

/G 2021

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

Gipuzkoako
Foru Aldundia
Departamento de Medio Ambiente
y Obras Hidráulicas



ETORKIZUNA ORAIN
Es futuro



Naturklima
Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa

/G 2021

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

Gipuzkoako
Foru Aldundia
Departamento de Medio Ambiente
y Obras Hidráulicas



ETORKIZUNA ORAIN
Es futuro



Naturklima

Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa

ÍNDICE

Introducción	9
Parte I. Bases del cambio climático	17
1. Cambios observados en el cambio climático global	19
2. Principales causas del cambio climático.....	29
3. Cambios observados en las variables climáticas de Gipuzkoa.....	33
4. Cambios físicos proyectados.....	42
Parte II. Sistema natural	51
5. Cobertura y usos del suelo	53
6. Recursos hídricos	55
7. Zonas costeras.....	63
Parte III. Sistema socioeconómico	69
8. Salud.....	71
9. Núcleos de población.....	75
10. Sector agroforestal.....	79
11. Sector pesquero	87
12. Energía.....	89
13. Transporte	95
14. Industria.....	101
15. Turismo y actividades de ocio	107
16. Servicios financieros.....	111
Parte IV. Informe de evolución de los indicadores marino-costeros. Observatorio marino-costero de Gipuzkoa	117
Informe observatorio costero.....	119
Anexos. Glosarios. Referencias	157
Anexo I. Seguimiento de indicadores.....	159
Glosario	168
Referencias.....	172



Naturklima

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

Gipuzkoako
Foru Aldundia
Departamento de Medio Ambiente
y Obras Hidráulicas



ETORKIZUNA ORAIN
Es futuro

/G

Informe de Impacto
y Vulnerabilidad al
Cambio Climático
en Gipuzkoa

El cambio climático en Gipuzkoa



José Ignacio Asensio Bazterra

Diputado de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas
Presidente de Naturklima

El cambio climático es una realidad incuestionable y mucho más cercana en el tiempo y en el espacio de lo que nos indica nuestra percepción. El primer informe sobre el estado del cambio climático en Gipuzkoa, publicado en 2020 por Naturklima, confirmó con datos esta afirmación. El calentamiento no es un fenómeno del futuro o que suceda exclusivamente en los polos, está aquí y tiene graves efectos en nuestro territorio que es necesario abordar, si no queremos poner en riesgo la salud y el bienestar de nuestra ciudadanía.

Según los datos y conclusiones corroboradas por este Informe de Impacto y Vulnerabilidad del Cambio Climático en Gipuzkoa, en la presente edición de 2021, en los últimos 50 años la temperatura en nuestro territorio ha subido 1,2° C y tenemos 30 días cálidos más al año. El verano se ha alargado un mes y, de seguir así, a finales de siglo podemos alcanzar aumentos de entre 3 y 4° C. La afección será especialmente intensa en nuestras costas: el nivel del mar se elevará entre 50 y 70 cm. y un tercio de nuestras playas corren el riesgo de desaparecer.

Las principales consecuencias de los citados fenómenos se traducirán en forma de sequías, inundaciones fluviales e inundaciones marítimas por subidas de nivel de mar que afectarán directamente al 40% de la población de Gipuzkoa, porcentaje que se corresponde con el de residentes en el litoral guipuzcoano. En su vertiente económica, los impactos serán especialmente significativos sobre el turismo o las infraestructuras viarias que pueden verse afectadas por desprendimientos y llegar a afectar a las cadenas de suministro de la industria.

Además de los citados, los efectos sobre la salud son otra consecuencia directa, si tenemos en cuenta que el efecto de las olas de calor puede incrementar las tasas de mortalidad en Gipuzkoa en torno a un 6,5%, a partir de los 30° C. A todo ello,

hay que sumar las afecciones a la biodiversidad, a los ecosistemas forestales o la aceleración de la degradación del suelo debida a los periodos de sequía y las precipitaciones extremas.

Disponer de esta información es básico para poder anticiparnos y dar una respuesta con las políticas de adaptación y mitigación necesarias. Con esta finalidad, se aprobó la estrategia guipuzcoana de cambio climático, Gipuzkoa Klima 2050, para desarrollar programas de cambio climático, economía circular y sostenibilidad energética.

En este contexto, la Fundación Guipuzcoana de Cambio Climático, Naturklima, tiene como finalidad proporcionar la información sobre los impactos que afectan a nuestro territorio e impulsar la transición ecológica de Gipuzkoa, colaborando en la extensión de las energías renovables y en el desarrollo de una nueva economía verde. El objetivo de todo ello no es otro que sentar las bases para mantener e incrementar los niveles de bienestar de nuestra ciudadanía en una sociedad respetuosa con el medio ambiente y carbónicamente neutra.

La lucha contra el cambio climático es un reto global, pero requiere de una acción local clara. En Gipuzkoa universidades, centros tecnológicos, empresas, industria, instituciones y ciudadanía, debemos ser capaces de participar activamente en este proceso, mejorando nuestros comportamientos y aprovechando las oportunidades para conducir a nuestro territorio por la senda del desarrollo sostenible. Nuestro futuro depende de ello.



Introducción



Gipuzkoako
Foru Aldundia
Departamento de Medio Ambiente
y Obras Hidráulicas



ETORKIZUNA ORAIN
Es futuro

INTRODUCCIÓN



El cambio climático es uno de los grandes desafíos del S. XXI. En 2014, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) hacía público su último Informe de Evaluación (V Informe de Evaluación). En el mismo se ponía de manifiesto que el cambio del sistema climático es inequívoco y que es sumamente probable que la causa principal sea las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) originadas por las actividades humanas. Las concentraciones actuales en la atmósfera de los GEI más habituales (dióxido de carbono, metano y óxido nitroso), son las mayores en, al menos, los últimos 800.000 años, habiendo crecido de forma exponencial desde la era preindustrial hasta la actualidad. Así mismo, el informe “Unidos en la Ciencia” elaborado en el marco de la Cumbre sobre la Acción Climática de las Naciones Unidas (Nueva York, septiembre 2020) destaca que los impactos son crecientes e irreversibles, afectando a todos los ecosistemas, las economías y las condiciones de vida de las personas, palpándose este último a través de los peligros relacionados con el agua, como son las sequías o las inundaciones; aspectos que también la analiza y sobre los que alerta la propia Organización de las Naciones Unidas en su informe de 2020 sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (París, marzo 2020).

El informe “Unidos en la Ciencia”, también documenta cómo a pesar del parón económico y las restricciones de movilidad derivados de la COVID-19, el calentamiento del planeta y la alteración del clima continúan agravándose a pesar de haberse reducido ligeramente las emisiones durante 2020. Se espera, además, que éstas continúen incrementándose durante los próximos años. De hecho, el IPCC afirma que, aunque se logre una limitación muy importante de las emisiones GEI en los próximos años, el cambio climático actual y sus efectos asociados continuarán durante siglos.

Las emisiones GEI continuadas causarán a nivel global mayores cambios en el sistema climático, provocando que aumente la probabilidad de impactos severos, generalizados e irreversibles en los sistemas naturales y socioeconómicos. En todos los escenarios de emisiones GEI elaborados y evaluados por el IPCC para su último informe, se prevé que la temperatura de la superficie continúe aumentando a lo largo del presente siglo, siendo muy probable un aumento de las olas de calor, tanto en frecuencia como en intensidad, así como mayores y más severos episodios de precipitaciones torrenciales. Además, tampoco deben obviarse otros fenómenos como son el calentamiento y acidificación continua de los océanos, así como el aumento del nivel medio global del mar.

Durante el año 2020, la crisis sanitaria de la COVID-19, ha dejado más patente que nunca que muchas de las causas del cambio climático contribuyen también al aumento del riesgo de nuevas enfermedades y a su dispersión. Aunque a día de hoy no existen evidencias científicas claras que relacionen el cambio climático con la propagación del virus, sí que existen evidencias sobre su contribución a la dispersión de enfermedades infecciosas. Así, por ejemplo, especies que migran como consecuencia del cambio en la distribución de temperatura y precipitación o por la pérdida de ecosistemas, entran en contacto con otras, lo que aumenta la probabilidad de que los patógenos se alojen en nuevos huéspedes y se produzca el salto hacia los seres humanos. Por tanto, la acción climática es clave para asegurar también nuestra salud y reducir los riesgos de aparición y transmisión de más enfermedades infecciosas a nivel global.

Es, precisamente ese carácter global de la amenaza, la que requiere esfuerzos y respuestas únicas a nivel internacional. En este sentido, uno de los últimos Acuerdos más relevantes en materia climática es el Acuerdo de París,

aprobado en diciembre de 2015 en el marco de la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Este Acuerdo establece un marco global para evitar un cambio climático muy intenso, manteniendo el calentamiento global por debajo de los 2 °C y prosiguiendo los esfuerzos para limitarlo como máximo a 1,5 °C. Las principales implicaciones de no alcanzar los objetivos provocaría que en más del 70 por ciento de las costas aumentase el nivel medio del mar más de 0,2 metros con el consiguiente aumento en la frecuencia de las inundaciones costeras y una mayor erosión de las playas, un mayor riesgo de la salinización de los suministros de agua y otra serie de impactos sobre los seres humanos (p. e., una mayor mortalidad por el efecto de la olas de calor) y los sistemas naturales (migración de especies hacia latitudes más frías, disminución de los recursos hídricos disponibles, etc.) y socioeconómicos (suministros de energía y materiales interrumpidos, mayor daños en las infraestructuras como consecuencia de eventos extremos, suelos agrícolas empobrecidos, etc.).

El Acuerdo de París es el primer acuerdo universal y jurídicamente vinculante sobre el cambio climático, siendo el más ambicioso hasta la actualidad en la reducción de los riesgos e impactos del cambio climático en todo el mundo. Al mismo tiempo, además, incluye todos los elementos necesarios para que se pueda alcanzar este objetivo. Además, reconoce la necesidad de que la tendencia ascendente de las emisiones globales comience a revertirse lo antes posible, asumiendo que esta tarea llevará más tiempo para los países en desarrollo. En cuanto a las rutas para reducir dichas emisiones a medio y largo plazo, establece la necesidad de conseguir un escenario neutro para la segunda mitad de siglo. El Acuerdo de París pone en valor la importancia de adaptarse a los efectos adversos del cambio climático, fortalecer la resiliencia y reducir la vulnerabilidad, en un contexto en el que todos los países se están enfrentando a los impactos derivados del incremento de la temperatura global. En este sentido, la Comisión Europea viene desarrollando importantes esfuerzos en materia de adaptación. En febrero de 2021, la Comisión Europea adoptó la nueva Estrategia de la UE sobre adaptación al cambio climático, donde se establece la hoja de ruta para prepararse frente a los inevitables efectos del cambio climático. En esta línea, el Pacto Verde Europeo también concede al fomento de la resiliencia, la prevención y la preparación una importancia crucial.

Los cambios en el sistema climático global impactan a escalas regionales y locales afectando de manera específica a sus diferentes sistemas naturales y socioeconómicos. Por lo tanto, las acciones e iniciativas de adaptación deben ser definidas e implementadas a dichas escalas.

La geografía guipuzcoana y sus características físicas explican la vulnerabilidad del territorio frente al riesgo de afección debido al cambio climático. Este se prevé que

sea mayor, por ejemplo, en las zonas montañosas con ecosistemas especialmente sensibles o en la franja litoral donde se concentra una parte importante de la población. El aumento del nivel del mar, las alteraciones en la frecuencia e intensidad de las tormentas o la fragilidad de los ecosistemas pueden verse fuertemente impactados por las variables del cambio climático.

En este contexto, el Observatorio de Cambio Climático de Naturklima tiene como objetivo fundamental el seguimiento de las variables climáticas y de los impactos del cambio climático en el T.H. de Gipuzkoa. Dentro de su labor de observación y monitorización, maneja múltiples indicadores climáticos, así como otros de índole económica o social. Es también labor del observatorio comprender mejor la evolución del cambio climático, analizando para ello las series históricas de datos y la síntesis de toda la información recopilada mediante la publicación de informes periódicos contrastados y revisados conjuntamente con la Dirección General de Medio Ambiente del Departamento de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas de la Diputación Foral de Gipuzkoa. De cara a adoptar futuras medidas de adaptación que reduzcan la vulnerabilidad del territorio, se hace imprescindible esa labor de dotar de capacidad técnica tanto a las administraciones públicas como a los sectores socio-económicos y a la propia sociedad.

Este segundo informe de Naturklima, 'Informe de Impacto y Vulnerabilidad del Cambio climático en Gipuzkoa 2021' se estructura en cuatro bloques. El primero describe, a lo largo de cuatro capítulos, las evidencias y forzamientos del cambio climático a nivel global y para el T.H. de Gipuzkoa, e incluye las proyecciones regionales más recientes para los escenarios climáticos RCP4.5 y RCP8.5 y la evolución histórica actualizada (hasta el año 2020) para las variables climáticas temperatura y precipitación. El segundo bloque, recoge los principales impactos del cambio climático sobre el medio natural y en el tercer bloque se muestran los impactos esperados para los principales sistemas socioeconómicos. En el cuarto bloque se presenta el "Informe de evolución de los indicadores marino-costeros" que, en el marco del Observatorio marino-costero de Gipuzkoa, analiza en profundidad la evolución de indicadores fisicoquímicos, geomorfológicos y biológicos con el objetivo de conocer cómo cambian estas variables en relación al cambio climático, el impacto de este y la resiliencia de nuestra costa. Este informe constituye el primero de una serie de documentos técnicos temáticos que bajo la denominación "Focus" se irán elaborando desde el Observatorio de Cambio Climático de Gipuzkoa.

A lo largo del estudio se han identificado diferentes indicadores que se incluyen en el Anexo I y cuya evolución, a largo plazo, permite conocer cómo están cambiando las variables del sistema climático y reflejan la sensibilidad, exposición, impacto y adaptación de los diferentes siste-

mas y sectores. Los indicadores son una variable que, mediante la síntesis de la información, reflejan el estado del medio ambiente en un momento y espacio determinados. De ahí, su gran valor como herramienta en los procesos de evaluación temporal. Estos indicadores están ya integrados en el Observatorio de la Fundación, desde el que se analiza la pertinencia de incluir nuevos indicadores que permitan un análisis cada vez más exhaustivo de la evolución de las afecciones climáticas sobre el Territorio.

En la evaluación del impacto probable y la vulnerabilidad de los diferentes sectores socio económicos se han tenido en cuenta los principales factores de riesgo a los que se enfrenta Gipuzkoa como son, el ascenso de la temperatura, ascenso del nivel del mar, alteraciones en la precipitación, además de algunos otros más específicos para cada uno de ellos. La siguiente tabla recoge, a modo de resumen, los principales efectos sobre los distintos sistemas.

		Temperatura		Litoral		Precipitación		Transformación
		Humedad	Extremos	Temporales	Nivel mar	Sequía	Inundaciones/precipitación	
Sistema natural	Edafología							
	Recursos hídricos							
	Medio natural							
	Zonas costeras							
Sistema socioeconómico	Salud							
	Núcleos población							
	Agroforestal							
	Pesca							
	Energía							
	Transporte							
	Industria							
	Turismo y ocio							
	Financiero							

Importancia del impacto BAJO MEDIO ALTO Transformación

1 Fig. Resumen del análisis de impactos de los efectos del cambio climático en Gipuzkoa. Fuente: figura adaptada de la EGLCC (2018).

TRATAMIENTO DE LA INCERTIDUMBRE

Este informe adopta el tratamiento de la incertidumbre calibrado por el IPCC (Mastrandrea et al., 2010¹). De este modo, tanto los autores del presente informe como los lectores podrán distinguir entre aquello que es bien conocido y ampliamente conocido y aquello que presenta una mayor incertidumbre.

Se utilizan dos indicadores para comunicar el grado de certeza de los principales resultados:

- La confianza en la validez de un resultado basada en el tipo, la cantidad, la calidad y la coherencia de la evidencia (por ejemplo, la teoría, los datos, los modelos y el juicio experto) y el nivel de acuerdo. La confianza se expresa de forma cualitativa.

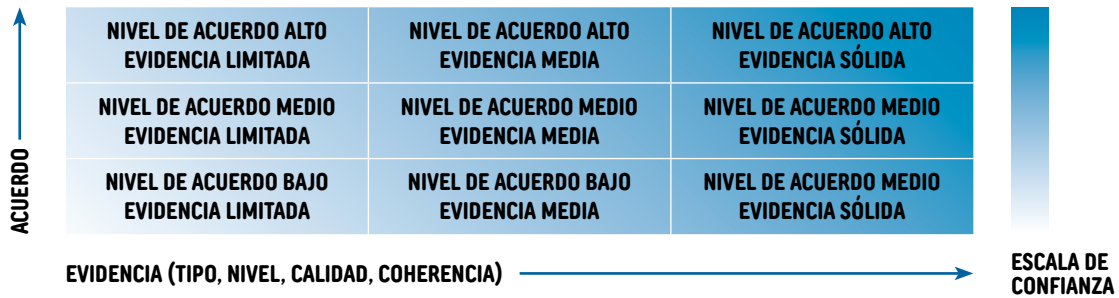
- Las mediciones cuantificadas de la incertidumbre de un resultado expresada de forma probabilística (según el análisis estadístico de las observaciones o los resultados de modelos, o bien del juicio experto).

El indicador de confianza ofrece una síntesis cualitativa de la valoración que realiza el equipo de redacción sobre la validez de un resultado, según determinan la evaluación de la evidencia y el nivel de acuerdo. Si las incertidumbres se pueden cuantificar de forma probabilística, el equipo de redacción puede describir un resultado empleando el lenguaje de la probabilidad calibrada o realizando una presentación más precisa de la probabilidad. A menos que se indique lo contrario, un nivel de confianza alto o muy alto se atribuye a resultados a los que un equipo de redacción ha asignado un término de probabilidad.

1 Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.K. et al. The IPCC AR5 guidance note on consistent treatment of uncertainties: a common approach across the working groups. Climatic Change 108, 675 (2011). <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0178-6>

Para describir la evidencia existente se emplean los términos explicativos siguientes: limitada, media o sólida, mientras que, para definir el nivel de acuerdo, se utiliza: bajo, medio o alto. El nivel de confianza se expresa mediante el empleo de cinco calificativos: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto.

Algunas de las conclusiones se expresarán sin especificar el nivel de confianza. Estos pueden ser hechos ampliamente aceptados o cuya alta probabilidad hace innecesaria su expresión.



TÉRMINO	PROBABILIDAD
PRÁCTICAMENTE SEGURO	99% - 100%
SUMAMENTE PROBABLE	95% - 100%
MUY PROBABLE	90% - 100%
PROBABLE	66% - 100%
TAN PROBABLE COMO IMPROBABLE	33% - 66%
IMPROBABLE	0% - 33%
MUY IMPROBABLE	0% - 10%
SUMAMENTE IMPROBABLE	0% - 5%
EXTRAORDINARIAMENTE IMPROBABLE	0% - 1%

2 Fig. Niveles de confianza y probabilidad de los diferentes enunciados en este informe son los mismos que los utilizado en el V informe de Evaluación del IPCC (IPCC, 2013). La confianza aumenta hacia la esquina superior derecha como sugiere el aumento de la intensidad del sombreado. En general, la evidencia es más fiable cuando hay múltiples líneas coherentes e independientes de evidencia de alta calidad.

MARCO TEMPORAL

En este informe se evalúan tanto los cambios observados como los proyectados en el clima de Gipuzkoa. Por lo tanto, nos referiremos tanto al pasado como al futuro. Los cambios observados se adscribirán principalmente a los cambios producidos desde algún momento en el S.XX hasta la actualidad, ya que estarán basados principalmente en observaciones directas o satelitales.

El 'clima' puede considerarse como la situación media del tiempo y requiere de series temporales de al menos 30 años para una caracterización estadística del climática, según recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). El Cambio Climático se refiere a la 'variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios o periodos más largos' (IPCC, 2013). Por lo tanto, en la evaluación del clima pasado necesitaremos series históricas lo más largas posibles. En cada una de las variables analizadas esto dependerá de la disponibilidad de datos.

Hasta finales de 2020, el periodo base de referencia considerado como "normal" para la información climática era el periodo de 30 años 1981-2010. Sin embargo, considerando la recomendación de la OMM según la cual los periodos estándar de 30 años de referencia tienen que ser actualizado cada década para así poder reflejar mejor el cambio climático, el nuevo periodo de referencia es 1991-2020. Sin embargo, durante la redacción de este informe no todas las series de datos analizadas estaban actualizadas hasta la fecha 2020, por lo que el periodo de referencia utilizado, salvo excepciones, ha sido el periodo de 30 años 1981-2010. No obstante, la OMM sigue

recomendando el periodo de referencia 1961-1990 para la monitorización de las anomalías climáticas globales respecto a un periodo de referencia común. En el caso de las referencias preindustriales, como los objetivos marcados por el Acuerdo de París, el periodo de referencia es 1850-1900.

En cuanto a las proyecciones futuras, tampoco hay un periodo de tiempo de referencia. En este estudio se siguen las utilizadas en distintos esfuerzos coordinados para modelizar el clima futuro (Euro-CORDEX). En este estudio se consideran los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, que corresponden a los escenarios regionales elaborados en el marco de las ayudas KLIMATEK. En concreto, se utilizan las proyecciones de alta resolución espacial (1 km x 1 km, aproximadamente), elaboradas en los proyectos ESCENARIOS I-Elaboración de escenarios de cambio climático de alta resolución para el País Vasco (Klimatek, 2016) y ESCENARIOS II-Escenarios de cambio climático de alta resolución para el País Vasco. Fase II: datos diarios con metodologías de corrección de sesgo (Klimatek, 2017). Las proyecciones del proyecto ESCENARIOS-II se utilizan para el análisis de escenarios RCP8.5, mientras que para el escenario RCP4.5 se utilizan las proyecciones del proyecto ESCENARIOS I, al no estar todavía disponibles en el proyecto más reciente. También se utilizan las proyecciones para algunos indicadores la colección de Escenarios PNACC 2017². En el caso de las proyecciones marinas se utilizan los Escenarios en la costa española (C3E³). Todas estas proyecciones regionalizadas parten de las proyecciones climáticas globales basadas en el proyecto CMIP5 elaborados para el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5). El nuevo Informe de Evaluación, AR-6, y que se publicará en breve entre 2021 y 2022, incluirá los nuevos modelos CMIP6.

² <http://escenarios.adaptecca.es/info>

³ <https://c3e.ihcantabria.com/>





Bases del cambio climático



Naturklima
Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa

**Gipuzkoako
Foru Aldundia**
Departamento de Medio Ambiente
y Obras Hidráulicas



ETORKIZUNA ORAIN
Es futuro

1.1 INTRODUCCIÓN

El sistema climático es un sistema complejo que consta de cinco componentes principales — atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y biosfera — y de las interacciones entre ellos. El sistema climático evoluciona en el tiempo bajo la influencia de su propia

dinámica interna y por efecto de forzamientos externos, como las erupciones volcánicas o las variaciones solares, y de forzamientos antropógenos, como el cambio de composición de la atmósfera o el cambio de usos del suelo.

“ Se ha detectado la influencia humana en el calentamiento de la atmósfera y el océano, en alteraciones en el ciclo global del agua, en reducciones de la cantidad de hielo y nieve, en la elevación media mundial del nivel del mar y en cambios en algunos fenómenos climáticos extremos. Es sumamente probable que la influencia humana haya sido la causa dominante del calentamiento observado desde mediados del siglo XX” (IPCC-AR5, 2013). ”

El sistema climático terrestre está cambiando debido a la actividad humana y seguirá haciéndolo a un ritmo sin precedentes en la historia reciente. Este cambio se ha detectado a través del aumento de la temperatura, como consecuencia del exceso de calor atrapado por los gases de efecto invernadero que aumentan en la atmósfera. Las observaciones del sistema climático son esenciales para comprender la variabilidad y los cambios a largo plazo en cada uno de los sistemas mencionados.

Los indicadores climáticos globales⁴, basadas en estas observaciones, describen los cambios en el clima, pero no sólo en términos de temperatura, y proporcionan una visión del clima a una escala global. Proveen información que permite monitorizar los principales componentes del sistema climático y describir los principales cambios observados: cambios en la composición de la atmósfera, cambios en la temperatura y energía como consecuencia de la acumulación de gases de efecto invernadero y otros factores, así como la respuesta a estos cambios en el océano, agua y criosfera.

⁴ <https://gcos.wmo.int/en/global-climate-indicators>



1.1. Fig. Indicadores climáticos globales. Fuente: Global Climate Observing System (GCOS).

Los indicadores definidos para cada uno de estos sistemas reflejan el estado de cada uno de ellos en un momento y espacio determinados. El análisis de la evolución de los mismos permite detectar los cambios observados a lo largo del tiempo y su relación con el cambio climático. Esta información será útil para entender la evolución de los sistemas, para establecer medidas de mitigación y

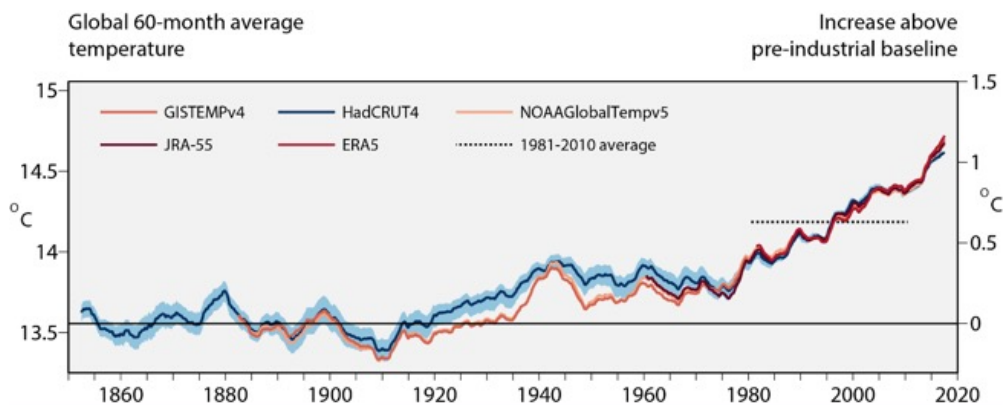
adaptación necesarias, para la evaluación de los riesgos.

En este primer capítulo se presentan un resumen del estado de estos indicadores climáticos globales en el año 2019, y aportando en algunos casos información de 2020, así como el contexto histórico para comprender estos cambios.

1.2 TEMPERATURA

El año 2020 concluye la década (2011–2020) más cálida desde que existen registros (WMO, 2020). Además, seis de los años más cálidos han sucedido después de 2015 (2016–

2020). Este calentamiento es consistente con el forzamiento radiativo positivo, impulsado por elevada concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera.



1.2. Fig. Temperatura media mundial sobre una media móvil de 60 meses y estimaciones del cambio desde la época preindustrial para distintas bases de datos: ERA5 (Copernicus Climate Change Service (C3S) (ECMWF); GISTEMP (NASA); HadCRUT4 (Met Office Hadley Centre), NOAA GlobalTemp (NOAA); JRA-55 (JMA). Fuente: Copernicus Climate Change Service (C3S)/ECMWF.

La temperatura media global en 2020 es una de las tres mayores del registro. La temperatura media global en 2020 fue 1,25°C superior a la de la época preindustrial, mientras que, en 2019, el tercer año más cálido, fue de 1,21°C. En algunos puntos este incremento es superior, como en Europa, + 2,2°C, o el Ártico, +3°C. Señalar que, a diferencia del máximo registrado en el año 2016 que comenzó con

un fuerte episodio de El Niño, el máximo de 2020 que iguala prácticamente este máximo se ha producido en condiciones débiles de El Niño en la primera parte del año y el desarrollo de La Niña a partir de septiembre. Según el Prof. Taalas, “este es un claro indicador de que la señal de global del cambio climático inducido por el hombre es ya tan poderosa como las fuerzas de la naturaleza”.

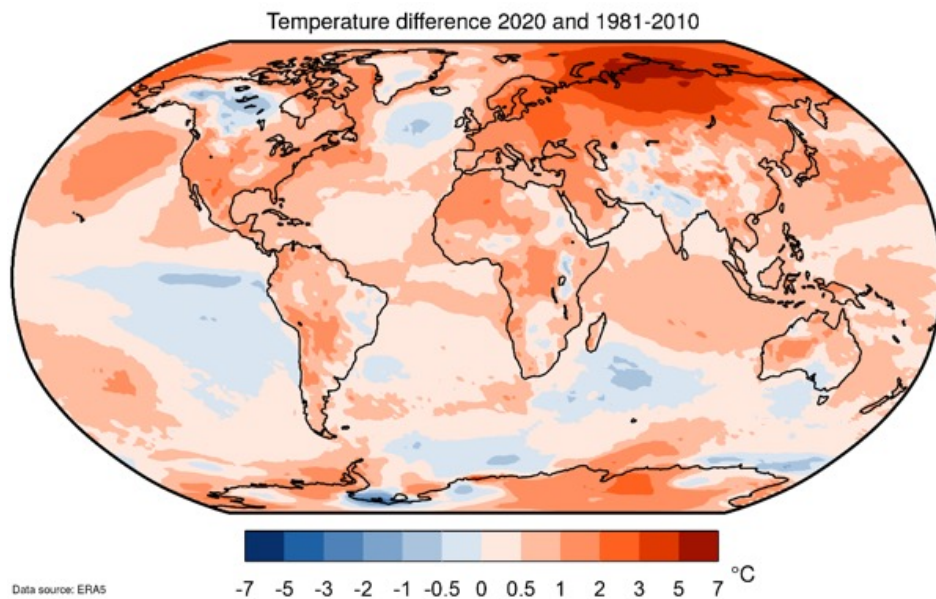
GLOBAL	NASA-GISS	HadCRUT4	NOAA-Global Temp	JMA	ERA5
SUPERFICIE TERRESTRE	+0,83	+0,70 ± 0,13	+0,78 ± 0,14	+0,87	+0,78
SUPERFICIE OCEÁNICA	+0,38	+0,38 ± 0,07	+0,40 ± 0,16	+0,48	+0,39
SUPERFICIE	+0,56 ± 0,05	+0,44 ± 0,08	+0,51 ± 0,15	+0,59	+0,51

1. 1. Tabla. Anomalía en el promedio temperatura (°C) e incertidumbre (I.C.95%) en 2018 es superficie terrestre, oceánica y combinada, relativa al periodo 1981–2010. Fuente: Blunden & Arnd (2020).

La clasificación de la temperatura de los años individuales es menos importante que las tendencias de largo plazo. Desde 1980, cada década ha sido más cálida que la anterior, siendo la última (2010–2019) alrededor de 0,15–0,22°C más cálida que la anterior (2000–2009).

En general, en el hemisferio norte la temperatura media anual fue superior a la media, salvo en una región

en el centro del Atlántico Norte. Las temperaturas fueron especialmente elevadas en el ártico y norte de Siberia, donde las diferencias con la media superaron los 3°C y en algunos puntos incluso los 6°C. En grandes áreas el hemisferio sur en cambio la temperatura media anual fue inferior a la media, especialmente en el pacífico ecuatorial, asociado al desarrollo de La Niña en la segunda mitad del año.

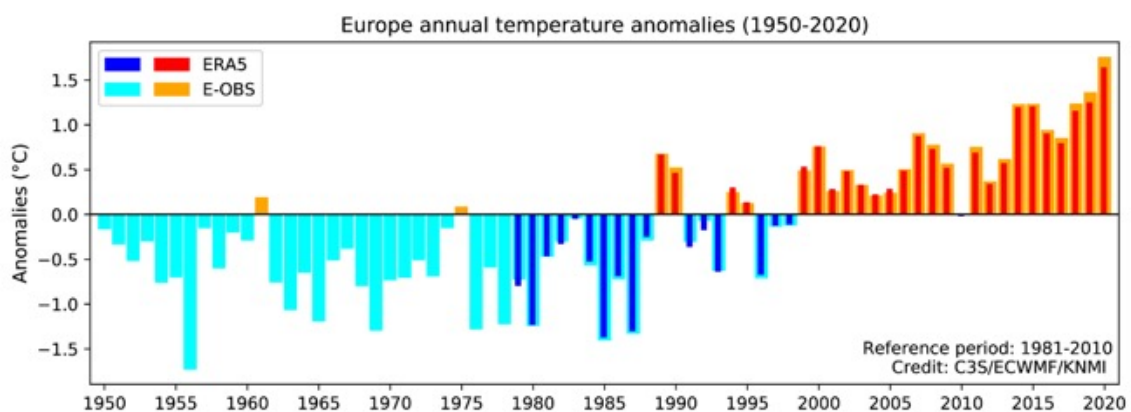


1.3. Fig. Temperatura del aire a 2 m en 2020 relativa a la media de 1981-2010. Datos: ERA5. Fuente: Copernicus Climate Change Service (C3S)/ECMWF.

En Europa, 2020 fue el año más cálido desde que hay registros, 1,6 °C por encima de la media, por lo menos 0,4°C más cálido que los siguientes cinco años más cálidos, los cuales han tenido lugar en la última década (C3S). El año 2020 marcó el 24° año consecutivo con temperaturas superiores a la media, siendo esta 1,6°C superior a la media (1981-2010). De acuerdo a los datos de ERA5, 11 de los 12 años más cálidos en Europa han tenido lugar después de 2000. Desde finales de los 70, la tasa de incremento de la temperatura es de aproximadamente 0,2°C por década

desde 1910, triplicándose triplicado a 0,47 °C a partir de la década de los 80. Los años comprendidos entre el 2014 y 2020 se encuentran entre los siete años más cálidos registrados en Europa, mientras que los 10 años más cálidos han tenido lugar dentro del S. XXI.

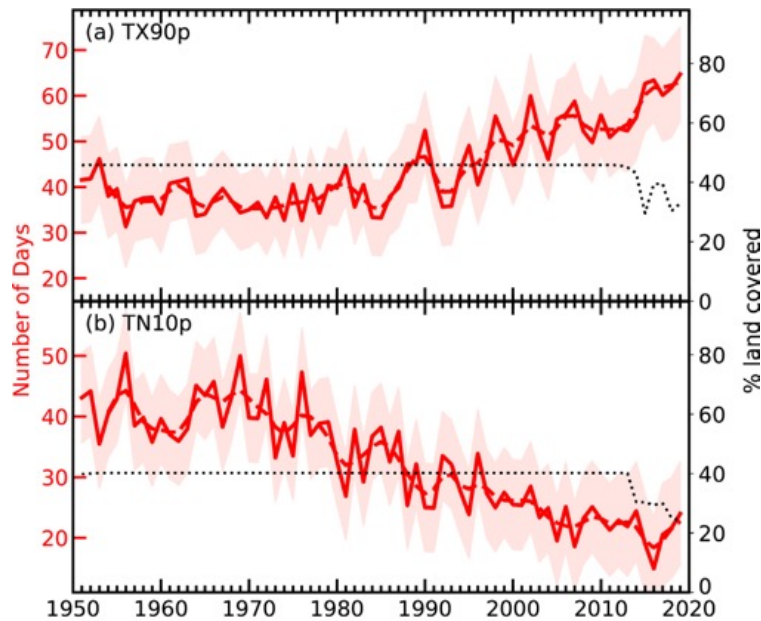
2020 fue un año extremadamente cálido en España, con una temperatura media 1,0°C mayor que el valor medio anual del periodo de referencia 1981-2010 y el más cálido registrado igualado con 2017.



1.4. Fig. Anomalía de la temperatura superficial del aire para los valores medios anuales desde 1950 a 2020, relativo al valor medio para el periodo de referencia 1981-2010. Datos: ERA5. Fuente: Copernicus Climate Change Service (C3S/ECMWF/KNMI, 2021).

Prácticamente cada mes de 2020 ha estado entre los cuatro más cálidos del mes en cuestión. En cuanto a las estaciones, el otoño (septiembre–noviembre 2020) y especialmente el invierno (diciembre 2019–febrero 2020) y fueron los más cálidos desde que hay registros, +3,4°C

por encima de la media en el caso del invierno. Además, en verano, a finales de julio principios de agosto Europa sufrió una ola de calor significativa superándose en algunos puntos los registros de temperaturas máximas, si bien estas olas fueron menos intensas y duraderas que las sufridas en 2019.



15. Fig. Serie temporal de (a) TX90p (días cálidos) y TN10p (noches frías). Fuente: GHCNDEX.

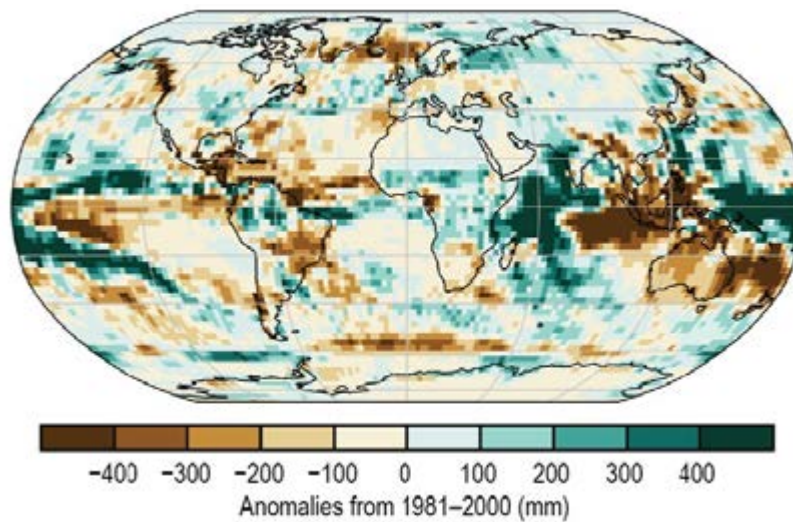
Asociada a este incremento de la temperatura media, las temperaturas máximas extremas también han subido y se ha reducido tanto la frecuencia como intensidad de las temperaturas frías extremas. En 2019 se registró el mayor número de días cálidos (percentil 90 de la temperatura

máxima diaria) desde 1950, con más de 60 días cálidos comparando con la media de 36,5 días al año (Blunden & Arndt, 2020). En cambio, se observa un descenso del número de días fríos (percentil 10 temperatura mínima).

1.3 PRECIPITACIÓN

Los efectos del aumento de la concentración de GEI sobre el ciclo hidrológico y la precipitación son mucho más complejos que sobre la temperatura. Esto se debe a la mayor variabilidad de la precipitación, tanto espacial como temporal. Por ello, las tendencias en la serie temporal de precipitación son mucho menores que la variabilidad que muestra la temperatura.

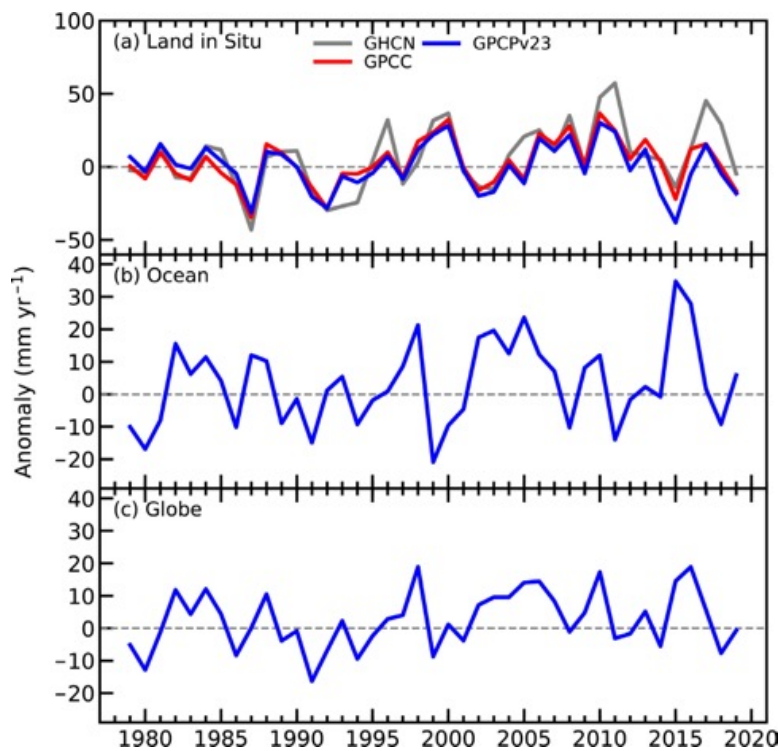
En promedio, las precipitaciones han aumentado sobre las zonas continentales de latitudes medias del hemisferio norte desde 1951 (nivel de confianza alto). En otras latitudes, el nivel de confianza en las tendencias positivas o negativas a largo plazo es bajo (IPCC, 2013).



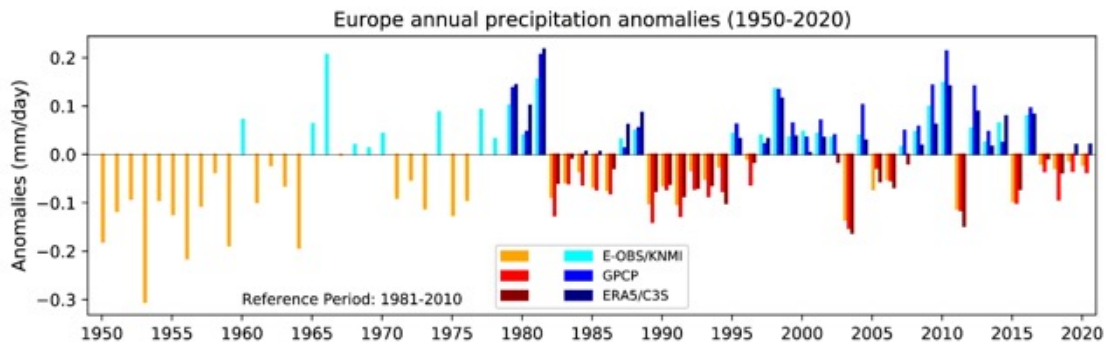
1.6. Fig. Anomalía de la precipitación media anual en 2019. Fuente: Blunden & Arndt (2020).

En el año 2019, la precipitación media global sobre el océano fue ligeramente superior a la media (+5,9 mm) y combinando con los datos sobre tierra, la precipitación

media fue ligeramente inferior a la media (-0,68 mm), en ambos casos experimentando un ligero aumento respecto al año 2018.



17. Fig. Anomalía de la precipitación global (mm año⁻¹) respecto al periodo base 1981-2010 sobre (a) superficie terrestre, (b) superficie oceánica y (c) total. Fuente: Blunden & Arndt (2020).



1.8. Fig. Anomalía de la precipitación anual en Europa desde 1950 a 2018, respecto a la precipitación media anual para el periodo 1981-2010. Elaborado a partir de ERA5 (en rojo y azul) y E-OBS (en naranja y azul claro). Fuente: C3S/KNMI/DWD/ECMWF (2021).

