explain regional plant invasion at different spatial scales. *PLoS one*, 11(10), e0164629.
- Caretta, M.A., Mukherji, A., Arfanuzzaman, M., Betts, R.A., Gelfan, A., Hirabayashi, Y., Lissner, T.K., Liu, J., Lopez Gunn, E., Morgan, R., Mwangi, S., & Supratid, S. (2022). Water. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 551–712.
- Carlson, A. K., Taylor, W. W., & Infante, D. M. (2019). Developing precipitation-and groundwater-corrected stream temperature models to improve brook charr management amid climate change. *Hydrobiologia*, 840, 379–398.
- Castro, R., Uriarte, A., Martínez de Murguía, A., & Borja, A. (2004). Biodiversity and conservation of wildlife and natural habitats, Oceanography and Marine Environment of the Basque Country. Elsevier Oceanography Series, The Netherlands, 531–547.
- CEDEX. (2012). Estudios de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua. Efecto del cambio climático en el estado ecológico de las masas de agua. [Internet]. Disponible en: [Estudio de los](#)

[impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua \(miteco.gob.es\)](https://www.miteco.gob.es/es/agua/enlaces-de-interes/caracterizacion-hidrologica-de-sequias_tcm30-436649.pdf)

CEDEX. (2013). Caracterización hidrológica de sequías. [Internet]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/agua/enlaces-de-interes/caracterizacion-hidrologica-de-sequias_tcm30-436649.pdf

CEDEX. (2017). Evaluación del impacto del Cambio Climático en los recursos hídricos y sequías en España. [Internet]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/publicaciones/publicaciones/Memoria_encomienda_CEDEX_tcm30-178474.pdf

CEDEX. (2019). Evaluación de recursos hídricos en régimen natural en España (1940/41-2017/18). [internet]. Disponible en: [cedex-informeerh2019_tcm30-518171.pdf \(miteco.gob.es\)](https://www.miteco.gob.es/es/agua/enlaces-de-interes/evaluacion-de-recursos-hidricos-en-regimen-natural-en-espana-1940-41-2017-18_tcm30-518171.pdf)

CEDEX. (2021). Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España. [Internet]. Disponible en: https://ceh.cedex.es/web_ceh_2018/lmp_CClimatico_Pmax.htm

Cheng, L., Abraham, J., Trenberth, K. E., Fasullo, J., Boyer, T., Mann, M.E., Zhu, J., Wang, F., Locarnini, R., Li, Y., Zhang, B., Yu, F., Wan, L., Chen, X., Feng, L., Song, X., Liu, Y., Reseghetti, F., Simoncelli, S., Gouretski, V., Chen, G., Mishonov, A., Reagan, J., & Li, G. (2023). Another Year of Record Heat for the Oceans. *Advances in Atmospheric Sciences*, 40, 963-974.

Cheng, L., Abraham, J., Trenberth, K. E., Fasullo, J., Boyer, T., Mann, M.E., Zhu, J., Wang, F., Locarnini, R., Li, Y., Zhang, B., Yu, F., Wan, L., Chen, X., Song, X., Liu, Y., Reseghetti, F., Simoncelli, S., Gouretski, V., Chen, G., Mishonov, A. & Reagan, J. (2022). Another Record: Ocean Warming Continues through 2021 despite *La Niña* Conditions. *Advances in Atmospheric Sciences*, 39, 373-385.

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

Coch, A., & Medeiros, L. (2016). Trends in low flows in Sapin in the period 1949-2009. *Hydrology Science Journal*, 61, 3.

Comisión Europea. (2009). Guidance Document No. 19 – Guidance on surface water chemical monitoring under the Water Framework Directive, Paragraph 4.5.3., Technical Report - 2009 – 025

Copernicus. (2022). OBSERVER: 2022: a year of extremes. [Internet]. Disponible en: <https://www.copernicus.eu/en/news/news/observer-2022-year-extremes>

Copernicus Climate Change Service. The Climate Data Store (CDS). [Internet]. Disponible en: <https://climate.copernicus.eu/climate-data-store>

Copernicus Climate Change. (2021). Hydrology related climate impact indicators from 1970 to 2100 derived from bias adjusted European climate projections C3S _ 424 _ SMHI Operational Water Service.

CWC. Central Water Commission. (2019). Effect of time and temperature on DO levels in river waters. [Internet]. Disponible en: <http://cwc.gov.in/sites/default/files/effect-time-and-temperature-do-levels-river-water-2019.pdf>

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

Deng L., Yan W., Zhang Y., & Shangguan Z. (2016). Severe depletion of soil moisture following land-use changes for ecological restoration: evidence from northern China. *Forest Ecology and Management*, 366, 1-10.

Deng, Y., Wang, S., Bai, X., Luo, G., Wu, L., Cao, Y., Li, H., Li, C., Yang, Y., Hu, Z., & Tian, S. (2020). Variation trend of global soil moisture and its cause analysis. *Ecological Indicators*, 110, 105939.

DGOH-DFG. (2017). Estudio de actualización del análisis de las precipitaciones intensas y recomendaciones de cálculo de caudales de avenida en pequeñas cuencas del territorio histórico de Gipuzkoa. [Internet]. Disponible en: [Estudios - Obras Hidráulicas - Diputación Foral de Gipuzkoa](https://www.gipuzkoa.eus/documents/2820648/aba808e0-496f-38a1-c512-352a2925695f)

DGOH-DFG. (2018). Cambio en las condiciones de inundabilidad en Gipuzkoa por el cambio climático. [internet]. Disponible en: <https://www.gipuzkoa.eus/documents/2820648/aba808e0-496f-38a1-c512-352a2925695f>

DGOH-DFG. (2020). Plan Director de Permeabilización de Obstáculos de Gipuzkoa 2020. [Internet]. Disponible en: <https://www.gipuzkoa.eus/documents/2820648/f8fd6bb1-a344-7bdb-f52c-57e3cf808e93>

- DGOH-DFG. (2022). Análisis de la calidad del agua e informe del estado de los estuarios de Gipuzkoa: Año 2022. [Internet]. Disponible en: <https://www.gipuzkoa.eus/documents/2820648/8e6f722f-7793-ba1c-9229-be20f77fce9c>
- Diamantini, E., Lutz, S.R., Malluci, S., Majone, B., Merz, R., & Bellin, A. (2018). Driver detection of water quality trends in three large European river basins. *Science of The Total Environment*, 612, 49–62.
- Dixon, H., Lawler, D. M., & Shamseldin, A. Y. (2006). Streamflow trends in western Britain. *Geophysical Research Letters*, 33, L19406.
- D’Odorico, P., Davis, K. F., Rosa, L., Carr, J. A., Chiarelli, D., Dell’Angelo, J., Gephart, J., MacDonald, G.K., Seekell, D.A., Suweis, S., & Rulli, M. C. (2018). The global food-energy-water nexus. *Reviews of geophysics*, 56(3), 456–531.
- Döll, P. (2009). Vulnerability to the impact of climate change on renewable groundwater resources: a global-scale assessment. *Environmental Research Letters*, 4(3), 035006.
- Douville, H., Raghavan, K., Renwick, J., Allan, R. P., Arias, P. A., Barlow, M., & Zolina, O. (2021). Water Cycle Changes. 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*. [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge.
- Du, X., Shrestha, N. K., & Wang, J. (2019). Assessing climate change impacts on stream temperature in the Athabasca River Basin using SWAT equilibrium temperature model and its potential impacts on stream ecosystem. *Science of The Total Environment*, 650, 1872–1881.
- Dugdale, S. J., Malcolm, I. A., Kantola, K., & Hannah, D. M. (2018). Stream temperature under contrasting riparian forest cover: Understanding thermal dynamics and heat exchange processes. *Science of The Total Environment*, 610–611, 1375–1389.
- EASAC. European Academies Science Advisory Council. (2018). New data confirm increased frequency of extreme weather events, European national science academies urge further action on climate change adaptation. [Internet]. Disponible en: <https://easac.eu/media-room/press-releases/details/new-data-confirm-increased-frequency-of-extreme-weather-events-european-national-science-academies-urge-further-action-on-climate-change-adaptation>
- EEA. (2017). Climate change impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report European Environmental Agency, Report No 1/2017. [Internet]. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016>
- EEA. (2018). Use of freshwater resources. [Internet]. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/publications/environmental-indicator-report-2018>
- EEA. (2021). Water resources across Europe – confronting water stress: an updated assessment.
- EHU-UPV & IHOBE. (2017). Vulnerabilidad hídrica: de las tendencias del pasado reciente a las del futuro.
- Estrela-Segrelles, C., & Pérez-Martín, M.A. (2020). Estrategia de adaptación al cambio climático en la planificación hidrológica a escala de Demarcación. Aplicación en la Demarcación Hidrográfica del Júcar. XI. Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua. 28–38.
- Euskalmet. Informes climatológicos [Internet]. Disponible en: <https://www.euskalmet.euskadi.eus/clima/boletines-climatologicos/>
- Eyring, V., Gillett, N.P., Achuta Rao, K.M., Barimalala, R., Barreiro Parrillo, M., Bellouin, N., Cassou, C., Durack, P.J., Kosaka, Y., McGregor, S., Min, S., Morgenstern, O., & Sun, Y. (2021). Human Influence on 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* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 423–552.
- Feargeman, H. (2012). Update on water scarcity and droughts indicator development. Comisión Europea. [Internet]. Disponible en: <https://circabc.europa.eu/ui/group/9ab5926d-bed4-4322-9aa7-9964bbe8312d/library/c676bfc6-e1c3-41df-8d31-38ad6341cbf9/details>
- Feng, H., & Zhang, M. (2015). Global land moisture trends: drier in dry and wetter in wet over land. *Scientific Reports*, 5, 18018.