En Europa, no se observa ninguna tendencia significativa en esta variable, ni en para la precipitación total anual ni estacional. En 2020 los valores fueron muy próximos a la media. Sí se observaron grandes diferencias mensuales. Febrero y octubre fue notablemente húmedo, mientras que noviembre fue muy seco, relacionado con un periodo también relativamente cálido. Muchas regiones europeas experimentaron a lo largo de 2019 condiciones

secas, aunque las precipitaciones fueron más abundantes de lo normal en amplias zonas de las islas británicas, Irlanda, Escandinavia y nordeste de España. El número de días húmedos en 2020 fue en general superior a la media (1981-2010). Este mayor número de días húmedos se compensó con una menor precipitación total acumulada en un día húmedo, indicando cambios en la distribución diaria de precipitación.

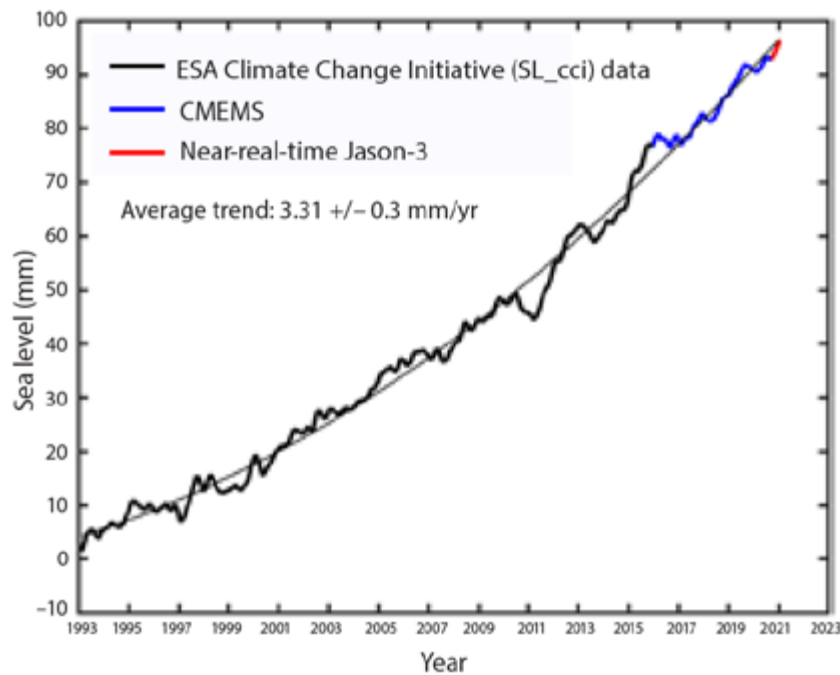
1.4 NIVEL DEL MAR

El nivel medio del mar es un indicador clave del calentamiento global (WMO, 2018). Esto se debe a que el ascenso del nivel medio del mar refleja tanto la pérdida de masa de glaciares y casquetes polares como la dilatación térmica, ya que el agua se expande al calentarse.

En el año 2019 continuó el ascenso del nivel del mar, siendo el octavo año consecutivo en el que el nivel medio del mar global es mayor que el del año anterior, alcanzado así un nuevo récord, un ascenso de unos 90 mm sobre el

nivel medio de 1993. Respecto a 2018 el ascenso es de 6,1 mm. La tasa de ascenso para el periodo 1993-2020 es de $3,1 \pm 0,4 \text{ mm año}^{-1}$.

Esta tasa de ascenso se ha acelerado, desde el periodo 2011-2015 a 2016-2020, de 4,1 mm a 4,8 mm por año. La tasa de aumento del nivel del mar se está acelerando a un ritmo de $0,12 \pm 0,08 \text{ mm/año}^2$ (CS3, 2021). El 70% de este ascenso global se puede atribuir al deshielo de los glaciares, mientras que el 30% se debe a la expansión térmica del agua de mar.



1.9. Fig. Nivel medio del mar global basado en datos de satélite desde enero de 1993 a enero de 2021. La línea negra fina es la función cuadrática que mejor ajusta los datos. Fuente: WMO (2021).

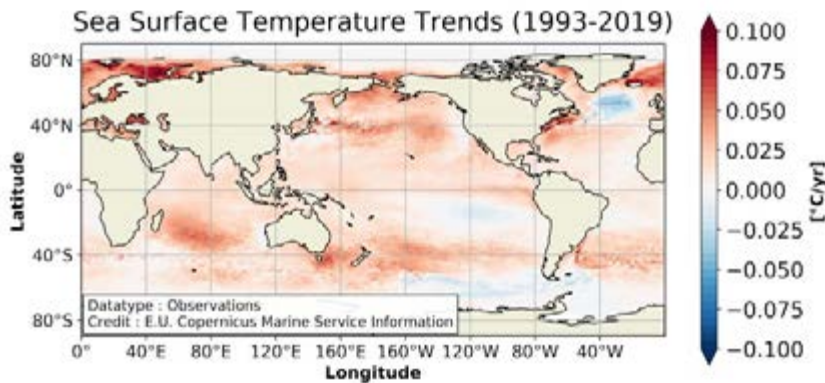
Los cambios observados regionalmente pueden ser muy diferentes de los cambios globales. A pesar de que el incremento global es de aproximadamente 8 cm, en algunas regiones la elevación ha sido de entre 15 y 20 cm. En Europa, la mayoría de las costas muestran una elevación de a 2-4 mm año⁻¹ en las proximidades a la

costa (C3S, 2021). Sin embargo, esta tasa puede ser no representativa de los cambios reales observados en la costa. Esto se debe principalmente a que los satélites no capturan procesos locales como puede ser el remonte del oleaje en la costa y la resolución espacial de estas medidas (aproximadamente 25 km).

1.5 TEMPERATURA Y CALOR DEL OCÉANO

Los océanos regulan tanto el tiempo como el clima desde la escala regional a la global. Absorben aproximadamente el 90% del calor acumulado en el sistema climático debido a la cada vez mayor concentración de gases de efecto invernadero (nivel de confianza alta) y (IPCC, 2013) y el 20-30% de las emisiones antropogénicas de CO₂ (Le Quéré et al., 2018). Por tanto, tanto la temperatura, contenido en calor del océano y el pH son indicadores básicos del cambio climático.

La temperatura superficial media global del océano en 2019 fue la segunda más alta desde que hay registros, solo superada por el máximo del año 2016. La anomalía de esta temperatura superficial respecto al periodo medio de referencia también se ha incrementado respecto a la de 2018. La tendencia lineal de la temperatura superficial global es de 0,10° ± 0,01°C por década para el periodo 1950-2019 (Blunden & Arndt, 2020). En 2020 continuó esta tendencia, alcanzando un nuevo máximo en la temperatura de los primeros 2000 de la columna de agua, habiendo absorbido 20 ZJ más que en 2019 (Cheng et al., 2021).



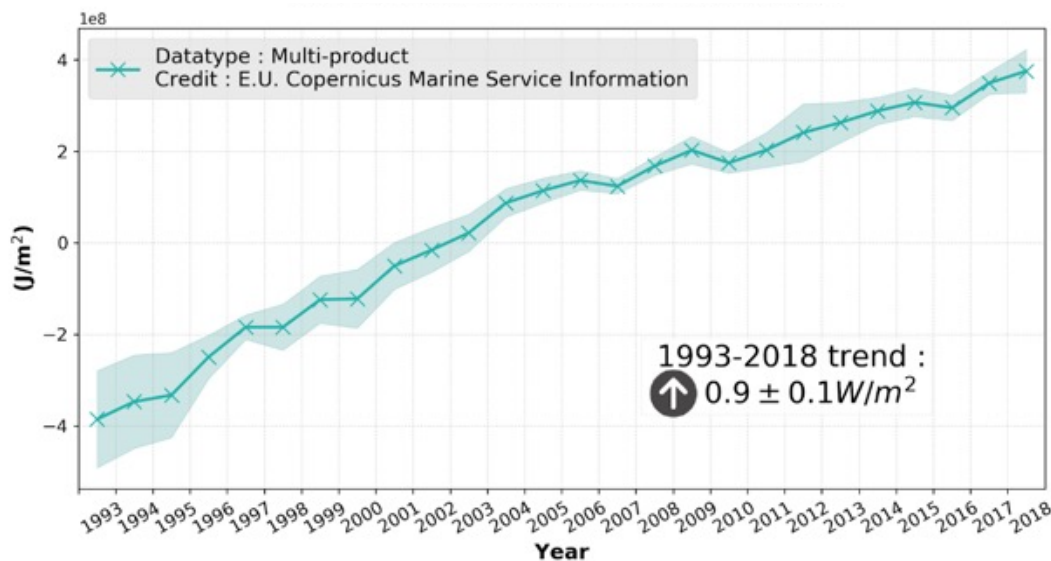
1.10. Fig. Tendencia lineal de la temperatura superficial mensual desde 1993 a 2019. Fuente: E.U. Copernicus Marine Service Information.

El contenido calórico del océano es un indicador clave para realizar el seguimiento del cambio climático. Esto se debe a que esta variable no fluctúa tanto como la temperatura superficial de la Tierra, que puede variar en respuesta al tiempo y la variabilidad natural del clima como el fenómeno de El Niño. Por tanto, esta variable indica más claramente la acumulación gradual de calor debida a la actividad humana.

Un grado de calentamiento del océano almacena más de 100 veces la energía térmica que un grado de calentamiento de la atmósfera. Esto hace que el calentamiento del océano contenga el 89% de la energía almacenada en la Tierra en el periodo 1960-2018, comparando con el 1% de la atmósfera. El contenido en calor en los primeros 700 metros de la columna de agua se ha incrementado desde 1993, alcanzando el 2019 un nuevo máximo. Por debajo, entre 700 y 2000 m, a pesar

de la mayor variabilidad entre los análisis realizados, también se observa esta tendencia de largo plazo y un nuevo máximo en 2019. Durante el año 2020, el calor del océano ha permanecido en niveles similares a los de 2019. Este parámetro durante el año 2020 ha sido ligeramente más bajo entre los 0-700 metros y ligeramente superior entre los 0-2000 metros (NOAA, 2021).

La tendencia de calentamiento para el periodo 1993-2019 varía entre los distintos análisis, entre $0,36 \pm 0,06 \text{ W m}^{-2}$ y $0,9 \pm 0,1 \text{ W m}^{-2}$ para la capa 0-700 m. Las tendencias lineales para la capa de 700-2000 m para este mismo periodo es comparable a la tasa de aumento en la capa de 0-3000 m, varía entre $0,14 \pm 0,04$ y $0,32 \pm 0,03 \text{ W m}^{-2}$ (Blunden & Arndt, 2020). Las tasas de calentamiento se han intensificado en las últimas décadas, así en el periodo 2010-2019 la tasa es de $1,2 \pm 0,2 \text{ W m}^{-2}$ en los primeros 2000 m de la columna de agua.



1.11. Fig. Contenido en calor del océano global (0-700 m) para el periodo 1933-2018. Fuente: E.U. Copernicus Marine Service Information.

TENDENCIA DEL CONTENIDO EN CALOR DEL OCÉANO ($W m^{-2}$)			
FUENTE	0-700 m	700-2000 m	2000-6000 m
MRI/JMA	$0,36 \pm 0,06$	$0,24 \pm 0,05$	
CSIRO/ACE/CRC/IMAS/UTAS	$0,40 \pm 0,06$		
PMEL/JPL/JIMAR	$0,39 \pm 0,13$	$0,32 \pm 0,03$	
NCEI	$0,39 \pm 0,06$	$0,19 \pm 0,06$	
MET OFFICE HADLEY CENTRE	$0,37 \pm 0,13$	$0,14 \pm 0,04$	
IAP/CAS	$0,41 \pm 0,04$	$0,19 \pm 0,01$	
PURKEY & JOHNSON			$0,06 \pm 0,03$

1.2. Tabla. Tendencia del contenido en calor del océano proporcionada por distintos grupos de investigación. Fuente: Blunden & Arndt, (2020).

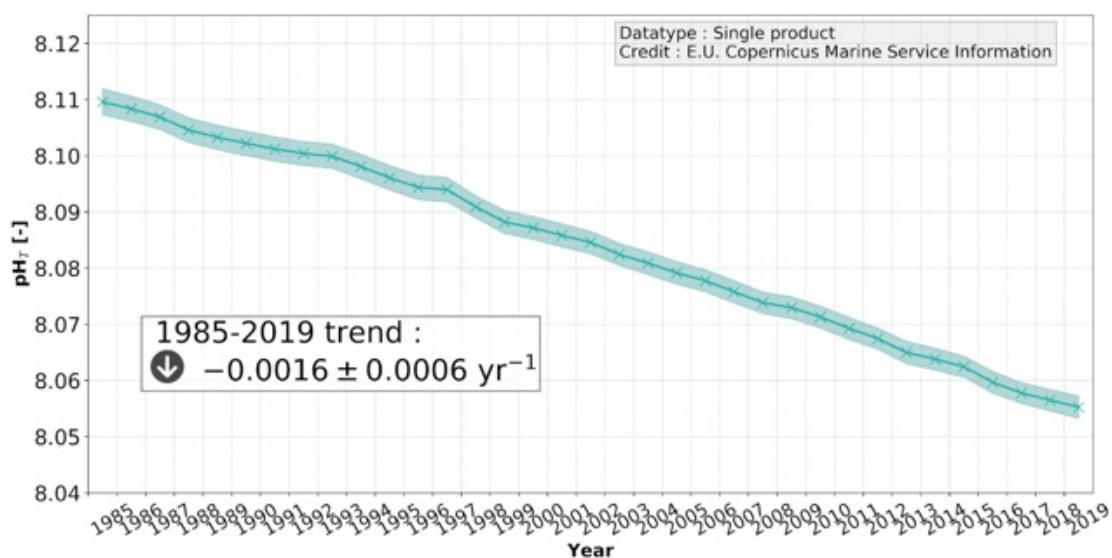
1.6 CARBONO Y PH DEL OCÉANO

El océano juega un papel principal en el ciclo global del carbono al absorber gran parte del exceso de CO_2 de origen antropogénico. Es muy probable que el océano haya absorbido hasta el 20-30% de las emisiones antropogénicas globales de CO_2 , provocando su acidificación (IPCC, 2013).

Esta concentración de carbono de origen antropogénico es la principal causa de la acidificación del océano. Al ir acumulando parte de las emisiones de carbono durante las últimas décadas, la acidificación es uno de los principales indicadores de cambio climático.

La absorción de carbono se ha intensificado en las últimas décadas en respuesta al incremento de concentración de CO_2 en la atmósfera, de $1,0 \pm 0,6$ Pg C año⁻¹ en la década de los 60, a $2,6 \pm 0,6$ Pg C año⁻¹ en 2018 (Friedlingstein et al., 2019).

En consecuencia, el pH del agua del océano superficial ha disminuido en $0,018 \pm 0,004$ unidades por década desde 1750 a 2018 en el 70% del océano (Lauvset et al. 2020).



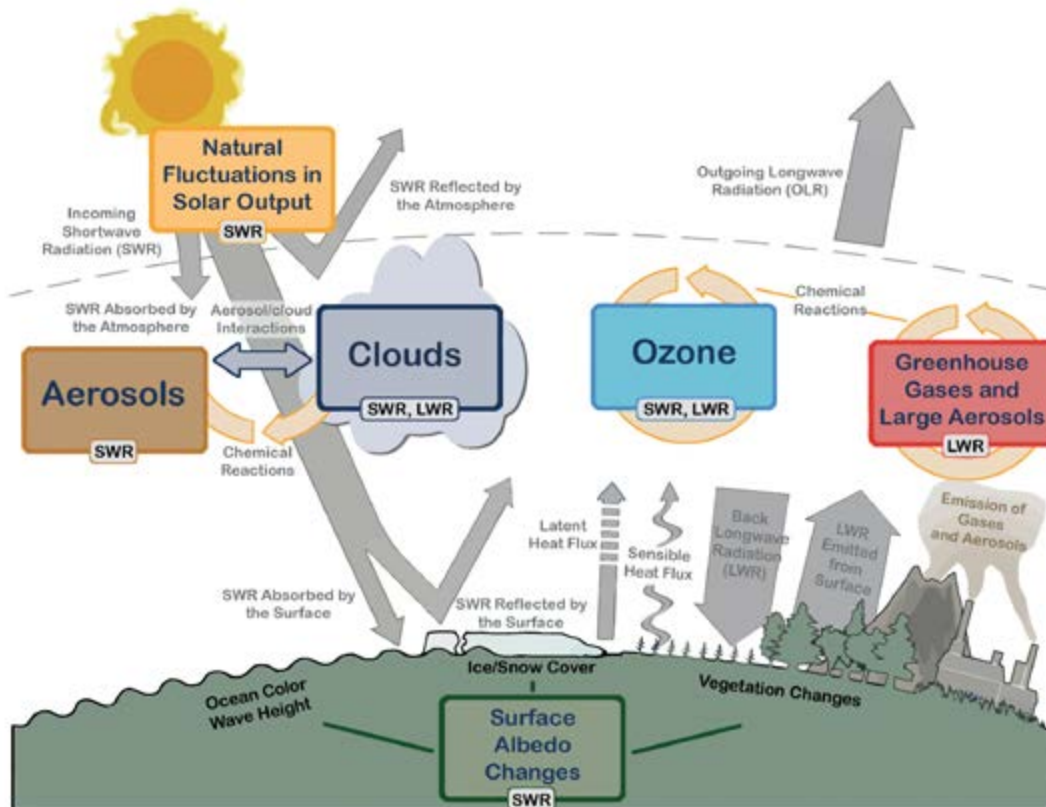
1.12. Fig. pH en superficie medio global para el periodo 1985-2019. Fuente: E.U. Copernicus Marine Service Information.

2.1 INTRODUCCIÓN

El estado, variabilidad y cambios en el clima de la Tierra son en gran medida condicionados por los flujos de energía entre los distintos componentes del sistema Tierra (Hansen, 2005; Hansen et al., 2011). El balance energético en la capa superior de la atmósfera es el resultado de la relación entre la radiación solar incidente, en forma de onda corta, y la radiación emitida

hacia el espacio, la suma de la radiación de onda corta reflejada y la radiación de onda larga emitida. Cambios en este balance, denominado desequilibrio energético de la Tierra, determinan la evolución temporal del clima de la Tierra. Algunos de los impactos del cambio climático surgen de este desequilibrio.

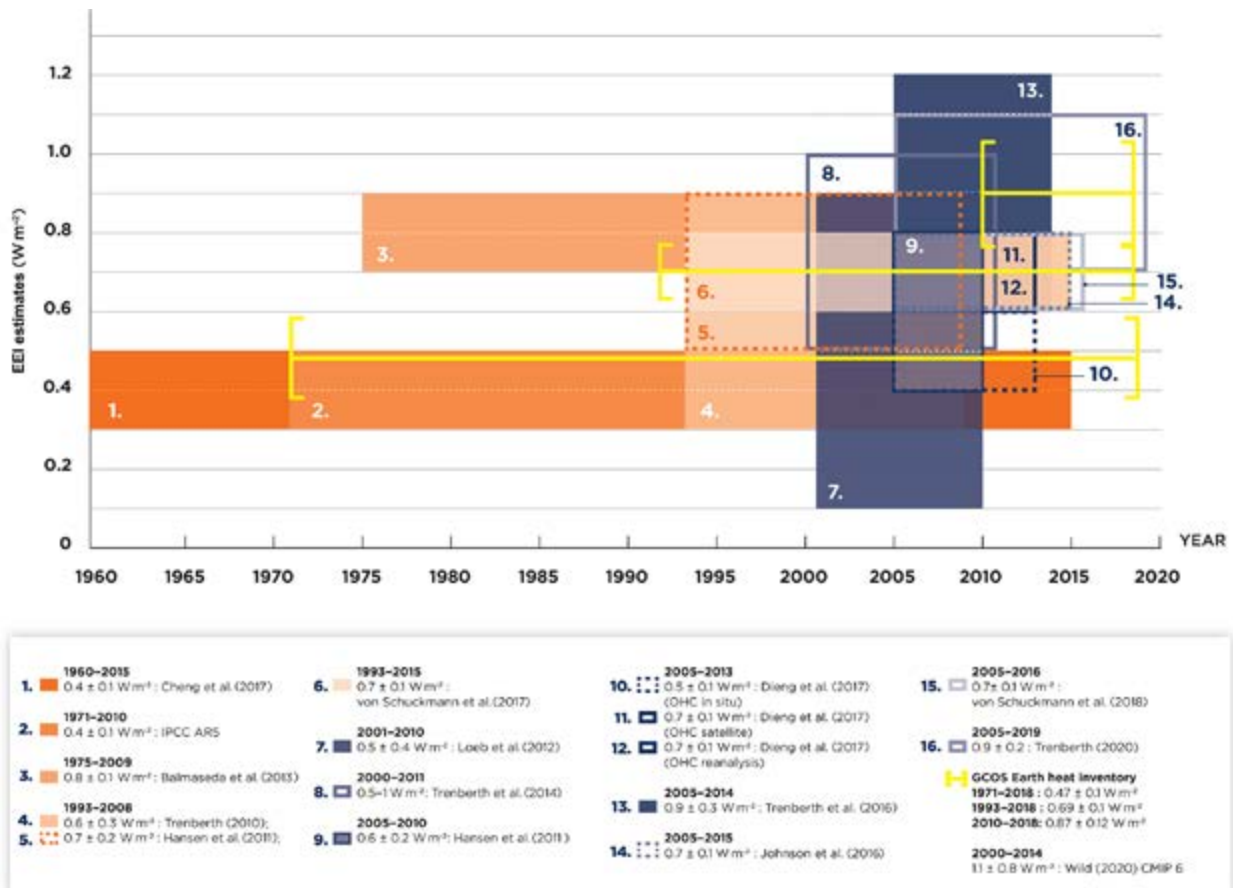
“ El forzamiento radiativo total es positivo y ha dado lugar a la absorción de energía por el sistema climático. Para volver al equilibrio energético de la Tierra, la concentración atmosférica de CO₂ tendría que reducirse de 410 a 353 ppm (von Schuckmann et al., 2020). ”



2.1. Fig. Principales impulsores del cambio climático. El balance radiativo entre la radiación solar incidente de onda corta (SWR) y la radiación de onda larga emitida (OLR) está controlada por los impulsores del cambio climático. Fluctuaciones naturales en energía solar (ciclos solares). La actividad humana modifica las emisiones de gases y aerosoles, dando lugar a cambios en la concentración de ozono y aerosoles. El ozono y los aerosoles absorben, dispersan y reflejan SWR, cambiando el balance energético. Las interacciones entre SWR y LWR en las nubes son importantes, por lo que cambios pequeños en las propiedades de las nubes tiene repercusiones importantes en el balance radiativo. Cambios antropogénicos en la concentración de gases de efecto invernadero modifican la cantidad de energía reflejada LWR. El albedo superficial es modificado al cambiar la cubierta vegetal y usos del suelo, nieve, hielo o color del océano. Fuente: IPCC-AR5 (2013).

Desde el periodo de la industrialización, el desequilibrio energético de la tierra ha ido aumentando. Esto se debe a que se emite al exterior menos energía que la penetra en la parte superior de la atmósfera. Las estimaciones actuales oscilan entre 0,4 y 0,9 W m⁻². El forzamiento radiativo es una medida del cambio neto en este balance energético

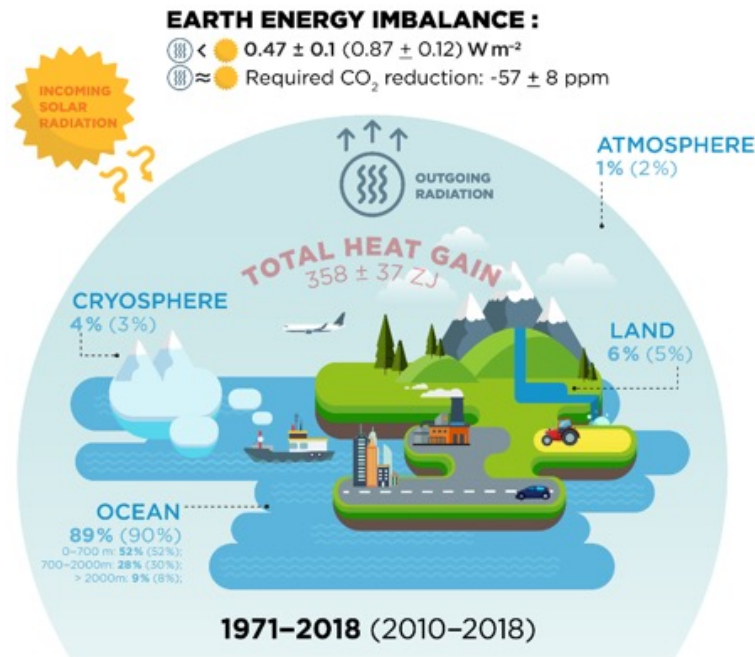
como respuesta a perturbaciones (IPCC, 2013), entre las que se encuentran cambios en la composición de la atmósfera, principalmente el aumento de la concentración de CO₂ y otros gases de efecto invernadero y en los usos del suelo debido a la actividad humana (Hansen et al., 2011; Ciais et al., 2013; Myhre et al., 2013; Rhein et al., 2013).



2.2. Fig. Resumen de estimaciones del desequilibrio energético de la Tierra realizadas en distintos trabajos. Fuente: (von Schuckmann et al., 2020).

Como consecuencia del aumento de este desequilibrio, un exceso de calor es acumulado en el sistema Tierra, que está dando lugar al observado calentamiento global (Hansen et al., 2005, 2010). La mayor parte de este exceso de calor, aproximadamente el 90%, se acumula en los océanos (Rhein et al., 2013), principalmente en los

primeros 700 m de la columna de agua (52%), el 30% entre 700-2000m y el 8% en las capas inferiores a 2000 m. El calor acumulado sobre tierra es del 6%, de este el 4% está disponible para el deshielo de glaciares y casquetes polares, y el 1% para el calentamiento de la atmósfera.



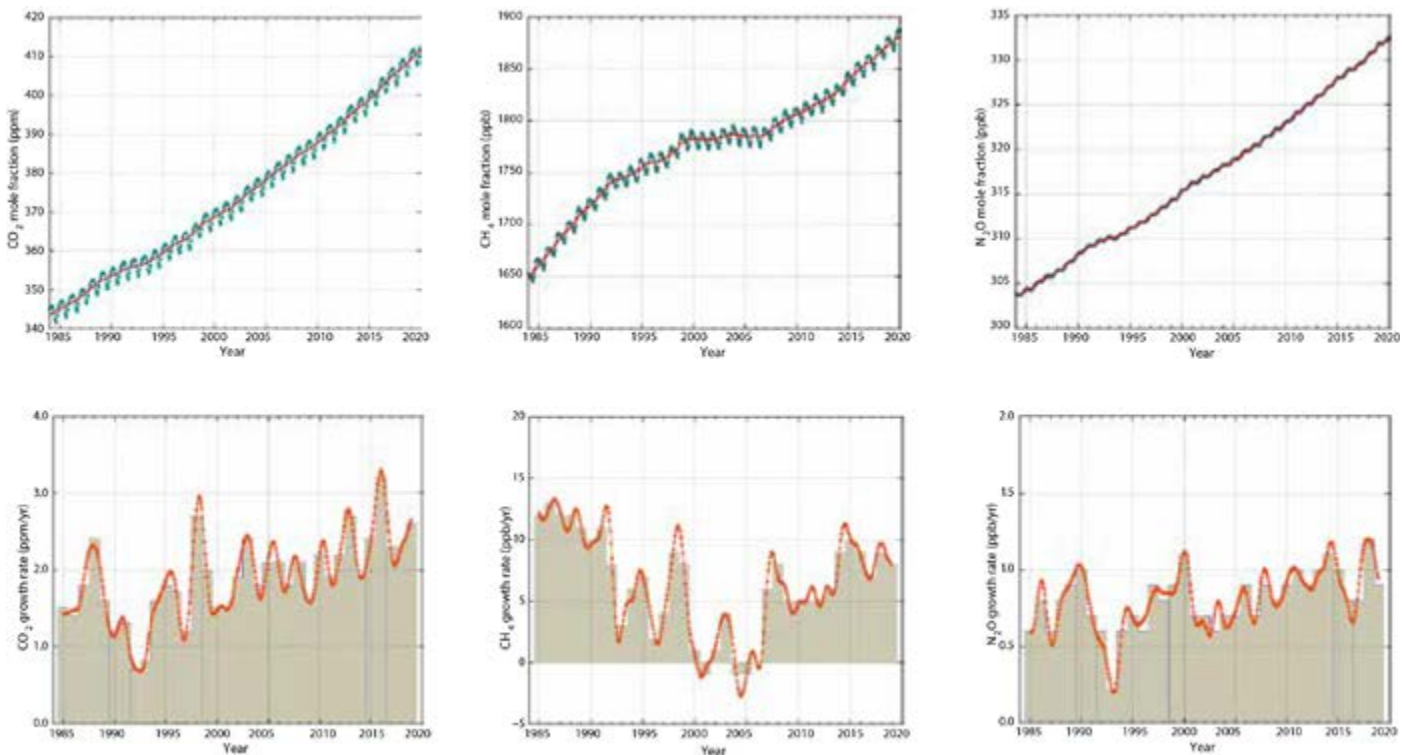
2.3. Fig. Representación esquemática del inventario de calor de la Tierra para el actual desequilibrio energético en la parte superior de la atmósfera debido al forzamiento antropogénico. Fuente: (von Schuckmann et al., 2020).

Este exceso de calor atrapado en la Tierra se debe al incremento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Estos gases absorben parte de la radiación infrarroja que no escapa al espacio. La atmósfera emite después esta radiación en todas las direcciones, devolviendo parte a la superficie, causando el calentamiento. Este efecto es conocido como “efecto invernadero”. El efecto invernadero es necesario para la vida en la tierra, sin el la temperatura media de la tierra sería unos 30 grados inferior a la actual. Sin embargo, desde la industrialización, la concentración de estos gases ha crecido continuamente, atrapando calor y provocando un calentamiento acelerado de la Tierra.

La concentración atmosférica de CO₂ en 2019 alcanzó un nuevo máximo, $409,8 \pm 0,1$ ppm (Blunden & Arndt, 2020), alcanzando picos en febrero y 2020 de 2019 y 2020 de 411,75 y 414,11 ppm, respectivamente, en

el observatorio de Mauna Loa (WMO, 2020). Para volver al equilibrio energético de la Tierra, la concentración atmosférica de CO₂ tendría que reducirse de 410 a 353 ppm (von Schuckmann et al., 2020).

La última vez que la concentración atmosférica de CO₂ fue al menos 350 ppm fue en 1988 y la temperatura media global entonces era de +0,5°C respecto al periodo industrial (1880-1920) (Hansen et al., 2017; Friedlingstein et al., 2019), mientras que en 2020 fue de 1,25°C (C3S, 2021). Además, otros gases de efecto invernadero como N₂O y CH₄ también han aumentado sus concentraciones atmosféricas en este periodo, alcanzando valores máximos en 2019, de 1877 ± 2 ppb y $332,0 \pm 0,1$ ppb, respectivamente. Estos valores constituyen incrementos, respecto a la era pre-industrial de 148%, 260% y 123% para CO₂, CH₄ y N₂O respectivamente.



2.4. 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 línea azul indican los valores medios mensuales. (abajo) su tasa de crecimiento para el periodo 1984–2019. El área sombreada muestra los valores medios anuales. Fuente: modificada de The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2019. WMO greenhouse gas bulletin.

La reducción temporal de emisiones en 2020, correspondiente con las medidas tomadas en respuesta a la pandemia COVID-19, es probable que solamente reduzca levemente el incremento anual de la concentración atmosférica de CO₂, se estima una reducción entre 4,2% y 7,5% respecto a los niveles de 2019. A escala global, una reducción de esta magnitud no significará un descenso de los niveles de CO₂, simplemente se reducirá ligeramente la tasa de incremento, reduciendo únicamente la concentración en 0,08–0,23 ppm respecto a los valores previstos para este año previos a la pandemia. Estos valores están dentro del rango natural de variabilidad interanual,

debida principalmente a la biosfera terrestre (WMO, 2021). Así, distintos organismos predicen que el impacto del confinamiento debido a la pandemia no será distinguible de la variabilidad interanual (Global Carbon Project, 2020; Carbon Brief, 2020; ICOS, 2020). De acuerdo al informe sobre la brecha de las emisiones del 2020 publicado por la ONU, se calcula que la bajada de las emisiones derivará en que el calentamiento global se reduzca como mucho 0,01 °C para el año 2050. Medidas en tiempo real de distintos observatorios como el de Mauna Loa en Hawai o Cape Grim en Tasmania, indican que los niveles de CO₂, CH₄ y N₂O continuaron incrementándose en 2020.

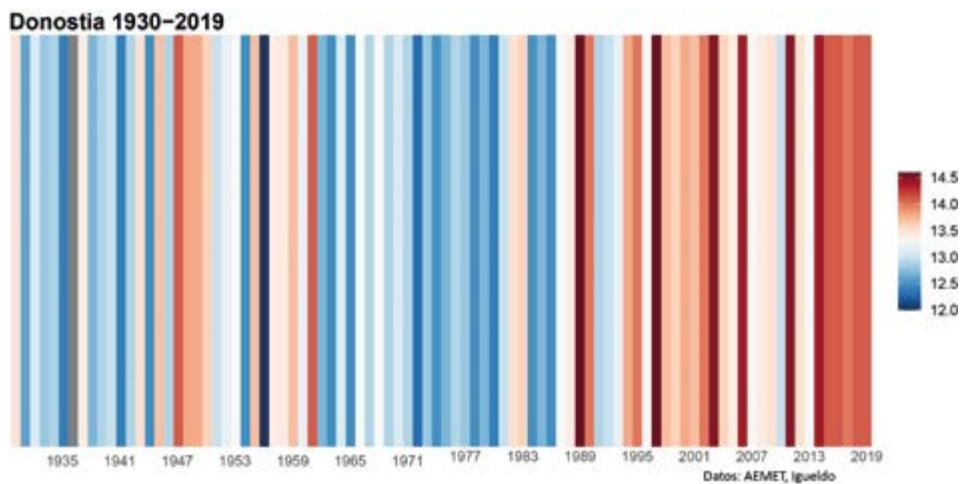
3.1 INTRODUCCIÓN

Gipuzkoa presenta un clima atlántico, esto es, un clima de latitudes templadas, húmedo sin estación seca. Este se caracteriza, a su vez, por temperaturas moderadas con escasa oscilación térmica anual, normalmente inferior a 10 °C, y abundantes precipitaciones, bien distribuidas a lo largo del año, aunque menos cuantiosas en los meses estivales.

La situación latitudinal del territorio se traduce en una compleja dinámica atmosférica, con predominio de situaciones frontales, que explican el elevado número de días con precipitación. Las temperaturas moderadas a lo largo del año se deben en parte también a estas situaciones frontales que se traduce en una abundante nubosidad, y

en segundo lugar a la proximidad al mar. La orografía y el relieve juegan asimismo un papel importante, actuando como elementos que modifican los procesos atmosféricos, intensificándose la oscilación térmica en los valles del interior e incluso en el corredor sublitoral.

Este capítulo analiza los principales cambios observados en la temperatura y precipitación en el territorio guipuzcoano. Los cambios observados en las variables oceanográficas, como cambios en la temperatura del agua y nivel medio del mar, se analizan en el “Informe de Seguimiento y Análisis de Indicadores físicoquímicos y biológicos del cambio climático en el litoral de Gipuzkoa”.



3.1. Fig. Franjas de temperatura media anual en el observatorio de Igueldo para el periodo 1929-2019.

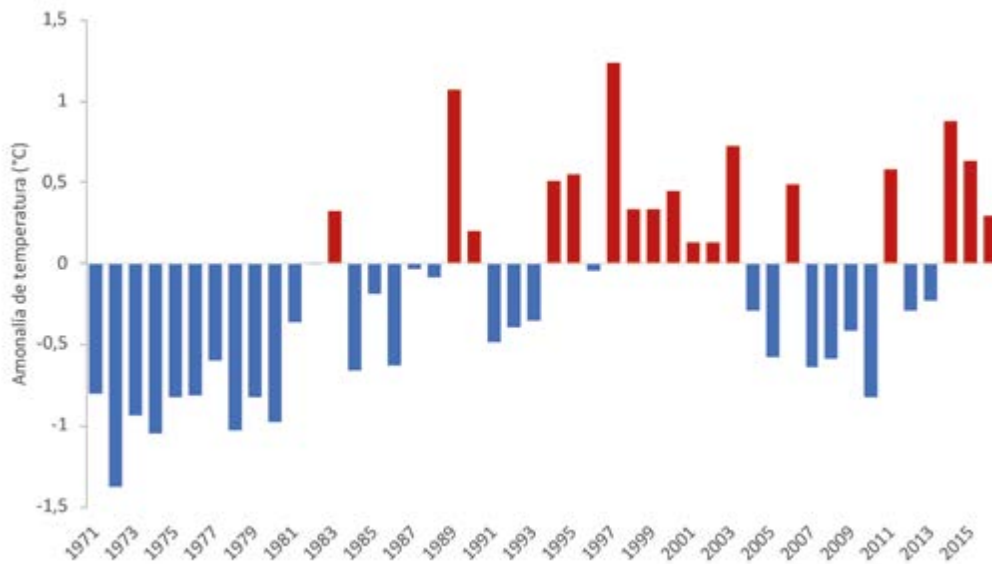
El análisis de los cambios observados en estas variables meteorológicas se basa en datos climatológicos históricos de alta resolución (1 km x 1 km) para el periodo 1971-2016 elaborados en el marco del proyecto klimatek-2016 (<http://escenariosklima.ihobe.eus>). Estos se acompañan con datos de los observatorios meteorológico de Igueldo y Hondarribia-Malkarroat, 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, dado que presentan relación con los indicadores de temperatura y precipitación mostrados en el Anexo I.

3.2 CAMBIOS EN LA TEMPERATURA

La temperatura media anual presenta una ligera tendencia positiva desde el año 1971 (0,24 °C por década). El calentamiento no es uniforme a lo largo de la serie, 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 2003 y 2013 le sigue un periodo ligeramente más frío y los últimos cinco años vuelven a mostrar temperaturas claramente superiores a la temperatura media. El año 2020 fue en Gipuzkoa el tercero más cálido, al menos desde mediados del S. XX (Euskalmet, 2021).



3.2. Fig. Evolución de la anomalía de temperatura media anual relativa a la temperatura media anual del periodo 1981-2010. Fuente: proyecto Escenarios II (Klimatek, 2017).

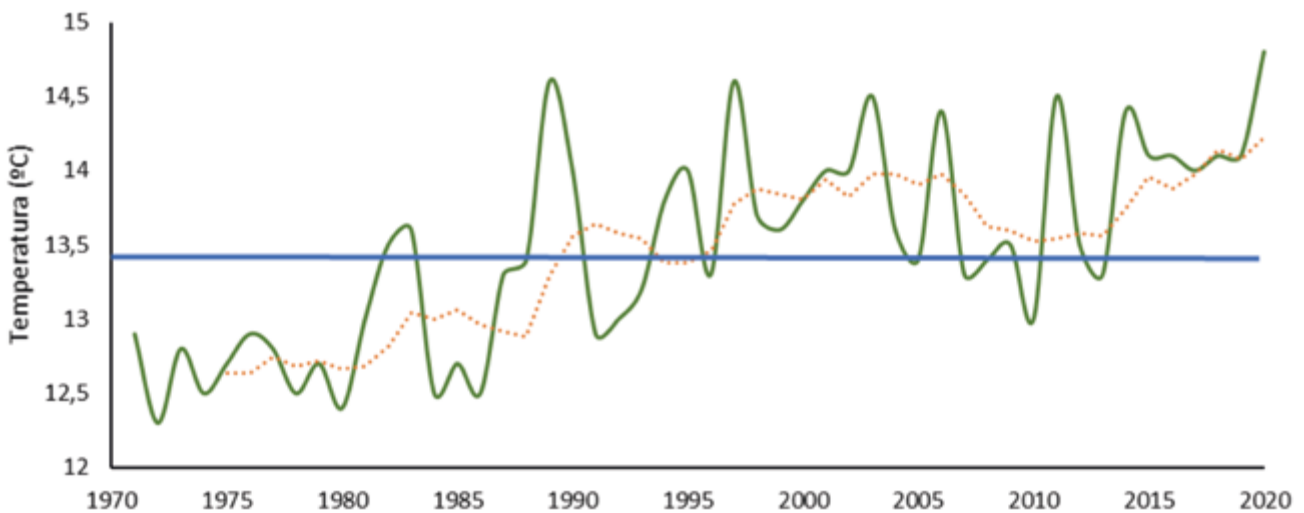
DÉCADA	ESCENARIOS II		IGUELDO		HONDARRIBIA-MALKARROA	
	PROMEDIO	ANOMALÍA	PROMEDIO	ANOMALÍA	PROMEDIO	ANOMALÍA
1971-1980	12,53	-0,92	12,65	-0,98	13,71	-1,12
1981-1990	13,41	-0,03	13,31	-0,32	14,58	-0,25
1991-2000	13,66	+0,21	13,59	-0,04	14,91	+0,08
2001-2010	13,27	-0,18	14,00	+0,37	14,99	+0,16
2011-2020 (2011-2016)	(13,70)	(+0,31)	14,09	+0,46	15,34	+0,51

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

La serie de temperatura registrada en el observatorio de Igueldo muestra un aumento intenso de la temperatura media anual durante las décadas de los 80 y 90 del pasado siglo y una temperatura más estable durante la primera década del S. XXI, incrementándose de nuevo la temperatura media anual durante los últimos 5 años. La media móvil de 5 años indica que todos los valores desde finales del S. XX y durante las dos primeras décadas del S. XXI se encuentran por encima del valor medio (1971-2020). Desde principios del S.XXI, prácticamente la temperatura media anual no ha sido inferior a 14°C, esto es, 0,5°C por encima de la temperatura media para el periodo 1981-2010. En la última década, 2011-2020, se han registrado 7 de los años más cálidos. En 2020, la temperatura media anual fue de 14,8 °C, registrándose la temperatura media anual máxima histórica desde 1929.

En Hondarribia-Malkarroatambién se observa esta tendencia ascendente, con 6 de los años más cálidos en la última década. Asimismo, en 2020 se observó la temperatura media anual más alta de su registro histórico, alcanzando los 16,0°C, esto es, 1,17°C por encima del periodo medio 1981-2010 y 0,92°C por encima de los últimos 30 años (1991-2020). En el interior del territorio no se superaron los registros máximos de la serie histórica en todas las estaciones, siendo en conjunto el tercer año más caluroso, tras los años 2014 y 2011.

La tasa de variación de la temperatura media anual es de 0,11°C y 0,31°C por década en Igueldo y Hondarribia-Malkarroat, respectivamente, considerando series temporales completas en cada uno de ellos (1929-2020 y 1956-2020).



3.3. Fig. Evolución de la temperatura media anual en el observatorio de Igueldo (1960-2019). 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: elaboración propia.