- Fenta, A.A., Yasuda, H., Shimizu, K., & Haregeweyn, N. (2017). Response of streamflow to climate variability and changes in human activities in the semiarid highlands of northern Ethiopia. *Regional Environmental Change*, 17, 1229–1240.
- Ficklin, D. L., Abatzoglou, J. T., Robeson, S. M., Null, S. E., & Knouft, J. H. (2018). Natural and managed watersheds show similar responses to recent climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(34), 8553–8557.
- Ficklin, D. L., Barnhart, B. L., Knouft, J. H., Stewart, I. T., Maurer, E. P., Letsinger, S. L., & Whittaker, G. W. (2014). Climate change and stream temperature projections in the Columbia River basin: habitat implications of spatial variation in hydrologic drivers. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 4897–4912.
- Forzieri, G., Feyen, L., Rojas, R., Flörke, M., Wimmer, F., & Bianchi, A. (2014). Ensemble projections of future streamflow droughts in Europe. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 85–108.
- Friedlingstein, P., Jones, M. W., O'Sullivan, M., Andrew, R. M., Bakker, D. C. E., Hauck, J., Le Quééré, C., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Sitch, S., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Alin, S. R., Anthoni, P., Bates, N. R., Becker, M., Bellouin, N., Bopp, L., Chau, T. T. T., Chevallier, F., Chini, L. P., Cronin, M., Currie, K. I., Decharme, B., Djeutchouang, L. M., Dou, X., Evans, W., Feely, R. A., Feng, L., Gasser, T., Gilfillan, D., Gkritzalis, T., Grassi, G., Gregor, L., Gruber, N., Gürses, Ö., Harris, I., Houghton, R. A., Hurtt, G. C., Iida, Y., Ilyina, T., Luijckx, I. T., Jain, A., Jones, S. D., Kato, E., Kennedy, D., Klein Goldewijk, K., Knauer, J., Korsbakken, J. I., Körtzinger, A., Landschützer, P., Lauvset, S. K., Lefèvre, N., Lienert, S., Liu, J., Marland, G., McGuire, P. C., Melton, J. R., Munro, D. R., Nabel, J. E. M. S., Nakaoka, S.-I., Niwa, Y., Ono, T., Pierrot, D., Poulter, B., Rehder, G., Resplandy, L., Robertson, E., Rödenbeck, C., Rosan, T. M., Schwinger, J., Schwingshackl, C., Séférian, R., Sutton, A. J., Sweeney, C., Tanhua, T., Tans, P. P., Tian, H., Tilbrook, B., Tubiello, F., van der Werf, G. R., Vuichard, N., Wada, C., Wanninkhof, R., Watson, A. J., Willis, D., Wiltshire, A. J., Yuan, W., Yue, C., Yue, X., Zaehle, S., & Zeng, J. (2022). Global Carbon Budget 2021. *Earth System Science Data*, 14, 1917–2005.
- Gallego-Ayala, J. (2013). Trends in integrated water resources management research: a literature review. *Water Policy*, 15(4), 628–647.
- García-Soto, C.; Cheng, L.; Caesar, L.; Schmidtko, S.; Jewett, E.B.; Cheripka, A.; Rigor, I.; Caballero, A.; Chiba, S.; Báez, J.C.; Zielinski, T., & Abraham, J.P. (2021). An Overview of Ocean Climate Change Indicators: Sea Surface Temperature, Ocean Heat Content, Ocean pH, Dissolved Oxygen Concentration, Arctic Sea Ice Extent, Thickness and Volume, Sea Level and Strength of the AMOC (Atlantic Meridional Overturning Circulation). *Frontiers in Marine Science*, 8, 642372.
- García-Ruiz, J.M., López-Moreno, J.I., Vicente-Serrano, S.M., Lasanta-Martínez, T., & Beguería, S. (2011). Mediterranean water resources in a global change scenario. *Earth Science Reviews*, 105 (3–4), 121–139.
- Gobierno Vasco. (2002). Caracterización de las masas de agua superficiales continentales de la CAPV. [Internet]. Disponible en: <https://www.euskadi.eus/gobierno-vasco/-/libro/tomo-4-y-5-humedales/>
- Green, T.R., Bates, B.C., Charles, S.P., & Fleming, P.M. (2007). Physically based simulation of potential effects of carbon dioxide altered climates on groundwater recharge. *Vadose Zone Journal*, 6 (3), 597–609.
- Greve, P., Orlowsky, B., Mueller, B., Sheffield, J., Reichstein, M., & Seneviratne, S.I. (2014). Global assessment of trends in wetting and drying over land. *Nature Geosciences*, 7, 716–721.
- Gruber, N., Clement, D., Carter, B. R., Feely, R. A., van Heuven, S., Hoppema, M., Ishii, M., Key, R. M., Kozyr, A., Lauvset, S. K., Lo Monaco, C., Mathis, J. T., Murata, A., Olsen, A., Perez, F. F., Sabine, C. L., Tanhua, T., & Wanninkhof, R. H. (2019). The oceanic sink for anthropogenic CO₂ from 1994 to 2007. *Science*, 363, 1193–1199.
- Gudmundsson, L., Boulange, J., Do, H.X., Gossling, S.N., Grillakis, M.G., Koutroulis, A.G., Leonard, M., Liu, J., Ccmied, H.M., Papadimitriou, L., Pokhrel, Y., Seneviratne, S.I., Satoh, Y., Thiery, W., Westra, S., Zhang, X., & Zhao, F. (2021). Globally observed trends in mean and extreme river flow attributed to climate change. *Science*, 371(6534), 1159–1162.
- Gudmundsson, L., Seneviratne, S. & Zhang, X. (2017). Anthropogenic climate change detected in European renewable freshwater resources. *Nature Climate Change*, 7, 813–816.
- Gulev, S. K. et al., (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 [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, In press