COMARCA	ANUAL	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
BIDASOA BEHEREA / BAJO BIDASOA	0,30 ⁺	0,06	0,44 ⁺	0,34 ⁺	0,34 ⁺
DEBABARRENA/ BAJO DEBA	0,08	-0,12	0,21 ⁺	0,13	0,07
DEBAGOIENA / ALTO DEBA	0,07	-0,13	0,23 ⁺	0,11	0,08
DONOSTIALDEA / DONOSTIA-SAN SEBASTIÁN	0,34 ⁺	0,12	0,52 ⁺	0,36 ⁺	0,33 ⁺
GOIERRI/GOIERRI	0,29 ⁺	0,06	0,42 ⁺	0,36 ⁺	0,31 ⁺
TOLOSALDEA / TOLOSA	0,29 ⁺	0,01	0,48 ⁺	0,34 ⁺	0,28 ⁺
UROLA-KOSTALDEA / UROLA COSTA	0,30 ⁺	0,03	0,43 ⁺	0,42 ⁺	0,30 ⁺
GIPUZKOA	0,24⁺	0,00	0,39⁺	0,30⁺	0,24⁺

3.2. Tabla. Tendencia de la temperatura media (°C década⁻¹) anual y estacional, para las distintas comarcas. + Indica las tendencias que resultan estadísticamente significativas (p-valor <0,05).

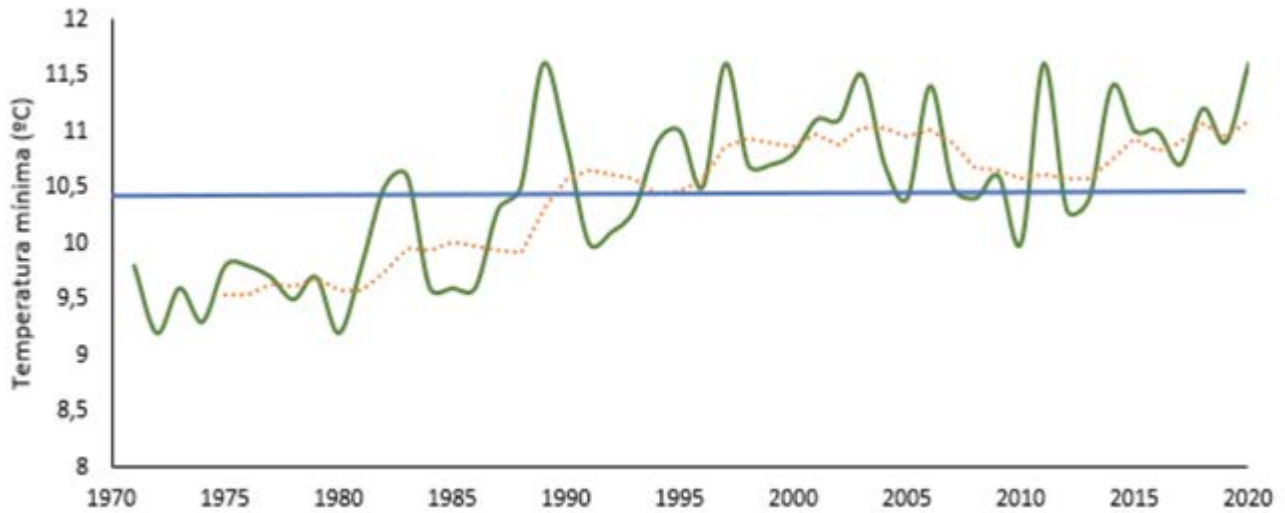
Además, este calentamiento no es uniforme para las distintas estaciones del año. La temperatura media de invierno no muestra ninguna tendencia significativa, al contrario que el resto de estaciones, con el calentamiento más acusado en primavera, seguido del verano.

Euskalmet ha constatado que de 2012 a 2019 los veranos meteorológicos (periodo que comprende los meses de junio, julio y agosto) han sido más cálidos en la CAPV en comparación con el periodo comprendido entre 1981 y 2010. De hecho, el verano de 2019 fue el octavo verano consecutivo en el que la anomalía de temperatura fue positiva y se encuentra entre los 5 veranos más cálidos desde 1950, aunque lejos del verano del año 2003. En este sentido, en el verano de 2020 se alcanzó la temperatura máxima diaria absoluta observada en el observatorio de Hondarribia-Malkarroa desde comienzos de la serie en 1956 al registrarse 42,2°C, habiendo superado en 1,8°C el anterior registro más alto.

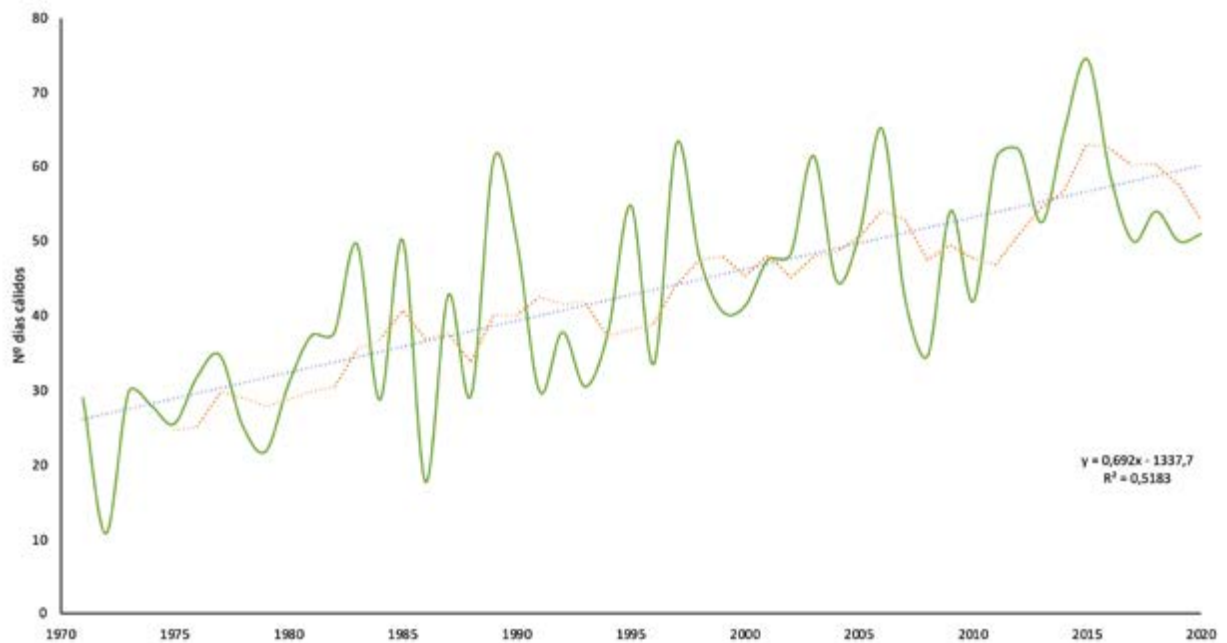
El calentamiento probablemente no ha sido uniforme a lo largo del territorio, aunque no se observan grandes diferencias al analizar los datos históricos para las

distintas comarcas (ESCENARIOS II-KLIMATEK, 2017). Las comarcas de Debabarrrena y Debagoiena no muestran un aumento de la temperatura media anual significativo para el periodo analizado. El mayor calentamiento se ha producido en Donostialdea, más intenso durante la primavera que para el resto de estaciones.

La temperatura media máxima y mínima diarias ha aumentando, siendo más acusado el ascenso en el caso de las temperaturas mínimas. Para el conjunto del territorio, la climatología Escenarios II (Klimatek, 2017) revela un ascenso de 0,30°C y 0,36°C por década para la temperatura media máxima y mínima, respectivamente para el periodo 1971-2016. En los observatorios de AEMET para el periodo 1971-2020, los incrementos son de 0,31°C por década para la temperatura media máxima tanto en Igueldo como Hondarribia-Malkarroa y de 0,33°C y 0,42°C por década para la temperatura media mínima, respectivamente. Asociado a ello, el número de días y noches cálidas y tropicales presenta una tendencia creciente. Complementariamente, ha descendido el número de noches frías.



3.4. Fig. Evolución de la media anual de las temperaturas mínimas diarias. La curva naranja corresponde a una media móvil de 5 años. La línea azul representa el valor medio calculado para todo el periodo analizado.



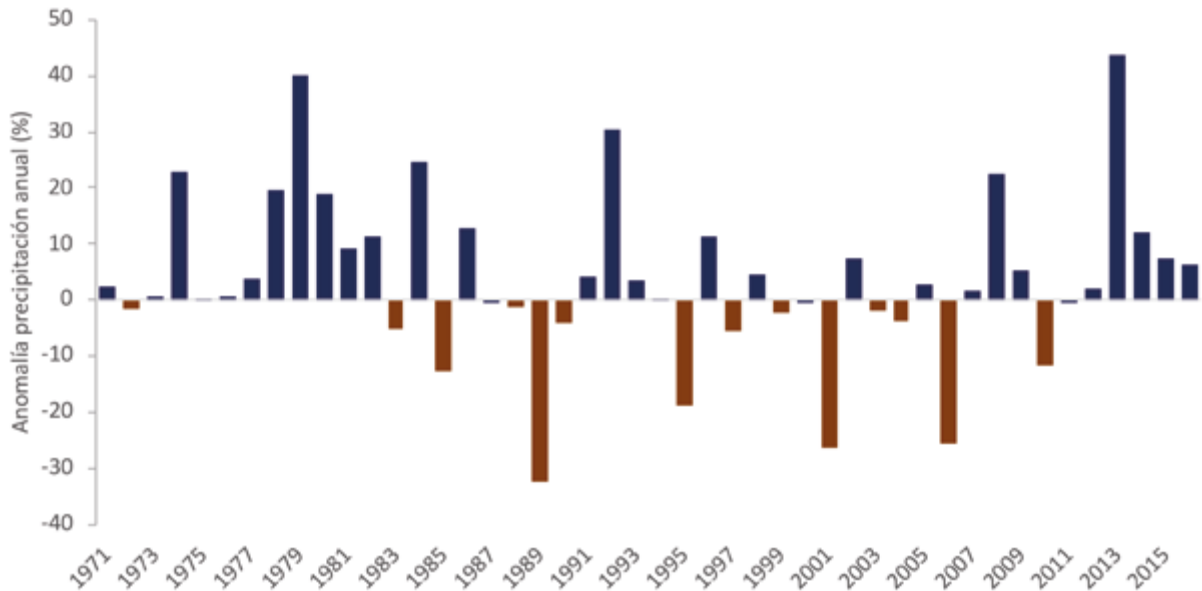
3.5. Fig. Evolución del número de días cálidos (días en los que la temperatura máxima diaria es superior al percentil 90). La curva naranja corresponde a una media móvil de 5 años.



3.3 CAMBIOS EN LA 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 analizado. Excepcionalmente, algunas de las comarcas del territorio y en determinadas estaciones del año, presentan tendencias significativas para determinadas variables.



3.6. Fig. Evolución de la anomalía de precipitación media diaria relativa a la media anual del periodo 1981-2010. Fuente: proyecto escenarios II (Elaboración propia a partir de los datos del proyecto Klimatek II, 2017).

No se observa ninguna tendencia clara en la evolución de la anomalía de precipitación media diaria respecto al periodo medio de 1981-2010. Se pueden 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 año 2020 fue extremadamente húmedo en las comarcas más al este y húmedo en el resto, continuando la tendencia de los últimos años.



3.7. Fig. Evolución del número de días de lluvia (Pr>1 mm). 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: proyecto escenarios II (Elaboración propia a partir de los datos del proyecto Klimatek II, 2017).

El promedio anual de la precipitación en días húmedos tampoco muestra ninguna tendencia para el conjunto del territorio. Son únicamente significativos los decrecimientos anuales de dicha variable en Debabarrena

y Tolosaldea. Ni el número de días secos consecutivos ni los días de precipitación muy intensa (>20 mm) presentan una clara tendencia con respecto al periodo 1975-1985.

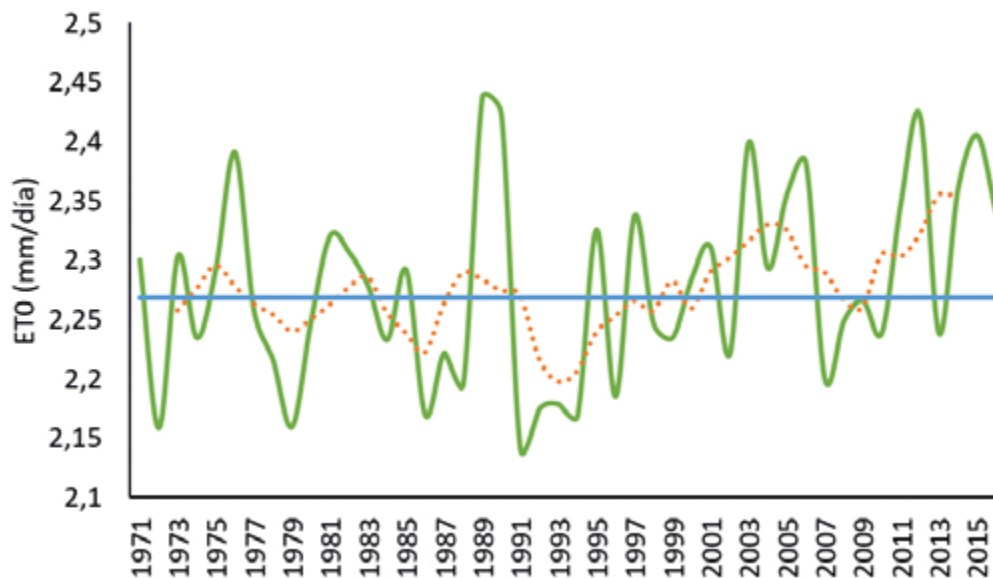
COMARCA	ANUAL	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
BIDASOA BEHEREA / BAJO BIDASOA	-0,05	0,11	-0,23	-0,02	0,12
DEBABARRENA/ BAJO DEBA	-0,16	-0,10	-0,36*	-0,19	-0,04
DEBAGOIENA / ALTO DEBA	-0,06	0,07	-0,17	-0,21*	0,03
DONOSTIALDEA / DONOSTIA-SAN SEBASTIÁN	-0,09	-0,13	-0,27*	-0,10	0,08
GOIERRI/GOIERRI	0,08	0,18	-0,04	-0,11	0,22
TOLOSALDEA / TOLOSA	0,01	0,09	-0,18	-0,11	0,18
UROLA-KOSTALDEA / UROLA COSTA	-0,16*	-0,15	-0,37*	-0,19	-0,00
GIPUZKOA	-0,04	0,01	-0,21	-0,14	0,01

3.3. Tabla. Tendencia de la precipitación diaria (mm día⁻¹ década⁻¹) anual y estacional, para las distintas comarcas. + Indica las tendencias que resultan estadísticamente significativas (p-valor <0,05).

1 Se definen días húmedos como aquellos en los que la precipitación es igual o superior a 1 mm.

A nivel comarcal, la precipitación media diaria anual presenta un ligero decrecimiento en la región costera, siendo únicamente significativo (p -valor $<0,05$) en 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, aunque no significativo.

La evapotranspiración no muestra una tendencia clara para el conjunto del territorio. Sin embargo, sí se observan diferencias entre las distintas comarcas. Debagoiena, Goierri y Tolosaldea muestran un crecimiento en esta variable en la serie histórica analizada, siendo especialmente intenso durante la primavera, coincidiendo con los mayores aumentos de temperatura media.



3.8. Fig. Evolución de la evapotranspiración de referencia durante el periodo 1971–2016 para todo el territorio de Gipuzkoa. 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: Elaboración propia a partir de los datos del proyecto Escenarios II (Klimatek II, 2017).

COMARCA	ANUAL	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO	OTOÑO
BIDASOA BEHEREA / BAJO BIDASOA	-0,02	-0,02	0,01	-0,04	-0,02
DEBABARRENA/ BAJO DEBA	0,00	-0,01	0,03	-0,01	-0,00
DEBAGOIENA / ALTO DEBA	0,02 ⁺	-0,00	0,06 ⁺	0,02	0,01
DONOSTIALDEA / DONOSTIA-SAN SEBASTIÁN	-0,01	-0,02 ⁺	0,02	-0,03	-0,02
GOIERRI/GOIERRI	0,02 ⁺	-0,00	0,05 ⁺	0,02	0,01
TOLOSALDEA / TOLOSA	0,04 ⁺	-0,00	0,08 ⁺	0,06 ⁺	0,03
UROLA-KOSTALDEA / UROLA COSTA	0,02	-0,01	0,05 ⁺	0,03	0,01
GIPUZKOA	0,02	-0,00	0,05⁺	0,02	0,00

3.4. Tabla. Tendencia de la evapotranspiración de referencia (mm año^{-1}) anual y estacional, para las distintas comarcas. + Indica las tendencias que resultan estadísticamente significativas (p -valor $<0,05$).

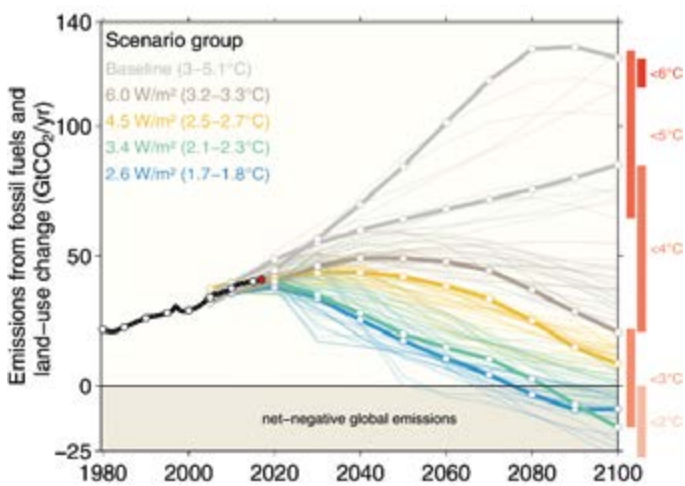


El conocimiento detallado de las condiciones climáticas actuales, pero también de las futuras, será necesario para poder evaluar los posibles impactos tanto en el medio natural como socioeconómico y para el desarrollo de los planes de adaptación.

Las alteraciones provocadas por los cambios en la concentración de gases de efecto invernadero o usos del suelo como consecuencia de la actividad humana son las principales perturbaciones que puede experimentar el sistema climático de la Tierra. Debido a la incertidumbre asociada a la evolución de estos factores, que dependen

de la actividad humana, así como del comportamiento del clima futuro y especialmente de los efectos del cambio climático, el análisis de los efectos del cambio climático se realiza en base a escenarios. Estos escenarios establecen los incrementos de forzamiento radiativo generados por la actividad humana, independientemente de los procesos que hayan conducido al sistema a dichos incrementos. En este estudio se han considerado los escenarios definidos por el IPCC en su 5º informe de evaluación (IPCC-AR5, 2013), conocidos como Trayectorias de Concentración Representativas (RCP por sus siglas en inglés).

En el AR5, se ha utilizado un nuevo conjunto de cuatro escenarios futuros de concentración de gases de efecto invernadero, o trayectorias de concentración representativas (RCP). Estos escenarios son una representación plausible de la evolución futura de las emisiones de sustancias que podrían ser radiativamente activas (ej. GEIs y aerosoles), basadas en un conjunto coherente de supuestos sobre los factores que las impulsan, como el desarrollo demográfico y socioeconómico, el cambio tecnológico, la energía y el uso del suelo, y las principales relaciones entre ellos. Las RCP, generalmente, hacen referencia a la trayectoria esperada hasta el año 2100, para los cuales los modelos de evaluación integrados han generado los correspondientes escenarios de emisiones. Éstas se identifican por el incremento del forzamiento radiativo total aproximado para el año 2100 con respecto a 1750, comprendiendo una horquilla entre 2,6 y 8,5 W m⁻². Este forzamiento radiativo mide la cantidad de radiación que incide sobre la superficie de la Tierra y la energía irradiada de vuelta al espacio. Cuanto mayor sea la diferencia, mayor será la cantidad de radiación absorbida en forma de energía. Esta energía es la que provoca el aumento de temperatura y, en general, las alteraciones que llevan al cambio climático. Que alcancemos uno u otro escenario depende de la interacción de muchas dinámicas socioeconómicas y de algunos procesos físicos que afectan al sistema global y que todavía no se conocen en detalle.



4.1. Fig. Trayectorias de emisiones de CO₂ utilizadas en el AR5 del IPCC (2013-2014). Las líneas gruesas corresponden a las cuatro trayectorias de concentración representativas utilizadas por el IPCC para generar las proyecciones de cambio climático y las líneas más difusas corresponden a las trayectorias utilizadas por el Grupo III de trabajo (WGIII) del IPCC para evaluar las alternativas de mitigación. La línea negra de las emisiones históricas proporcionadas por Carbon Dioxide Information Analysis Center y el Global Carbon Project.

	FORZAMIENTO RADIATIVO (FR)	TENDENCIA DEL FR	CO ₂ EN 2100
RCP2.6	2,6 W m ⁻²	DECRECIENTE EN 2100	421 ppm
RCP4.5	4,5 W m ⁻²	ESTABLE EN 2100	538 ppm
RCP6.0	6,0 W m ⁻²	CRECIENTE	670 ppm
RCP8.5	8,5 W m ⁻²	CRECIENTE	936 ppm

4.1. Tabla. Forzamiento radiativo (FR), tendencia del FR y concentración de CO₂ para los nuevos RCP en el AR5 (IPCC 2013).

El conocimiento de la evolución del clima y de su variabilidad se basa en simulaciones numéricas del sistema climático, utilizando para ello una jerarquía de modelos climáticos que van desde modelos climáticos sencillos y modelos climáticos de complejidad intermedia, hasta modelos climáticos más complejos y modelos del

sistema Tierra. Estos análisis dan como resultado las denominadas “proyecciones climáticas” que, según el IPCC, son la respuesta simulada del sistema climático a diversos escenarios de emisiones o de concentraciones futuras de los GEI y aerosoles, frecuentemente basada en simulaciones de modelos climáticos.

Una proyección climática es la respuesta simulada del sistema climático a diversos escenarios de emisiones o de concentración de gases de efecto invernadero y aerosoles, frecuentemente basada en simulaciones mediante modelos climáticos. Las proyecciones climáticas se diferencian de las predicciones climáticas por su dependencia del escenario de emisiones/concentraciones/forzamiento radiativo utilizado, basado en supuestos relativos, por ejemplo, a un devenir socioeconómico y tecnológico que puede o no materializarse (IPCC-AR5, 2013).

Los escenarios deberían considerarse plausibles e ilustrativos y no incluyen probabilidades. Las fuentes de incertidumbre en las proyecciones de cambio climático pueden agruparse en tres factores principales: incertidumbre asociada al escenario, debido a las inciertas emisiones y concentraciones futuras de los GEI y aerosoles; incertidumbre asociada a la modelización, debido a las limitaciones de los modelos numéricos que tratan de representar el sistema climático; y la incertidumbre asociada a la variabilidad natural, incertidumbre asociada a la variabilidad interna del sistema.

El clima global es la respuesta a las estructuras a gran escala en la superficie de la Tierra y el calentamiento diferencial para diferentes latitudes y épocas del año. Los climas regionales son el resultado de la interacción de estas condiciones globales con los detalles a escala regional. Partiendo de las simulaciones globales, es necesario realizar una regionalización de las mismas ('downscaling' en inglés) con el objetivo de adaptar las proyecciones de los modelos climáticos globales a las características regionales o locales influenciadas por la orografía, el contraste tierra-mar o los usos del suelo.

En el ámbito europeo, las proyecciones regionales de cambio climático han sido producidas y actualizadas en distintos proyectos europeos: PRUDENCE (2001-2004), ENSEMBLES (2004-2009) y EURO-CORDEX (2009-actualidad). En el marco del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) se han ido

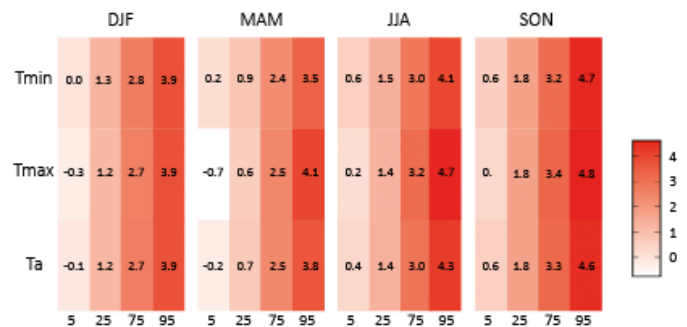
elaborando proyecciones regionalizadas de cambio climático para España, proyecciones puntuales realizadas por AEMET, y proyecciones regionalizadas a partir de los modelos numéricos globales del CMIP5 y EURO-CORDEX en el marco de la iniciativa Escenarios PNACC 2017 (<http://escenarios.adaptecca.es/doc/pnacc.pdf?v=2019b>). A escala de la CAPV, en el marco de los proyectos Klimatek 2016 y Klimatek 2017-2018 (ESCENARIOS I-Elaboración de escenarios de cambio climático de alta resolución para el País Vasco y ESCENARIOS II-Escenarios de cambio climático de alta resolución para el País Vasco. Fase II: datos diarios con metodologías de corrección de sesgo) se han elaborado un atlas climatológico (periodo 1971-2015) y escenarios regionalizados de cambio climático para el S. XXI para tres periodos futuros (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100) de alta resolución (1km x 1 km) para distintas variables básicas (temperatura media, máxima y mínima, precipitación, evapotranspiración de referencia), a partir de simulaciones del proyecto EURO-CORDEX (<http://escenariosklima.ihobe.eus>).

En el informe de “Impacto y vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa” presentado en 2020 ya se presentan las proyecciones de las principales variables climáticas en el territorio. A continuación, se presentan de forma resumida, las principales proyecciones en Gipuzkoa para dos sendas representativas de concentración (RCP4.5 y RCP8.5), a partir de los escenarios regionalizados para la CAPV, completado con referencias de otros estudios.

4.1 CAMBIOS PROYECTADOS EN LA TEMPERATURA

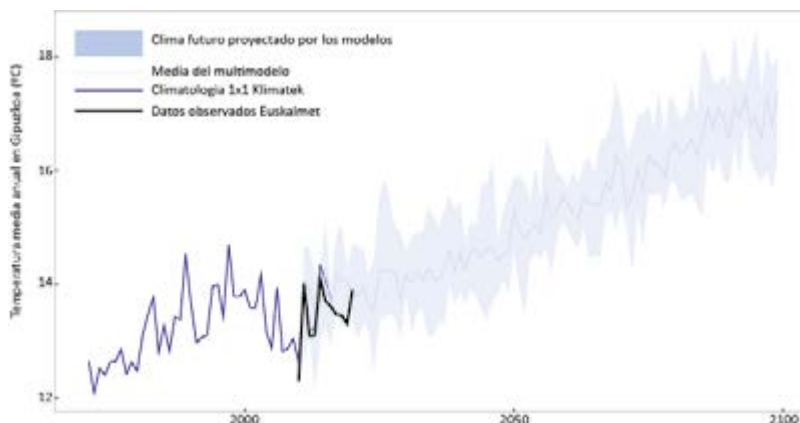
Las distintas proyecciones de temperatura media prevén un aumento generalizado a lo largo del S. XXI, que alcanzaría entre 3°C y 4°C, respecto al periodo de referencia 1971–2000, a finales de siglo para el peor de los escenarios. El calentamiento proyectado es uniforme en todo el territorio, no se observan grandes diferencias espaciales. A largo plazo (2071–2100) y en el peor escenario, el aumento de temperatura más elevado se espera para el otoño [2,6 °C 6,4 °C] y el menor para la primavera [1,4 °C 4,7 °C].

Los cambios proyectados para las temperaturas máximas medias anuales, en el peor de los escenarios, coinciden con la de la temperatura media, esto es, un incremento en torno a 2°C para el segundo periodo (2041–2070) y un incremento generalizado y más acusado, 2,5–4,5°C, para finales de siglo, respecto al periodo de referencia 1971–2000. En el escenario RCP4.5 es probable que las temperaturas máximas asciendan alrededor de 2°C para finales de siglo. Asimismo, se proyecta una mayor duración y frecuencia de las olas de calor, tanto para los escenarios RCP4.5 como RCP8.5.



4.3. Fig. Cambios proyectados en la temperatura estacional para 2040–2070, con respecto al promedio para el periodo 1971–2000 para el forzamiento RCP8.5. Se dan en cada caso diferentes percentiles (5,25,75,95). Fuente: elaboración propia.

4.2. Fig. Temperatura media: anomalías proyectadas por los RCPs de Euro-CORDEX bajo los escenarios RCP4.5 (izquierda) y RCP8.5 (derecha) para los tres periodos futuros: 2011–2040, 2041–2070 y 2071–2100. Elaboración propia a partir de los escenarios de alta resolución de la CAPV (Klimatek, 2016).



4.4. Fig. Temperatura media anual en Gipuzkoa observada y proyectada para el escenario RCP8.5 (intervalo de confianza del 95%).

Las proyecciones regionalizadas para el periodo más cercano (2011–2040) nos permiten comparar estas proyecciones con la tendencia observada los últimos años, hasta la mitad de este periodo inicial. Este es solo un indicador de la fiabilidad de las mismas, aunque no podremos realizar esta comparación hasta tener por lo

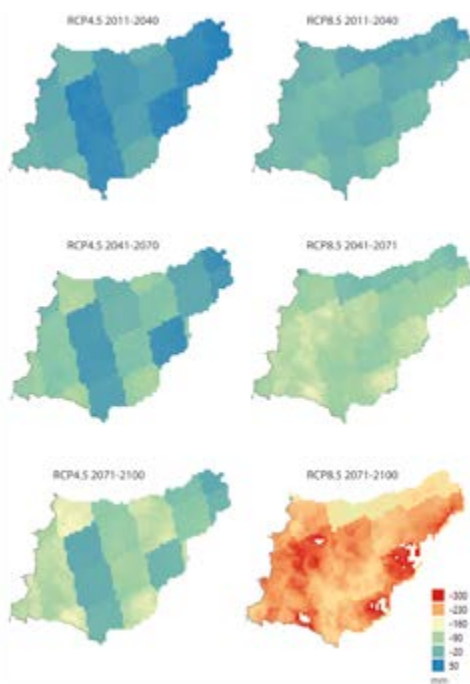
menos este primer periodo completo. Las observaciones muestran un aumento progresivo de la temperatura, especialmente en la última década. Parece que las proyecciones climáticas, incluso en este escenario más desfavorable, no están sobreestimando esta tendencia creciente.

4.2 CAMBIOS PROYECTADOS EN EL CICLO DEL AGUA

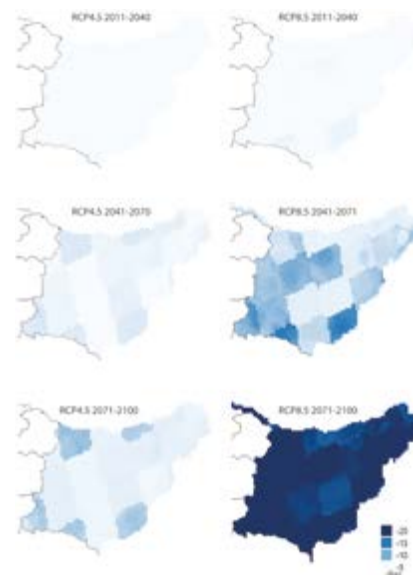
En el caso de la precipitación, es probable un descenso de la precipitación anual media entorno al 11% para finales de siglo en el peor de los escenarios y de un 5% para el escenario RCP4.5, respecto al periodo de referencia 1971–2000. El descenso de la precipitación será ligeramente menor en zonas como Bajo Bidasoa, Donostialdea, o Urola Kosta. En cuanto a la estacionalidad, los descensos de precipitación proyectados son mayores para el verano, con descensos que van incrementándose a lo largo del S. XXI, más acusado en el periodo 2041–2070 y el peor de los escenarios, con un descenso de aproximadamente el 35%.

Se proyecta una disminución gradual del número de días húmedos ($Pr > 1$ mm), alcanzando un descenso del 16% para el tercer periodo bajo el escenario RCP8.5, respecto al periodo de referencia 1971–2000. Todas las estaciones del año presentan un decrecimiento para finales del S. XXI, siendo esta más intensa para el verano, una disminución aproximadamente del 35%. Para la precipitación promedio de estos días húmedos, sin embargo, se proyecta en general un aumento para todo el S. XXI, más acusado en el otoño.

Al disminuir el número de días con precipitación, pero aumentar la precipitación en esos días, es probable que la precipitación se concentre en un menor número de días, con precipitaciones más intensas, seguidos de periodos sin precipitación. Así, se proyecta un aumento, cerca del 10% en el peor de los escenarios respecto al periodo de referencia 1971–2000, del número de días secos consecutivos.



4.5. Fig. Precipitación anual: anomalías (periodo base 1971–2000) proyectadas por los RCPs de Euro-CORDEX bajo los escenarios RCP4.5 (izquierda) y RCP8.5 (derecha) para los tres periodos futuros: 2011–2040, 2041–2070 y 2071–2100. Elaboración propia a partir de los escenarios de alta resolución de la CAPV (Klimatek, 2016).



4.6. Fig. Número de días húmedos ($Pr \geq 1$ mm): anomalías (periodo base 1971–2000) proyectadas por los RCPs de Euro-CORDEX bajo los escenarios RCP4.5 (izquierda) y RCP8.5 (derecha) para los tres periodos futuros: 2011–2040, 2041–2070 y 2071–2100. Elaboración propia a partir de los escenarios de alta resolución de la CAPV (Klimatek, 2016).

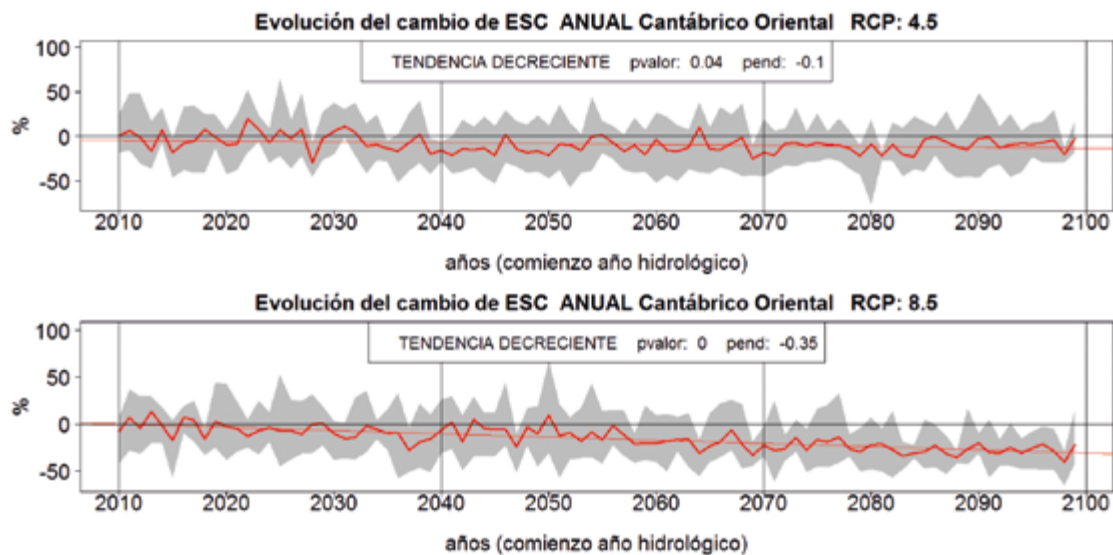
1 Días secos, días con $Pr < 1$ mm

El aumento de las temperaturas máximas y mínimas daría lugar al consiguiente incremento de la evapotranspiración de referencia a lo largo del siglo. Este incremento es más acusado a finales de siglo y para el escenario RCP8.5.

Bajo este escenario con descenso de la precipitación, aumento de la temperatura media y un incremento de la evapotranspiración de referencia, distintos estudios indican también una tendencia decreciente en la disponibilidad de recursos hídricos.

La evaluación de la incidencia del cambio climático sobre los recursos hídricos ha sido analizada en el informe 'Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los

Recursos Hídricos y Sequías en España (CEDEX, 2017), a partir de las proyecciones climáticas regionalizadas. Este estudio proyecta para la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental, una reducción de la escorrentía a medida que avanza el siglo para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, del 3% y 7% para 2010–2040, 12%–13% para 2040–2070 y 10%–26% para 2070–2100 respecto al periodo de control 1961–2000, respectivamente. Asimismo, el estudio del CEDEX (2017) prevé que, en función del cambio del periodo de retorno de sequías, las sequías en las cuencas del norte sean más frecuentes a medida que avance el siglo.



4.7. Fig. Evolución del cambio anual de escorrentía para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 en la Demarcación Hidrológica del Cantábrico Oriental. La banda gris indica el rango de resultados de las proyecciones. La línea roja gruesa indica su promedio y la recta delgada su pendiente. Se indica el p-valor del test de Mann Kendall. Fuente: Centro de Estudios Hidrográficos (2017).

4.3 CAMBIOS PROYECTADOS EN EL VIENTO

Las proyecciones regionalizadas de los Escenarios-PNACC no muestran grandes cambios en la velocidad media del viento (a 10 m de altura) a lo largo del siglo, ni a escala anual ni en ninguna de las estaciones.

Tampoco las proyecciones para la velocidad máxima del viento muestran cambios significativos para las próximas décadas.

4.4 CAMBIOS PROYECTADOS EN EL OCÉANO

El cambio climático está causando el calentamiento de los océanos, la acidificación del medio ambiente marino y la subida del nivel medio del mar. Las proyecciones para las próximas décadas prevén que estos cambios continuarán, siendo mayores a finales de siglo y para los escenarios de emisiones más elevadas (RCP8.5).

El océano seguirá calentándose a lo largo del S. XXI. La temperatura superficial del agua se prevé que aumente a una tasa un 30% inferior a la temperatura superficial media global debido a la inercia térmica del océano, provocando incrementos de temperatura de entre 2-4 (RCP2.6) y 5-7 (RCP8.5) veces respecto a la de 1970 (IPCC, 2019). Las proyecciones regionalizadas para el Cantábrico muestran para la temperatura superficial, aumentos de entre 2 °C y 2,4 °C para el periodo 2050-2099 (Jordà et al., 2017). En cuanto a la salinidad, las proyecciones para el cantábrico indican que los cambios dependerán de la masa de agua analizada, con descensos de salinidad en los primeros 100-200 m y aumento a 500 m de profundidad. Con estas proyecciones (aumento de temperatura y descenso de la salinidad en los primeros metros) cabe esperar una mayor estratificación de la columna de agua (Jordà et al., 2017).

El aumento del nivel del mar, junto con los eventos extremos costeros, representan una de las mayores

amenazas en el litoral (IPCC, 2014). En el informe del IPPC (2019) sobre océanos y criosfera, se presentaron las nuevas proyecciones a nivel global para el S. XXI. En el escenario más favorable (RCP2.6) el aumento del nivel del mar en 2100 se prevé que alcance una media de 43 cm, dentro de un rango probable entre 29-59 cm. En el escenario más desfavorable (RCP8.5), el aumento medio esperado será de 84 cm con un rango probable comprendido entre 61 y 110 cm. Las tendencias muestran un aumento medio similar para los distintos escenarios hasta 2050, aumentando posteriormente las diferencias hasta final de siglo. A escala regional estas proyecciones pueden variar significativamente (Slangen et al., 2014). Las proyecciones a nivel europeo prevén ascensos de +18 cm en 2050 y +53 cm en 2100 para el escenario RCP4.5 y de +22 cm en 2050 y + 80 cm en 2100 para el escenario RCP8.5 en el Golfo de Vizcaya (Vousdoukas et al., 2017). Estudios regionalizados para la costa española (VISOR C3E, IH Cantabria 2019), prevén en el litoral guipuzcoano ascensos medios entre 0,13 m para el periodo 2026-2045 para los dos escenarios mencionados y de 0,38 m y 0,55 m para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 para el periodo 2081-2100, respectivamente.

LOCALIDAD	RCP4.5		RCP8.5	
	2050	2100	2050	2100
DONOSTIA	0,23	0,53	0,25	0,70
HONDARRIBIA	0,23	0,52	0,25	0,69
PASAIA	0,23	0,52	0,25	0,69
ZARAUZ	0,23	0,54	0,26	0,70

Tabla 4.2. Datos de aumento relativo del nivel mar (m), percentil 50. Fuente: modificada de Sainz de Murieta et al. (2018).

Un estudio centrado en varias localidades costeras de la CAPV determina para 2050 valores medios de 0,23-0,25 m, mientras que para 2100 los valores esperados son de 0,25 y 0,7 m para los escenarios RCP 4.5 y RCP8.5, respectivamente, alcanzando aumentos mayores, próximos o incluso superiores a 1 m, para los escenarios más pesimistas (Sainz de Murieta et al., 2018).

El aumento del nivel del mar contribuirá a que los eventos costeros extremos sean más frecuentes. Las proyecciones climáticas indican un aumento en la

intensidad y frecuencia de los niveles del mar extremos para 2100 (Vousdoukas et al., 2018). En concreto, en los extremos del nivel del mar con periodo de retorno de 100 años, los incrementos proyectados son de unos 25 cm de media para 2050, tanto para el escenario RCP4.5 como RCP8.5. Para finales de siglo, las proyecciones indican aumentos de 57 cm y 81 cm para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, respectivamente (Vousdoukas et al., 2017). Estos cambios serán principalmente resultado de cambios en el nivel medio del mar.

RCP4.5-2050			RCP4.5-2100			RCP8.5-2050			RCP8.5-2100		
Δ ESL	%Δ ESL	%Δ O-MM	Δ ESL	%Δ ESL	%Δ O-MM	Δ ESL	%Δ ESL	%Δ O-MM	Δ ESL	%Δ ESL	%Δ O-MM
0,18	4,0	-10,3	0,53	11,6	-9,2	0,22	4,9	-8,2	0,80	17,4	-1,6

Tabla 4.3. Proyecciones de cambios absolutos y relativos de eventos extremos de nivel del mar con periodo de retorno de 100 años para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. Fuente: tabla modificada de Voudoukas et al. (2017).

ESL: nivel del mar extremo; %O-MM: expresa el porcentaje del cambio proyectado atribuible a cambios en oleaje extremo y marea meteorológica, considerando periodos de retorno de 100 años.

En cuanto al oleaje, no se proyectan grandes cambios para Europa (Voudoukas et al., 2017). Las proyecciones regionalizadas para el cantábrico muestran, en el

escenario más desfavorable y a finales de siglo, cambios de hasta un 6% en la altura de ola significativa (Ramírez Pérez et al., 2019).

4.5 EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS

Los eventos climáticos extremos y cómo se forman éstos son cuestiones complejas de responder, ya que, es necesario analizar numerosos factores interrelacionados entre sí para explicar sus causas.

A día de hoy, existen numerosas evidencias científicas a nivel global que demuestran que el cambio climático tiene un efecto significativo sobre los fenómenos meteorológicos extremos, provocando que aumente su

frecuencia, intensidad y duración (Yilmaz et al., 2014). En este sentido, la comprensión de la relación entre la crisis climática inducida por el hombre y los fenómenos meteorológicos extremos es fundamental de cara a mitigar los daños tanto humanos como materiales que producen este tipo de eventos. Solamente en España, se estima que estos eventos extremos ocasionan anualmente la pérdida de 700 vidas y un coste de 900 millones de euros.

Las condiciones meteorológicas extremas y sus consecuencias para el desarrollo económico, la seguridad alimentaria, la salud y la migración supusieron en 2017 unos costes de unos 260.000 millones de euros en el conjunto del planeta (Organización Meteorológica Mundial, 2018).

Los principales eventos climáticos extremos con gran potencial de afección son los episodios de viento y precipitación extremos. De acuerdo con último 'Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático' publicado a finales de 2020, con la excepción del leve crecimiento proyectado para finales de siglo en el escenario RCP8.5, en líneas generales, no se proyectan cambios significativos en los vientos extremos sobre la Península Ibérica, salvo un leve descenso del valor de retorno a 50 años en el noroeste peninsular en verano a medio (2041-2070) y largo plazo (2071-2100). Del mismo modo, y en concordancia con estudios previos, se proyecta un progresivo descenso en toda la Península Ibérica a lo largo del siglo XXI en el número de días con vientos de intensidad media (~70 km/h) y un leve aumento de los días con vientos intensos (~90 km/h) en la mitad norte, principalmente, con la excepción de la costa del Mar Cantábrico (Herrera et al. 2018). Finalmente, tampoco se encuentran cambios estadísticamente significativos en la frecuencia de ocurrencia de ciclones y/o ciclogénesis explosivas en el territorio al existir disensiones en el signo del cambio por parte de los modelos globales.

Con respecto a los episodios de precipitación extrema, existe una gran variabilidad entre los distintos modelos utilizados, por lo que es difícil predecir su evolución.

Asociadas a estas precipitaciones intensas, las inundaciones son uno de los riesgos naturales que mayores daños personales y materiales causan. El AR5 del IPCC indica que no existen evidencias que establezcan correlaciones directas entre el cambio climático y el aumento en la frecuencia y magnitud de las inundaciones. Sin embargo, este informe sí describe cambios en varios componentes del ciclo hidrológico asociados al cambio climático. En la revisión de la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación (URA, 2018), se analizó la influencia del cambio climático en la frecuencia de los caudales de avenida. Se pronosticó que para periodos de retorno bajos (10 años) los cambios en los caudales de avenida serían nulos o con una ligera tendencia a la disminución, mientras que para periodos de retorno elevados (100 y 500 años) se prevé un incremento. Debe puntualizarse, que estos posibles incrementos en los caudales de avenida no se traducen en un aumento proporcional de la inundabilidad, puesto que el comportamiento de las avenidas depende de múltiples factores que pueden experimentar cambios en un contexto de cambio climático.







Sistema natural



Naturklima

Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa

**Gipuzkoako
Foru Aldundia**
Departamento de Medio Ambiente
y Obras Hidráulicas



ETORKIZUNA ORAIN
Es futuro

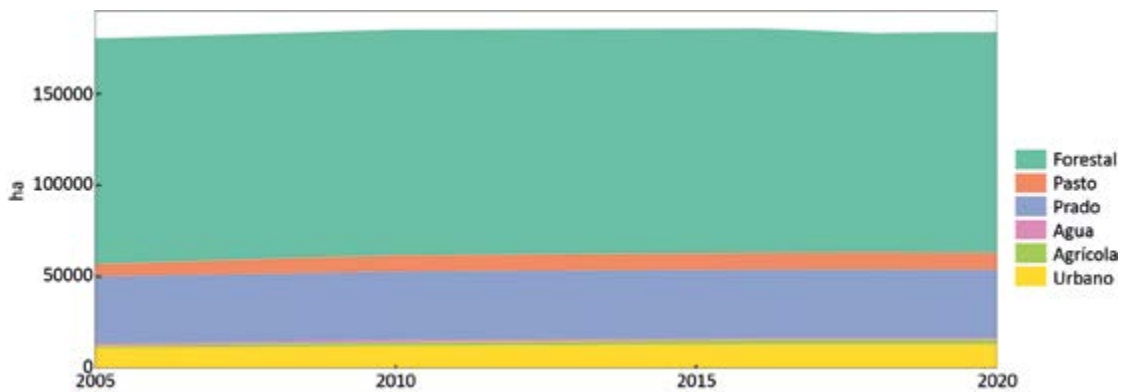
5.1 USOS DEL SUELO

Los suelos son un elemento importante del ciclo del carbono, constituyen el segundo mayor sumidero de carbono, solo por detrás de los océanos. Por tanto, se trata de un elemento fundamental para la mitigación del cambio climático. Sin embargo, cambios en los usos del suelo, como los debidos a la deforestación, al abandono de cultivos, artificialización, etc., que afectan a la cubierta vegetal pueden generar emisiones a la atmósfera, agravando las consecuencias del cambio climático.

Además, los efectos del cambio climático combinados

con los efectos derivados de los cambios en los usos del suelo, pueden agravar los efectos sobre los ecosistemas.

Los usos actuales del suelo son el resultado de modificaciones antrópicas sucesivas. Las tendencias de cambio en los usos del suelo nos informan de los cambios en la contribución/mitigación del cambio climático del territorio. Para ello, se han analizado los Inventarios y Mapas Forestales de la CAPV realizados por el Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente, siendo el más reciente el elaborado para el año 2020¹.



5.1. Fig. Evolución de usos del suelo en Gipuzkoa 2005–2020. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de los Inventarios y mapas Forestales.

El 69,5% del territorio guipuzcoano está cubierto por bosques. Esto supone una ligera reducción, menor al 1% respecto al año 2019, mientras que respecto a 2005 se han reducido en un 4,3%. Los pastos representaron en 2019 cerca del 5,0% de la superficie. La superficie ocupada por tierras de cultivo solo representa el 1,2% del suelo del territorio, pero ha experimentado un incremento del 65,1% en el periodo analizado, con una ligera disminución durante el 2020 con respecto al año 2019.

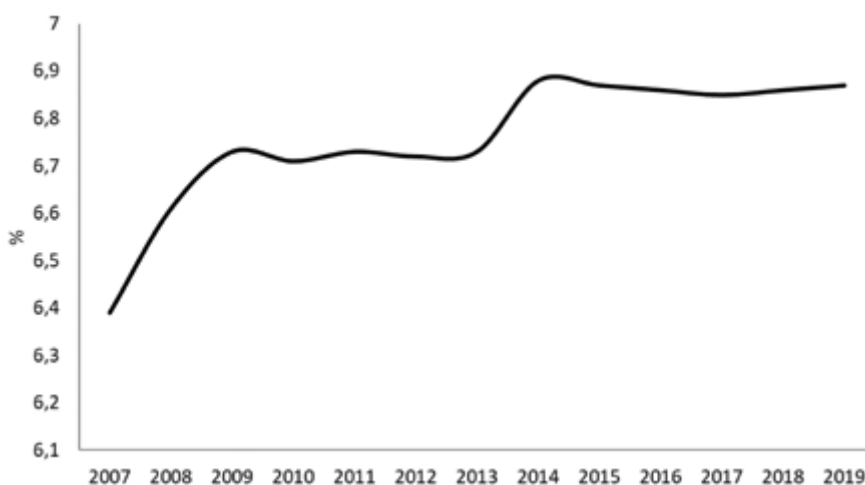
La superficie ocupada por humedales se ha reducido un 7,1% desde 2005. La principal pérdida se produjo entre los años 2005 y 2010, recuperándose prácticamente en el 2016 (5 ha menos que en 2005), y manteniéndose estable los últimos cuatro años. La pérdida de humedales tiene consecuencias sobre la biodiversidad del territorio, ya que cobijan hábitats de interés comunitario y especies amenazadas. Además, estos ecosistemas se consideran uno de los sumideros de gases de efecto invernadero, por lo que cambios en su uso pueden provocar que se conviertan

en una fuente importante de emisiones de CO₂. A pesar del ligero cambio en su cobertura, en el último inventario de emisiones de GEIs en Gipuzkoa² no se observan cambios en la absorción o emisión para este periodo.

La artificialización del suelo influye negativamente en las condiciones ambientales del territorio, ya que, entre otros factores, contribuye a la pérdida de ecosistemas, hábitats y suelo fértil al aumento de la temperatura atmosférica, al incremento de la escorrentía y el sellado del suelo. Estos cambios contribuyen a reducir la capacidad del suelo de absorber y filtrar agua de lluvia, modificar el curso del agua, la fragmentación de la biodiversidad y la reducción de la capacidad de fijación del CO₂, contribuyendo así, a agudizar los efectos del cambio climático. La artificialización del suelo se ha incrementado un 7,2% en el periodo 2005–2020, incrementándose un 0,1% con respecto al 2019. Así, la superficie artificial acumulada en 2020 representa el 7,0% del total del territorio.

1 <https://www.euskadi.eus/informazioa/baso-inbentarioak/web01-a3estbin/eu/>

2 <https://www.naturklima.eus/inventario-de-gases-de-efecto-invernadero-eu.htm>

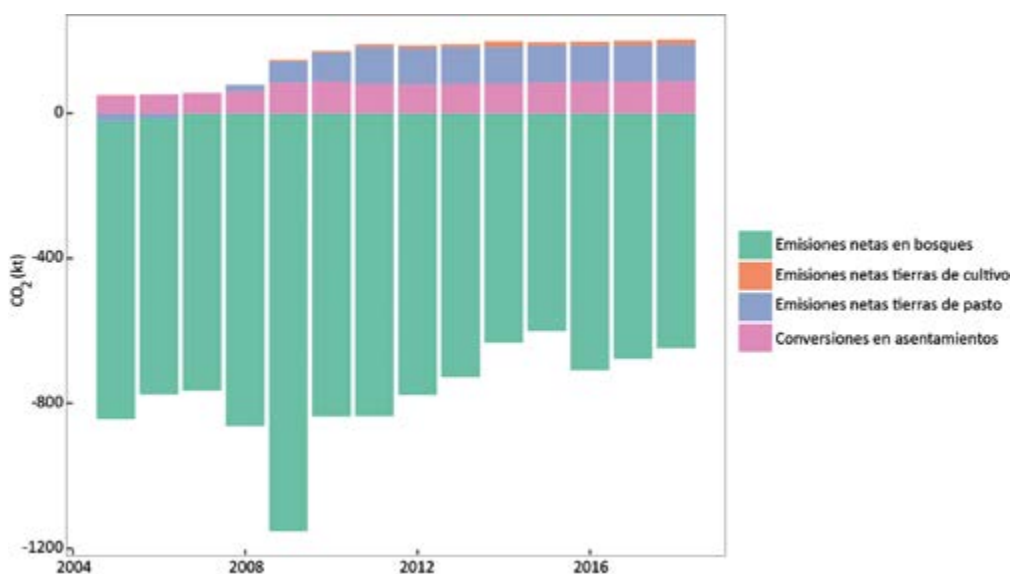


5.2. Fig. Evolución del porcentaje de superficie de suelo artificializado en Gipuzkoa.

5.2 ABSORCIONES Y EMISIONES LIGADAS AL USO DE LA TIERRA Y CAMBIOS DE USO DE LA TIERRA

Los cambios en los usos del suelo han hecho que las absorciones de gases de efecto invernadero ligadas al uso de la tierra y silvicultura se hayan reducido un 44,0% respecto a 2005. La mayor absorción está ligada a los bosques, aunque se ha visto reducida un 21,0% con respecto a 2005. Los mayores cambios se han producido en la categoría de pastos, que tras absorber 21 kt de CO₂

en 2005 se ha convertido en una fuente emisora tras convertirse prados y praderas en matorrales. También contribuyen a las emisiones asociadas, la conversión del suelo en asentamientos. En el Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Gipuzkoa, de publicación anual, se puede encontrar información con mayor detalle respecto a todas estas cuestiones.



5.3. Fig. Fijación (-) y emisiones (+) por categoría en el sector Uso de la Tierra y Cambio de Uso de la Tierra en Gipuzkoa.



6.1 ESCORRENTÍA

Las proyecciones para los distintos escenarios de cambio climático indican una progresiva disminución de la escorrentía, que será más acusada en la segunda mitad del siglo. Estos cambios no dependerán únicamente de los cambios en la precipitación, sino que también el reparto temporal de la misma, los cambios de temperatura y los cambios en los usos y cobertura del suelo serán un factor clave. Variaciones en la disponibilidad de estos recursos hídricos tendrán impactos directos sobre la demanda y, por tanto, sobre la gestión de los mismos, afectando a diversos sectores socioeconómicos como pueden ser el sector agroforestal, el turismo, la industria o los propios asentamientos urbanos.

Los principales impactos esperados en los recursos hídricos son:

- Cambio en las precipitaciones: cantidad y régimen estacional.
- Cambios en la evapotranspiración.
- Cambios en niveles y caudales de los ríos.
- Cambios en la recarga, descarga y almacenamiento de los acuíferos.
- Cambios en la calidad del agua.
- Eventos climáticos extremos y riesgos relacionados con el agua: inundaciones y sequías.
- Cambios en el estado ecológico de las masas de agua: afectación a los nichos de especies de agua dulce y deterioro o desaparición de hábitats.

Con el fin de realizar el seguimiento de los cambios observados en este sistema, en primer lugar, se han analizado las series de caudales de las estaciones de aforo gestionadas por la Dirección de Obras Hidráulicas del Departamento de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas de la Diputación Foral de Gipuzkoa. Esta red cuenta con 23 estaciones permanentes en las que se miden la precipitación, el nivel y el caudal cada 10 minutos. Además, en 14 de las estaciones se registran parámetros de la calidad del agua como pH, temperatura, conductividad, oxígeno disuelto y turbidez. Las estaciones más antiguas registran datos desde hace casi 30 años, mientras que la más nueva, ubicada en el río Araxes, tiene una antigüedad de 10 años.

Se ha analizado la tendencia del caudal medio anual aplicando el test de Mann-Kendall. En base a los resultados, no se observan tendencias claras, con estaciones de aforo que muestran mayoritariamente aumentos de caudal y otras pocas, tendencias decrecientes del mismo. En cualquier caso, ninguna de las tendencias es estadísticamente significativa. Estos resultados siguen lo mostrado en el informe 'Vulnerabilidad hídrica: de las tendencias del pasado reciente a las del futuro³ realizado por la Universidad del País Vasco para IHOBE (2017) en el que se analizaban las tendencias de los caudales medios (Qm) y bajos (Q20) para distintos periodos de tiempo. A escala diaria, durante el periodo 1995-1996 a 2014-2015 en dicho informe se observaban mayoritariamente tendencias positivas para los caudales anuales, aunque no significativas en la mayoría de las estaciones.

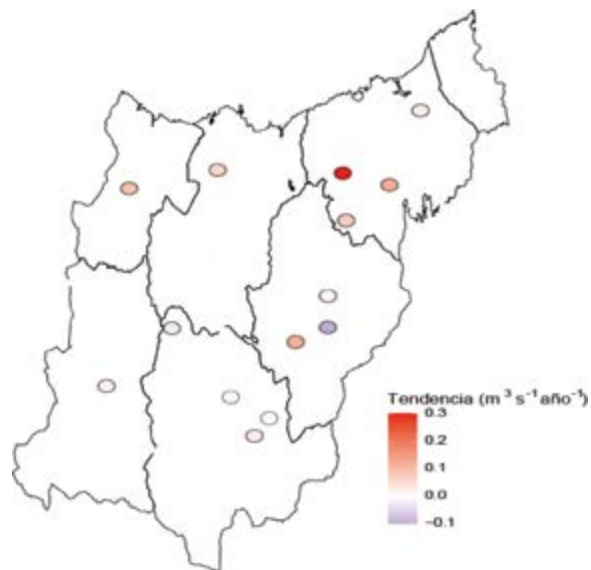
6.1. Fig. Red de estaciones permanentes de la Dirección de Obras Hidráulicas de la DFG. En rojo las estaciones aforo y en verde las estaciones de aforo y calidad de aguas.



3 https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/eghilur/es_def/adjuntos/O2KLIMATEK.pdf

Hay que tener en cuenta que, en la mayoría de las estaciones, las series temporales presentan periodos muy cortos para poder deducir tendencias espaciales significativas, más aun teniendo en cuenta la variedad casuística en las intervenciones locales sobre los recursos hídricos, tanto en términos de caudales medios como de

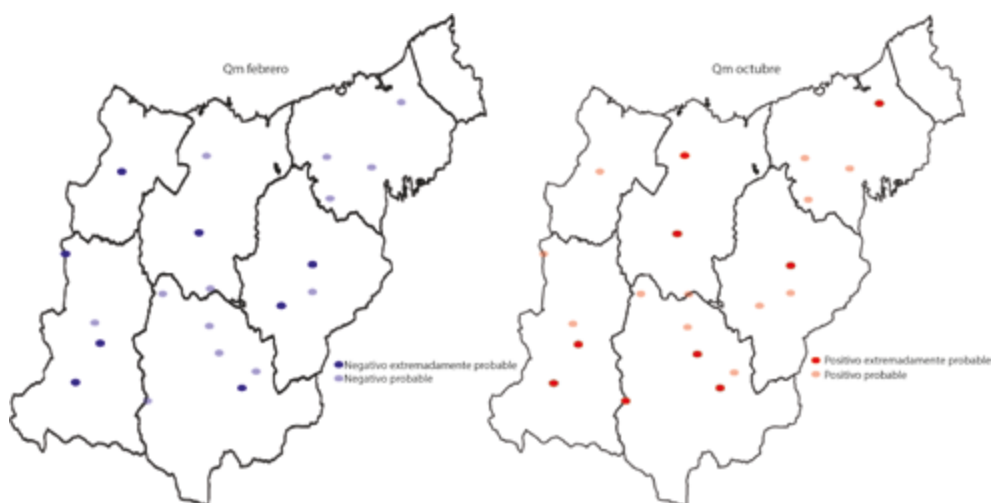
caudales bajos (extracciones, gestión de embalses, etc.), puesto que la red foronómica recoge el régimen circulante alterado por los usos del agua. Resulta, por tanto, necesario estudiar con más detalle el comportamiento de la red fluvial.



6.2. Fig. Mapas de tendencias de las series de caudales medios anuales. Escenarios II (Klimatek, 2017).

El citado informe (IHOBE, 2017), concluía que sí se observaba una clara y significativa disminución de caudales en octubre y un aumento en febrero y marzo para el periodo analizado. Una vez extendido el análisis

para incluir los datos de los últimos años hidrológicos (1 octubre - 30 septiembre), se mantienen esas mismas conclusiones. Para el resto de meses las tendencias no son tan claras ni significativas.



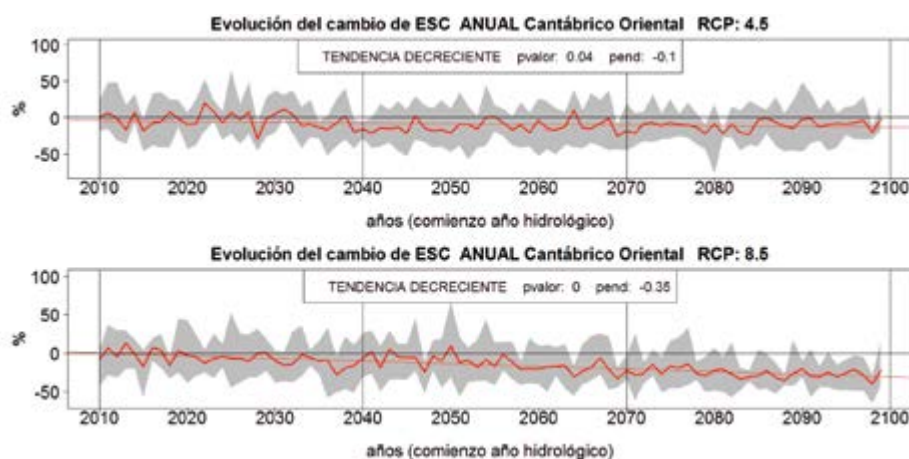
6.3. Fig. Tendencia de las series de caudales medios mensuales de febrero y octubre.

ESTACIÓN	CUENCA	SUPERFICIE (km ²)	APORTACIÓN MEDIA 2019 (hm ³)	CAUDAL MEDIO 2019 (m ² /s)	AÑOS HIDROLÓGICOS	TENDENCIA CAUDAL MEDIO
AGAUNTZA	ORIA	69,64	46,45	1,47	1993-1994 A 2019-2020	0,03
AIXOLA	DEBA	5,03	3,07	0,10	1987-1988 A 2019-2020	0,01
AIZARNAZABAL	UROLA	269,77	195,30	6,19	1996-1997 A 2019-2020	0,07
ALEGIA	ORIA	333,34	207,32	6,55	1996-1997 A 2019-2020	0,06
ALTZOLA	DEBA	464,25	305,57	9,66	1995-1996 A 2019-2020	0,09
BELAUNTZA	ORIA	33,34	35,04	1,11	1996-1997 A 2019-2020	0,01
EREÑOZU	URUMEA	218,42	274,26	8,67	1995-1996 A 2019-2020	0,14
ESTANDA	ORIA	55,02	26,09	0,82	1994-1995 A 2019-2020	0,01
IBAIEDER	UROA	62,73	33,01	1,04	1991-1992 A 2019-2020	0,00
LEITZARAN	ORIA	110,01	145,49	4,60	1999-2000 A 2019-2020	0,12

6.1. Tabla. Características de las subcuencas y de las estaciones de aforo analizadas. Fuente: Obras Hidráulicas de Diputación Foral de Gipuzkoa.

La evaluación de la incidencia del cambio climático sobre los recursos hídricos ha sido analizada en el informe 'Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y Sequías en España⁴ (CEH, 2017), a partir de las proyecciones climáticas regionalizadas. Este estudio proyecta una reducción de la escorrentía

a medida que avanza el siglo, y mayor para el escenario RCP8.5 que RCP4.5. Así, en el año 2039, se proyecta en la cuenca del Cantábrico Oriental una disminución del 8% y 11% de la escorrentía para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, respectivamente.



6.4. Fig. Evolución del cambio anual de escorrentía para los RCP4.5 y RCP8.5 en la Demarcación Hidrológica del Cantábrico Oriental. La banda gris indica el rango de resultados de las proyecciones. La línea roja gruesa indica su promedio y la recta delgada su pendiente. Se indica el p-valor del test de Mann Kendall. Fuente: Centro de Estudios Hidrográficos (2017).

4 https://www.adaptecca.es/sites/default/files/editor_documentos/CEDEX_Evaluacion_cambio_climatico_recursos_hidricos_sequias_Espa%1a.pdf

6.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS Y ACUÍFEROS

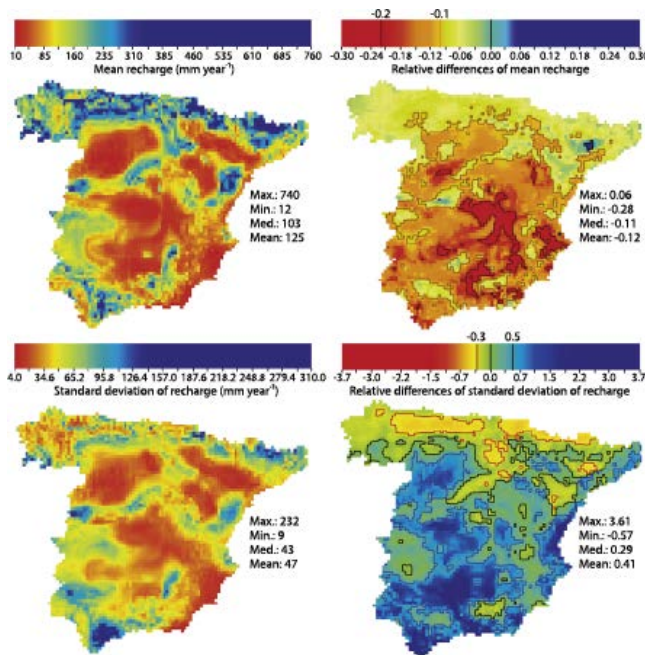
Los cambios en la precipitación, la temperatura y la evapotranspiración como consecuencia del cambio climático, pueden afectar a la recarga, descarga y calidad de las aguas subterráneas y, por tanto, al uso final de las

mismas. Analizando los datos de la Red de control de aguas subterráneas de la Comunidad Autónoma del País Vasco (URA, DFG), no se han detectado hasta el momento cambios significativos ni en el nivel ni en el caudal medio.

PUNTOS DE CONTROL PIEZOMÉTRICO											
SONDEO	CUENCA	MASA DE AGUA	NIVEL MEDIO (m)								
			2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011
KILIMON-3	DEBA	IZARRAITZ	10,8	10,1	10,9	9,7	10,9	10,8	12,4	8,1	9,9
HERNANI-C	URUMEA	ANDOAIN-OIARTZUN	11,4	12,5	11,6	7,9	10,1	8,2	19,1	-	-
ARALAR-P4	ORIA	ARALAR	23,2	35,4	25,9	20,1	27,0	24,0	45,7	22,1	22,6
DTH-1	ORIA	TROYA	1,1	1,6	0,8	1,2	1,6	1,4	2,3	1,1	1,0
JAIZKIBEL-5	BIDASOA	JAIZKIBEL	18,9	18,7	17,8	17,8	17,5	21,8	26,1	17,0	16,7
MAKINETXE	ORIA	TROYA	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,5	1,3	0,9
INURRITZA-3	ORIA	ZUMAIA-IRUN	1,6	1,9	1,4	1,5	1,6	1,6	1,9	0,5	-

RED DE ESTACIONES FORONÓMICAS											
ESTACIÓN	CUENCA	MASA DE AGUA	VOLUMEN (hm ³ /año)								
			2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011
MANANTIAL URBELTZA	ORIA	GATZUME-TOLOSA	10,8	10,1	10,9	9,7	10,9	10,8	12,4	8,1	9,9
REGATA KILIMON	DEBA	IZARRAITZ	11,4	12,5	11,6	7,9	10,1	8,2	19,1	-	-
MANANTIAL SALUBITA	ORIA	GATZUME-TOLOSA	23,2	35,4	25,9	20,1	27,0	24,0	45,7	22,1	22,6
TROYA RAMPA	ORIA	TROYA	1,1	1,6	0,8	1,2	1,6	1,4	2,3	1,1	1,0
MANANTIAL ZAZPITURRIETA	ORIA	ARALAR	18,9	18,7	17,8	17,8	17,5	21,8	26,1	17,0	16,7
MANANTIAL ARDITURRI	OIARTZUN	MACIZO PALEOZOICOS	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,5	1,3	0,9
MANANTIAL ARTZU	BIDASOA	JAIZKIBEL	1,6	1,9	1,4	1,5	1,6	1,6	1,9	0,5	-

6.2. Tabla. Resumen de nivel y caudal en las estaciones piezométricas y foronómicas. Fuente: URA.



Las proyecciones realizadas para la península, proyectan una reducción media de recarga de entorno al 12% (Pulido-Velázquez et al., 2018). Una reducción en las entradas y en el almacenamiento se traduce en una reducción de las salidas, incluyendo las descargas desde los acuíferos al sistema fluvial, reducción de caudales base y reducción para usos como riego o consumo.

6.5. Fig. Escenarios potenciales futuros de la recarga neta media del acuífero (mm año⁻¹), su desviación estándar, y la diferencia relativa entre los escenarios futuros e histórico para el periodo (2011–2045) a partir de la combinación de escenarios potenciales futuros definidos para cuatro opciones de conjunto y dos modelos de recarga. Fuente: Pulido-Velázquez et al. (2018).

6.3 CALIDAD DEL AGUA

El cambio climático también puede alterar de forma significativa las variables que afectan a la calidad del agua. Estos impactos tienen su origen en las diversas alteraciones de la hidrología de las masas de agua, sus atributos físico-químicos y biológicos y por la presión antropogénica. A medida que los flujos de agua disminuyen, los contaminantes antropogénicos se concentran, provocando un mayor impacto sobre el medio. Es importante recalcar que, además de la influencia del cambio climático, la calidad del agua también está fuertemente marcada por las diferentes actividades antropogénicas.

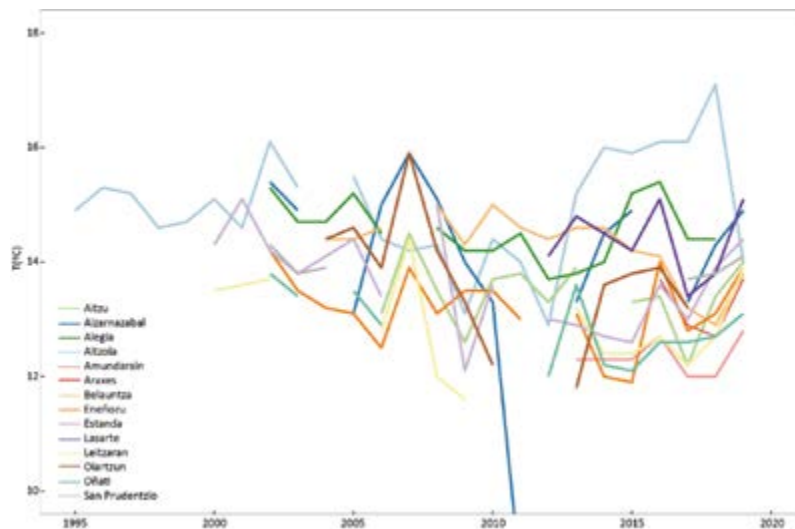
La temperatura del agua es un indicador fundamental para medir el estado de los ambientes acuáticos, parámetro que es registrado en las estaciones de calidad del agua de la Red de estaciones permanentes de la Dirección de Obras Hidráulicas de la DFG. El cambio climático afecta directamente a esta variable al estar estrechamente relacionada con la temperatura del aire, que además presenta otras variaciones naturales y espaciales. Cambios en otras variables como la precipitación, evaporación, o caudal también pueden afectar a los cambios de temperatura. Por tanto, puede ser un indicador muy

representativo para medir los impactos del cambio climático. Sin embargo, en regímenes antropizados, donde se ubican la mayoría de las estaciones de medida, hay que considerar también otras presiones que puedan provocar cambios en la variable analizada. En todo caso, cambios en la temperatura del agua pueden tener impacto sobre los organismos acuáticos, la calidad del agua, los procesos industriales o en las propias operaciones de abastecimiento.

El análisis de la temperatura, mediante análisis de regresión lineal de la temperatura media anual, no muestra tendencias significativas en la mayoría de las estaciones. En el año hidrológico 2019–2020, exceptuando una única estación de medida, se observa un incremento de casi medio grado respecto al año anterior, cambio ligeramente superior al registrado durante los 3 años previos.

Desde la Agencia Vasca del Agua – URA, se realiza anualmente el seguimiento del estado ecológico de las aguas en el marco de la Directiva Marco del Agua. En el mismo, se realiza el seguimiento y control de indicadores biológicos, químicos e hidromorfológicos. En 2019, el 69% de las masas de agua superficial presentaban un buen estado, el 21% moderado y el 10% deficiente o malo.⁵

⁵ Red de seguimiento del estado biológico de los ríos de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Campaña 2019.



6.6. Fig. Evolución de la temperatura media anual registrada en la red de estaciones de calidad Obras Hidráulicas de Diputación Foral de Gipuzkoa.

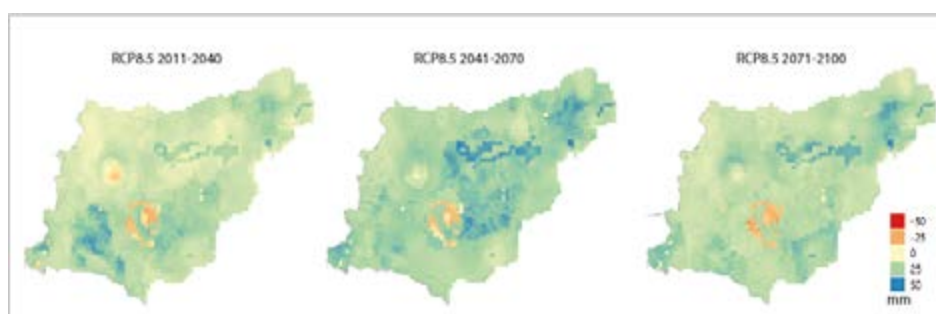
6.4 EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS: INUNDACIONES Y SEQUÍAS

Uno de los fenómenos extremos más recurrentes y que mayores daños causan son las inundaciones. En la mayoría de las regiones de Europa se prevé un aumento del riesgo de inundaciones debido al calentamiento global.

Los cambios en la dinámica de inundaciones responden a cambios en varios factores, como cambios en los patrones de lluvias, el cambio de los usos del suelo o en la regularización de los embalses. Al depender de numerosos factores, es difícil atribuir al cambio climático los cambios que vienen produciéndose en los patrones de inundación. Por ello, las proyecciones de los riesgos

de inundación futuros se suelen basar en los cambios de patrones de lluvias, en especial de las lluvias extremas.

Hasta el momento no se han observado variaciones en la ocurrencia de eventos extremos en las cuencas internas de la CAPV (MITECO, 2018). Desde 1990, sin embargo, se observa un incremento en la intensidad de la precipitación máxima diaria (DGOH, DFCG, 2017). Las proyecciones muestran, en general, un aumento de las lluvias extremas para todos los horizontes futuros. Sin embargo, es mucho más difícil estimar como afectarán estos cambios en la dinámica de inundaciones.



6.7. Fig. Precipitación media máxima asociada a un periodo de retorno de 50 años: anomalía respecto al periodo base (1971-2000) para el escenario RCP8.5.

2020	2050	2080
-10/0	0/+10	0/+10

6.3. Tabla. Porcentaje del cambio proyectado en el nivel de caudal diario máximo de 100 años para la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental. Fuente: Alfieri et al (2015.)

La Agencia Vasca del Agua elaboró el estudio 'Estimación del efecto del Cambio Climático en la frecuencia y magnitud de las crecidas fluviales del País Vasco'⁶ en el que se analizan los cambios en la frecuencia de los caudales. En el estudio se concluye que para el horizonte 2100, para periodos de retorno bajos (10 años), los cambios en los caudales de avenidas serán nulos o con una tendencia a la disminución. Sin embargo, para periodos de retorno mayores (100 y 500 años) los modelos predicen incrementos de los caudales de avenida, por ejemplo, un aumento de 7-15% y 8-25% del caudal de periodo de retorno de 100 y 500 años, respectivamente. Se trata de valores ligeramente superiores a los que recoge el estudio de Alfieri et al. (2015).

Este aumento de los caudales podría dar lugar a un empeoramiento de la inundabilidad, esto es, el aumento de las superficies de inundación y de los valores de calado y velocidad de la corriente y, por tanto, a un aumento

del riesgo. Sin embargo, hay que considerar la elevada incertidumbre asociada a estas proyecciones. Además, estos incrementos de los caudales de avenida no se traducen en un aumento proporcional de la inundabilidad. El área afectada por estos eventos dependerá de otro tipo de factores como cambios en los usos del suelo o las distintas medidas de adaptación que se vayan instaurando.

En cuanto a las sequías, el estudio del CEH (2017), en función del cambio del periodo de retorno de sequías, concluye que en las cuencas del norte las sequías se harán más frecuentes conforme avance el S. XXI, con el consecuente aumento de la escasez de agua debido a la reducción de los recursos hídricos. Además, el aumento de la evapotranspiración debido al aumento de la temperatura, puede provocar un aumento de la precipitación en las épocas lluviosas.

6 https://www.uragentzia.euskadi.eus/contenidos/informacion/2011_epri/es_doc/adjuntos/EPRI_2CICLO_DHC_ORI_Memoria_cas.pdf

El océano proporciona numerosos servicios, como la regulación del clima global, energía y nutrientes, transporte, actividades de ocio o recursos a las comunidades litorales, entre otros. Esto hace que las zonas costeras sean áreas especialmente atractivas y que concentran a la mayor parte de la población mundial, como ocurre también en el caso del litoral guipuzcoano, donde se concentra el 37,6% de la población del territorio. Sin embargo, se prevé que el cambio climático provoque cambios importantes en las propiedades de los océanos generando numerosos impactos que incrementen la vulnerabilidad de los ecosistemas marinos y las comunidades costeras.

La función de regulación del clima y modulación del cambio climático por parte de los océanos se debe a su capacidad de capturar y redistribuir CO₂ y calor. Se estima que aproximadamente el 93% del exceso de calor de la Tierra atrapado por los gases de efecto invernadero se acumula en los océanos (Church et al., 2011; Levitus et al., 2012; Cheng et al., 2019). La capacidad de almacenamiento y distribución del CO₂ liberado a la atmósfera hace que el océano sea el segundo sumidero de carbono de la Tierra (absorción cercana al 20–30% del CO₂ de origen

antropogénico) (AR5-IPCC, 2013). Sin embargo, estas absorciones resultan en el calentamiento del océano, subida del nivel del mar, tormentas costeras y cambios en los equilibrios químicos como la acidificación; indicadores todos ellos del impacto del cambio climático en los ecosistemas marinos.

Estos cambios, que ya se están observando, continuarán durante las próximas décadas, como se muestra en las proyecciones en el Capítulo 4. Es por ello necesario una observación y seguimiento que permita entender mejor cómo evolucionará el océano como resultado del cambio climático y cuáles serán los impactos del cambio climático en la costa de Gipuzkoa. Esta información permitirá anticiparse y adaptarse a estos cambios. El Observatorio marino-costero de Gipuzkoa realiza estos trabajos de monitorización y seguimiento de los indicadores del impacto del cambio climático en el litoral de Gipuzkoa. En la sección IV se presentan el 'Informe de evolución de los indicadores marino-costeros' donde se analiza en detalle la evolución de dichos indicadores y su posible relación con el cambio climático. En esta sección se presentan de forma resumida los resultados de los principales indicadores.

7.1 INDICADORES DE CAMBIO CLIMÁTICO

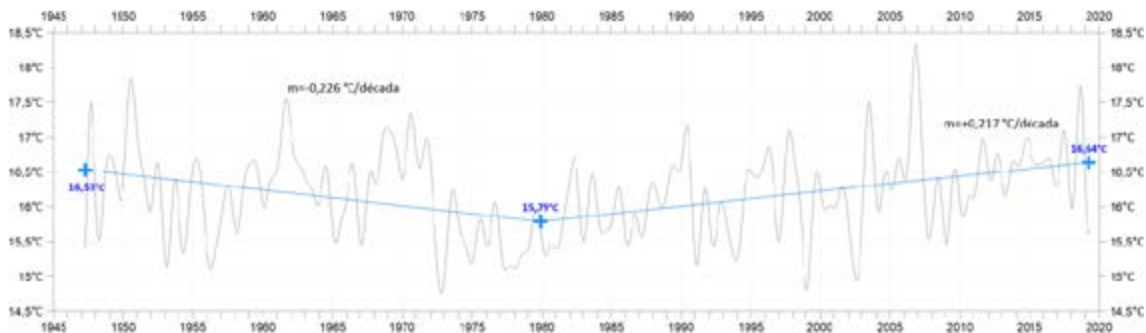
7.1.1 TEMPERATURA Y SALINIDAD

El océano se ha ido calentando durante las últimas décadas. Este calentamiento es más notable en los primeros 700 m de la columna de agua que entre los 700 y 2000 m, con tasas de calentamiento de $5,3 \pm 0,48$ JZ año⁻¹ y $4,02 \pm 0,97$ JZ año⁻¹, respectivamente (IPCC, 2019).

En general, en el mar Cantábrico se ha producido un calentamiento en toda la columna de agua en las últimas décadas (1992–2009), desde la superficie hasta los 1000

m, del orden de $0,20$ °C década⁻¹, ligado a los patrones de interacción océano-atmósfera asociados al cambio climático (González-Pola et al., 2012).

El análisis de la serie temporal de la temperatura en el Aquarium muestra dos periodos diferenciados, el primero desde 1946 a 1980 con una tendencia al enfriamiento, y el segundo desde 1980 a 2019 con una tendencia en el aumento de temperatura de $0,23$ °C \pm $0,04$ °C por década.



7.1. Fig. Temperatura superficial del Aquarium de Donostia-San Sebastián desde el inicio de la serie temporal hasta la actualidad (1946–2019), datos filtrados (sin $T < 1$ año) y análisis de cambio de tendencia.

En la costa guipuzcoana, la salinidad en los primeros 100 m de profundidad presenta una tendencia negativa, una disminución en el periodo 1993–2019, a una tasa de cambio de $-0,029$ década⁻¹.

Cambios en los valores medios de temperatura y de salinidad traen consigo otras modificaciones como la tendencia a un océano cada vez más estratificado o cambios en la profundidad de la capa de mezcla,

tal y como se ha observado en el golfo de Vizcaya. La profundidad de la capa de mezcla condiciona variables biológicas como la disponibilidad de nutrientes (Sverdrup, 1953; García-Soto & Pingree, 2009) y por tanto afecta a la producción primaria.

7.1.2 NIVEL DEL MAR

A nivel global, el ascenso del nivel del mar se ha acelerado en las dos últimas décadas, variando entre 1,5 y 1,9 mm año⁻¹ desde 1900 a 2010 y entre 2,8 y 3,6 mm año⁻¹ entre 1993 y 2010 (IPCC-AR5, 2013). Este ascenso se debe fundamentalmente a la expansión térmica del agua de mar y al deshielo procedente de glaciares y capas de hielo continentales y polares. El primero de los factores es responsable de alrededor de un tercio de la subida del nivel del mar a escala global producida a lo largo del S. XX, hasta 1990. Desde entonces el efecto del deshielo ha sido el factor dominante.

El aumento del nivel del mar no es igual en todas las costas del planeta, la circulación atmosférica y oceánica condicionan los procesos a escala local. En el Golfo de Vizcaya se han observado tasas de aumento de 2–3 mm año⁻¹ (Marcos et al., 2005; 2007; Caballero et al., 2008; Chust et al., 2009). Las tasas de ascenso para la serie histórica registrada en el mareógrafo de Bilbao es $2,97 \pm 0,33$ cm por década (1992–2019). La serie temporal del mareógrafo de Pasaia es todavía demasiado corta para ser fiable, impidiendo establecer diferencias entre Bizkaia y Gipuzkoa.

7.1.3 OLEAJE

El oleaje es una de las principales dinámicas que afectan a nuestra costa. Los cambios en la intensidad y dirección del oleaje, como consecuencia del cambio del patrón de vientos sobre el medio marino, tendrán un impacto importante sobre el litoral. En el golfo de Vizcaya se ha detectado un aumento de la altura de ola significativa (Hs) y potencia del oleaje (Pw) desde 1900. En concreto, se han detectado el aumento medio de Hs de 0,4 cm/año y de 0,3 cm/año en un punto cercano a la boya de Bilbao (Ulazia et al., 2017). Analizando los datos

de la boya Bilbao-Vizcaya, se observa un incremento de Hs de $1,791 \pm 3,160$ cm por década, pero esta tendencia no es significativa. Los principales cambios en el oleaje se observan en las condiciones extremas, con incrementos significativos en el percentil 90 de altura de ola significativa ($27,165 \pm 8,566$ cm por década) y altura de ola asociada a 100 años de periodo de retorno ($167,129 \pm 40,658$ cm). No se ha determinado de momento que estos cambios sean efecto del cambio climático.