- Hammond, D., & Pryce, A. R. (2007). Climate change impacts and water temperature. Environment Agency.
- Hannah, D. M., & Garner, G. (2015). River water temperature in the United Kingdom: Changes over the 20th century and possible changes over the 21st century. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 39, 68–92.
- Hannaford, J. (2015). Climate-driven changes in UK river flows: A review of the evidence. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 39(1), 29–48.
- Hannaford, J., Buys, G., Stahl, K., & Tallaksen, L.M. (2013). The influence of decadal-scale variability on trends in European streamflow records. *Hydrology and Earth Systems Sciences*, 17, 2717–2733.
- Harrigan, S., Hannaford, J., Muchan, K., & Marsh, T.J. (2018). Designation and trend analysis of the updated UK Benchmark Network of river flow stations: The UKBN2 dataset. *Hydrology Research*, 49(2), 552–567.
- Harrigan, S., Murphy, C., Hall, J., Wilby, R. L., & Sweeney, J. (2014). Attribution of detected changes in streamflow using multiple working hypotheses. *Hydrology Earth System Sciences*, 18, 1935–1952.
- Hassan, H., Aramaki, T., Hanaki, K., Matsuo, T., Wilby, R. (1998). Lake stratification and temperature profiles simulated using downscaled GCM output. *Water Science & Technology*, 38 (11), 217–226.
- Hawkins, E., Frame, D., Harrington, L., Joshi, M., King, A., Rojas, M., & Sutton, R. (2020). Observed emergence of the climate change signal: From the familiar to the unknown. *Geophysical Research Letters*, 47, e2019GL086259.
- He, X., Wada, Y., Wanders, N., & Sheffield, J. (2017). Human water management intensifies hydrological drought in California. *Geophysical Research Letters*, 44, 1777–1785.
- Herrera-Pantoja, M., & Hiscock, K.M. (2008). The effects of climate change on potential groundwater recharge in Great Britain. *Hydrology Processes*, 22 (1), 73–86.
- Iglesias, A., Estrela, T., & Gallart, F. (2005). Impactos sobre los recursos hídricos. Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente y Universidad de Castilla-La Mancha, 303–354.
- Ihobe. (2017). Escenarios de cambio climático de alta resolución para el País Vasco. Fase II: Datos diarios con metodología de corrección de sesgo.
- Ihobe. (2019). Escenarios regionales de cambio climático de alta resolución para el País Vasco. Elaborado por NEIKER para Ihobe- Gobierno Vasco. [Internet]. Disponible en: <http://escenariosklima.ihobe.eus/>
- IPCC. (2014). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.
- IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp.
- Jackson, F. L., Fryer, R. J., Hannah, D. M., Millar, C. P., & Malcolm, I. A. (2018). A spatio-temporal statistical model of maximum daily river temperatures to inform the management of Scotland's Atlantic salmon rivers under climate change. *Science of The Total Environment*, 612, 1543–1558.
- Junkermann, W., & Hacker, J. (2022). Unprecedented levels of ultrafine particles, major sources, and the hydrological cycle. *Scientific Reports*, 12(1), 7410.
- Jyrkama, M.I. & Sykesa, J.F. (2007). The impact of climate change on spatially varying groundwater recharge in the Grand River watershed (Ontario). *Journal of Hydrology*, 338, 237–250.
- Kendall, M.G. (1975). Rank correlation methods. Charles Griffin: London, UK.