7.2 INDICADORES DEL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Los cambios, por efecto del cambio climático, en las distintas variables oceanográficas analizadas tendrán un impacto directo sobre el litoral. Los principales impactos son la inundación y la erosión, siendo los sistemas más vulnerables las zonas de estuario y marismas, así como las playas. Otros factores socioeconómicos

(ej. usos del suelo, contaminación, crecimiento urbano) junto con factores de origen no climático como la eutrofización, cambio de caudales en ríos o pérdida de hábitats, agravarán los efectos del cambio climático sobre los sistemas costeros. Los ecosistemas y biodiversidad también se verán afectados.

FACTORES CLIMÁTICOS	IMPACTOS
NIVEL DEL MAR	SUMERGENCIA DAÑOS POR INUNDACIÓN EROSIÓN COSTERA CAMBIOS Y PÉRDIDA DE HUMEDALES, PÉRDIDA DE HÁBITATS INTRUSIÓN SALINA EN LOS ESTUARIOS
TORMENTAS	MAREA METEOROLÓGICA Y OLEAJE INUNDACIÓN COSTERA, EROSIÓN, PÉRDIDA DE HÁBITATS CAMBIOS Y PÉRDIDA DE HUMEDALES, PÉRDIDA DE HÁBITATS DAÑO EN INFRAESTRUCTURAS EN LA COSTA Y EN OBRAS DE PROTECCIÓN
VIENTO	OLEAJE DE VIENTO MAREA METEOROLÓGICA DAÑO A INFRAESTRUCTURAS SITUADAS EN LA COSTA CAMBIOS EN EL TRANSPORTE EÓLICO DUNAR
OLAS	EROSIÓN COSTERA CAMBIOS EN LA OPERATIVIDAD Y ESTABILIDAD DE INFRAESTRUCTURAS COSTERAS DAÑO DE INFRAESTRUCTURAS SITUADAS EN LA COSTA INUNDACIÓN COSTERA, PÉRDIDA DE HÁBITATS
TEMPERATURA DEL MAR EN SUPERFICIE	CAMBIO EN LA ESTRATIFICACIÓN Y CIRCULACIÓN MIGRACIÓN DE ESPECIES INCREMENTO DE AFLORAMIENTO DE ALGAS DISMINUCIÓN DEL OXÍGENO DISUELTO
APORTACIONES DE AGUA DULCE	CAMBIOS EN LOS RIESGOS DE INUNDACIÓN EN EL CURSO BAJO DE LOS RÍOS INTRUSIÓN SALINA Y CAMBIOS EN EL NIVEL FREÁTICO MODIFICACIONES EN LA CALIDAD DEL AGUA Y SALINIDAD ALTERACIÓN DE LAS APORTACIONES SEDIMENTARIAS DE LOS RÍOS ALTERACIONES DE LA CIRCULACIÓN Y APORTACIONES DE NUTRIENTES
AUMENTO DE LA CONCENTRACIÓN ATMOSFÉRICA DE CO₂	AUMENTO DEL CO ₂ EN EL OCÉANO INCREMENTO DE LA FERTILIZACIÓN POR CO ₂ DISMINUCIÓN DEL PH DEL AGUA

Tabla 7.1. Principales factores climáticos de cambio para los sistemas costeros y sus efectos. Fuente: IPCC-AR5.

7.2.1 LÍNEA DE COSTA. MORFOLOGÍA DE PLAYAS

Una de las consecuencias de la subida del nivel del mar, junto con cambios en la dirección e intensidad del oleaje, es la erosión, reducción de la superficie útil y retroceso de los arenales, siendo las playas uno de los elementos más vulnerables a este proceso. Considerando los distintos escenarios, la erosión de la línea de costa vasca a final de siglo podría variar entre 10–45 m para el escenario RCP4.5 y 14–66 m para el escenario RCP8.5 (de Santiago et al., 2021). El retroceso de la línea de costa será mayor en playas con mayor exposición al oleaje, un tamaño de grano menor, una pendiente más suave, una menor anchura de playa seca y un confinamiento (natural o artificial) de la parte alta de la playa seca que limita la evolución natural de la playa tierra adentro.

La Red Foral de Videometría, puesta en marcha por la Dirección General de Medio Ambiente (DGMA) del Departamento de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas de la Diputación Foral de Gipuzkoa, permitirá analizar la evolución morfológica de las playas y los efectos derivados del cambio climático. Las series disponibles hasta el momento han permitido caracterizar el comportamiento general de las playas y, en algún caso como Zarautz con un periodo de estudio de 9 años, detectar algunas tendencias. En este caso, en la parte oeste y central de la playa, la anchura de la playa en bajamar está creciendo a 2–3 m por año, no variando significativamente en la pleamar. El balance neto es una pérdida de playa seca (0,45 m/año) y un aumento de la playa intermareal (2,17 m/año).

7.2.2 INDICADORES BIOLÓGICOS Y DEL ECOSISTEMA MARINO

Los cambios de las condiciones físico-químicas modifican las condiciones ambientales, provocando impactos sobre los organismos y el ecosistema marino. Los principales impactos a nivel biológico son:

- Cambios en la distribución de especies y abundancia local. El calentamiento del mar está desplazando ya, y prevé desplazar en el futuro, la distribución de las poblaciones hacia los polos (Cheung et al., 2013, Poloczanska et al., 2013). Como consecuencia del desplazamiento latitudinal de las poblaciones derivado de la respuesta al calentamiento, la abundancia en cada franja latitudinal (más concretamente, en cada franja termal) puede variar.
- Disminución de la producción primaria asociada a la mayor estratificación de la columna de agua.
- Cambios en la fenología de muchas especies (evento de un ciclo estacional, por ej. migración, puesta). El calentamiento del mar puede avanzar el inicio de ciertos ciclos estacionales (puesta, migración) y atrasar el fin de estos (Poloczanska et al., 2016).
- Efectos sobre el crecimiento, la reproducción y la supervivencia de las primeras fases vitales.
- Pérdida generalizada de la biodiversidad.

7.2.2.1 FITOPLANCTON

Las comunidades de fitoplancton son altamente sensibles a variables ambientales como la luz y nutrientes, factores que a su vez dependen de procesos relacionados con la temperatura, viento, nubosidad, precipitación, etc., y, por lo tanto, verse afectadas por el cambio climático. Podría cambiar la fenología de los blooms y la estructura de la comunidad de fitoplancton.

El análisis de la concentración de clorofila en superficie, estimada a partir de datos de satélite para todo el Golfo de Vizcaya, muestra una tendencia ascendente significativa de $0,054 \pm 0,012 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ por década para el periodo 2003-2019. La relación de este ascenso con el cambio climático

está aún por ser analizada. El inicio, pico y fin del bloom primaveral de la concentración de clorofila en superficie tampoco tienen tendencia significativa, si bien todos ellos tienen una tasa negativa que podría sugerir un ligero adelanto en el año. La gran variabilidad en la concentración de clorofila no ha permitido identificar una tendencia generalizada con los datos de que se disponen en las estaciones distribuidas por la costa vasca, a excepción de un ligero aumento cuando el análisis tiene en cuenta todas las observaciones por profundidad. Tampoco se han observado diferencias en la composición de las especies del fitoplancton relacionadas a sus rangos óptimos de temperatura.

7.2.2.2 COMUNIDADES DEL BENTOS

El incremento de la temperatura, tanto del mar como del aire, así como el aumento de horas diarias de sol, parece tener consecuencias en la redistribución de las comunidades del bentos, favoreciendo a las especies

de aguas cálidas, tanto de macroalgas y comunidades de sustrato duro como macroinvertebrados bentónicos de sustrato blando.



SS-3-482



Sistema socioeconómico



Gipuzkoako
Foru Aldundia
Departamento de Medio Ambiente
y Obras Hidráulicas



ETORKIZUNA ORAIN
Es futuro



SS-3-482

8.1 INTRODUCCIÓN

A demás de los impactos que el cambio climático tendrá sobre distintos ecosistemas y distintas actividades socio-económicas, éste también tendrá un gran impacto sobre la salud humana. La mayor frecuencia e intensidad de eventos meteorológicos extremos como olas de calor, precipitaciones extremas o inundaciones, afectarán directamente a la mortalidad y morbilidad. Cambios en estas variables, en relación con otros factores ambientales, agua o alimentos, puede también generar otros impactos indirectos: enfermedades transmitidas por el agua,

alimentos u otros vectores; efectos de la contaminación atmosférica agravados por el incremento de la temperatura o nuevos riesgos emergentes que se verán impactados negativamente por el cambio climático, como la resistencia a antibióticos o la aparición de nuevos contaminantes. La Organización Mundial de la Salud calcula que el cambio climático causará unas 250.000 muertes adicionales entre 2030 y 2050 como consecuencia de las modificaciones en las características de las enfermedades.



8.1. Fig. Impactos del cambio climático en la salud humana. Fuente: La adaptación al cambio climático desde la perspectiva de la salud pública y laboral. Fuente: CDC (Centre for Disease Control).

8.2 TEMPERATURAS EXTREMAS

Las olas de calor son episodios de temperaturas extremas que implican un riesgo potencial para la salud. Dermatitis, edemas, quemaduras, insolaciones, fatiga, calambres, agotamiento y golpes de calor son algunos de estos riesgos, que en los casos más graves pueden dejar secuelas y, en episodios extremos, poner incluso en riesgo la propia vida. Se estima que por cada grado que la temperatura máxima diaria supera un determinado umbral, se produce un aumento en la mortalidad diaria que oscila entre el no efecto y un 21% (Escuela Nacional de Sanidad).

En general, las temperaturas extremas se asocian con una disminución en el bienestar general de la población y con la pérdida de capacidad de los individuos para termorregularse. Al aumentar la temperatura ambiente, el sistema termorregulador se activa provocando ciertos cambios como el aumento de la presión arterial, la frecuencia cardíaca o la modificación de la viscosidad de la sangre. Todo ello conlleva un incremento del riesgo de desarrollo de ciertas patologías como trombosis, ictus, derrames, etc., especialmente entre la población más sensible a este tipo de patologías.

Existen diversos factores que aumentan el riesgo de sufrir los efectos del calor como son la intensidad y duración de estos episodios. También los habitantes de las áreas urbanas, debido al efecto 'isla de calor'¹ pueden ser más vulnerables. Finalmente, la exposición al calor excesivo está influida por el envejecimiento fisiológico de la población, el aumento de la esperanza de vida y las enfermedades subyacentes. El impacto final dependerá

también de los procesos de aclimatación, por ejemplo, los impactos de calor extremo suelen ser mayores en regiones templadas menos acostumbradas a las temperaturas elevadas que en regiones habituadas a temperaturas elevadas durante el verano.

En el proyecto OSATU², realizado por el BC3 Basque Centre por Climate Change en el marco del programa Klimatek 2016, no se proyecta un cambio significativo de las olas de calor con respecto al impacto actual para el escenario de emisiones RCP4.5, estimándose incluso una pequeña disminución de los impactos de mortalidad por calor a finales de siglo bajo este mismo escenario en Donostia-San Sebastián. Esta disminución podría deberse al hecho de no verse aumentados los días de calor extremo a pesar del ligero aumento de la temperatura máxima, o a una reducción de la población ya envejecida³, que se traduce en una reducción de la mortalidad de base durante los eventos de olas de calor. Sin embargo, se prevé que la mayor duración, frecuencia e intensidad de las olas de calor proyectadas para Gipuzkoa para el escenario de emisiones RCP8.5, provoque un aumento de la mortalidad de entre un 18% y 58% en función de que exista o no aclimatación fisiológica, especialmente para la segunda mitad del S. XXI.

Asimismo, podría producirse una disminución de la mortalidad asociada al frío al aumentar las temperaturas mínimas en invierno y al reducirse el número de días de helada, independientemente de que esto implique o no la reducción de la frecuencia o gravedad de los episodios de frío extremo.

8.3 LLUVIAS TORRENCIALES, CRECIDAS E INUNDACIONES, GOLPES DE MAR

Los impactos del cambio climático en la salud debidos a la proyectada mayor frecuencia de lluvias torrenciales e inundaciones, están relacionados con mortalidad debida a ahogamientos, paradas cardiorrespiratorias, hipotermia, traumatismos o

accidentes relacionados con vehículos, lesiones, enfermedades infecciosas o contaminación con productos tóxicos. A medio y largo plazo los impactos indirectos pueden derivar en enfermedades crónicas, discapacidad o problemas de salud mental.

1 El efecto isla de calor se define como el calor relativo de una ciudad en comparación con las zonas rurales del entorno, y que está relacionada con cambios en la escorrentía superficial, el efecto de retención del calor y cambios en el albedo superficial (IPCC, 2014).
2 Evaluación del impacto de las temperaturas extremas sobre la salud en el País Vasco bajo condiciones de cambio climático.
https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/osatu/es_def/adjuntos/O1KLIMATEK.pdf
3 En 2018 el 21.9% de la población se encuentra en el Grupo 1 considerado como vulnerable, grupo de personas con más de 65 años.

8.4 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

El cambio climático afectará a la concentración de contaminantes (partículas en suspensión, óxidos de nitrógeno, ozono troposférico y dióxido de azufre) en la atmósfera al provocar cambios en factores que determinan su distribución como son el viento, la temperatura, la interacción con el clima local, etc.

Según la OMS y la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), se estima que los costes asociados a los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud en España pueden llegar a suponer el 2,8% del producto interior bruto (WHO Regional Office for Europe, 2015). Los principales efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud son el aumento del número de ingresos hospitalarios y visitas a urgencias por episodios respiratorios o cardiovasculares agudos o cronificados.

Los datos de la red de control de calidad del aire de Euskadi muestran que, en 2019 en las estaciones en Gipuzkoa, los niveles de SO₂ y NO₂ estuvieron dentro de los límites establecidos por la normativa de calidad del aire. En el caso de la concentración media de PM10 se cumplieron los límites que marcan los estándares de la Unión Europea (40 µg m⁻³), pero en algunos casos se sobrepasaron las recomendaciones en materia de salud de la OMS (20 µg m⁻³). Tampoco se superaron los valores objetivos de ozono para la protección de la salud, aumentando la concentración en zonas rurales más elevadas y con menor población.

8.5 DISPERSIÓN DE ALÉRGENOS

El cambio climático puede influir en la cantidad y distribución espacio-temporal de una gran variedad de alérgenos (polen y esporas). El aumento de las temperaturas proyectada para invierno, especialmente a partir de 2050, favorecerá cambios en la producción y fenología, así como distribución geográfica del polen. Además, tanto la precipitación como el patrón de vientos pueden influir en el movimiento y dispersión de los

alérgenos en la atmósfera. El aumento de la temperatura puede modificar la distribución y provocar un adelanto de la floración de algunas especies en primavera, alargando por tanto su periodo polínico y aumentando así el periodo de exposición de la población, modificando la susceptibilidad al asma, rinitis alérgica, dermatitis atópica o conjuntivitis.

8.6 ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES

El cambio climático puede influir sobre la distribución geográfica y temporal de las enfermedades transmitidas por vectores. Esto se debe a que los cambios de temperatura, precipitación o humedad afectan al comportamiento y estacionalidad y abundancia de los vectores, así como los hospedadores intermediarios o los reservorios naturales. De hecho, diversos autores ya han evidenciado a partir de la crisis sanitaria originada por el COVID-19 el papel clave que el cambio climático viene jugando en la distribución de ciertas enfermedades a escala global (Woodby et al. 2020; O'Reilly et al. 2020). Los ciclos de transmisión de enfermedades transmitidas por vectores también podrían verse afectadas por otros cambios globales como son cambios en la distribución geográfica o en los usos del suelo.

La principal amenaza es la presencia del mosquito tigre (*Aedes albopictus*) en Gipuzkoa, cuya presencia se detectó por primera vez en 2014. Este es potencial vector de varias enfermedades tropicales como dengue, Chikunguña o zika. Las proyecciones sobre expansión de este mosquito muestran para el escenario de cambio climático más desfavorable que estos insectos podrán reproducirse prácticamente en todo el planeta a finales de siglo, antes irán alcanzando cada vez más áreas al incrementarse la temperatura. Aunque la expansión del mosquito es pequeña hoy día, con un control realizado por el Plan de Vigilancia del mosquito tigre de Euskadi puesto en marcha en 2013, en un futuro podría expandirse. Esto no quiere decir que las enfermedades de las que son vectores vayan a llegar automáticamente con ellos.

8.7 CONCLUSIONES

Las estimaciones muestran que el efecto de las olas de calor incrementará el riesgo de los municipios a este efecto, pudiendo aumentar la mortalidad asociada a estos fenómenos.

A pesar del cumplimiento de la normativa europea en materia de partículas en suspensión, hay situaciones en las que se superan los valores recomendados en materia de salud.

El aumento generalizado de las temperaturas, puede favorecer la transmisión de enfermedades por vectores, así como el desplazamiento y cambio en la duración de las estaciones, lo que incrementará la incidencia de episodios alérgicos y asmáticos.



9.1 INTRODUCCIÓN

La sociedad actual es principalmente urbana. En la actualidad, cerca del 60% de la población humana vive en áreas urbanas, el 63% en el caso de Gipuzkoa, con una tendencia al alza en los últimos años. Estas áreas constituyen complejos sistemas en los que se concentran la población, servicios, bienes, infraestructuras críticas y ecosistemas, lo que las hace especialmente vulnerables al cambio climático (Revi et al., 2014; Estrada et al., 2017; Olazabal & Ruiz de Gopegui, 2020).

El medio urbano se verá afectado por los cambios de temperatura y precipitación, así como por la subida del nivel del mar y el aumento en la intensidad y en la frecuencia del oleaje extremo en los núcleos costeros. Los efectos de estos cambios sobre el medio urbano pueden

ser múltiples y de distinta naturaleza en función del emplazamiento. Entre ellos destacan las inundaciones, deslizamientos de tierra o subsidencias, efecto isla de calor urbana o periodos de sequía. El impacto final estará condicionado también por el propio diseño de las ciudades, su densidad, morfología, orientación, o pavimentación entre otros factores.

Los impactos en los núcleos urbanos serán directos, como son las afecciones sobre la salud debido a olas de calor o el impacto sobre las infraestructuras de inundaciones o eventos extremos de oleaje e indirectos, como puede ser la pérdida de los servicios ecosistémicos, elementos estos claves para la resiliencia ante el cambio climático (Olazabal & Ruiz de Gopegui, 2020).

CAUSAS	IMPACTOS SOBRE ECOSISTEMAS URBANOS
AUMENTO DE LAS TEMPERATURAS	INCREMENTO DEL EFECTO 'ISLA DE CALOR' EN LOS NÚCLEOS URBANOS MAYORES NECESIDADES DE SOMBRA EN LAS HORAS CENTRALES DEL VERANO INCREMENTO DE LAS NECESIDADES DE RIEGO EN ESPACIOS VERDES URBANOS IMPORTANTES AFECCIONES SOBRE LA SALUD HUMANA MAYOR EVAPORACIÓN DE AGUAS DE ESTANQUES, PISCINAS Y EMBALSES MAYORES PERIODOS DE INVERSIÓN TÉRMICA MÁS CONTAMINACIÓN POR MENOR VENTILACIÓN CON INVERSIÓN TÉRMICA
ELEVACIÓN DEL NIVEL DEL MAR	INUNDACIONES EN ÁREAS URBANAS COSTERAS PÉRDIDA DE PLAYAS EN ZONAS TURÍSTICAS
LLUVIA TORRENCIAL/SEQUÍA	CAMBIOS EN LA ESCORRENTÍA Y EN LA DISPONIBILIDAD DE AGUA DESPRENDIMIENTO DE TALUDES DE CARRETERAS URBANAS
LLUVIA TORRENCIAL	INUNDACIONES POR AVENIDA SOBRECARGA DE LAS INFRAESTRUCTURAS DE ALCANTARILLADO
SEQUÍA	RIESGO DE INTERRUPCIONES EN EL SUMINISTRO ELÉCTRICO DE ORIGEN HIDRÁULICO PROBLEMAS DE ABASTECIMIENTO ALIMENTARIO RIESGOS DE EROSIÓN
ALTERACIÓN Y EXTINCIÓN DE ESPECIES	INCREMENTO DE LA PRESENCIA DE DETERMINADOS PARÁSITOS
INCENDIOS FORESTALES	RIESGOS DE INCENDIOS EN ÁREAS URBANAS PRÓXIMAS A ZONAS FORESTALES

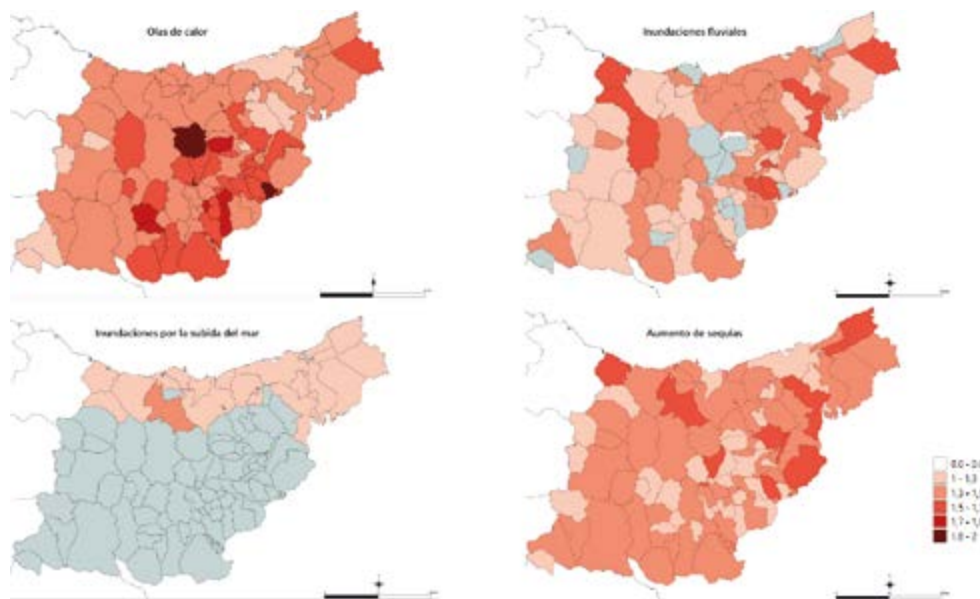
9.1. Tabla. Impactos del cambio climático en áreas urbanas de España (RECC, 2015).

9.2 CADENAS DE IMPACTO EN LOS MUNICIPIOS

En la CAPV se han identificado cuatro cadenas de impacto clave por su mayor probabilidad de ocurrencia en los núcleos urbanos:

- **Olas de calor** por su potencial efecto sobre la salud humana
- **Inundaciones fluviales** sobre el medio urbano
- **Inundaciones por** subida del nivel del mar sobre el medio urbano
- **Sequía** sobre las actividades económicas, con especial interés en el medio agrario

El estudio “Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo de los municipios vasco ante el cambio climático⁴” realizado por Tecnalia para Ihobe en 2018, proporciona el grado de exposición, sensibilidad y capacidad de respuesta de los distintos municipios vascos para estos impactos.



9.1. Fig. Vulnerabilidad relativa según el impacto olas de calor, inundaciones fluviales y subida del nivel del mar y aumento de sequías sobre el medio urbano (1971-2000) de Gipuzkoa para el escenario RCP8.5. Fuente: Tecnalia-Ihobe.

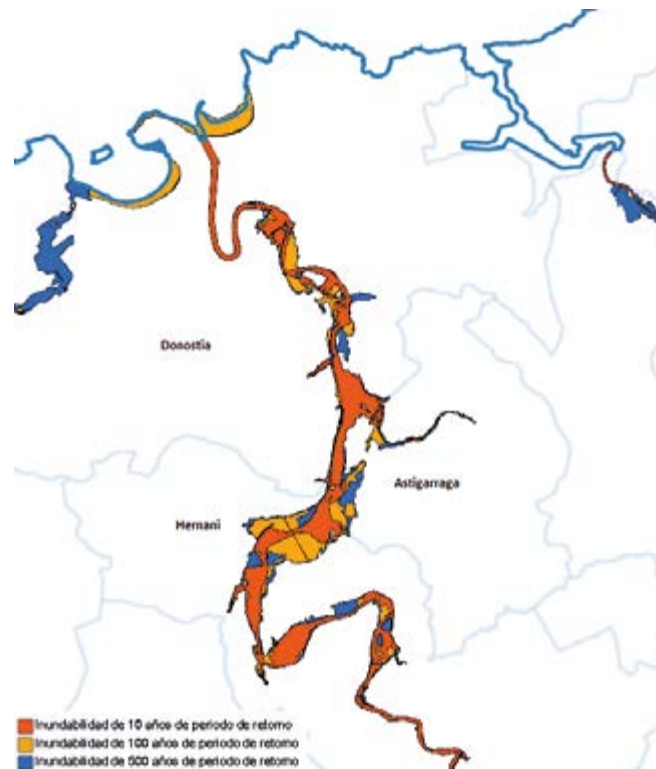
El posible riesgo de los municipios se ha analizado de forma independiente para cada uno de los factores de estrés establecidos. Sin embargo, es probable que los municipios sufran más de uno de ellos simultáneamente. Además, cuando uno de estos factores afecta a uno de los municipios, se producen efectos en cascada en otros sectores ecológicos y socioeconómicos incrementando el riesgo para la población. Por ejemplo, durante las olas de calor, aumenta el riesgo para la salud de la población, pero también puede afectar a las infraestructuras críticas, reduciendo la capacidad de la población de mitigar la exposición al calor.

El efecto isla de calor existe ya en la actualidad, pero dichos efectos se agravarán con el aumento de la temperatura proyectado, especialmente en verano, así como durante los episodios de olas de calor. Estos procesos afectarán a la salud de la población, provocando problemas de salud relacionados con el calor y contaminación (afecciones respiratorias y cardiológicas principalmente), así como un aumento de las necesidades de refrigeración para mantener el confort térmico en viviendas y edificios o cambios en la demanda de agua.

4 <https://www.ihobe.eus/publicaciones/evaluacion-vulnerabilidad-y-riesgo-municipios-vascos-ante-cambio-climatico-2>

La población expuesta a los riesgos derivados de las inundaciones por subida del nivel del mar es elevada, ya que tres de cada cuatro habitantes de Gipuzkoa viven en municipios costeros, a pesar de que estos representan algo menos de la mitad de la superficie provincial. Este es un factor de riesgo para la población, propiedades, infraestructuras, ecosistemas costeros, y presenta riesgos para el comercio, industria y otros medios de vida.

Numerosos municipios presentan una importante parte de su superficie destinada a uso urbano expuesta a inundaciones fluviales. Los riesgos de inundación están condicionados por el perfil del terreno, el alto grado de impermeabilización y la artificialización de los cauces naturales del agua.



9.2. Fig. Principales zonas inundables para periodos de retorno de 10, 100 y 500 años en el entorno urbano de Donostia. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de URA y Udalplan.

Con respecto a las sequías, la sensibilidad del territorio al impacto desde el punto de vista económico es reducida, ya que, apenas el 1,2% del suelo se destina a usos agrícolas. Sin embargo, el 100% de los municipios del Territorio presentan riesgos ante este fenómeno.

En conjunto, 76 municipios se ven impactados por 3 o 4 de los eventos climáticos extremos analizados. El conocimiento de las amenazas climáticas a las que se enfrenta cada municipio, y el grado de los posibles riesgos, ayudará a la definición de mecanismos y actuaciones efectivas.

Las ciudades también tienen el potencial de convertirse en un agente clave en la lucha contra el cambio climático, por la elevada disponibilidad de recursos, infraestructuras, servicios y capital tecnológico y social (Sanz et al., 2020).

En este sentido, cada vez un mayor número de municipios cuenta con herramientas propias para evaluar su vulnerabilidad y riesgo frente al cambio climático, además de adoptar medidas de adaptación frente al mismo.

Por último, es importante recalcar la necesidad de un mayor grado de desarrollo y detalle en la evaluación del riesgo en los entornos urbanos, sobre todo en lo relativo a su magnitud como a su temporalidad y probabilidad de ocurrencia. Esta información sería fundamental a la hora de planificar la inversión para una adaptación eficiente y eficaz, teniendo en cuenta no solamente los riesgos climáticos más probables, sino también aquellos eventos menos probables pero que más daños puedan generar.



SS-3-482

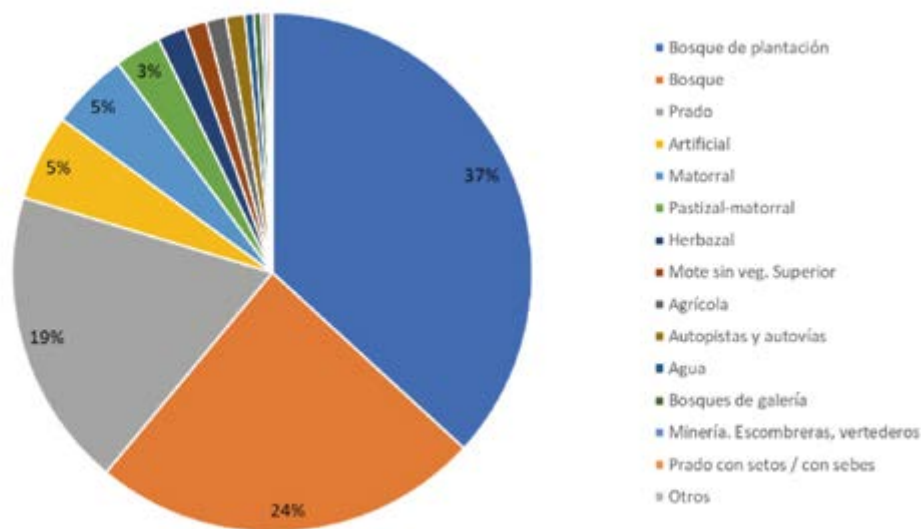


10.1 INTRODUCCIÓN

La actividad agroforestal se basa en el aprovechamiento directo o indirecto de recursos naturales, en su mayor parte recursos biológicos, sometidos a los efectos que la atmósfera determina. Es por ello que la evolución de las condiciones atmosféricas a largo plazo, como consecuencia del cambio climático, tendrá efectos muy significativos sobre la actividad agroforestal. De acuerdo con los futuros escenarios

climáticos, estos indican una intensificación progresiva de los efectos del cambio climático a medida que avance el S. XXI.

En este capítulo se resumen los principales riesgos y vulnerabilidades del sector agroforestal de Gipuzkoa ante el cambio climático analizados más ampliamente en el 'Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa' publicado en 2020.



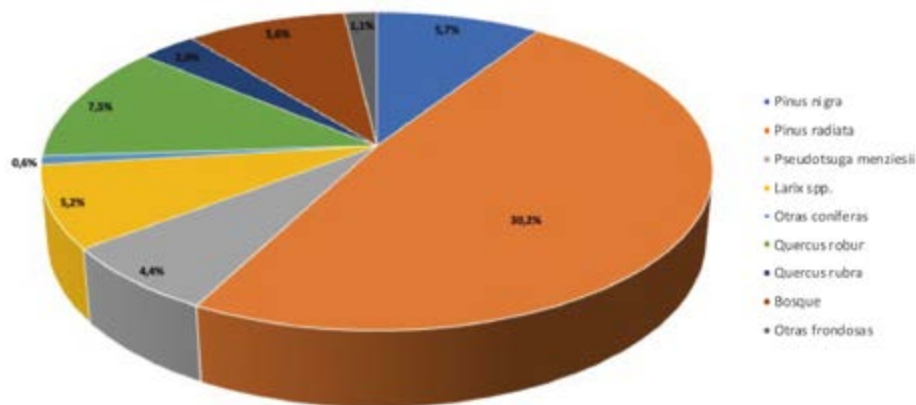
10.1. Fig. Distribución general de usos del suelo en la provincia de Gipuzkoa. Fuente: Mapa Forestal de la CAPV (2020).

10.2 SECTOR AGROFORESTAL DE GIPUZKOA

El estado actual de la superficie forestal de Gipuzkoa se resume a continuación a partir de la información extraída del último Mapa Forestal de la CAPV (2020). Gipuzkoa cuenta con un 72,4% de su territorio cubierto por bosques. La extensión de las plantaciones forestales (50,9%) supera por escaso margen a la de los bosques naturales.

Respecto a la distribución de las especies forestales, en la provincia de Gipuzkoa, el 50,5% de la superficie forestal corresponde a coníferas y el restante, a especies frondosas. El pino radiata o insignis es la especie que ocupa una mayor extensión (36.749 ha, que suponen el 30,2% de la superficie forestal arbolada total). Es la especie

mayoritaria en todas las comarcas de Gipuzkoa excepto en el Bajo Bidasoa y Donostia-San Sebastián donde predominan los bosques mixtos atlánticos con un 27,0% de superficie en ambas comarcas. El haya es la frondosa que, con 18.266 ha y un 15,0% de la superficie total arbolada, ocupa una mayor extensión en Gipuzkoa, seguido de *Quercus robur* con una extensión de 9.081 ha (7,5% de la superficie total arbolada). Los llamados bosques mixtos atlánticos, suponen un tipo de bosques en expansión, como consecuencia del abandono de pastizales o pinares talados, y ocupan 19.470 ha en Gipuzkoa suponiendo el 16,0% de su superficie arbolada total.

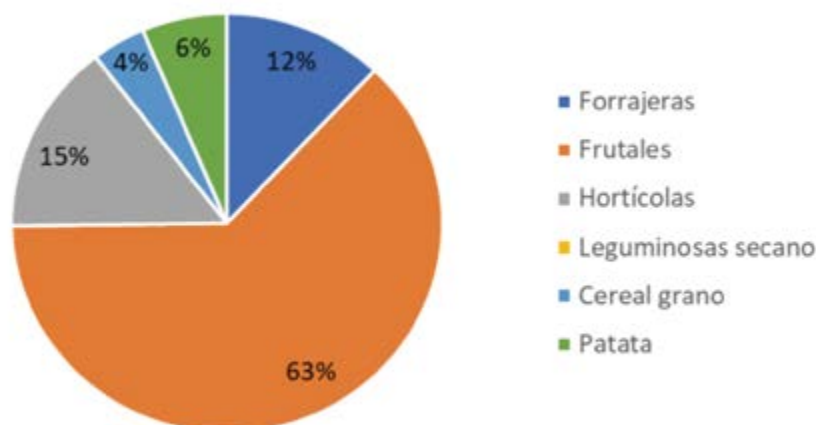


10.2. Fig. Distribución de las especies forestales de la provincia de Gipuzkoa. Fuente: mapa Forestal de la CAPV (2020).

Según indica el último informe del IPCC en su Grupo de Trabajo II sobre “Impactos, adaptación y vulnerabilidad”, el cambio climático sin adaptación tendrá en general un impacto negativo en la producción de los cultivos. Los impactos proyectados varían para los distintos cultivos y regiones y los diferentes escenarios de adaptación; alrededor de un 10% de las proyecciones para el período 2030–2049 muestran ganancias de rendimientos superiores al 10%, y alrededor de un 10% de las proyecciones muestran pérdidas superiores al 25%, en comparación con finales del S. XX. Después de 2050 el riesgo de impactos en el rendimiento más graves aumenta y depende del nivel de calentamiento. Las proyecciones indican que el cambio climático hará que

aumente progresivamente la variabilidad interanual de los rendimientos de los cultivos en muchas regiones. Esos impactos proyectados ocurrirán en un contexto de rápido crecimiento de la demanda de cultivos.

Según los datos proporcionados por el órgano Estadístico del Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente del Gobierno Vasco, el 62,7% de la superficie agrícola de Gipuzkoa está representado por los frutales con 1.570 ha. El siguiente grupo más representativo es la producción hortícola con 370 ha y un 15,9% de superficie. Finalmente, los cultivos forrajeros ocupan una superficie de 301 ha, el 12,0% de la superficie de la provincia.



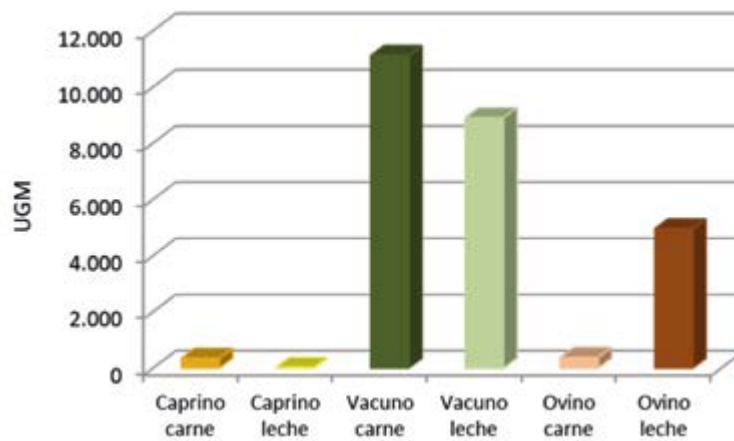
10.3. Fig. Distribución de cultivos en la provincia de Gipuzkoa. Fuente: Órgano Estadístico del Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente. Datos correspondientes al año 2019.

En el periodo 2000-2020, el número de explotaciones de bovino de menor tamaño ha ido desapareciendo, tanto de aptitud lechera como cárnica, y ha aumentado el número de las de mayor tamaño. En el mismo periodo ha descendido el número de efectivos de bovino de aptitud lechera y, en su conjunto, el resultado es un incremento del número de bovino/explotación, es decir, el incremento del tamaño de las explotaciones de bovino.

Con respecto al ganado ovino, éste también ha descendido en el mismo periodo, sobre todo a partir del año 2009. Asimismo, también ha ido bajando la carga ganadera de cada explotación llegando, en el año 2018, a una media de 32 ovejas adultas/explotación.

En cuanto al porcino, aunque gran parte de las explotaciones son pequeñas, la mayor parte de los efectivos se concentra en unas pocas explotaciones de gran tamaño (de más de 100 cabezas), orientadas sobre todo hacia el cebo.

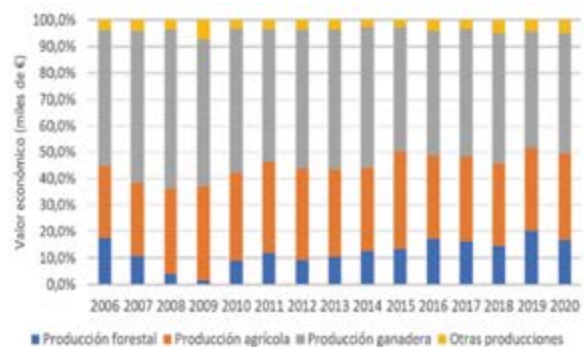
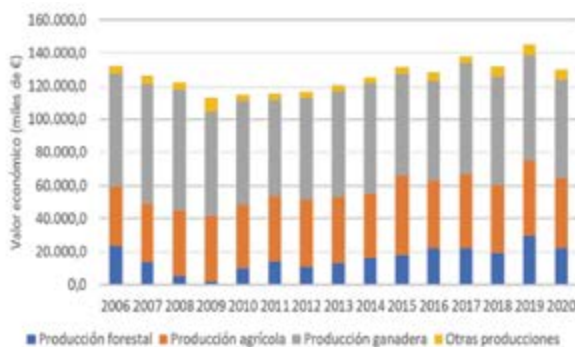
Los pastos de Gipuzkoa, así como parte de las tierras forestales, están estrechamente ligados a la ganadería, en la cual destacan el ganado bovino y el ovino. Además, existen otras explotaciones menos ligadas a la tierra, como las de porcino, aves (de puesta y de carne) o de conejos.



10.4. Fig. Distribución de ganado (UGM) en la provincia de Gipuzkoa. Fuente: Elaboración propia a partir del Órgano Estadístico del Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente.

En Gipuzkoa se observa una tendencia creciente en el valor económico de la producción agroforestal desde el año 2009. El sector ganadero es el que principalmente

contribuye a su valor económico (45,6%, 59.352,5 miles de euros en 2020), seguido del agrícola (32,7%) y en tercer lugar el sector forestal (16,95).



10.5. Fig. Evolución temporal de las macromagnitudes del sector agroforestal de Gipuzkoa. A la izquierda en miles de euros y a la derecha en porcentaje relativo total de la producción agraria de cada año.

10.3 IMPACTOS, RIESGOS Y SECTORES AFECTADOS

Con el fin de conocer mejor los riesgos del sector agroforestal de Gipuzkoa derivados del cambio climático, se han seguido las directrices establecidas por el IPCC en su 5º Informe de Evaluación (AR5) en relación con la metodología sobre análisis de riesgos y vulnerabilidad.

La siguiente matriz relaciona los riesgos asociados a los diversos impactos climáticos (incremento de la temperatura, disminución de la precipitación, aumento de los periodos de sequía, aumento de episodios con lluvias intensas o extremas, etc.), con los diferentes sectores/ámbitos afectados (agricultura, ganadería, biodiversidad, gestión forestal y gestión del agua).

Tabla 10.1. Riesgos asociados a los diversos impactos climáticos en los diferentes sectores/ámbitos afectados. Las celdas marcadas en azul indican los sectores o ámbitos en los que existe una afección clara.

IMPACTO CLIMÁTICO	RIESGOS ASOCIADOS	SECTORES/ÁMBITOS AFECTADOS				
		AGRICULTURA	GANADERÍA	BIODIVERSIDAD	GESTIÓN FORESTAL	GESTIÓN DEL AGUA
INCREMENTO DE LA TEMPERATURA	CAMBIOS EN LOS CULTIVOS					
	CAMBIOS EN LA PRODUCTIVIDAD					
	CAMBIOS EN LAS ESPECIES ARBÓREAS					
	CAMBIOS EN LAS ZONAS CULTIVABLES					
	DESPLAZAMIENTO DE LA VEGETACIÓN DE MONTAÑA					
	DISMINUCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA					
	EFFECTOS SOBRE EL GANADO					
	INCREMENTO DE LAS NECESIDADES DE RIEGO					
	INCREMENTO DE LAS PLAGAS Y ENFERMEDADES					
	INCREMENTO DE LAS SEQUÍAS (DURACIÓN, FRECUENCIA E INTENSIDAD)					
	MAYOR RIESGO DE INCENDIOS					
	PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD					
LLUVIAS FUERTES E INUNDACIONES	CAMBIOS EN LAS ZONAS CULTIVABLES					
	DESAPARICIÓN DE PLAYAS Y DUNAS					
	INCREMENTO DE LA FRECUENCIA E INTENSIDAD DE RIADAS					
	MAYOR FRECUENCIA/INTENSIDAD DE TORMENTAS					
	PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD					

IMPACTO CLIMÁTICO	RIESGOS ASOCIADOS	SECTORES/ÁMBITOS AFECTADOS				
		AGRICULTURA	GANADERÍA	BIODIVERSIDAD	GESTIÓN FORESTAL	GESTIÓN DEL AGUA
SEQUÍA	TRANSFORMACIÓN/SECADO DE LAS ZONAS HÚMEDAS					
	CAMBIOS EN LOS CULTIVOS					
	CAMBIOS EN LAS ZONAS DE CULTIVO					
	DISMINUCIÓN DE LAS RESERVAS HÍDRICAS DEL SUELO					
	DISMINUCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD HÍDRICA					
	INCREMENTO DE LAS NECESIDADES DE RIEGO					
	INCREMENTO DE LAS SEQUÍAS (DURACIÓN, FRECUENCIA E INTENSIDAD)					
	MAYOR RIESGO DE INCENDIOS					
	CAMBIOS EN LA PRODUCTIVIDAD					
PIEDRA, GRANIZO	AFECCIÓN A LOS CULTIVOS					
OLAS DE CALOR						
OLAS DE FRÍO						
DESLIZAMIENTOS Y DESPRENDIMIENTOS	INCREMENTO DE LA FRECUENCIA E INTENSIDAD DE RIADAS					
INCREMENTO DEL NIVEL DEL MAR	DAÑOS A HÁBITATS DE IMPORTANCIA					
	MAYOR INTRUSIÓN SALINA EN ACUÍFEROS COSTEROS					

Las especies forestales presentan el mayor riesgo ante el cambio climático, siendo mayor el riesgo para las plantaciones intensivas de *Pinus radiata* y de eucalipto y ligeramente menor para las demás especies forestales. Este mayor riesgo de las plantaciones forestales intensivas se debe fundamentalmente a que se consideran muy homogéneas y de baja biodiversidad (monocultivos) lo cual las hace más vulnerables frente a las amenazas climáticas.

El conjunto de pastos (prados y otros pastos) presentan un riesgo bajo-medio, con un riesgo ligeramente mayor en los prados y praderas, ya que su biodiversidad es menor y, por tanto, mayor su vulnerabilidad ante el cambio climático. En general, tanto para las especies forestales

como para los pastizales, la altitud y la pendiente moderan la sensibilidad y la capacidad de adaptación, por ejemplo, disminuyendo la incidencia de plagas y enfermedades en altitudes elevadas, reduciendo la capacidad de realizar intervenciones humanas en altitudes altas o incrementando el riesgo de erosión en pendientes elevadas.

El riesgo para los cultivos herbáceos y leñosos es bastante variable, mientras que los frutales presentan una mayor vulnerabilidad. En el caso de las hortalizas, este riesgo es menor debido a que su ciclo reproductivo es más corto en comparación con los frutales. Además, su producción intensiva en invernaderos las resguarda mejor frente a las inclemencias meteorológicas.

Con respecto al ganado, la valoración del riesgo para los distintos tipos de ganado, es más variable aún que para los diferentes tipos de cultivo. En global, el ganado extensivo (bovino de carne, ovino, caprino, equino) se considera más vulnerable que el intensivo (bovino de leche, porcino, avícola, cunícola), que es más sensible al impacto del cambio climático pero cuya capacidad de adaptación es mayor por una mayor posibilidad de intervención humana (estabulación, control sanitario, compra de alimentación externa, etc.).

Si se ponderan los riesgos según la superficie ocupada y la cantidad de ganado presente, en cada una de las comarcas, salvo en Bidasoa Beherea y en Debabarrena, el riesgo del cambio climático es alto en las tierras forestales, ya que su riesgo intrínseco es alto y, además, ocupan una superficie elevada. En Debagoena, además, destaca el riesgo alto del Pino radiata, incluso considerándola como una categoría aparte. Además del sector forestal de las comarcas mencionadas, el riesgo alto se observa también en el sector ganadero de Goierri, Tolosaldea y Urola-Kostaldea.

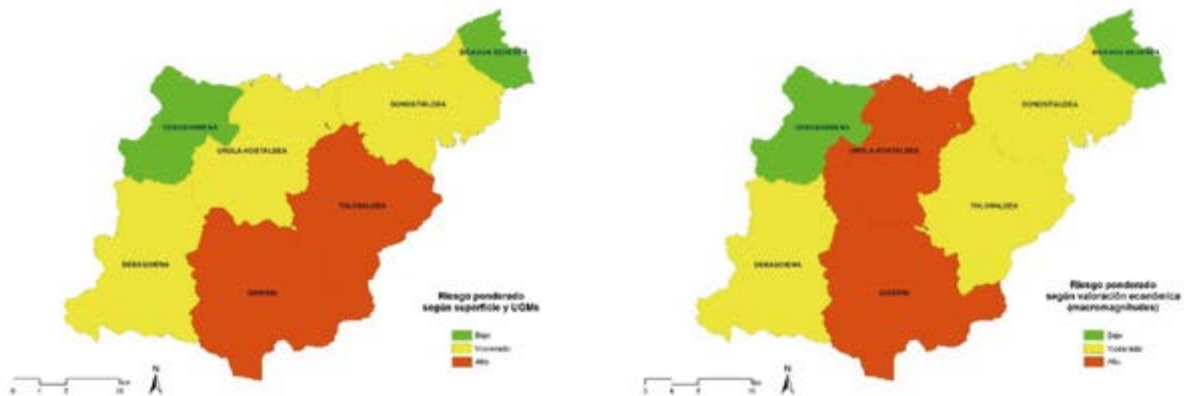
En todas las comarcas, si se ponderan los riesgos de acuerdo a la superficie ocupada, el sector agrícola presenta un riesgo bajo o moderado dado que la

superficie relativa de los cultivos agrícolas es muy baja. Sin embargo, el riesgo del sector agrícola cambia mucho si la ponderación se realiza en función del valor económico.

Si se ponderan los riesgos según la valoración económica, el sector agroforestal de Gipuzkoa presenta mayor riesgo en las comarcas Goierri y Urola-kostaldea, seguido de cerca por Tolosaldea. El riesgo es bajo en Bidasoa Beherea y Debabarrena. En consecuencia, si hubiera que priorizar actuaciones frente al cambio climático, estas deberían comenzar por Goierri, Tolosaldea y Urola-Kostaldea, tanto ponderando por superficie/UGM como por valoración económica.

De acuerdo a la ponderación económica, las tierras de especies forestales distintas al *Pinus radiata* pasan a un segundo plano de importancia, ya que su riesgo pasa a considerarse entre moderado y bajo, dependiendo de la comarca. Por el contrario, los cultivos agrícolas adquieren mayor riesgo, en especial en Donostialdea, donde su riesgo resulta alto.

Finalmente, es importante puntualizar que en este análisis no se ha tenido en cuenta la elevación del nivel del mar, lo que lógicamente implicará mayores riesgos para estas comarcas en comparación con las del interior.



10.6. Fig. (izq.) Riesgo ponderado según superficie y UGM (drcha.) Riesgo ponderado según valoración económica (macromagnitudes).

RIESGO DEL SECTOR AGROFORESTAL DE GIPUZKOA

	BIDASOA BEHEREA	DEBABARRENA	DEBAGOIENA	DONOSTIALDEA	GOIERRI	TOLOSALDEA	UROLA KOSTALDEA
--	-----------------	-------------	------------	--------------	---------	------------	-----------------

PONDERACIÓN REALIZADA EN FUNCIÓN DE LA SUPERFICIE (ha)

PINUS RADIATA	BAJO	MODERADO	ALTO	MODERADO	ALTO	MODERADO	MODERADO
OTRAS ESPECIES FORESTALES	MODERADO	MODERADO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO	ALTO
PASTOS	BAJO	MODERADO	MODERADO	MODERADO	MODERADO	MODERADO	MODERADO
CULTIVOS AGRÍCOLAS	BAJO	BAJO	BAJO	MODERADO	BAJO	MODERADO	BAJO

PONDERACIÓN REALIZADA EN FUNCIÓN DE LA CANTIDAD DE GANADO (UGM)

GANADO	BAJO	BAJO	MODERADO	MODERADO	MODERADO	ALTO	ALTO
---------------	------	------	----------	----------	----------	------	------

PONDERACIÓN REALIZADA EN FUNCIÓN DE LA SUPERFICIE (HA) Y DE LA CANTIDAD DE GANADO (UGM)

SUMA	BAJO	BAJO	MODERADO	MODERADO	ALTO	ALTO	MODERADO
-------------	------	------	----------	----------	------	------	----------

PONDERACIÓN REALIZADA EN FUNCIÓN DE LA VALORACIÓN ECONÓMICA (MACROMAGNITUDES, €)

PINUS RADIATA	BAJO	MODERADO	ALTO	MODERADO	ALTO	MODERADO	ALTO
OTRAS ESPECIES FORESTALES	BAJO	BAJO	MODERADO	MODERADO	MODERADO	MODERADO	BAJO
PASTOS	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CULTIVOS AGRÍCOLAS	MODERADO	BAJO	BAJO	ALTO	MODERADO	MODERADO	MODERADO
GANADO	BAJO	MODERADO	MODERADO	MODERADO	ALTO	ALTO	ALTO
SUMA	BAJO	BAJO	MODERADO	MODERADO	ALTO	MODERADO	ALTO

10.2. Tabla. Riesgo ponderado según superficie (ha), cantidad de ganado (UGM) y macromagnitudes (€) del conjunto de Gipuzkoa ante el cambio climático. Nota: no existe valoración económica asociada a los pastos.



SS-3-482



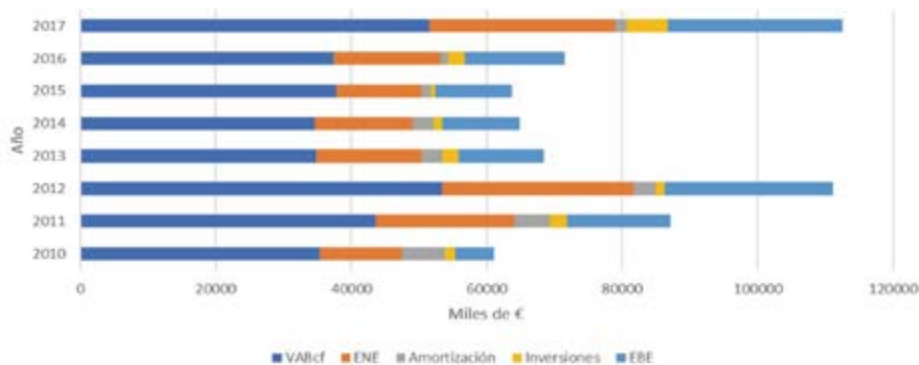
11.1 INTRODUCCIÓN

La importancia socio-económica del golfo de Vizcaya, y en particular la plataforma continental vasca, se debe a la multitud de actividades que se desarrollan en esta zona, como la pesca. La importancia económica actual de la flota de Gipuzkoa aporta en torno al 25% de valor añadido bruto total de la Comunidad Autónoma de Euskadi.

El reciente informe especial del IPCC dedicado a los océanos (SROCC) (IPCC, 2019) alerta que la biomasa de recursos marinos (invertebrados y peces) podría disminuir entre un 4,8±3,5% y un 17,2±10,7% bajo escenarios climáticos RCP2.6 y RCP8.5, respectivamente, para fin

de siglo (2090–2099). Como consecuencia, los impactos económicos en las pesquerías a nivel global derivados del cambio climático se estiman entre 17.000 millones y 41.000 millones de dólares en valor total de desembarques, según un informe del Banco Mundial (Sumaila et al., 2011).

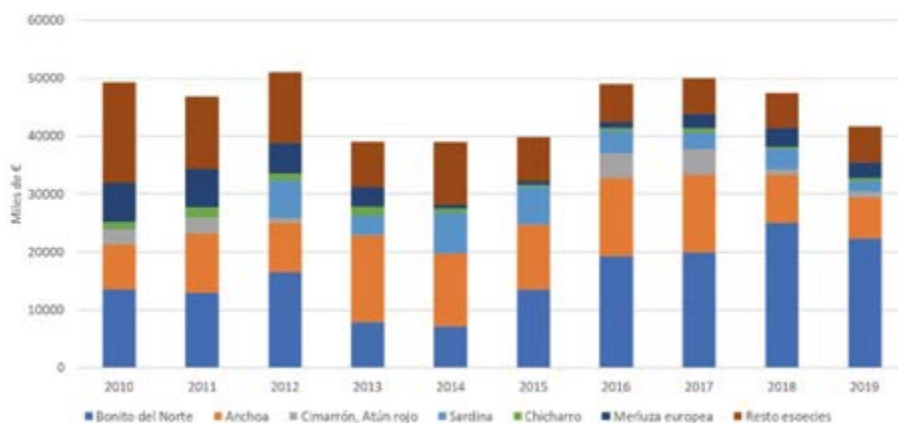
El Valor Añadido de la Pesca a coste de factores (VABcf) representa la contribución de este sector al Producto Interior Bruto de la economía. En 2017, el VABcf de la flota de Gipuzkoa ascendió a 51.507 k€ y el sector invirtió 6.085 k€ (Fuente: Órgano Estadístico del Dpto. de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente del Gobierno Vasco).



11.1. Fig. Evolución de la estructura económica de la actividad pesquera en Gipuzkoa.

El volumen total de ingresos generados por subastas de pescado en las lonjas de bajura (con procedencia del pescado de embarcaciones tanto de Gipuzkoa como de otros territorios) ascendió a 54 y 49 millones de € en 2018

y 2019, respectivamente. El reparto de estos ingresos por cada una de las especies principales se observa en la Figura 11.2. El 87% del valor total relativo de estos ingresos procede únicamente de 7 especies principales.



11.2. Fig. Evolución temporal de los ingresos totales derivados de la primera venta en lonjas de bajura de Gipuzkoa para las principales especies.

11.2 IMPACTOS EN EL SECTOR PESQUERO

La distribución de las especies obedece a sus rangos ecofisiológicos que definen su nicho ecológico (Hutchinson, 1957), lo cual significa que existen unas condiciones ambientales óptimas que generan abundancias altas, pero a medida que las condiciones ambientales son menos favorables la reproducción, el crecimiento y la alimentación se ven afectadas (Helaouet & Beaugrand, 2009). Para mantenerse en las condiciones óptimas en un contexto de calentamiento del mar, la distribución de las especies puede modificarse según al menos tres mecanismos de respuesta (Bruge et al., 2016):

1. Desplazamientos latitudinales (en general hacia los polos)
2. Cambios en la fenología (en general, avance)
3. Desplazamientos en la columna de agua (en general profundización)

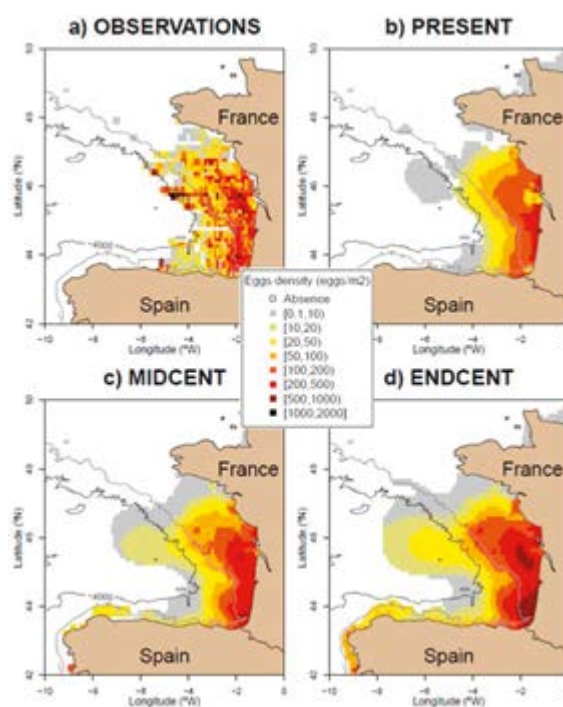
En el golfo de Vizcaya se ha observado, en términos generales, una tendencia hacia el aumento de la abundancia de aquellas especies de peces que presentan amplios rangos de distribución, principalmente especies subtropicales, mientras que la abundancia de especies de aguas frías ha sufrido un descenso continuo durante la última década del S. XX y la primera del S. XXI (Poulard & Blanchard, 2005).

La distribución de la puesta del stock del verdel del noroeste se ha desplazado hacia el norte en las últimas tres décadas (Beare & Reid, 2002) probablemente en respuesta al calentamiento global del mar en esa área (Hughes et al., 2014). La puesta se ha desplazado hacia el norte a una velocidad de $15,9 \pm 0,9$ km por década entre 1992 y 2013 (Bruge et al., 2016). La fenología del verdel parece también haberse alterado, adelantándose 29 días entre los años 2000 y 2006 en el Cantábrico (Punzón & Villamor, 2009), de forma concordante con la distribución latitudinal. Bajo escenarios de cambio climático, la distribución futura de la puesta del verdel se desplazaría hacia el oeste (32 a 117 km) y hacia el norte (0,5 a 328 km), pero con alta variabilidad según el escenario y periodo considerado (Bruge et al., 2016). Se predice también que los picos estacionales de la puesta podrían ocurrir antes en las áreas que se vayan a calentar, y más tarde en las áreas que se vayan a enfriar. El futuro de la producción total de huevos es incierto con porcentajes de cambios que oscilan entre -9,3% y el 12,0%.

La anchoa ha expandido su área de distribución hacia el norte entre los periodos 1967-1972 y 2000-2004, lo que

podría relacionarse con cambios ambientales (Bellier et al., 2010). El pico de desove ha avanzado a una tasa de 5,5 días por década desde 1987 a 2015 (Erauskin-Extramiana et al., 2019a). Bajo escenarios de cambio climático se esperan cambios en la producción de huevos y el área de desove. En concreto, estos cambios podrían suponer incrementos (entre 1,05 y 2,66 veces mayor que el presente) en la densidad de huevos de anchoa y un incremento en su área de puesta (9-16%) (Erauskin-Extramiana et al., 2019a).

En el caso de los juveniles de bonito, estos han avanzado su llegada en 2,3 días por década asociado al calentamiento del mar. Además, se ha observado un ligero desplazamiento de su hábitat hacia el norte y un desplazamiento de capturas hacia el noroeste (74 km al norte y 180 km al oeste por década), que podría obedecer a una expansión progresiva de la flota para buscar caladeros de peces más productivos o a cambios en la distribución de la fuente de alimento del bonito (Chust et al., 2019). Bajo escenarios de cambio climático, se esperan cambios importantes en la distribución y abundancia relativa de los atunes, especialmente a finales de siglo (2080-2099) (Erauskin-Extramiana et al., 2019c). En línea general, se espera un hábitat futuro menos favorable en las zonas donde operan las flotas españolas, aunque probablemente no sea relevante dada la capacidad fisiológica del atún rojo para adaptarse a los cambios que se vayan produciendo.



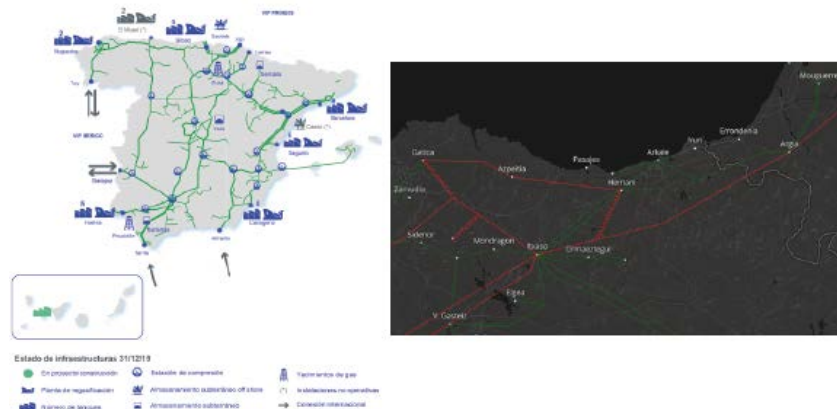
11.3. Fig. Densidad de huevos de anchoa en el golfo de Vizcaya: a) observaciones, b) modelo en el periodo de referencia (2006-2020), c) modelo a mitad de siglo (2040-2055) y d) modelo a fin de siglo (2080-2099), bajo escenarios RCP8.5. Se ha limitado el área de distribución futura de puesta a los límites de distribución actuales. Fuente: Erauskin-Extramiana et al. (2019a).



12.1 INTRODUCCIÓN

El sector energético (generación, transporte y distribución, transformación y comercialización de la energía) es esencial, al depender de él, directa o indirectamente, todos los sectores y ámbitos de actividad. Este sector presenta una doble relación con el cambio climático. En primer lugar, es uno de los principales responsables del cambio climático al ser el origen de más de tres cuartas partes de las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente por el uso y consumo de los combustibles de origen fósil. En el T.H. de Gipuzkoa este sector, considerando tanto las emisiones directas

del sector energético como al abastecimiento al reto de sectores, representa el 26%, y únicamente el 7% al considerar solamente la transformación de la energía, del total de emisiones en el año 2018. En segundo lugar, el sector energético se ve afectado por distintos impactos del cambio climático, tanto en la demanda como en la producción y transporte de energía, así como por daños estructurales en dichas infraestructuras esenciales e incluso por cambios indirectos debido a otros factores como los económicos.



12.1. Fig. (izq.) Mapa de infraestructuras gasistas en España. Fuente: SIDEGAS Informe 2019. (dcha.) Red de sistemas de transmisión de la red de energía eléctrica. Se incluyen todas las líneas de transmisión para 220 kV (verde) y 400 kV (rojo) y las subestaciones eléctricas de reparto. Fuente: Mapa de sistema de transmisión ENTRSO-E.

Los derivados del petróleo, básicamente gasóleos y gasolinas, así como el gas natural se han convertido en los últimos años en las principales fuentes de energía tanto en Euskadi como en Gipuzkoa. El gas natural representa el 26,2% de la demanda de energía del T.H., y el petróleo y sus derivados suponen el 46,0%. Finalmente, la energía eléctrica importada, interconexiones con Francia y resto del Estado español, representa el 19,0%. A pesar de que estas fuentes de generación representan el 90% del total, las fuentes de energía renovables van ganando cierto peso, suministrando actualmente el 10% del consumo energético bruto.⁵

La Estrategia Guipuzcoana de Lucha Contra el Cambio Climático (ECLCC 2050) establece el objetivo de alcanzar un consumo de energía renovable del 80% sobre el consumo final para el año 2050 y un objetivo intermedio

de alcanzar un consumo de energía renovable del 30% en el año 2030, transitando hacia un modelo energético bajo en carbono.

El porcentaje del consumo final de energía por sectores ha permanecido prácticamente constante durante los últimos 14 años. En promedio, durante este periodo el 34,0% del consumo corresponde al sector industrial, el 46,5% al transporte y el 11,0% al residencial. El consumo por tipo de recurso energético en estos principales sectores es de 42% gas natural y 39% energía eléctrica en la industria, el 96% en el transporte corresponde a derivados del petróleo y en el sector residencial el 42% corresponde a gas natural y el 45% a energía eléctrica. Estos datos muestran la gran dependencia en fuentes de energía de origen no renovable.

5 Estos datos corresponden al Balance Energético de Gipuzkoa para el año 2018. Próximamente se publicará el balance actualizado para el año 2019. Estos datos se actualizarán cuando se publiquen por parte del Departamento de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas de la DFG.

12.2 CARACTERIZACIÓN DEL SECTOR ENERGÉTICO EN GIPUZKOA

RED ELÉCTRICA Y DE GAS

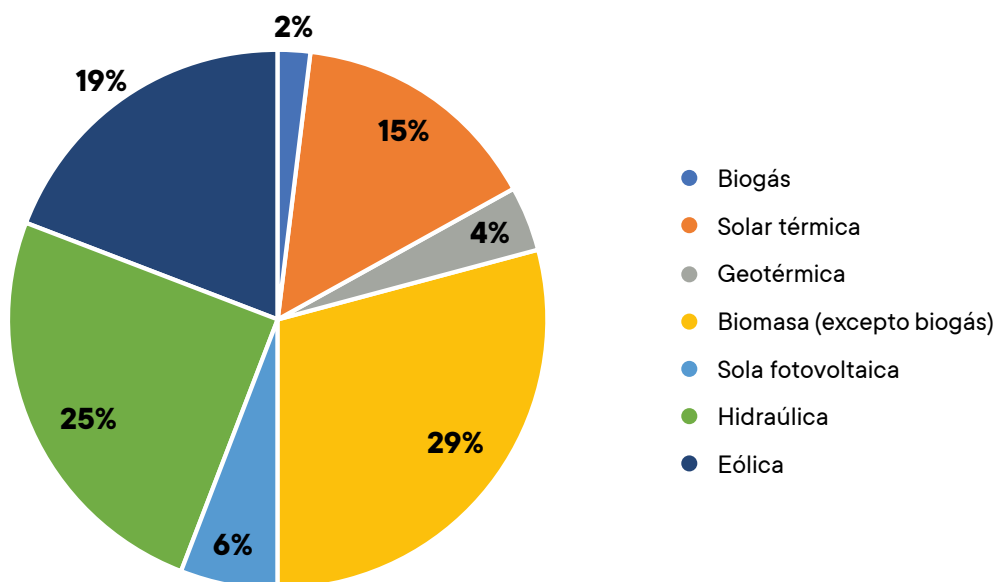
La infraestructura de transporte y distribución de gas natural en Gipuzkoa consiste en dos redes troncales que atraviesan la provincia de oeste a este y de norte a sur. Por dichas redes circula el gas tratado en las plantas re-gasificadoras de Bizkaia, y están conectadas, por Irún, con la red europea de gas. Esta interconexión dispone además de una estación de compresión de gas natural. La red de transporte de energía eléctrica consta de redes con diferentes niveles de tensión (400 kV, 220 kV y 132 kV). Además, existen distintos puntos de conexión de la red con Francia.

Atendiendo al tipo de infraestructura de generación, las más vulnerables serían las instalaciones térmicas de generación eléctrica, así como las redes eléctricas de transporte y distribución. Por tanto, sería conveniente prestar una atención especial al caso de las redes eléctricas en la medida en que la tendencia es avanzar hacia una mayor electrificación del sistema energético.

ENERGÍAS RENOVABLES

Las fuentes energéticas renovables abastecen el 10% del consumo interior bruto del territorio, desglosándose este dato en un 7,23% de producción primaria de renovables en Gipuzkoa, y un 2,77% de biocombustibles de importación. En el año 2018, el mayor aprovechamiento se obtuvo de la biomasa aportando el 74,8% del total, seguido de minihidráulica (9,0%) y la solar térmica (7,5%). La producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables se reparte principalmente entre la biomasa, 34,2%, la eólica 31,1% y la hidroeléctrica 31,1%, teniendo un papel generador menor la solar fotovoltaica con el 3,1% (Balance Energético de Gipuzkoa 2018). Por otra parte, no hay que olvidar que parte de la energía eléctrica importada es de origen renovable.

La distribución de potencia instalada para los distintos tipos de energía renovable indica, con los datos de 2018, que el 29% corresponde a la biomasa y el 25% a la minihidráulica.



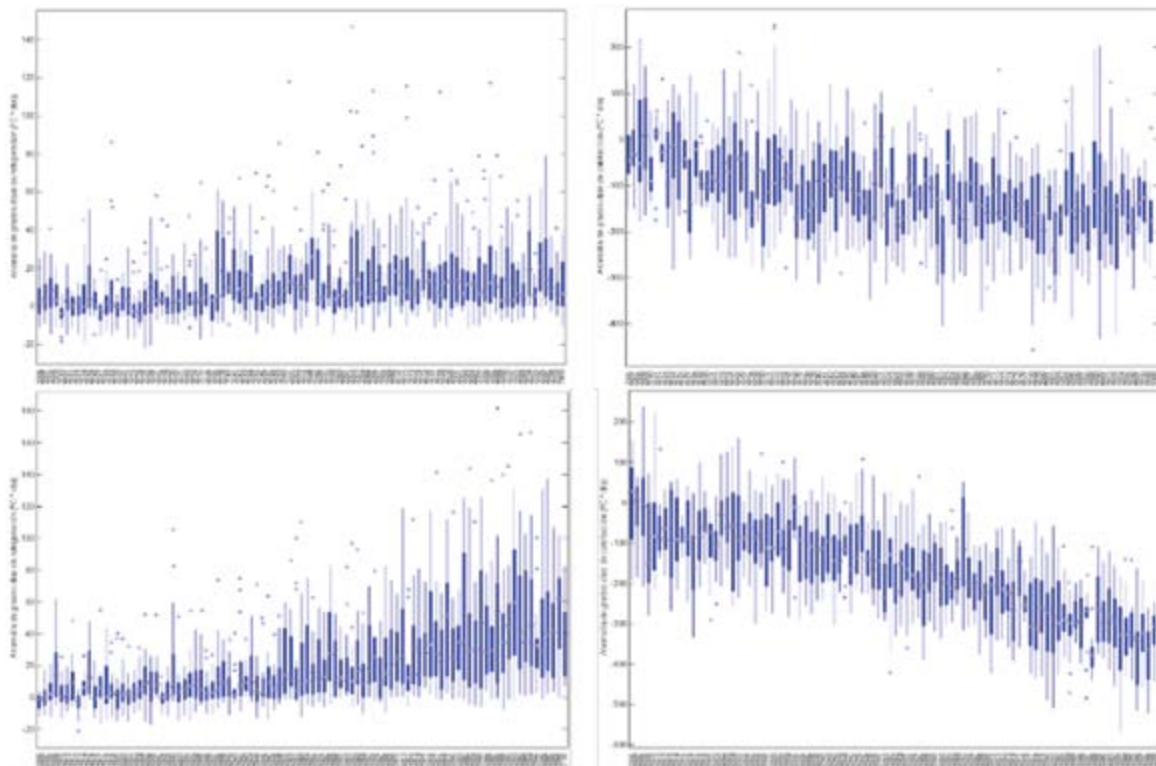
12.2. Fig. Potencia instalada de energía renovables en Gipuzkoa en 2018. Fuente: Balance Energético de Gipuzkoa 2018.⁶

⁶ Estos datos corresponden al Balance Energético de Gipuzkoa para el año 2018. Próximamente se publicará el balance actualizado para el año 2019. Estos datos se actualizarán cuando se publiquen por la Departamento de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas de la DFG.

12.3 IMPACTOS CLIMÁTICOS SOBRE EL SECTOR ENERGÉTICO

Los principales impactos del cambio climático en el sector energético se espera que se produzcan sobre la demanda de energía. El proyectado incremento de la temperatura tiene dos efectos contrapuestos sobre la demanda, disminuyendo la demanda en invierno e incrementándose durante los periodos cálidos. Por un lado, y dado que, en gran medida la demanda de energía se utiliza para procesos de calentamiento al suavizarse los inviernos es previsible que se reduzca la demanda de energía para calefacción de los hogares, tanto por suministro de electricidad como de gas. En verano, sin embargo, cuando se proyectan incrementos de olas de calor más intensas y prolongadas en el tiempo, se espera un incremento en la demanda de electricidad para aire

acondicionado y equipos de refrigeración. Los estudios coinciden especialmente en proyectar un aumento de la demanda para refrigeración. Los grados-días de refrigeración (cooling degree days) y los grados-días de calefacción (heating degree days) se pueden utilizar como indicadores de la demanda de energía para enfriamiento y calefacción, respectivamente, en edificios. Estos índices ya muestran incrementos del número de días de refrigeración y disminución de los días de calefacción significativos desde la década de los 70. Las proyecciones realizadas bajo los distintos escenarios del IPCC-AR5, RCP4.5 y RCP8.5, indican que estos cambios continuarán a lo largo del siglo, acentuándose en la segunda mitad del mismo.



12.3. Fig. Proyección de las anomalías, respecto al periodo medio 1971–2000, de (izq.) grados-días de refrigeración (Cooling Degree Days) y (drcha.) grados-días de calefacción (Heating Degree Days) para los escenarios RCP4.5 (parte superior) y RCP8.5 (parte inferior) en Gipuzkoa. Fuente: Visor de Escenarios de Cambio Climático, AdapteCCA.

El cambio climático implicará también riesgos específicos para cada una de las fuentes de energía, así como a la tecnología implicada, dependiendo de la fuente (agua, insolación, viento, etc.), proceso tecnológico (enfriamiento) o localización (costa, riveras). La subida de temperatura es el principal factor de impacto que afectará al rendimiento de las centrales térmicas, así como en la cogeneración, la energía solar (térmica y fotovoltaica) y en la biomasa. Los diferentes escenarios climáticos proyectan cambios de temperatura, radiación solar, humedad,

nubosidad, precipitación o vientos, esto es, en variables críticas para los recursos energéticos renovables.

A continuación, se recogen de forma resumida las potenciales amenazas del cambio climático sobre todas las fuentes de energía existentes o que presentan un potencial de desarrollo en el territorio. Esta información se encuentra ampliada en el 'Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa' publicado por el Observatorio de Cambio Climático de Naturklima en julio de 2020.

	VARIACIONES CLIMÁTICAS	POSIBLES IMPACTOS
CENTRALES TÉRMICAS (COMBUSTIBLES FÓSILES)	<ul style="list-style-type: none"> INCREMENTO DE LA TEMPERATURA CAMBIOS DE PRECIPITACIÓN Y AUMENTO DE LA TEMPERATURA, REDUCCIÓN DEL AGUA PARA REFRIGERACIÓN INCREMENTO DE LA FRECUENCIA DE OLAS DE CALOR SEQUÍAS: REDUCCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA 	<ul style="list-style-type: none"> REDUCCIÓN DE LA EFICIENCIA EN EL PROCESO DE CONVERSIÓN TÉRMICA Y REDUCCIÓN DE LA OPERATIVIDAD, CORTES DE SUMINISTRO REDUCCIÓN EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EXACERBACIÓN DE LOS IMPACTOS DEL AUMENTO DE TEMPERATURA: REDUCCIÓN DE LA EFICIENCIA DE REFRIGERACIÓN Y PRODUCCIÓN, SOBRECALENTAMIENTO REDUCCIÓN DE LA OPERATIVIDAD, CORTES DE SUMINISTRO
E. HIDROELÉCTRICA	<ul style="list-style-type: none"> REDUCCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA CAMBIOS INTERANUALES Y ESTACIONES EN LOS CAUDALES DE CAPTACIÓN INUNDACIONES 	<ul style="list-style-type: none"> DISMINUCIÓN DE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA CAMBIOS ANUALES Y ESTACIONALES EN LA POTENCIA DE SALIDA, PÉRDIDA DE POTENCIA EN EL CASO DE CAUDALES PICOS MUY ELEVADOS DAÑOS ESTRUCTURALES DIRECTOS O INDIRECTOS, PÉRDIDA DE POTENCIA
BIOMASA	<ul style="list-style-type: none"> INCREMENTO DE LA TEMPERATURA INCREMENTO DEL CO₂ ATMOSFÉRICO CAMBIOS EN EL RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES CONDICIONES CLIMÁTICAS EXTREMAS: INCENDIOS, SEQUÍA 	<ul style="list-style-type: none"> CAMBIOS EN LA FERTILIDAD DE LOS CULTIVOS Y PRODUCTIVIDAD PUEDE FAVORECER EL CRECIMIENTO DE DETERMINADOS CULTIVOS REDUCCIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD
E. SOLAR	<ul style="list-style-type: none"> INCREMENTO DE LA TEMPERATURA CAMBIOS EN LA COBERTURA NUBOSA OLAS DE CALOR GRANIZO 	<ul style="list-style-type: none"> AUMENTO DE LA EFICIENCIA DE LA SOLAR TÉRMICA, DISMINUCIÓN DE LA FOTOVOLTAICA Y SOLAR DE CONCENTRACIÓN LA REDUCCIÓN DE COBERTURA NUBOSA SERÁ BENEFICIOSA PARA ESTE TIPO DE TECNOLOGÍA DAÑO MATERIAL EN LA FOTOVOLTAICA, REDUCCIÓN DE POTENCIA EN FOTOVOLTAICA Y SOLAR DE CONCENTRACIÓN DAÑO MATERIAL EN LA SOLAR TÉRMICA
E. EÓLICA	<ul style="list-style-type: none"> RÉGIMEN DE VIENTOS VELOCIDAD DEL VIENTO EXTREMAL 	<ul style="list-style-type: none"> CAMBIOS EN EL POTENCIAL EÓLICO DAÑOS ESTRUCTURALES
E. MARINA (UNDIMOTRIZ)	<ul style="list-style-type: none"> CAMBIOS EN EL RÉGIMEN DE VIENTOS Y POR TANTO DE OLEAJE 	<ul style="list-style-type: none"> CAMBIOS EN EL POTENCIAL ENERGÉTICO DAÑOS ESTRUCTURALES

12.1. Tabla. Principales impactos del cambio climático y eventos climáticos extremos en las distintas fuentes de energía. Fuente: modificada de IPCC (2014).

12.4 CONCLUSIONES

El cambio climático implica también riesgos para el sector de la energía, al ser vulnerable a una serie de impactos directos e indirectos sobre sus infraestructuras o su oferta y demanda. Al ser el T.H. de Gipuzkoa netamente importador de energía y con limitadas infraestructuras generadoras de energía, la influencia del cambio climático en el territorio sobre las instalaciones será limitada pero crítica. Los efectos sobre las fuentes de energía, tecnologías e infraestructuras dependerán principalmente de los recursos primarios utilizados, los procesos tecnológicos y la ubicación.

Las variables climáticas con una mayor influencia sobre el sector energético son la temperatura, horas de insolación, precipitación, velocidad del viento o humedad relativa. Así, por ejemplo, es probable que el incremento de la temperatura reduzca la demanda de calefacción de

los hogares, pero incremente la demanda en refrigeración o que la disminución en los recursos hídricos limite la generación de energía hidroeléctrica. En otros casos, estas variaciones pueden ser positivas. Así, la producción de energía solar podría verse favorecida por la reducción de la nubosidad, si bien los aumentos extremos de la temperatura podrían reducir su eficiencia, caso de la solar fotovoltaica.

Por otra parte, los eventos climático extremos pueden afectar de manera decisiva a las infraestructuras, que, no contando con una medida de adaptación adecuada, podrían quedar completamente inutilizables. Así mismo, se observa que muchos de los impactos observados también ocurrirían no solamente en las propias instalaciones sino en las diferentes vías de acceso a las mismas.



SS-3-482



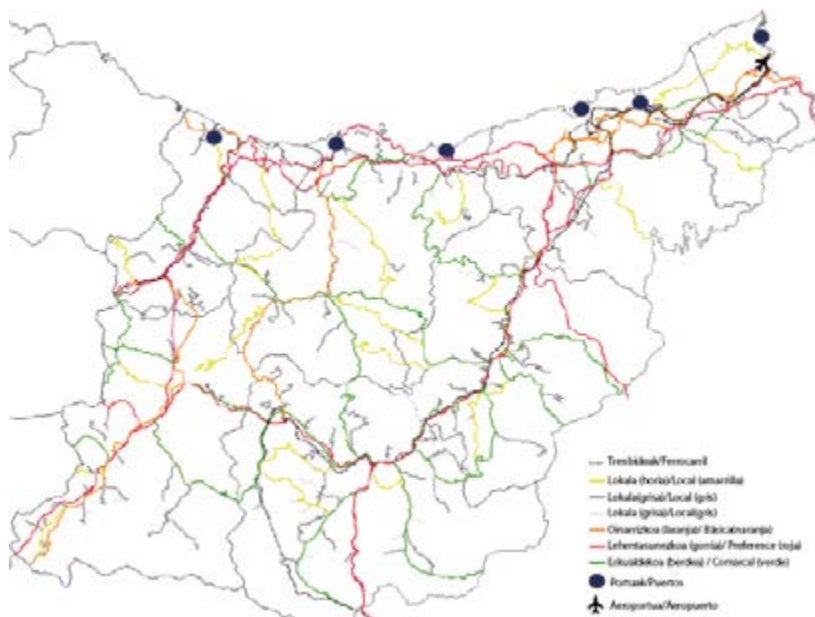
13.1 INTRODUCCIÓN

El transporte es uno de los sectores estratégicos que vertebran nuestra sociedad. Tradicionalmente este sector se ha analizado desde la perspectiva de la mitigación, ya que, no en vano es el causante del 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel europeo en 2018 (EEA, 2020). En Gipuzkoa, las emisiones del sector continúan al alza desde el año 2005, representado en el año 2018 el 38% de las emisiones GEI del T.H. (Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de Gipuzkoa, 2019). Sin embargo, los sistemas e infraestructuras de transporte también están expuestos a las condiciones meteorológicas, por lo que cambios en estas condiciones como consecuencia del cambio global, generarán una serie de impactos directos e indirectos sobre las propias infraestructuras, la operatividad del sistema y la explotación de los servicios del sector transporte.

La mayoría de las condiciones meteorológicas a las que puede ser vulnerable el transporte están relacionadas con episodios extremos (ej. tormentas, lluvias intensas, olas de calor, oleaje, vientos, nieblas, incendios, etc.) que provocan impactos adversos sobre el medio físico (ej. inundaciones, deslizamientos, desprendimientos) que terminan afectando al transporte. Es decir, el cambio climático puede provocar el deterioro, la pérdida temporal o permanente de infraestructuras, interrupciones en el servicio, cambios en la operatividad o en el mantenimiento, así como en los criterios de diseño de infraestructuras del transporte.

13.2 INFRAESTRUCTURAS DEL TRANSPORTE EN GIPUZKOA: AMENAZAS CLIMÁTICAS E IMPACTOS PREVISIBLES

El conjunto del sistema de transporte de Gipuzkoa está compuesto por una extensa red de infraestructuras viarias, ferroviarias, portuarias y aéreas.

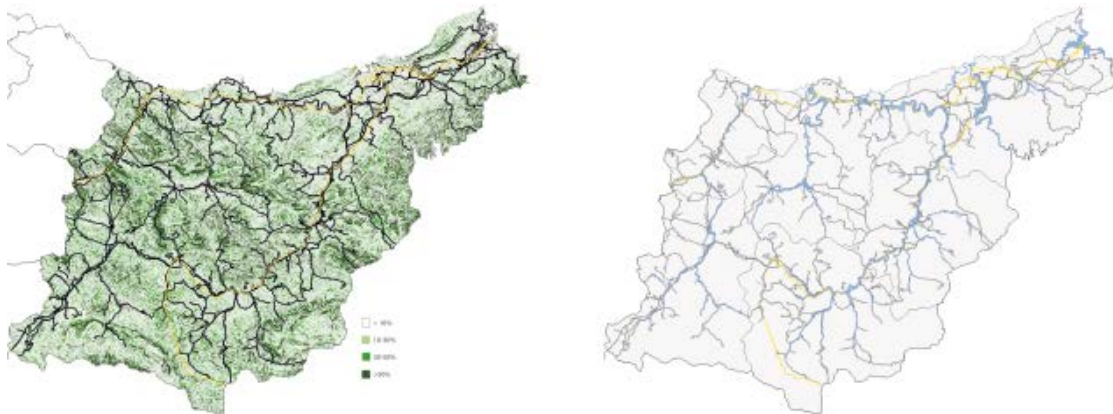


13.1. Fig. Principales infraestructuras de transporte en Gipuzkoa.

13.2.1 RED VIARIA

La variabilidad de las condiciones meteorológicas, así como el cambio climático tienen consecuencias significativas en las infraestructuras viarias, pudiendo acelerar su deterioro y aumentar el riesgo de daño severo, provocar la interrupción del tráfico o aumentar la siniestralidad vial. Los principales eventos climáticos que afectan a la circulación en un punto o tramo de carretera suelen ser el hielo, la nieve, los desprendimientos de tierra/laderas y las inundaciones o los episodios de lluvias torrenciales. Las previsiones consideran

que se incrementará la vulnerabilidad a eventos de precipitación extrema, que pueden causar inundaciones, desprendimientos y deslizamientos de tierra. A nivel del T.H., como consecuencia sobre todo del relieve, con elevadas pendientes en numerosos tramos de la red viaria, y la baja permeabilidad del suelo, dichos eventos pueden darse en prácticamente cualquier lugar, incrementándose el riesgo en tramos viales próximos a cursos de agua o donde exista inestabilidad hidrogeológica.