- Kreienkamp, F.; et al. (2021). Rapid attribution of heavy rainfall events leading to the severe flooding in Western Europe during July 2021. World Weather attribution. [Internet]. Disponible en: [Scientific-report-Western-Europe-floods-2021-attribution.pdf \(worldweatherattribution.org\)](https://www.worldweatherattribution.org/report-Western-Europe-floods-2021-attribution.pdf)
- Lal, P., Shekhar, A., Gharun, M., & DSas, N. (2023). Spatiotemporal evolution of global long-term patterns of soil moisture. *Science of The Total Environment*, 867, 161470.
- Liu, Z., Deng, Z., Davis, S.J., Giron, C., & Ciais, P. (2022). Monitoring global carbon emissions in 2021. *Nature Reviews Earth and Environment*, 3, 217–219.
- 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.
- Lorenzo-Lacruz, J., Vicente-Serrano, S. M., López-Moreno, J. I., Morán-Tejeda, E., & Zabalza, J. (2012). Recent trends in Iberian streamflows (1945–2005). *Journal of Hydrology*, 414, 463–475.
- Mann, H.B. (1945). Non-parametric test against trend. *Econometrika*, 13, 245–259.
- Matthews, H. D., & Wynes, S. (2022). Current global efforts are insufficient to limit warming to 1.5 C. *Science*, 376(6600), 1404–1409.
- Merritt, W., Alila, Y., Barton, M., Taylor, B., Cohen, S., & Neilsen, D., 2006. Hydrologic response to scenarios of climate change in the Okanagan basin, British Columbia. *Journal of Hydrology*, 326, 79–108.
- Michel, A., Brauchli, T., Lehning, M., Schaeffli, B., & Huwald, H. (2020). Stream temperature and discharge evolution in Switzerland over the last 50 years: annual and seasonal behaviour. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24, 115–142.
- Mishra, B. K., Kumar, P., Saraswat, C., Chakraborty, S., & Gautam, A. (2021). Water security in a changing environment: Concept, challenges and solutions. *Water*, 13(4), 490.
- Molina, J. L., Pulido-Velázquez, D., García-Aróstegui, J. L., & Pulido-Velázquez, M. (2013). Dynamic Bayesian Networks as a Decision Support tool for assessing Climate Change impacts on highly stressed groundwater systems. *Journal of Hydrology*, 479, 113–129.
- Morrison, J., Quick, M.C., & Foreman, M.G.G. (2002). Climate change in the Fraser River watershed: Flow and temperature projections. *Journal of Hydrology*, 263, 230–244.
- Naturklima. (2022). Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa. Infraestructuras Críticas. [Internet]. Disponible en: <https://www.naturklima.eus/informe-de-impacto-y-vulnerabilidad-al-cambio-climatico-en-gipuzkoa-2022.htm>
- Naturklima (2023). Precipitaciones intensas. [internet]. Disponible en: <https://naturklima.eus/documentos/documentos/Focus-3-febrero-2023Precipitacion.pdf>
- Nicholls, R.J., Lincke, D., Hinkel, J., Brown, S., Vafeidis, A.T., Meyssignac, B., Hnason, S.E., Merkens, J.L., & Fang, J. (2021). A global analysis of subsidence, relative sea-level change and coastal flood exposure. *Nature Climate Change*, 11, 338–342.
- NOAA National Centers for Environmental information. (2022). Climate at a Glance: Global Time Series. [Internet]. Disponible en: <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/>
- NOAA National Centers for Environmental Information. (2023). Monthly Global Climate Report for Annual 2022. [Internet]. Disponible en: <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202213>
- Null, S. E., Viers, J. H., Deas, M. L., Tanaka, S. K., & Mount, J. F. (2013). Stream temperature sensitivity to climate warming in California's Sierra Nevada: impacts to coldwater habitat. *Climatic Change*, 116, 149–170.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2021). Climate and Water (2020). [Internet]. Disponible en: <https://public.wmo.int/en/resources/world-meteorological-day/previous-world-meteorological-days/climate-and-water>
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2022). The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2021. [Internet]. Disponible en: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11352
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2023). Global sea-level rise and implications. Key facts and figures. [Internet]. Disponible en: [https://ane4bf-datap1.s3-eu-west-1.amazonaws.com/wmocms/s3fs-public/ckeditor/files/WMO Global Sea Level Rise Fact sheet 15 Feb Final 1.pdf?0vuuTU1EiltzLVOcCOXA7cKV.huYKW](https://ane4bf-datap1.s3-eu-west-1.amazonaws.com/wmocms/s3fs-public/ckeditor/files/WMO%20Global%20Sea%20Level%20Rise%20Fact%20sheet%2015%20Feb%20Final%201.pdf?0vuuTU1EiltzLVOcCOXA7cKV.huYKW)