13.2. Fig. (izq.) Mapa de pendientes del País Vasco sobre las principales infraestructuras viarias (líneas negras) y ferroviarias (línea amarilla). (dcha.) Zonas actuales de inundabilidad sobre la red de infraestructuras con un periodo de retorno de 500 años.

El incremento de la temperatura, especialmente en verano, es otra de las principales amenazas para las carreteras asfaltadas ya que acelera su deterioro. Las altas temperaturas pueden llevar a la alteración del módulo de rigidez del pavimento provocando ondulaciones, roderas y fisuras en el firme, deformaciones en todos los tipos de vía y materiales que forman los puentes. No se espera que la vulnerabilidad actual a estos fenómenos se incremente mucho.

Además de los daños sobre las infraestructuras o funcionalidad de estas vías, hay que considerar el efecto sobre la seguridad viaria. Así, una mayor frecuencia de precipitaciones intensas supondrá cambios en las

condiciones del asfalto y formación de balsas de agua, con un mayor riesgo de aquaplaning y de menor visibilidad para los conductores (Qiu & Nixon, 2008; Palko, 2017). La mayor frecuencia e intensidad de las olas de calor, particularmente combinados con elevada humedad relativa, afectará igualmente a la comodidad de conducción y a la de los propios pasajeros (Mora et al., 2017; Monioudi et al., 2018).

La disminución de días de helada, así como de precipitación en forma de nieve, puede disminuir el riesgo asociado a estos fenómenos, con un efecto positivo al disminuir las necesidades de mantenimiento invernal y al mejorar las condiciones de utilización de la red.

13.2.2 RED FERROVIARIA

Los impactos potenciales del cambio climático sobre las infraestructuras y transporte ferroviario incluyen fundamentalmente a elementos comunes a la infraestructura viaria tales como el trazado, las obras de tierra, los taludes, los sistema de drenaje, los túneles y puentes o la señalización, mientras que otros elementos estructurales son particulares del sistema ferroviario, como la infraestructura de vía, los railes, las instalaciones de seguridad o las condiciones de operación (Castañares Hernández, 2018).

Los principales impactos negativos de una mayor frecuencia de precipitaciones intensas son la erosión de los taludes y los posibles deslizamientos de laderas. Escenarios de altas temperaturas y evapotranspiración y aumento del número de días secos consecutivos pueden facilitar los incendios en los márgenes de las vías. El informe "Secciones de la red estatal de infraestructura de transporte terrestre potencialmente más expuestas por razón de la variabilidad y cambio climáticos" (CEDEX, 2018) prevé una afectación moderada a 30 años para la circulación y/o a la infraestructura férrea que atraviesa el T.H.

13.2.3 RED PORTUARIA

A pesar de que la mayoría de los puertos se encuentra en zonas resguardadas, estos ya han experimentado daños durante episodios extremos, con efectos sobre la coronación de diques y escolleras, muros de remate, edificios portuarios, pantalanes y elementos de amarre. La subida del nivel del mar y la mayor frecuencia de eventos extremos del nivel del mar (marea meteorológica y astronómica), oleaje, precipitación o incremento de la temperatura media y máxima constituyen las principales amenazas ligadas al cambio climático para los puertos (UNCTAD, 2011; Becker et al., 2013).

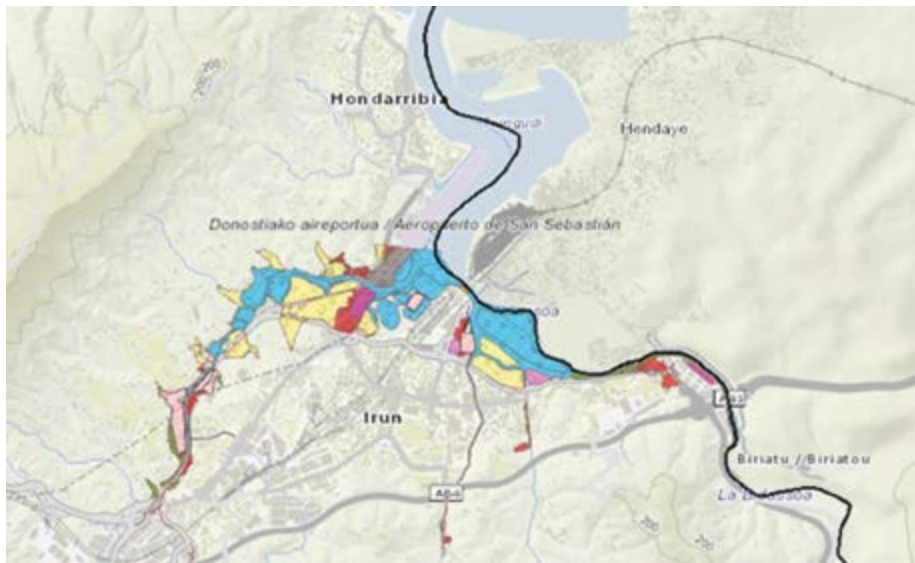
La principal amenaza sobre el sistema portuario guipuzcoano es el aumento relativo del nivel del mar.

Las proyecciones prevén incrementos de hasta 0,80 m, en el peor de los escenarios, para la costa guipuzcoana. Infraestructuras portuarias a cotas inferiores podrían verse afectadas por inundación. No se proyectan cambios importantes para el oleaje, sin embargo, la combinación de oleaje extremo sobre un nivel medio del mar mayor podría tener numerosos impactos. Los principales son una mayor frecuencia e intensidad de rebase de los diques más expuestos, con consecuencias negativas sobre la ocupación del trasdós del dique, reducción de la cota de coronación de los diques y sus espaldones y mayor calado de los diques.

13.2.4 AEROPUERTO

Los principales impactos esperados sobre los aeropuertos son la inundación, bien fluvial o por subida del nivel del mar, y la mayor frecuencia por retrasos o cancelaciones relacionados con vientos u otros fenómenos meteorológicos como la niebla y la altura de

las nubes (Pejocic et al., 2009; Lemmen & Warren, 2010). En el caso del Aeropuerto de Hondarribia, situado en una cota de elevación de 4,48 m en la desembocadura del río Bidasoa, hace que sea especialmente vulnerable a la subida del nivel medio del mar.



13.3. Fig. Mapa de riesgo de inundación en las inmediaciones del aeropuerto de Donostia-San Sebastián con un periodo de retorno de 10, 50 y 100 años. Fuente: GeoEuskadi y Udalplan.

A pesar de que no se proyectan cambios significativos en el patrón de vientos, la gran incertidumbre existente en la mayoría de estas proyecciones, especialmente a nivel local, no implica que estos cambios no puedan darse y, en consecuencia, afectar a la operatividad del

aeropuerto. En cuanto a los otros dos parámetros, niebla y altura de las nubes, todavía no existen proyecciones regionalizadas que permitan prever la incidencia futura de estos fenómenos.

13.3 CONCLUSIONES

El transporte es un sector esencial en la economía local y global. El cambio climático afectará a la infraestructura y operatividad de los distintos modos de transporte y a la capacidad y eficiencia de las cadenas logísticas.

En general, el sector transporte es más vulnerable a eventos climáticos extremos semejantes a los que ya experimenta hoy día. En general, las precipitaciones intensas y tormentas extremas acrecientan el riesgo de

deslizamientos y desprendimientos que afectan sobre todo a las infraestructuras viarias y ferroviarias. Además, muchas de estas infraestructuras se encuentran sobre o atraviesan zonas inundables o muy próximas a la costa. El aumento del nivel del mar e intensificación del oleaje podría dañar las infraestructuras del transporte costero, incluyendo puertos, aeropuerto y carreteras. En general, la red de transporte presenta un riesgo moderado, similar al actual, ante las distintas amenazas del cambio climático.

SISTEMA	INFRAESTRUCTURA	ÓRGANO TITULAR	ENTE/ OPERADOR	AMENAZA CLIMÁTICA POTENCIAL	IMPACTOS
SISTEMA VIARIO	RED GRAL. CARRETERAS	DFG	CONCESIONARIO/ PRESTATARIO DE SERVICIO PÚBLICO DE TRANSPORTE USUARIO PARTICULAR	INCREMENTO DE PRECIPITACIONES Y TORMENTAS	INUNDACIONES EN LAS CARRETERAS FORMACIÓN DE BALSAS DE AGUA DAÑOS EN PILARES, PUENTES Y ESTRUCTURAS DE SOPORTE DAÑOS EN LAS DISTINTAS CAPAS DE PAVIMENTO DAÑOS ASOCIADOS AL INCREMENTO DE DESLIZAMIENTOS Y DESPRENDIMIENTOS SOBRECARGA DE LOS SISTEMAS DE DRENAJE CAMBIOS EN PATRONES SUPERFICIALES DE ESCORRENTÍA INCREMENTO DE LA FRECUENCIA DE ACCIDENTES LA DISMINUCIÓN DE NEVADAS Y HELADAS AFECTARÁN DE FORMA POSITIVA AL MANTENIMIENTO DE LA RED
				FUERTES VIENTOS	CAÍDA DE ÁRBOLES, EQUIPAMIENTO U OTROS ELEMENTOS SOBRE LA CALZADA INESTABILIDAD DE LOS VEHÍCULOS EN CARRETERAS Y PUENTES INCREMENTO DE LA EROSIÓN EN TALUDES Y TERRAPLENES DAÑOS ESTRUCTURALES EN PUENTES ROTURA DE LA SEÑALIZACIÓN VERTICAL DE GRAN TAMAÑO INCREMENTO DE LA FRECUENCIA DE ACCIDENTES
				SEQUIÁS E INCENDIOS	PÉRDIDA DE LA CUBIERTA VEGETAL DE LOS MÁRGENES DAÑOS INFRAESTRUCTURALES POR INCREMENTO DE INCENDIOS, POR AUMENTO DE LA EROSIÓN Y DESLIZAMIENTOS COMO CONSECUENCIA DE LA PÉRDIDA DE CAPAS VEGETALES
				OLAS DE CALOR	DAÑOS EN EL PAVIMENTO (SURCOS, ABLANDAMIENTO, EXUDACIÓN, ETC.)
SISTEMA FERROVIARIO	RED TRANSEUROPEA RED PENINSULAR	ESTADO	ADIF Y RENFE	OLAS DE CALOR	INFRAESTRUCTURAS: DEFORMACIÓN DE LOS RAÍLES EN ZIG-ZAG, DEFORMACIÓN DE CATENARIAS, TRABAJADORES EXPUESTOS A ALTAS TEMPERATURAS, INCENDIOS FORESTALES, FALLOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS ESTACIONES: ALTERACIÓN DE LAS CONDICIONES DE CONFORT TRENES: FALLOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS Y ALTERACIÓN EN LAS CONDICIONES DE CONFORT DE LOS PASAJEROS
	RED MÉTRICA	CAPV	ETS Y EUSKOTREN	OLAS DE FRÍO	INFRAESTRUCTURAS: TRABAJADORES EXPUESTOS A BAJAS TEMPERATURAS, MAYOR FRAGILIDAD EN LOS RAÍLES, CAMBIOS DE AGUJAS BLOQUEADOS Y CONGELACIÓN DE LAS CATENARIAS ESTACIONES: ALTERACIÓN DE LAS CONDICIONES DE CONFORT Y ANDENES MÁS RESBALADIZOS TRENES: FALLO DE PUERTAS, ROTURA DE VENTANAS, PROBLEMAS DE ARRANQUE Y MENOR EFICIENCIA DEL FRENADO
SISTEMA PORTUARIO Y SISTEMA AÉREO	PUERTOS INTERÉS GENERAL	ESTADO	AUTORIDAD PORTUARIA	INCREMENTO DE LA TEMPERATURA ESTIVAL	AFECTACIÓN DEL RENDIMIENTO, RESTRICCIONES DE CARGA, RETRASOS O CANCELACIONES DAÑOS EN LA INFRAESTRUCTURAS Y EQUIPOS INCREMENTO DEL CONSUMO DE ENERGÍA PARA LA REFRIGERACIÓN DE LA MERCANCÍA
	PUERTOS AUTÓNOMICOS	CAPV	GOBIERNO VASCO	INCREMENTO DE LA PRECIPITACIÓN	INUNDACIÓN DE LAS INFRAESTRUCTURAS TERRESTRES DAÑOS EN EQUIPOS Y MERCANCÍAS
	AEROPUERTO DE INTERÉS GENERAL	ESTADO	AENA	SUBIDA DEL NIVEL DEL MAR	INUNDACIÓN DE AEROPUERTOS SITUADOS A COTAS BAJAS MAYOR RIESGO DE FALLO Y ROTURA DE DIQUES. AUMENTO EN LA FRECUENCIA DE REBASE DE DIQUES INCREMENTO DE LOS COSTES DE MANTENIMIENTO
				MAYOR FRECUENCIA DE EVENTOS EXTREMOS	INCREMENTO DE LOS RETRASOS/CANCELACIONES DE VUELOS DAÑOS EN LAS INFRAESTRUCTURAS GENERALES



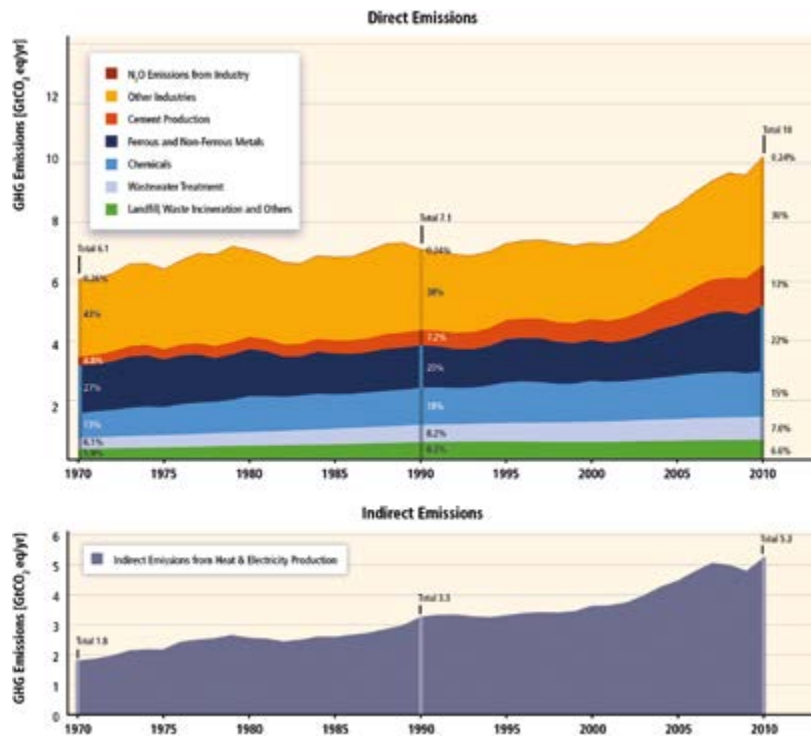
SS-3-482

14.1 INTRODUCCIÓN

La relación entre cambio climático e industria, al igual que ocurre con otros sectores de actividad económica, se ha analizado tradicionalmente desde la perspectiva de la mitigación. Esto se debe al intenso consumo de recursos, fundamentalmente materias primas, agua y energía y a su contribución a las emisiones totales de gases de efecto invernadero. La industria contribuyó con cerca del 6% de las emisiones globales en 2017 (Climate Watch⁷, World Resources Institute), alcanzando

el 8,8% en 2018 el caso de la UE (EEA, 2020) y el 18,3% en Gipuzkoa durante este mismo año 2018 (Inventario de emisiones de GEI de Gipuzkoa, 2019).

El cambio climático supone a su vez un riesgo para los diferentes sectores industriales, por lo que, cada vez con mayor frecuencia, éstos están implementando, como elementos clave dentro de la estrategia empresarial, planes de mitigación/adaptación al cambio climático.



14.1. Fig. Emisiones directas e indirectas de los diferentes sectores industriales a nivel mundial. Fuente: IPCC (2014).

Dentro de este contexto, tanto la Estrategia de Cambio Climático del País Vasco KLIMA2050, como la 'Estrategia Guipuzcoana de Lucha contra el Cambio Climático (EGLCC)', presentan objetivos de reducción de emisiones

para los próximos años, lo que requiere por parte del sector industrial reducir su demanda de energía y un mayor aprovechamiento de los recursos bajo el marco de la economía circular.

7 <https://www.climatewatchdata.org/>

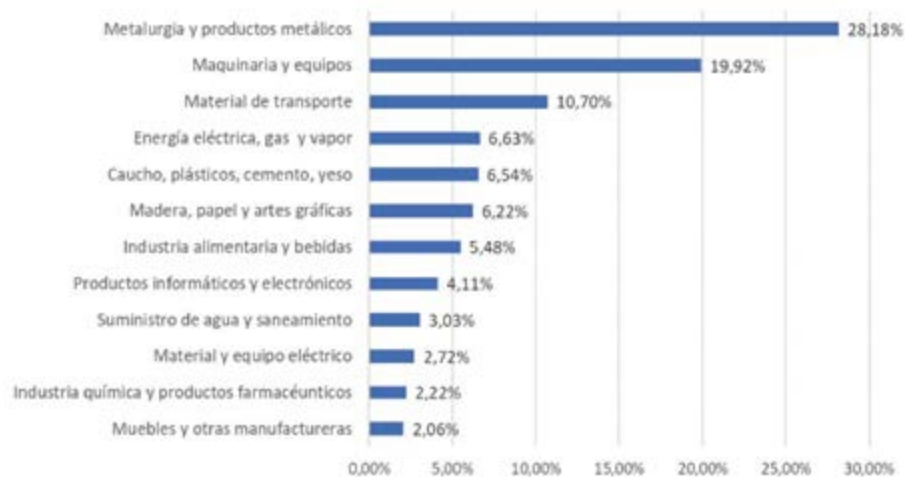
14.2 LA INDUSTRIA EN GIPUZKOA

A pesar de que el sector más importante para la economía guipuzcoana, tanto por su peso en el valor añadido (65%) como en el empleo (70%), es el sector servicios, el sector industrial sigue siendo importante en la economía del T.H., generando el 27,7% del valor añadido bruto. La actividad industrial guipuzcoana se basa principalmente en la manufactura, que representa cerca del 88% del total de la actividad industrial.

Las ventas al exterior representan el 30% del PIB, resultando un volumen de exportaciones muy importante. Las principales partidas arancelarias exportadas en el T.H. de Gipuzkoa en 2019 fueron los automotores para vías férreas y tranvías autopulsados (12,5%), partes y

accesorios de vehículos automóviles (9,0%) y perfiles de hierro o acero sin alear (5,4%). Las principales importaciones corresponden a productos minerales (24,0%), productos intermedios metálicos y para maquinaria (17,1%).

La intensidad del carbono en la economía permite obtener una primera conclusión en referencia a la vulnerabilidad global de la economía frente a la adaptación a un sistema productivo bajo en emisiones. En Gipuzkoa este indicador se ha reducido progresivamente, desde las 0,44 toneladas de CO₂ equivalente por unidad de PIB en 2005, a 0,25 toneladas en 2018, lo que supone una mejora del 43,7% respecto a 2005. Estos sugieren una mayor eficiencia en el uso de energía.



14.2. Fig. VAB generado por tipo de industria (% sobre la industria). Año 2018. Fuente: Eustat.

14.3 PRINCIPALES RIESGOS Y OPORTUNIDADES DEL CAMBIO CLIMÁTICO PARA LAS EMPRESAS GUIPUZCOANAS

El análisis del efecto del cambio climático sobre los diferentes sectores es complejo, al depender de las condiciones específicas de cada sector y compañía y que, debido al fenómeno de globalización de la economía, tiene un efecto de propagación y transmisión entre sectores y regiones geográficas (con impactos de cambios locales, regionales y globales). Lo mismo ocurre con el riesgo, que dependerá también del grado de sensibilidad y capacidad adaptativa de cada compañía. Sin embargo, algunos sectores se verán afectados más intensamente bien por su dependencia directa en las condiciones climáticas (actividades primarias, sector agroalimentario, turismo, etc.), o al ser considerados sectores clave en las políticas de adaptación y mitigación al cambio climático (sectores como transporte y automoción, energía, etc.).

Los impactos del cambio climático previstos sobre los sectores industrial pueden ser tanto directos (daños en la infraestructura, interrupciones en el transporte y cadenas de suministro, menor disponibilidad de ciertos recursos o materias primas, etc.) como indirectos (cambios en la normativa o cambios en el mercado). Por otra parte, es importante recalcar que los impactos no son siempre y únicamente negativos. El cambio climático plantea también nuevas oportunidades y demandas orientadas a mitigar o adaptarse a los impactos del cambio climático o la producción de nuevos productos y servicios ecoeficientes y respetuosos con el medio ambiente.

La siguiente tabla recoge los principales riesgos, amenazas y oportunidades derivados del cambio climático dentro del sector industrial.

14.1. Tabla. Principales riesgos e impactos del cambio climático sobre el sector industrial.

RIESGOS	PRINCIPALES IMPACTOS/OPORTUNIDADES
AUMENTO DE LAS TEMPERATURAS	<ul style="list-style-type: none"> • AFECCIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS QUE SE DESARROLLAN EN AMBIENTES ABIERTOS O QUE NECESITAN MANTENER UNA ESTABILIDAD TÉRMICA PARA OPTIMIZAR SU RENDIMIENTO. • MAYORES CONSUMOS DE ELECTRICIDAD ASOCIADOS A LA REFRIGERACIÓN DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES QUE NECESITAN FRÍO. • MAYOR EVAPOTRANSPIRACIÓN EN CUENCAS Y DISMINUCIÓN DE LOS CAUDALES EN LOS RÍOS Y CONSIGUIENTE REDUCCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA PARA EL ABASTECIMIENTO. • DISMINUCIÓN DE LA EFICIENCIA EN LOS MOTORES INDUSTRIALES QUE CONSUMEN COMBUSTIBLES FÓSILES.
REDUCCIÓN DE PRECIPITACIONES	<ul style="list-style-type: none"> • LA DISMINUCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS IMPACTARÁ ESPECIALMENTE EN LAS ACTIVIDADES INDUSTRIALES INTENSIVAS CON CONSUMO DE AGUA (POR EJEMPLO, REFRIGERACIÓN). PRINCIPALES DEMANDANTES DE AGUA: SIDERURGIA, PASTA Y PAPEL, QUÍMICA Y ALIMENTACIÓN.
EVENTOS EXTREMOS	<ul style="list-style-type: none"> • LAS LLUVIAS INTENSAS PODRÁN PROVOCAR INUNDACIONES EN LAS INSTALACIONES INDUSTRIALES SITUADAS EN FONDOS DE VALLES FLUVIALES Y EN CUENCAS MODIFICADAS Y EN LOS QUE LAS INUNDACIONES SON FRECUENTES. • OLAS DE CALOR, OLAS DE FRÍO Y SEQUÍAS DARÁN LUGAR A PICOS DE DEMANDA ENERGÉTICOS CADA VEZ MÁS IMPORTANTES. • INFLUENCIA EN LA SEGURIDAD Y SALUD DE LOS EMPLEADOS (MODIFICACIÓN DE HORARIOS DE TRABAJO).
AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR	<ul style="list-style-type: none"> • DAÑOS A LAS INFRAESTRUCTURAS INDUSTRIALES LOCALIZADAS EN LA LÍNEA DE COSTA.

RIESGOS	PRINCIPALES IMPACTOS/OPORTUNIDADES
CAMBIOS EN LA NORMATIVA	<ul style="list-style-type: none"> INTERNACIONALIZACIÓN DE LOS COSTES DERIVADOS DE LA APLICACIÓN DE NORMATIVA (MERCADO DE DERECHOS DE CARBONO). MAYORES COSTES EN LOS SECTORES INTENSIVOS EN EL USO DE COMBUSTIBLES FÓSILES. PÉRDIDA DE COMPETITIVIDAD. INCERTIDUMBRE EN EL ALCANCE DE COMPROMISOS POLÍTICOS. INCERTIDUMBRE EN ACCESO A LOS MERCADOS FINANCIEROS. DESLOCALIZACIÓN POR RAZONES COMPETITIVAS.
CAMBIOS EN LA DISPONIBILIDAD DE RECURSOS Y EN LA DEMANDA	<ul style="list-style-type: none"> ACCESIBILIDAD CADA VEZ MÁS LIMITADA A MATERIAS PRIMAS, AGUA O RECURSOS ENERGÉTICOS. INCREMENTOS DE LOS COSTES. READAPTACIÓN DE PROCESOS Y NECESIDAD DE SUSTITUIR COMBUSTIBLES O MATERIAS PRIMAS POR OTRAS. DESAPARICIÓN/DISMINUCIÓN DE PRODUCTOS Y SERVICIOS TAL Y COMO SE EMPLEAN EN LA ACTUALIDAD. DESPLAZAMIENTOS DE PRODUCTOS Y SERVICIOS ANTE OFERTAS INNOVADORAS MÁS SOSTENIBLES (DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS). IMPULSO AL SECTOR DE NUEVOS MATERIALES SOSTENIBLES, EFICIENCIA ENERGÉTICA, O TECNOLOGÍAS DE CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CO₂.

A nivel de Gipuzkoa, las áreas de mayor riesgo son aquellas expuestas a inundaciones. El Plan de Gestión del Riesgo de Inundación (Agencia Vasca del Agua - URA) incluyen numerosos espacios industriales que ocupan zonas cercanas a cauces naturales en municipios industriales como Irún, Eibar, Soraluce, Bergara, Oñati, Arrasate o Eskoriatza. Así mismo, a los propios impactos que puedan ocurrir en territorio, hay que sumar los episodios climáticos en el resto de regiones del mundo, ya que, gran parte del volumen de negocio se encuentra internacionalizado. En este sentido, ya existen diversos

estudios que señalan que los efectos transfronterizos del cambio climático pueden afectar al 40% del producto interior bruto europeo (Ciscar et al., 2018).

Los impactos específicos esperados en determinados sectores industriales del T.H., especialmente de los más vulnerables como son la energía, el turismo o la actividad aseguradora, se analizan más en detalle el 'Informe de Impacto y Vulnerabilidad al Cambio Climático en Gipuzkoa' publicado en julio de 2020.

14.4 CONCLUSIONES

Los impactos físicos del cambio climático sobre las empresas serán tanto directos como indirectos. Los primeros estarán ligados a su ubicación específica, siendo el principal riesgo por su magnitud, y se relacionan con daños físicos en sus infraestructuras e instalaciones como consecuencia de episodios de precipitación (inundaciones) u otros eventos extremos (oleaje, ciclogénesis, etc.).

Los impactos indirectos provendrán de los riesgos para la salud y seguridad de empleados, de la logística y las cadenas de suministro, así como, de aquellos derivados del incremento en el consumo energético o disminución

de la eficiencia de los procesos industriales durante episodios extremos. Otros impactos indirectos serán consecuencia de las nuevas regulaciones y normativas, especialmente en lo referente a las emisiones de gases de efecto invernadero y consumo de energía, a cambios en los mercados internacionales, cambios en la demanda de productos o en los criterios de consumo. La adaptación tanto a los impactos directos como indirectos en la mayoría de las empresas conllevará la necesidad de modificar los procesos, productos, logística, etc., lo que obligará a realizar inversiones, incidiendo directa e indirectamente en su competitividad.

El aumento en la frecuencia de eventos extremos, adicionalmente al impacto sobre las infraestructuras más expuestas, incidirá sobre las redes de transporte y distribución, afectando severamente a toda la cadena logística. En consecuencia, el comercio internacional (importaciones y exportaciones) puede verse alterado por eventos locales y regionales que se sucedan por todo el planeta. Todas las formas de transporte (marítimo, terrestre o aéreo) se verán afectadas, incrementándose así los costes de transporte, afectando a los tiempos de suministro por interrupción o retraso en la importación y/o exportación de productos o materias primas y de producción.

Por último, no puede obviarse que el cambio climático también generará nuevas oportunidades tecnológicas,

nuevos productos y modelos de negocio, así como de mejora competitiva, siendo clave aprovechar las oportunidades que ofrece la transición hacia una economía baja en carbono para el desarrollo de nuevos productos más sostenibles o la expansión hacia nuevos mercados. Además, la modificación de los hábitos de consumo también dará lugar a la aparición de nuevas necesidades que generan oportunidades de nuevos productos, servicios y/o negocios. En este contexto de la mayor conciencia ambiental de los usuarios y consumidores, los sistemas de gestión y el compromiso social y climático de las compañías son factores cada más tenidos en cuenta por inversores, usuarios y clientes.



SS-3-482



15.1 INTRODUCCIÓN

El turismo que, junto con las actividades relacionadas con el ocio son un sector de por sí importante en Gipuzkoa, ha adquirido en los últimos años un mayor peso y protagonismo, observándose un crecimiento de la oferta turística y del empleo relacionado con dicha actividad. Se observa un descenso de casi el 60% en las entradas y pernoctaciones en 2020 debido a los impactos

de la pandemia originada por la COVID-19. En este informe no se ha considerado el impacto de la pandemia en el sector turístico, pero será importante analizar en el futuro como los impactos del cambio climático pueden interrelacionarse con la recuperación y transformación de este sector.

	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ENTRADAS				1.194.470	1.204.395	1.293.239	1.365.778	591.902
PERNOCTACIONES				2.471.121	2.475.575	2.736.196	2.878.528	1.212.166
APORTACIONES DEL TURISMO A LA ECONOMÍA	7,3	7,4	7,6	7,7	7,6	7,6		
AFILIACIONES EN ALTA LABORAL A LA SS	30.034	30.827	31.927	33.397	34.572	35.377	36.469	34.512

15.1. Tabla. Entradas y pernoctaciones en los establecimientos hoteleros, alojamientos rurales y apartamentos turísticos. Evolución de las aportaciones del turismo a la economía de Gipuzkoa (% sobre el PIB) y de las afiliaciones en alta laboral a la seguridad social en actividades relacionadas con el turismo. Fuente: Eustat y Observatorio turístico de Euskadi.

La elección del destino turístico viene determinada por numerosos factores, entre los que destacan la belleza del destino turístico, el interés cultural o paisajístico, los servicios u otros como son las condiciones de seguridad y las condiciones climáticas, por lo que ineludiblemente el calentamiento global afectará a los destinos turísticos al modificar las condiciones climáticas e incrementar la frecuencia de eventos extremos. En las costas del cantábrico, en general, los escenarios climáticos proyectan condiciones climáticas beneficiosas para el turismo y el ocio durante las estaciones de verano, primavera y otoño, al aumentar la temperatura y disminuir la precipitación permitiendo alargar la temporada turística o de prácticas al aire libre.

Las principales consecuencias del cambio climático sobre el turismo son la redistribución de los flujos turísticos, siendo las modalidades turísticas más afectadas las relacionadas con el sol, la playa, la nieve y el disfrute de los espacios naturaleza (AR4-IPCC, 2007). Asimismo, también se esperan impactos sobre los recursos turísticos (naturales, culturales o infraestructuras) y las infraestructuras turísticas (alojamientos, transporte, infraestructuras turísticas específicas).

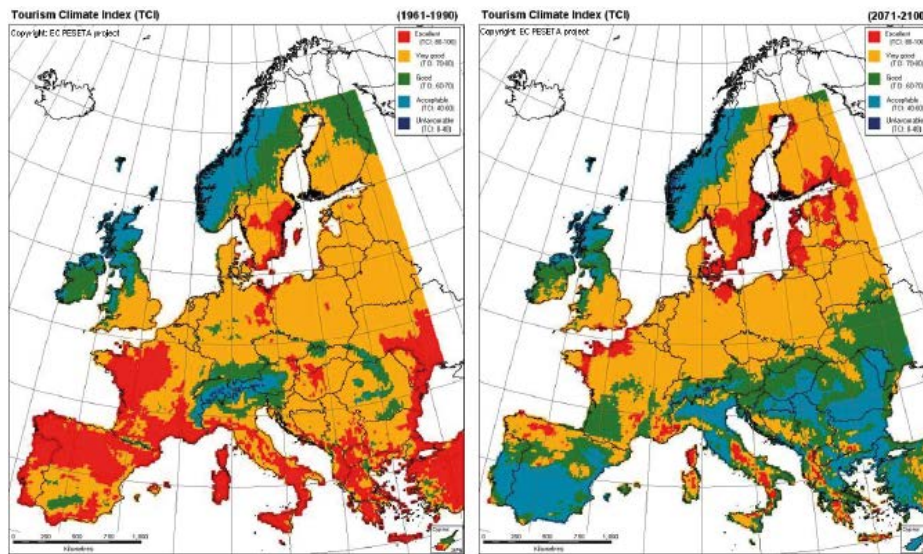
AUMENTO DE LA TEMPERATURA	CAMBIOS EN LA ESTACIONALIDAD, CAMBIOS EN LAS POBLACIONES Y DISTRIBUCIÓN DE PLANTAS, ANIMALES
AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR	INUNDACIÓN Y DETERIORO DE RECURSOS EN PRIMERA LÍNEA DE COSTA, EROSIÓN COSTERA, PÉRDIDA DE LA SUPERFICIE DE PLAYA, MAYORES COSTES PARA PROTEGER Y MANTENER RECURSOS
REDUCCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y AUMENTO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN	ESCASEZ DE RECURSOS HÍDRICOS, CONFLICTOS POR EL USO DEL AGUA ENTRE SECTORES, AUMENTO DE INCENDIOS FORESTALES
MAYOR FRECUENCIA E INTENSIDAD DE TORMENTAS	RIESGO PARA INFRAESTRUCTURAS Y RECURSOS TURÍSTICOS, MAYORES COSTES/ PÉRDIDAS EN SEGUROS, COSTES ASOCIADOS A LA INTERRUPCIÓN DE OPERACIONES TURÍSTICAS, DAÑOS A PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO, CULTURAL Y NATURAL, EFECTOS EN LA ESTACIONALIDAD
MAYOR FRECUENCIA E INTENSIDAD DE INCENDIOS FORESTALES	PÉRDIDA DE ATRACTIVOS NATURALES Y ESPECIES, AUMENTO EN EL RIESGO DE INUNDACIONES, DAÑOS A INFRAESTRUCTURAS TURÍSTICAS
CAMBIOS EN LA BIODIVERSIDAD TERRESTRE Y MARINA	PÉRDIDA DE ATRACTIVOS NATURALES Y ESPECIES, AUMENTO EN LA APARICIÓN DE CIERTAS ENFERMEDADES ASOCIADAS A OTRAS LATITUDES Y CONDICIONES AMBIENTALES
CAMBIOS EN EL SUELO (EJ. EROSIÓN Y ARIDEZ)	DAÑOS Y PÉRDIDA DE RECURSOS ARQUEOLÓGICOS Y NATURALES, CON IMPACTOS EN LOS ATRACTIVOS DE LOS DESTINOS

15.2. Tabla. Resumen de los principales impactos asociados al cambio climático y sus consecuencias en el turismo. Fuente: adaptado de Becken (2010).

15.2 EFECTO DE LAS PROYECCIONES CLIMÁTICAS SOBRE LA POTENCIALIDAD TURÍSTICA Y DE OCIO

La mayor parte de los turistas que visitan actualmente Gipuzkoa lo hacen en los meses de verano, si bien se viene observando durante los últimos años un incremento constante de visitantes durante la primavera y el otoño. Si se utilizan los datos climatológicos para el verano actuales junto con el rango de temperatura idónea indicado para el turismo (20–27°C) para establecer la duración de los calendarios turísticos, se observa para los escenarios proyectados una progresiva ampliación de este en los dos extremos del periodo estival, especialmente durante el otoño. Esto podría favorecer, al menos desde el punto de vista climático, la prolongación del periodo de actividad turística, así como de las actividades de ocio al aire libre.

Las temperaturas proyectadas para el escenario RCP 8.5 para la primavera, el verano y el otoño no señalan pérdida de confort climático por exceso de calor durante las horas diurnas, debido al reducido número de días proyectados en los que las temperaturas máximas superarán los 33°C, ni tampoco durante las horas nocturnas ($T_{min} > 20^{\circ}C$). Un estudio en el que se proyectan los cambios de confort térmico para las actividades turísticas a finales de siglo estima que la pérdida de confort climático en otras regiones mediterráneas o del sur de Europa podría favorecer a las zonas del norte de Europa o del cantábrico, Gipuzkoa entre ellas, donde se mantendrá un grado importante de confort térmico (JRC, 2009).



15.1. Fig. Cambios previstos en el confort climático del verano en Europa en relación con la actividad turística. Proyección 2071-2100 respecto al periodo 1961-1990. Fuente: JRC, Proyecto PESETA.

Los efectos del cambio global no van a afectar de forma similar a las distintas modalidades de turismo. El turismo de sol y playa, el turismo de montaña, el turismo de

naturaleza o el ecoturismo tendrán que afrontar mayores impactos que por ejemplo el turismo de ciudad, turismo cultural o el turismo de eventos y convenciones.

15.2.1 TURISMO DE SOL Y PLAYA

Los aumentos proyectados para las temperaturas medias y máximas en verano y otoño, junto con la reducción en el número de días de precipitación, podrían favorecer un mayor uso de los espacios litorales. Estas actividades, sin embargo, se verán limitadas por el aumento del nivel del mar y la erosión costera, lo que implica la disminución de la superficie de las playas para la función recreativa. Esta pérdida sedimentaria junto con el aumento de la intensidad esperada en el uso recreativo, podría comportar en el largo plazo una disminución en la

satisfacción de los usuarios, espacios más reducidos y con mayor masificación. Finalmente, el aumento del nivel del mar provocará, además, eventos extremos e inundaciones permanentes que dañan las infraestructuras costeras, lo cual podría implicar importantes pérdidas para el sector turístico del litoral. Otros factores como son las intrusiones salinas o el calentamiento del mar, podrían dañar los humedales y otros ecosistemas costeros afectando a la actividad turística de ocio o científica relacionada con estos espacios naturales.

15.2.2 TURISMO URBANO, CULTURAL Y RURAL

Es posible que la disminución de la precipitación, así como el incremento de las temperaturas sean un estímulo para este tipo de turismo en determinadas épocas del año. Los edificios históricos y el patrimonio

histórico, en general, son más vulnerables al cambio climático, al presentar materiales que favorecen la erosión y corrosión por la incidencia del agua o las temperaturas extremas, entre otros factores.

15.2.3 TURISMO DE NATURALEZA

La belleza del paisaje y de la naturaleza son uno de los principales atractivos del territorio. Los espacios protegidos suelen constituir uno de los principales factores que contribuyen a este paisaje y riqueza. El cambio climático global y su consiguiente calentamiento podría alterar el valor de estos espacios, por cambios en

las variables climáticas, por degradación de espacios y consiguiente cambio en la distribución o incluso desaparición de especies. Por lo tanto, las actividades lúdicas realizadas en dichos espacios se verían afectadas, así como en el propio valor natural de los mismos.

15.3 EFECTOS DE UNA MAYOR INTENSIDAD TURÍSTICA

Desde el punto de vista de la demanda, el principal impacto del cambio climático sobre el turismo y el ocio será el aumento del consumo de agua derivada del aumento medio de la temperatura y, por tanto, una mayor necesidad de hidratación. Este aumento en la demanda de agua se deberá al consumo directo, higiene personal, riego de jardines y zonas verdes y el llenado de piscinas. Este aumento de la demanda de agua podría

verse extendido más allá del propio periodo estival como consecuencia de la extensión del periodo óptimo para el turismo y el ocio. Este aumento irá acompañado, aunque con un nivel de incertidumbre elevado de acuerdo a las proyecciones, de una reducción de la precipitación, especialmente en verano y un posible empeoramiento de la calidad del agua. Serán factores a tener en cuenta en el desarrollo futuro y adaptación de este sector.

15.4 CONCLUSIONES

El turismo, la recreación y el ocio se configuran en la actualidad como sectores económicos muy relevantes y dinámicos, por lo que, con toda probabilidad, cualquier cambio en las condiciones climáticas comportará impactos muy significativos en este ámbito de actividad. La implicación de múltiples factores (económicos, sociológicos, ambientales, políticos, etc.) con relación al turismo y cambio climático dificultan el estudio de su interrelación e impide proyectar con seguridad cual va a ser el comportamiento de algunos de los elementos que participan en el sistema (demanda, oferta, agentes y operadores del mercado).

A nivel de Gipuzkoa, el aumento medio de las temperaturas anuales podría aumentar su atractivo turístico al mantenerse unas condiciones altamente

favorables en relación a otros destinos más habituales. Sin embargo, este incremento del turismo y de ciertas actividades ligadas a ellas implica una mayor presión sobre ciertos servicios ecosistémicos, aspecto este que deberá ser considerando durante la elaboración de los planes de adaptación al cambio climático.

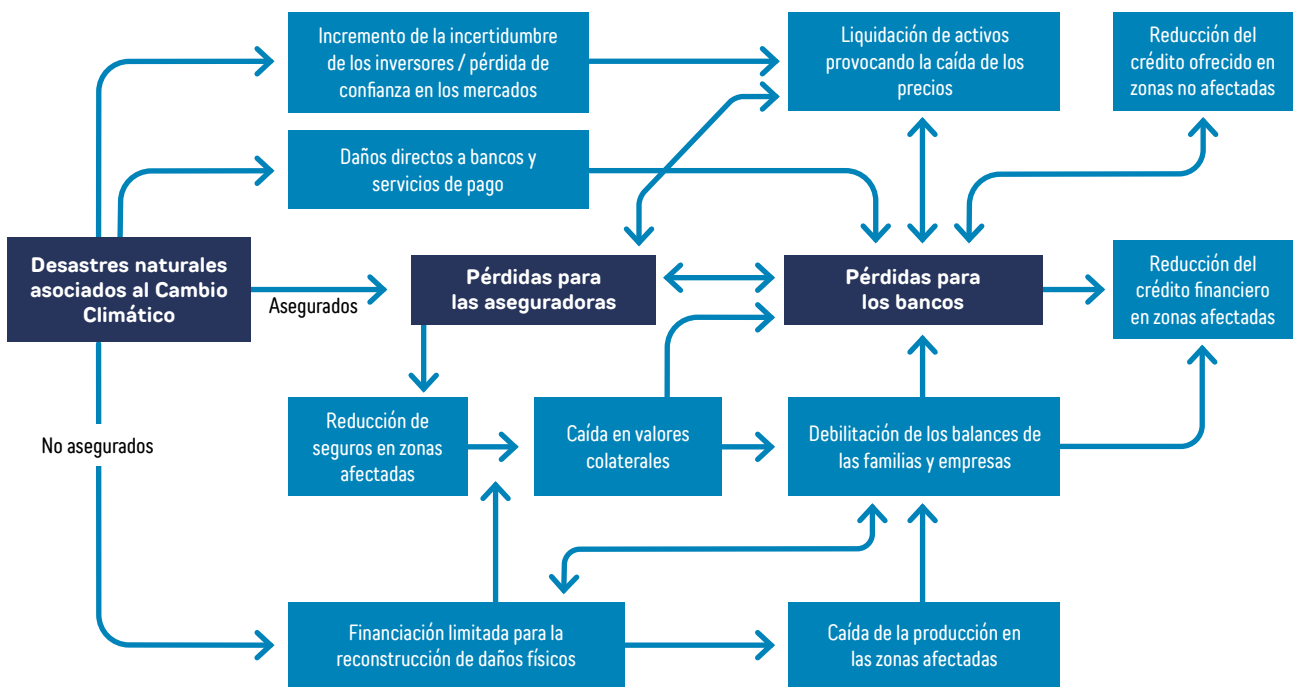
Asimismo, el gran golpe sufrido por el sector como consecuencia de la pandemia originada por la COVID-19 (caídas por debajo del 50% solo en las pernoctaciones en Gipuzkoa) ha puesto de manifiesto la necesidad de replantear la estructura económica actual para mejorar su competitividad a través de nuevos modelos más ecológicos que aumenten su resiliencia, no solo ante posibles nuevas emergencias sanitarias, sino también frente a la amenaza del cambio climático.