- Organización de Naciones Unidas (ONU). Objetivos de Desarrollo Sostenible. [Internet]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Peña-Angulo, D., Vicente-Serrano, S.M., Domínguez-Castro, F., Murphy, C., Reig, F., Trambly, Y., Trigo, R.M., Luna, M.Y., Turco, M., Noguera, I., Aznárez-Balta, M., García-Herrera, R., Tomas-Burguera, M., & El Kenawy, A. (2020). Long-term precipitation in Southwestern Europe reveals no clear trend attributable to anthropogenic forcing. *Environmental Research Letters*, 15, 094070.
- Pernía J.M., & Fornes, J. (2009). Climate Change and Groundwater. *Enseñanza de Las Ciencias de La Tierra*, 17(2), 172–178.
- Pulido-Velázquez, D., Collados-Lara, A. J., & Alcalá, F. J. (2018). Assessing impacts of future potential climate change scenarios on aquifer recharge in continental Spain. *Journal of Hydrology*, 567, 803–819.
- Samaniego, L., Thober, S., Kumar, R., Wanders, N., Rakovec, O., Pan, M., Zink, M., Sheffield, J., Wood, E.F., & Marx, A. (2018). Anthropogenic warming exacerbates European soil moisture droughts. *Nature Climate Change*, 8, 421–426.
- Santiago, J. M., Muñoz-Mas, R., Solana-Gutiérrez, J., García de Jalón, D., Alonso, C., Martínez-Capel, F., Pórtoles, J., Monjo, R., & Ribalaygua, J. (2017). Waning habitats due to climate change: the effects of changes in streamflow and temperature at the rear edge of the distribution of a cold-water fish. *Hydrology and Earth System Science*, 21, 4073–4101.
- Schellnhuber, H. J., Heinke, J., Gerten, D., Haddeland, I., Arnell, N. W., Clark, D. B., Dankers, R., Eisner, S., & Kabat, P. (2014). Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(9), 3245–3250.
- Schindler, D.W. (1997). Widespread effects of climatic warming on freshwater ecosystems. *Hydrological Processes*, 11, 1043–1067.
- Simmons, A., Hersbach, H., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Vamborg, F., Berrisford, P., de Rosnay, P., Willet, K., & Wollen, J. (2021). Low frequency variability and trends in surface air temperature and humidity from ERA5 and other datasets. ECMWF Technical Memoranda.
- Spinoni, J., Vogt, J.V., Barbosa, P., Dosio, A., McCormick, N., Bigano, A., & Füssler, H.-M. (2018). Changes of heating and cooling degree-days in Europe from 1981 to 2100. *International Journal of Climatology*, 38, e191–e208.
- Strauss, B. H., Orton, P. M., Bittermann, K., Buchanan, M. K., Gilford, D. M., Kopp, R. E., Kulp, S., Massey, C., de Moel, H., & Vinogradov, S. (2021). Economic damages from Hurricane Sandy attributable to sea level rise caused by anthropogenic climate change. *Nature communications*, 12(1), 1–9.
- Sun, P., Wu, Y., Wei, X., Sivakumar, B., Qiu, L., Mu, X., Chen, J. & Gao, J. (2020). Quantifying the contribution of climate variation, land use change, and engineering measures for dramatic reduction in streamflow and sediment in a typical loess watershed, China. *Ecological Engineering*, 142, 105611.
- Tijdeman, E., Hannaford, J., & Stahl, K. (2018). Human influences on streamflow drought characteristics in England and Wales. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22, 1051–1064.
- Tomas-Burguera, M., Beguería, S., & Vicente-Serrano, S.M. (2020). Climatology and trends of reference evapotranspiration in Spain. *International Journal of Climatology*, 441 (1), E1860–E1874.
- Toreti, A., Masante, D., Acosta Navarro, J., Bavera, D., Cammalleri, C., De Felice, M., de Jager, A., Di Ciollo, C., Hrst Essenfelder, A., Maetens, W., Magni, D., Mazzeschi, M., Spinoni, J. (2022). Drought in Europe July 2022. EUR 31147 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-54953-6.
- Trenberth, K. E., Cheng, L., Jacobs, P., Zhang, Y., & Fasullo, J. (2018). Hurricane Harvey links to ocean heat content and climate change adaptation. *Earth Future*, 6, 730–744.
- Turner, A. J., Kim, J., Fitzmaurice, H., Newman, C., Worthington, K., Chan, K., Wooldridge, P.J., Köehler, P., Frankenberg, C., & Cohen, R.C. (2020). Observed impacts of COVID-19 on urban CO2 emissions. *Geophysical Research Letters*, 47, e2020GL090037.
- UNESCO World Water Assessment Programme. (2020). The United Nations World Water development report 2020: water and climate change. 219 pág. Disponible en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372985_locale=en
- URA – Agencia Vasca del Agua (2020). *Actualización del estudio de las demandas de agua en la CAPV*. [Internet]. Disponible en: https://www.uragentzia.euskadi.eus/contenidos/documentacion/2021_demanda/es_def/adjuntos/Actualizacion-del-Estudio-de-la-demanda_2021.pdf