16.1 SERVICIOS FINANCIEROS

Los mercados financieros también se verán afectados por el cambio climático. Sus efectos adversos tienen ya consecuencias sobre el crecimiento económico de diversos sectores, industriales e inmobiliarios entre otros, al dañar sus activos y afectar al valor y la cotización de las propias empresas. El quinto informe del IPCC, en particular el informe de su grupo de trabajo II sobre impactos, adaptación y vulnerabilidad (Arent et al., 2014),

menciona que el cambio climático puede tener múltiples impactos sobre el sector asegurador. A los riesgos propios de la actividad como la compensación de daños a los asegurados, hay que unir los riesgos y oportunidades ligados al marco regulatorio, a las transformaciones tecnológicas o a las relacionadas con la reputación o la imagen de marca de las compañías.



16.1. Fig. Esquema de impactos del cambio climático sobre la economía y el sector asegurador. Fuente: BBVA (2018).

El impacto del cambio climático en el sector financiero y asegurados se puede resumir en los siguientes riesgos:

- **Riesgos físicos:** riesgos directamente relacionados con fenómenos meteorológicos, como inundaciones u olas de calor. Incluye tanto los impactos directos de estos fenómenos, por ejemplo, daños a bienes y personas, como los impactos indirectos, debidos, por ejemplo, a la pérdida de beneficios por escasez de recursos o interrupción de la cadena de producción. También incluyen todos los riesgos relacionados con la salud.
- **Riesgos de transición:** riesgos financieros como consecuencia de la transición a una economía más baja en carbono, implicando una pérdida de valor en las inversiones en determinados sectores. En el caso de las compañías aseguradoras, deberán adaptarse a los impactos potenciales de la reducción de los ingresos por primas de seguros en sectores intensivos en carbono.
- **Riesgos de responsabilidad:** resultado de las reclamaciones que podrían ejercer las partes perjudicadas por el cambio climático que pretenden obtener una compensación por parte de otros a los que estiman responsables de esos daños.

El cambio climático también implica nuevas oportunidades para el sector financiero. El objetivo de limitar el incremento de la temperatura a 1,5°C requerirá

de una inversión, considerando solamente el sector energético, de alrededor del 2,5% del PIB global en los próximos 15 años (IPCC, 2018). Asimismo, cumplir con los objetivos de reducción de emisiones adoptados en el Acuerdo de París requiere adaptar las infraestructuras energéticas y la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles, crear nuevas industrias y tecnologías, invertir en infraestructuras y sistemas para la adaptación. Todo ello supone nuevas oportunidades de negocio. El Acuerdo de París reconoce “la importancia del sistema financiero para canalizar, de un modo eficiente, los recursos necesarios para transformar la economía hacia un modelo sostenible”. En marzo de 2018 la Unión Europea presentó el Plan de Acción de la Comisión para una economía más ecológica y limpia que incluía su estrategia para que el sistema financiero respalde la agenda de la UE relativa al clima y el desarrollo sostenible. Las Directrices sobre Concesión y Seguimiento de Préstamos (Autoridad Bancaria Europea, 2020), con entrada en vigor el 30 de junio de 2021, pretende que las entidades bancarias incorporen los factores ASG (Ambientales, Sociales y de Gobierno Corporativo) en las políticas de propensión y gestión del riesgo y en los procedimientos para la concesión de crédito.

Por último, la recuperación económica tras la pandemia generada por la COVID-19 supone una oportunidad para enfocar estos esfuerzos hacia una economía más sostenible, alineados con la mitigación y adaptación al cambio climático.

16.2 SECTOR ASEGURADOR

Los riesgos climáticos generan un importante impacto en la sociedad y, por lo tanto, en el sector asegurador, ya que, cuando los eventos relacionados con estos riesgos acontecen, pueden generar siniestros de diversa naturaleza y generalmente, con elevado impacto económico.

En España, los riesgos climáticos catastróficos son una parte de los riesgos denominados extraordinarios, cubiertos en gran medida por el Consorcio de Compensación de Seguros (CCS), pero también por las entidades aseguradoras privadas, las cuáles, pueden dar cobertura de estos riesgos en aquellos ramos donde el CCS no la ofrece. A nivel de Gipuzkoa, los eventos que mayor impacto económico ocasionan son las inundaciones y tempestades ciclónicas atípicas.

Es probable que el cambio climático provoque cambios en la peligrosidad de determinados riesgos hidrometeorológicos, como los vientos fuertes, la inundación fluvial y costera o los embates de mar. Algunos de estos riesgos están incluidos en el actual Sistema de Riesgos Extraordinarios⁸, gestionados por el Consorcio de Compensación de Seguros. Sin embargo, a pesar de este aumento de la peligrosidad y, sin descartar la incidencia del cambio climático, gran parte de las pérdidas proyectadas a futuro serán debidas a la mayor concentración de bienes asegurados en zonas de riesgo y a su mayor valor económico.

⁸ Los fenómenos naturales cubiertos por esta garantía obligatoria son inundaciones extraordinarias, terremotos y maremotos, erupciones volcánicas, tempestad ciclónica atípica (incluyendo los vientos extraordinarios de rachas superiores a 120 km/h y los tornados) y caída de cuerpos siderales y aerolitos. El Consorcio actúa como mecanismo social complementario del seguro privado, al cubrir los riesgos catastróficos en consideración al enorme potencial de pérdidas que son susceptibles de generar estos eventos.

RIESGO CLIMÁTICO		IMPACTOS			COBERTURA		
		BIENES	PERSONAS	AGRICULTURA/ GANADERÍA	COMERCIO	ASEGURADORAS PRIVADAS*	AGROSEGURO
RIESGOS CLIMÁTICOS EXTRAORDINARIOS	INUNDACIÓN	✓	✓	✓	✓		✓
	EMBATE DE MAR	✓	✓		✓		
	VIENTOS FUERTES (>120 km/h)	✓	✓	✓	✓		✓
	TORNADOS	✓	✓	✓	✓		✓
RIESGOS NATURALES CLIMÁTICOS	INCENDIO FORESTAL	✓	✓	✓		✓	✓
	LLUVIA	✓	✓	✓		✓	✓
	NIEVE	✓	✓	✓		✓	✓
	GRANIZO	✓	✓	✓		✓	✓
	ALUDES	✓	✓			✓	✓
	DESLIZAMIENTOS	✓	✓			✓	
	VIENTOS FUERTES (<120 km/h)	✓	✓	✓		✓	✓
	SEQUÍA			✓			✓
	HELADA			✓			✓
RIESGOS EMERGENTES	OLAS DE CALOR	✓	✓	✓		✓	✓
	OLAS DE FRIO	✓	✓	✓		✓	✓
	PANDEMIA	✓	✓	✓		✓	✓
	OTROS	✓	✓	✓			

16.1. Tabla. Relación de los principales riesgos climáticos a nivel nacional con el sector asegurador. Fuente: Hidalgo Pérez (2020).

* Las aseguradoras pueden dar cobertura de algunos riesgos extraordinarios en aquellos ramos donde el CCS no la ofrece.

Pero los riesgos climáticos van más allá de los extraordinarios y es importante identificarlos y conocer los posibles impactos que podrían ocasionar en el sector asegurador, con el objeto de fijar relaciones entre los

nuevos escenarios climáticos y las implicaciones que estos podrían tener en la cobertura de determinados riesgos y ramos del seguro.

RAMO	POSIBLES AFECCIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO A RAMOS DE RIESGOS ORDINARIOS
VIDA	AUMENTO DE MUERTES PREMATURAS POR OLAS DE CALOR E INCREMENTO DE LA TEMPERATURA, ENFERMEDADES VECTORIALES, ETC.
ACCIDENTES	AUMENTO DE ACCIDENTES POR FENÓMENOS METEOROLÓGICOS ADVERSOS: GRANIZO, TORMENTAS, LLUVIAS INTENSAS, VIENTO, ETC.
ENFERMEDAD	AUMENTO DE ENFERMEDADES COMO CONSECUENCIA DEL AUMENTO DE TEMPERATURA Y TRANSMITIDAS POR VECTORES
HOGAR	AUMENTO DE DAÑOS PROVOCADOS POR TORMENTAS ELÉCTRICAS, GRANIZO, LLUVIAS PERSISTENTES, ETC.
AUTO	AUMENTO DE LAS AVERÍAS POR ELEVADAS TEMPERATURAS Y OLAS DE CALOR, DAÑOS POR GRANIZO, VIENTO, ETC.
ASISTENCIA VIAJES	AUMENTO DE SINIESTROS EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS, ALUDES, INUNDACIONES, ETC.
TRANSPORTE	AUMENTO DE SINIESTROS POR EMPEORAMIENTO DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS, CORTES DE CARRETERAS, DAÑOS EN INFRAESTRUCTURAS, ETC.

16.2. Tabla. Principales afecciones del cambio climático en ramos de seguros de daño y vida. Fuente: Hidalgo Pérez (2020).

El impacto sobre el Consorcio de Compensación de Seguros dependerá de cómo evolucionen los fenómenos de inundaciones y vientos extremos, que previsiblemente no aumentarán de frecuencia a lo largo del siglo, aunque puede que sí en intensidad.

La existencia del Consorcio de Compensación de Seguros podrá amortiguar en el corto plazo los impactos del cambio climático, sin un encarecimiento excesivo de los seguros. El Consorcio de Compensación de Seguros señala que, de mantenerse las mismas condiciones en el mercado asegurador en el que ha crecido la penetración del seguro, esto es el número de pólizas y mayor valor de los bienes asegurados, el Sistema de Riesgos Extraordinarios podría asumir hacia 2050, sin modificaciones, un aumento de la siniestralidad del 15-20% como consecuencia de los riesgos directos del cambio climático (Álvarez et al., 2016). No obstante, es necesario conocer los nuevos riesgos emergentes, como el efecto de las olas de calor sobre la salud o las pandemias, para adaptar el sistema y ofrecer coberturas a nuevos riesgos.

Es previsible que las aseguradoras vean un incremento de la siniestralidad en los ramos de seguros de vida, salud y accidentes debido fundamentalmente, a los fenómenos

relacionados con la elevación de las temperaturas, sequías, olas de calor, pedrisco y enfermedades. En este sentido es necesario aumentar recursos en investigación para conocer con más precisión el grado de afección a lo largo del siglo para los distintos escenarios.

Las epidemias y pandemias suelen estar excluidas en las coberturas de los seguros por tratarse de un riesgo imprevisible, pero su incidencia, al estar relacionadas directamente con la vida y la salud, se prevé que puedan suponer una elevada siniestralidad en los ramos de salud, vida y asistencia sanitaria en viajes.

Sin embargo, frente a estas expectativas negativas, el sector asegurador tiene un importante papel en la adaptación al cambio climático como herramienta de gestión de los riesgos climáticos, lo que permite a la sociedad mitigar las pérdidas ocasionadas como consecuencia de la ocurrencia de eventos climáticos extremos. Además, este sector puede también incentivar la implantación de medidas que reduzcan el riesgo. Otra de las herramientas potenciales de las aseguradoras es la inversión en sectores bajos en carbono, teniendo en cuenta que la cartera de inversión de este sector está ya valorada en unos 30 billones de dólares americanos.





AIV

Informe de evolución de los indicadores marino-costeros. Observatorio marino- costero de Gipuzkoa



Gipuzkoako
Foru Aldundia
Departamento de Medio Ambiente
y Obras Hidráulicas



ETORKIZUNA ORAIN
Es futuro





INTRODUCCIÓN

El océano proporciona numerosos servicios como la regulación del clima global, energía y nutrientes, transporte, actividades de ocio y recursos a las comunidades litorales. Esto hace que sean áreas especialmente atractivas, que concentran a la mayor parte de la población mundial, y también en el litoral guipuzcoano donde se concentra el 37,6% de la población del territorio. Sin embargo, se espera que el cambio climático provoque cambios importantes en las propiedades de los océanos generando numerosos impactos que incrementen la vulnerabilidad de los ecosistemas marinos y comunidades costeras.

La función de regulación del clima y modulación del cambio climático por parte de los océanos se debe a su capacidad de capturar y redistribuir CO₂ y calor. Se estima que aproximadamente el 93% del exceso de calor de la Tierra atrapado por los gases de efecto invernadero se acumula en los océanos (Church et al., 2011; Levitus et al., 2012; Cheng et al., 2019). La capacidad de almacenamiento y distribución del CO₂ liberado a la atmósfera hace que el océano sea el segundo sumidero de carbono de la Tierra (absorción cercana al 20-30% del CO₂ de origen antropogénico) (AR5-IPCC, 2013). Sin embargo, estas absorciones resultan en el calentamiento, subida del nivel del mar, tormentas costeras y cambios en los equilibrios químicos como la acidificación; indicadores todos ellos del impacto del cambio climático en los ecosistemas marinos. Los principales efectos del cambio climático en las áreas costeras son:

- Subida del nivel del mar: todos los escenarios proyectan una aceleración de la subida del nivel del mar a finales de siglo, con incrementos a nivel global que varían entre 0,43 m (0,29 – 0,59 m) para el escenario RCP2.6 y 0,84 m (0,61 – 1,10 m), para el escenario más desfavorable RCP8.5 en 2100, respecto al periodo 1986-2005 (IPCC, 2019).
- Tormentas: el incremento de la temperatura, junto con cambios en el patrón de precipitaciones, oleaje y viento, pueden dar lugar a tormentas más intensas sobre la costa. Esto puede incrementar el riesgo de inundación costera y acelerar el ritmo de erosión, degradando los ecosistemas costeros.
- Calentamiento y acidificación: el océano seguirá calentándose a lo largo del S. XXI, pudiendo alcanzar incrementos de temperatura entre 2-4 (RCP2.6) y 5-7 (RCP8.5) veces respecto a 1970 (IPCC, 2019). Estos cambios afectarán a la circulación oceánica, reducirán los volúmenes de hielo y acelerará la subida del nivel del mar. Por último, también afectará al tamaño, distribución y metabolismo de las especies marinas.

Estos cambios que ya se están observando continuarán durante las próximas décadas. Es por ello necesario una observación y seguimiento que permita entender mejor cómo evolucionará el océano como resultado del cambio climático y cuáles serán los impactos del cambio climático en nuestras costas. Esta información permitirá actuar para poder adaptarnos a estos cambios.

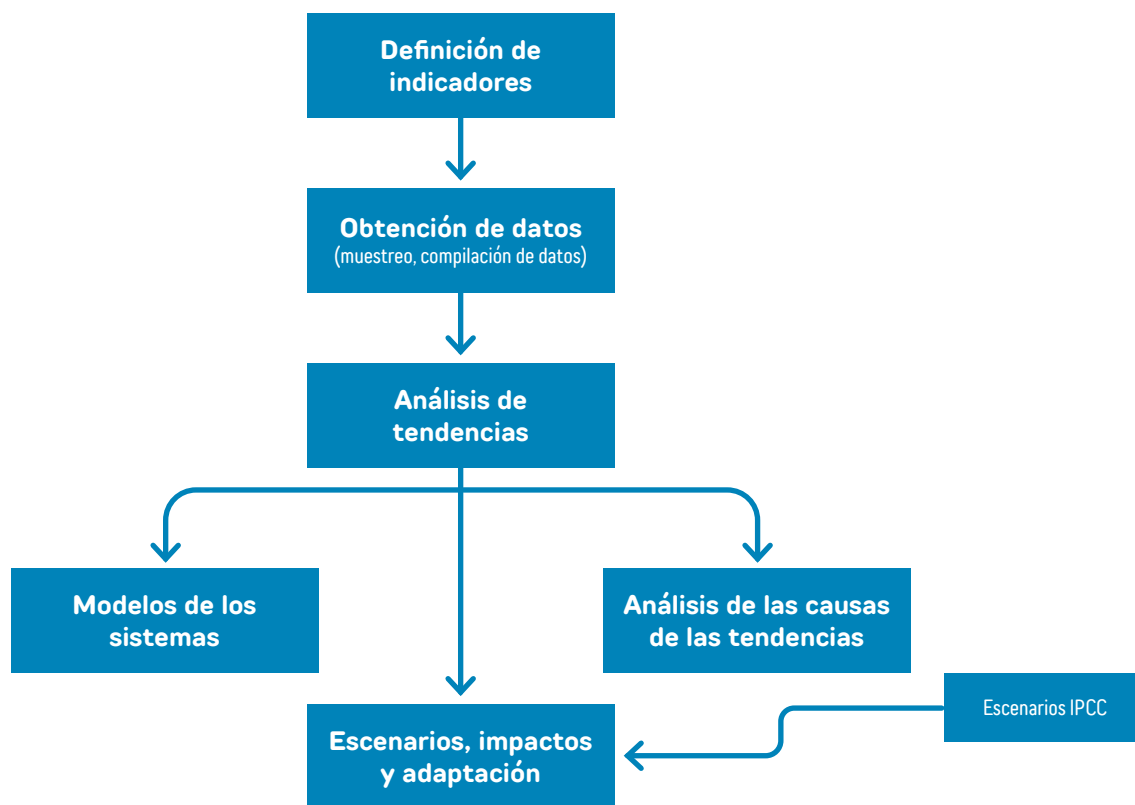
El objetivo último es disponer de largas series temporales que permitan mejorar los escenarios de cambio climático y conocer cómo evolucionará este sistema y así anticipar los posibles riesgos futuros y adoptar las medidas de adaptación para minimizar los mismos.

A escala local y regional, muchos de los procesos mencionados tienen unas dinámicas e impactos únicos y diferenciados. Por ello, son necesarios los programas de monitorización y seguimiento continuado, de largo plazo e integrados, que faciliten largas series temporales de observaciones de distintas variables oceanográficas esenciales que permitan determinar el estado, la variabilidad, el funcionamiento y detectar y predecir los cambios e impactos en el océano y litoral bajo las distintas presiones antrópicas y del cambio climático.

En concreto, los objetivos del Observatorio marino-costero de Gipuzkoa son:

- Mejorar el conocimiento sobre los cambios experimentados en las condiciones fisicoquímicas, biológicas y ambientales de la costa guipuzcoana.
- Poder entender las causas de los cambios observados, analizar la existencia de tendencias y patrones de cambio y atribuir los cambios observados a distintas causas, como la variabilidad natural del sistema o las causadas por el cambio climático.
- Predecir los posibles impactos del cambio climático y otras presiones en los ecosistemas marinos.

Estos objetivos se reflejan en el siguiente esquema de actividades del observatorio:



1. Fig. Esquema de trabajo del Observatorio marino-costero de Gipuzkoa.

En una primera fase se han definido los indicadores fisicoquímicos y biológicos del cambio climático en el litoral de Gipuzkoa, se ha establecido la metodología de análisis de las series temporales, se han recopilado dichas series y analizado las tendencias de cambio. En algunos casos, además, se han podido atribuir las causas de estos cambios (Chust et al., 2020), análisis en el que se profundizará en los siguientes años.

Todo esto, permitirá anticiparnos a los riesgos y adoptar los criterios de adaptación necesarios en el litoral. Con ello, se pretende contribuir a tres de las metas de la Estrategia Guipuzcoana de Lucha Contra el Cambio Climático (EGLCC) 2050:

- Meta 3: Incrementar la eficiencia y resiliencia del territorio. En concreto a la línea de actuación 3.3 “Integrar el cambio climático en la gestión de playas, estuarios y dunas”.
- Meta 4: Aumentar la resiliencia del medio natural.
- Meta 7: Anticipación de los riesgos. Acción 7.2 “Actualizar y mejorar la cartografía, modelización y monitorización de riesgos” y Acción 7.3 “Monitorización y seguimiento de los impactos del cambio climático sobre el territorio”.

METODOLOGÍA

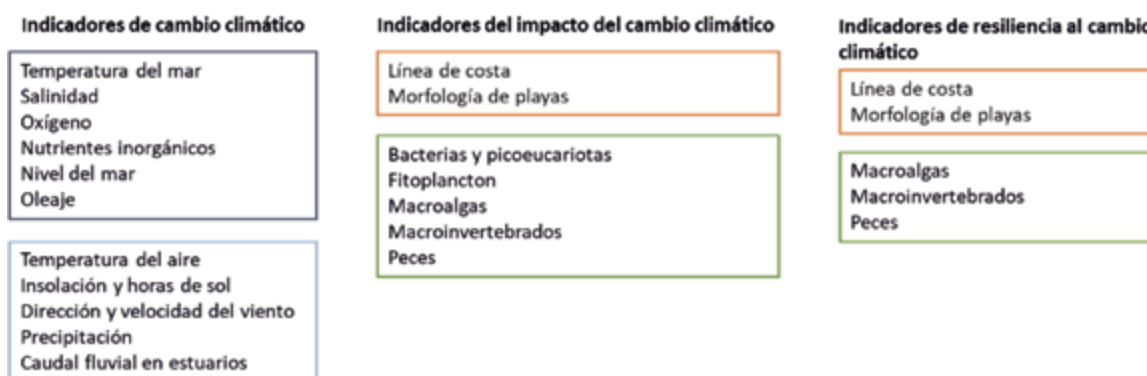
Se han identificado una serie de indicadores del cambio climático para la costa de Gipuzkoa, incluyendo variables fisicoquímicas, geomorfológicas y biológicas que puedan variar como consecuencia del cambio climático.

La selección de los distintos indicadores, se ha basado en criterios utilizados por la agencia de protección ambiental de Estados Unidos (U.S. Environmental Protection Agency, EPA, 2016) y por el Sistema Mundial de Observación del Clima (GCOS). Estos indicadores cumplen las siguientes características:

1. Deben mostrar tendencias en el tiempo.
2. Los datos deben provenir de observaciones actuales.
3. Los datos deben ser representativos de la región.
4. Los datos deben ser creíbles, fiables, de calidad y publicados.
5. La información de la incertidumbre debe estar disponible. La variabilidad y limitaciones deben ser analizadas.

6. El indicador debe informar de aspectos de importancia nacional y para los sistemas humanos o naturales.
7. Conexión con el cambio climático. La relación entre el indicador y el cambio climático debe estar basada en datos publicados y revisados.
8. Datos y métodos transparentes, reproducibles y objetivos.

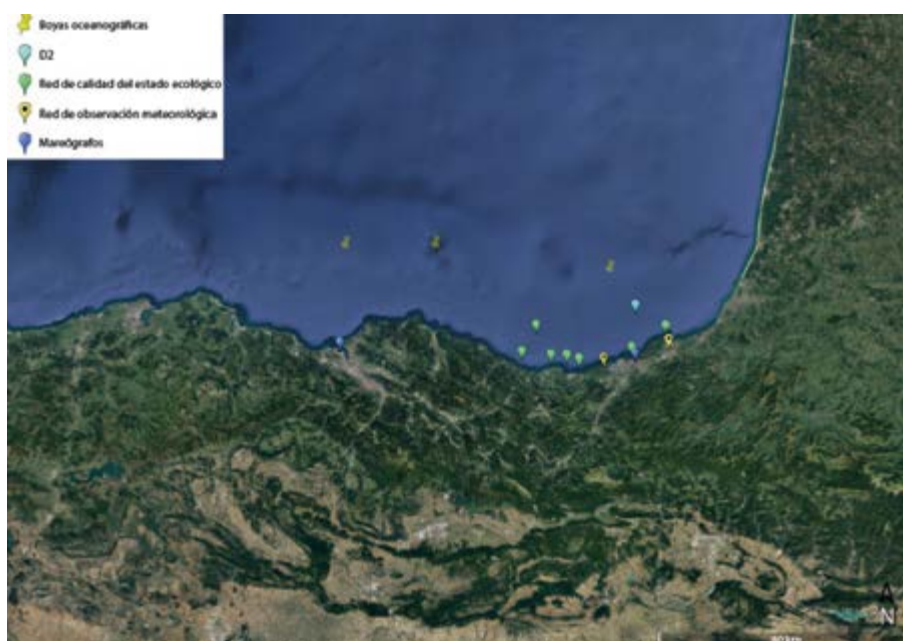
Se han definido un total de 19 indicadores, que cubren tanto indicadores del clima como variables que puedan oscilar por efecto del cambio climático. En función de la información aportada y el sistema asociado, estos se han clasificado en (7) indicadores fisicoquímicos marinos, (5) indicadores atmosféricos e hidrológicos, (2) indicadores geomorfológicos de erosión costera e (5) indicadores biológicos y del ecosistema marino. A su vez, estos se han agrupado en: indicadores que informan sobre el propio cambio climático, sobre el impacto de este y sobre la resiliencia del territorio.



2. Fig. Lista de indicadores clasificados según la información que proporcionan.

Para el cálculo de los distintos indicadores y las tendencias observadas en estos, se ha utilizado un amplio conjunto de observaciones realizadas sobre la plataforma continental, como las mediciones en tiempo real aportadas por boyas oceanográficas o mareógrafos recogidas por Puertos del Estado, Instituto Español de Oceanografía, Dirección de Atención de Emergencias y Meteorología del Gobierno Vasco y BIMEP-EVE. Este conjunto de observaciones en tiempo real se complementa con medidas *in-situ*, recogidas durante campañas como las asociadas al proyecto “Variaciones” de AZTI, campañas de evaluación de los stocks pesqueros (anchoa, verdel y chicharro) o la Red de Calidad del Estado Ecológico de la

CAPV. Además, se utilizan datos adicionales y disponibles para la costa guipuzcoana, como la red de observaciones meteorológicas en superficie de AEMET, la Red Foral de Videometría costera de la Dirección General de Medio Ambiente - Departamento de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas, la Red de estaciones permanentes de la Dirección de Obras Hidráulicas también del Departamento de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas, imágenes de satélite (varios sensores y satélites de órbita polar, NOAA-AVHRR, MODIS-AQUA, MODIS-TERRA, VIIRS, AMSRE, ESA/NASA) y datos de reanálisis (NOAA OI SST V2 High Resolution, OISSTV2; SIMAR de Puertos del Estado, IBI-MFC de CMEMS, GOW de IH Cantabria).



3. Fig. Principales programas de seguimiento de variables fisicoquímicas y biológicas que recogen las variables a partir de los cuales se derivan los indicadores de cambio climático.

Una vez identificadas y seleccionadas las series temporales y/o espaciales para los distintos indicadores, se han empleado distintos métodos de análisis, específicos para cada variable y en función de la disponibilidad de datos, con el objetivo de establecer posibles variaciones temporales del indicador y la relación de estas variaciones con el cambio climático correspondiente a nuestra zona. Dado que, en general, el cambio climático tiene una progresión muy gradual en el tiempo (SROCC, 2019) comparando, por ejemplo, con la variabilidad estacional, la relación de la variación de los indicadores con el cambio climático se ha establecido como una tendencia lineal en el tiempo y/o una relación del indicador con la variable climática más directamente asociada al cambio climático (ej. el desplazamiento latitudinal de una especie con el aumento de la temperatura). Para ello, en todas las series temporales se ha tratado de separar la componente cíclica (variaciones diarias, estacionales, interanuales o interdecadales) de la tendencia, siendo esta última la componente de interés que informa de la

evolución a largo plazo en el valor medio de la variable. Se han aplicado distintas técnicas de análisis como la aplicación de filtros para eliminar la alta frecuencia y capturar la variabilidad de largo plazo, el análisis armónico para eliminar la variabilidad de determinadas frecuencias, métodos para el análisis de tendencias con modelos de regresión lineal o modelo aditivo generalizado (GAM) o métodos para el análisis de regímenes extremos como el método de máximos anuales o método de excedencias sobre un umbral.

Los GAM son una herramienta útil para el análisis de series temporales que presentan autocorrelación, un muestreo irregular y con ciclos estacionales complejos o no definidos claramente (Simpson, 2018). Estas características hacen que sea la principal herramienta que se ha utilizado en este informe para el análisis de las tendencias de variables fisicoquímicas, de la tendencia en la estacionalidad (fenología), de la tendencia de eventos extremos o en el análisis de cambios en la composición de la comunidad.



ANÁLISIS DE SERIES TEMPORALES DE LOS INDICADORES DE CAMBIO CLIMÁTICO

INDICADORES FISICOQUÍMICOS MARINOS

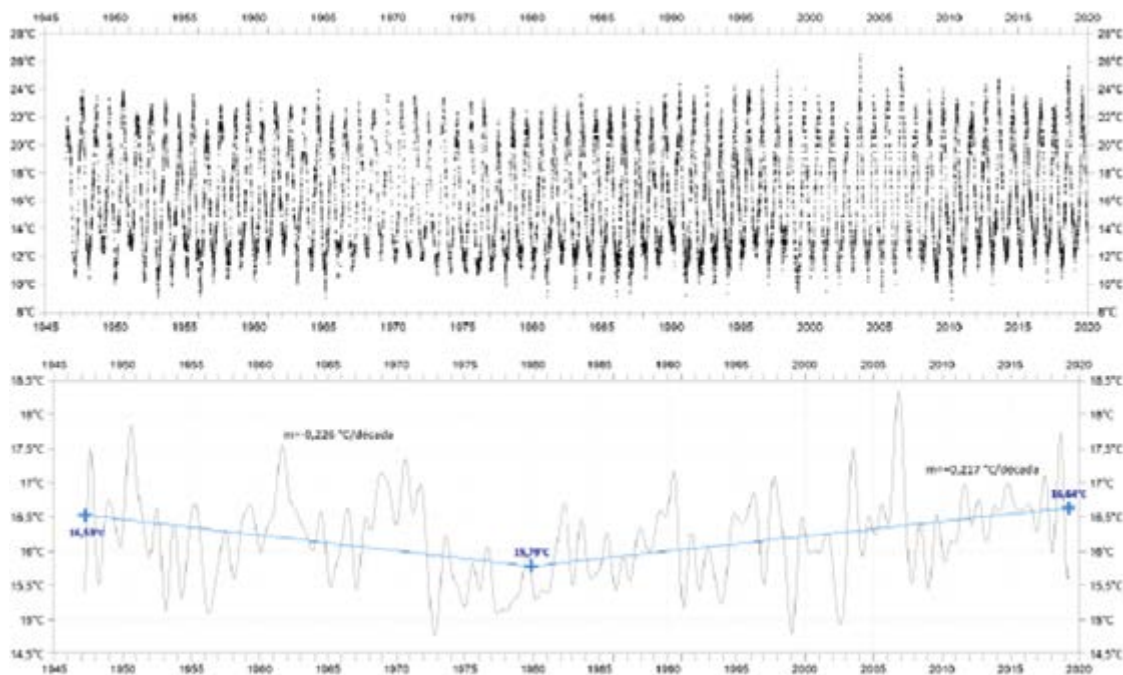
TEMPERATURA DEL MAR

La temperatura es una de las variables clave del complejo sistema climático. La temperatura integrada en la columna de agua es un indicador del contenido de calor del océano, este absorbe y almacena cantidades de calor muy superiores a las de la atmósfera y representa la “memoria” del sistema debido a la gran escala temporal de los cambios oceánicos.

Alrededor del 90% del calor acumulado en el planeta en las últimas décadas se ha almacenado principalmente en el océano, por lo que el contenido de calor del océano es un buen indicador del calentamiento global. Además,

la temperatura condiciona la supervivencia, distribución y metabolismos de especies, corrientes oceánicas y el intercambio de gases con la atmósfera (que controlan la acidificación y oxigenación de las aguas). Todo ello hace que el análisis de las series temporales de temperatura del mar constituya un indicador climático fundamental.

La temperatura del agua es una variable de la cual se dispone de información histórica en la costa guipuzcoana, especialmente de la temperatura superficial, ya que, desde 1946 se tienen registros diarios en el Aquarium de Donostia-San Sebastián.



4. Fig. Temperatura superficial del Aquarium de Donostia-San Sebastián desde el inicio de la serie temporal hasta la actualidad (1946–2019). Arriba: serie temporal. Abajo: datos filtrados (sin $T < 1$ año) análisis de cambio de tendencia.

El análisis de la serie temporal de la temperatura en el Aquarium muestra dos periodos diferenciados, el primero desde 1946 a 1980 con una tendencia al enfriamiento, y el segundo desde 1980 a 2019 con una tendencia al aumento de temperatura, a una tasa de $0,23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,04\text{ }^{\circ}\text{C}$ por década.

Combinando estos datos *in-situ* en superficie con datos de satélite, reanálisis y datos en la columna de agua,

así como estudios precedentes en la región, se puede concluir que en el SE del golfo de Vizcaya se aprecia un calentamiento del mar. A partir de 1980 la tasa de calentamiento oscila entre $0,10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $0,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ por década, con diferentes tasas para distintos periodos (1980–2019, 1986–2019, 2003–2019) y con las tasas de calentamiento más altas en superficie en comparación con la columna de 0 a 100 m.

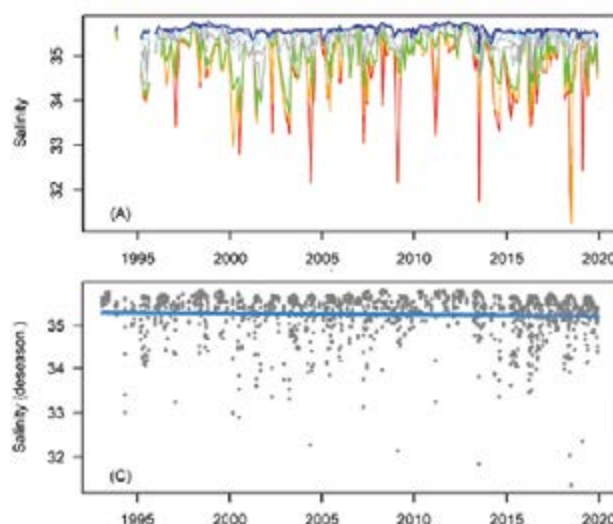
En el mar Cantábrico se ha producido durante las últimas décadas (1992–2009) un calentamiento en toda la columna de agua.

En general, en el mar Cantábrico se ha producido un calentamiento en toda la columna de agua en las últimas décadas (1992–2009), desde la superficie hasta los 1000 m, del orden de $0,20\text{ }^{\circ}\text{C}$ década⁻¹, ligado a los patrones de interacción océano-atmósfera asociados al cambio climático (González-Pola et al., 2012). Por último,

cabe destacar que la magnitud de estas tendencias y su signo son altamente dependientes del periodo y área de estudio, del nivel de profundidad, del sistema de medida utilizado y de si el registro total incluye o no tendencias de signo opuesto.

SALINIDAD

La salinidad es una variable indirecta del cambio global. Cabe mencionar que la cantidad de sal a nivel global se mantiene prácticamente constante, por lo que sus variaciones podrían derivar principalmente de cambios en el agua dulce incorporada por el deshielo de los glaciares y el hielo continental. A medida que se reduce la superficie total del hielo y la cubierta de nieve con el calentamiento global, se va incorporando más agua dulce a los océanos, lo que provoca cambios en la salinidad del mar (IPCC-AR5, 2013). A nivel regional, los cambios en la salinidad están asociados a la redistribución de la sal por las corrientes marinas, y localmente a cambios en los aportes de agua dulce de los ríos. Al igual que la temperatura, la salinidad también influye en la supervivencia de determinadas especies y ecosistemas marinos.



5. Salinidad a diferentes profundidades en la estación D2 frente a Pasaia. Arriba: datos originales de la serie temporal a diferentes profundidades (superficie: rojos, 100 m: azules). Abajo: Residuos parciales de la serie temporal para la componente de tendencia lineal de (línea azul). Los residuos parciales se han calculado sumando el promedio de la salinidad en toda la serie.

En la costa guipuzcoana, la salinidad en los primeros 100 m de profundidad presenta una tendencia negativa, una disminución en el periodo 1993–2019, a una tasa de cambio de $-0,029$ década⁻¹. La propagación de anomalías de baja salinidad y el exceso de precipitación podrían explicar esta tendencia a la disminución. Considerando que se analizan únicamente los primeros 100 m de la columna

de agua, el efecto de la precipitación puede considerarse más importante. Al disponer datos únicamente en subsuperficie, es difícil asociar la disminución de la salinidad a procesos de escala global relacionados con el cambio climático, como la disminución de la salinidad en latitudes altas del Atlántico norte y la cuenca del ártico (Bindoff et al., 2019).

CAPA DE MEZCLA INVERNAL, TERMOCLINA Y ESTRATIFICACIÓN

Estos indicadores no son variables en sentido estricto, sino índices derivados de las medidas de temperatura y salinidad. La capa de mezcla invernal indica la máxima profundidad de interacción atmósfera-oceano. El calentamiento del mar puede conllevar una mayor estratificación de la columna de agua, reduciendo la mezcla entre las aguas superficiales y las capas más profundas, pudiendo esto afectar negativamente a la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento del fitoplancton marino (Steinacher et al., 2010; Bopp et al., 2013; Chust et al., 2014).

En el golfo de Vizcaya, sin embargo, desde mediados del 2000 se ha observado una profundización de la capa de mezcla, indicando la integración de las anomalías

térmicas e hídricas previamente acumuladas en superficie a niveles de profundidad que habitualmente están aislados del efecto de la atmósfera (Somavilla et al., 2017; Valencia et al., 2019). Esto indica que la estratificación no necesariamente tiene que aumentar en un escenario de cambio climático. Otra de las implicaciones del mayor espesor de la capa de mezcla en invierno es un mayor aporte de nutrientes de las capas profundas a la zona fótica, que favorece el “bloom” primaveral de fitoplancton (González-Gil et al., 2018).

El calentamiento del mar, derivado del cambio climático, estaría produciendo una profundización de la isoterma de 14°C.

En la costa guipuzcoana, la profundidad de la termoclina, medida como la profundidad de la isoterma de 14 °C, presenta tres periodos diferenciados a lo largo del año. De enero a abril, la profundidad es cero o cercana a cero, ya que, dicha isoterma no está presente. De octubre a mayo, la isoterma se profundiza progresivamente debido al calentamiento, aunque también la isoterma se puede hacer más somera debido a eventos de afloramiento débil y, por último, entre noviembre-diciembre, la isoterma se profundiza debido a eventos de hundimiento y mezcla vertical.

Para el análisis de la profundidad de la termoclina se han analizado dos variables (1) la profundidad de la isoterma de 14 °C a lo largo de todo el año y (2) la profundidad de la isoterma de 14 °C en los meses que está presente (de abril a mediados de diciembre). Los análisis de tendencia indican que la isoterma, considerando todo el año, se profundiza a una tasa de $5,04 \pm 2,09$ m década⁻¹. En el caso de los meses entre abril-diciembre no se observan cambios significativos.

1 Floraciones de fitoplancton

En lo referente al grado de estratificación térmica y termohalina, los resultados del análisis muestran que las tendencias no son significativas. Debido a la gran variabilidad interanual de la estratificación no es posible establecer tendencias consistentes para esta variable (González-Pola et al., 2012).

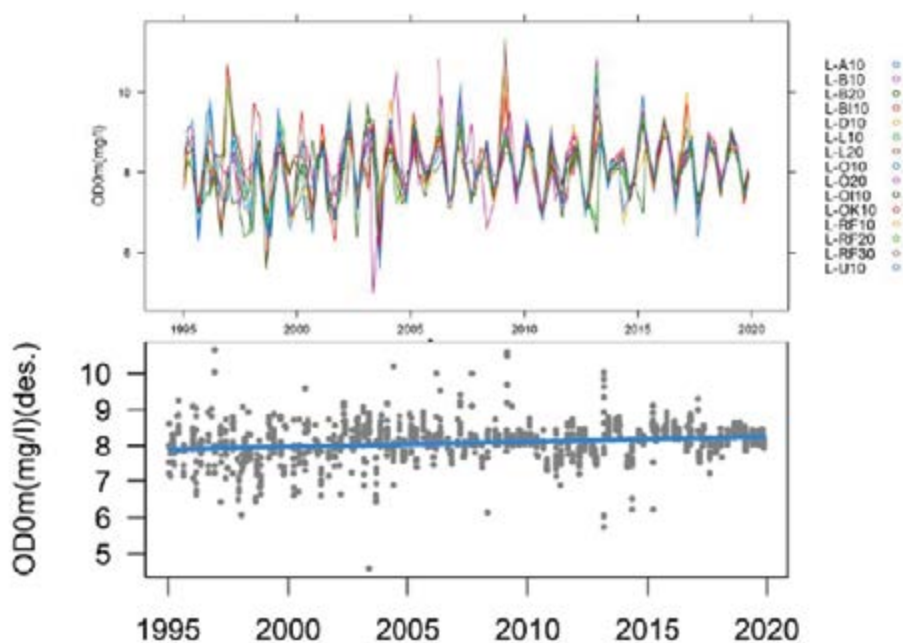
El análisis de la serie temporal de la profundidad de la capa de mezcla invernal indica que presenta una tendencia negativa significativa, siendo su tasa de $-21,39 \pm 9,94$ m por década desde 1986. Desde 1986, se han

producido seis eventos de capa de mezcla invernal muy profunda, todos ellos en las últimas décadas (2005, 2006, 2009, 2010, 2016 y 2018), coincidiendo con inviernos fríos y eventos de hundimiento. Un trabajo realizado en el Cantábrico, sugiere que el calentamiento de los niveles de subsuperficie de la columna de agua durante las últimas décadas puede haber propiciado que, en inviernos extremadamente fríos, se desarrollen capas de mezcla más profundas (Somavilla et al., 2011).

OXÍGENO DISUELTO

La concentración subsuperficial de oxígeno refleja el balance entre el aporte, a través de la circulación y ventilación, y el consumo en los procesos de respiración. Cambios en cualquiera de estos procesos pueden dar lugar a cambios en la concentración de oxígeno. El oxígeno soluble en el océano global ha disminuido un 1-2% desde mediados del S.XX (Laffoley, 2019). Esta disminución es debida, en parte, al calentamiento de las aguas oceánicas como resultado