URA – Agencia Vasca del Agua. (2022). Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental Ciclo de planificación hidrológica 2022–2027.

URA – Agencia Vasca del Agua (2022). *Propuesta de Proyecto del Plan Hidrológico de la Demarcación del Cantábrico Oriental Revisión para el tercer ciclo: 2022–2027. Memoria – Anejo III: Usos y demandas del agua.* [Internet]. Disponible en: https://www.uragentzia.euskadi.eus/contenidos/informacion/plan_hidrologico_2022_2027/es_def/adjuntos/Anejo-03 Usos-y-demandas_20230124.pdf

van Vliet, M.T.H., Vögele, S., & Rübhelke, D. (2013). Water constraints on European power supply under climate change: Impacts on electricity prices. *Environmental Research Letters*, 8, 035010.

Vicente-Serrano, S.M., Azorin-Molina, C., Sanchez-Lorenzo, A., Revuleto, J., López-Moreno, J.I., González-Hidalgo, J.C., Moran-Tejeda, E., & Espejo, F. (2014). Reference evapotranspiration variability and trends in Spain, 1961–2011. *Global and Planetary Change*, 121, 26–40.

Vicente-Serrano, S.M., Domínguez-Castro, F., Murphy, C., Hannaford, J., Reig, F., Peña-Angulo, D., Tramblay, Y., Trigo, R.M., MacDonald, N., Luna, M.Y., Carthy, M.M., Van der Schier, G., Turco, M., Camuffo, D., Noguera, I., García-Herrera, R., Becherini, F., Valle, A.D., Tomas-Burguera, M., & El Kenawy, A. (2020). Long-term variability and trends in meteorological droughts in Western Europe (1851–2018). *International Journal of Climatology*, 41 (1), E690– E717.

Vicente-Serrano, S. M., Peña-Gallardo, M., Hannaford, J., Murphy, C., Lorenzo-Lacruz, J., Dominguez-Castro, F., López-Moreno, J.I., Noguera, I., Harrigan, S., & Vidal, J.-P. (2019). Climate, irrigation, and land cover change explain streamflow trends in countries bordering the Northeast Atlantic. *Geophysical Research Letters*, 46, 10821– 10833.

von Schuckmann, K., Cheng, L., Palmer, M. D., Hansen, J., Tassone, C., Aich, V., Adusumilli, S., Beltrami, H., Boyer, T., Cuesta-Valero, F. J., Desbruyères, D., Domingues, C., García-García, A., Gentile, P., Gilson, J., Gorfer, M., Haimberger, L., Ishii, M., Johnson, G. C., Killick, R., King, B. A., Kirchengast, G., Kolodziejczyk, N., Lyman, J., Marzeion, B., Mayer, M., Monier, M., Monselesan, D. P., Purkey, S., Roemmich, D., Schweiger, A., Seneviratne, S. I., Shepherd, A., Slater, D. A., Steiner, A. K., Straneo, F., Timmermans, M.-L., and Wijffels, S. E. (2020). Heat stored in the Earth system: where does the energy go?. *Earth System Science Data*, 12, 2013–2041.

von Schuckmann, K., Palmer, M. D., Trenberth, K. E., Cazenave, A., Chambers, D., Champollion, N., Hansen, J., Josey, S.A., Loeb, N., Mathieu, P.-P., Meyssignac, B., & Wild, M. (2016). An imperative to monitor Earth's energy imbalance. *Nature Climate Change*, 6, 138.

Wada, Y., Van Beek, L.P.H., Wanders, N., & Bierkens, M.F.P. (2013). Human water consumption intensifies hydrological drought worldwide. *Environmental Research Letters*, 8(3).

Wang, Z., Xie, P., Lai, C., Chen, X., Wu, X., Zeng, Z., & Li, J. (2017). Spatiotemporal variability of reference evapotranspiration and contributing climatic factors in China during 1961–2013. *Journal of Hydrology*, 544, 97–108.

Watts, G., Battarbee, R. W., Bloomfield, J. P., Crossman, J., Daccache, A., Durance, I., Elliott, J. A., Garner, G., Hannaford, J., Hannah, D. M., Hess, T., Jackson, C. R., Kay, A. L., Kernan, M., Knox, J., Mackay, J., Monteith, D. T., Ormerod, S. J., Rance, J., Stuart, M. E., Wade, A. J., Wade, S. D., Weatherhead, K., Whitehead, P. G., & Wilby, R. L. (2015). Climate change and water in the UK – past changes and future prospects. *Progress in Physical Geography*, 39, 6–28.

WCRP Global Sea Level Budget Group. (2018). Global sea-level budget 1993–present. *Earth System Science Data*, 10, 1551–1590.

Webb, B.W., & Nobilis, F. (2007) Long-term changes in river temperature and the influence of climatic and hydrological factors. *Hydrological Sciences Journal*, 52 (1), 74–85.

Weiss, L. C., Pötter, L., Steiger, A., Kruppert, S., Frost, U., & Tollrian, R. (2018). Rising pCO₂ in Freshwater Ecosystems Has the Potential to Negatively Affect Predator-Induced Defenses in *Daphnia*. *Current Biology*, 28(2), 327–332.e3.

Westra, S., Fowler, H. J., Evans, J. P., Alexander, L. V., Berg, P., Johnson, F., Kendon, E. J., Lenderink, G., & Roberts, N. M. (2014). Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall. *Reviews of Geophysics*, 52, 522– 555.

Wijffels, S., Roemmich, D., Monselesan, D., Church, J., & Gilson, J. (2016). Ocean temperatures chronicle the ongoing warming of Earth. *Nature Climate Change*, 6, 116–118.

Yeste, P., Dorador, J., Martín-Rosales, W., Molero, E., Esteban-Parra, M.J., & Rueda, F.J. (2018). Climate-driven trends in the streamflow records of a reference hydrologic network in Southern Spain. *Journal of Hydrology*, 566, 55–72.

Yue, S., Pilon, P., Phinney, B., & Cavadias, G. (2002). The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes*, 16, 1807–1829.

Zeebe, R. E., Ridgwell, A., & Zachos, J. C. (2016). Anthropogenic carbon release rate unprecedented during the past 66 million years. *Nature Geosciences*, 9, 325–329.

Zelinka, M. D., Myers, T. A., McCoy, D. T., Po-Chedley, S., Caldwell, P. M., Ceppi, P., Klein, S.A., & Taylor, K. E. (2020). Causes of higher climate sensitivity in CMIP6 models. *Geophysical Research Letters*, 47(1), e2019GL085782.

Zeng, N., Zaehle, S., Wiltshire, A., Viovy, N., Vandemark, D., van Heuven, S. and Takahashi, T. (2015). Global Carbon Budget 2015. *Earth System Science Data*, 7(2).

Zhai, R., Tao, F., Lall, U., Fu, B., Elliot, J., & Jägermeyr, J. (2020). Larger drought and flood hazards and adverse impacts on population and economic productivity under 2.0 than 1.5°C warming. *Earth's Future*, 8(7), e2019EF001398.

Zhang, W., Villarini, G., & Wehner, M. (2019). Contrasting the responses of extreme precipitation to changes in surface air and dew point temperatures. *Climatic Change*, 154(1), 257–271.



Gipuzkoako
Foru Aldundia
Jasangarritasun
Departamentua



Diputación Foral
de Gipuzkoa
Departamento de
Sostenibilidad



Naturklima
Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa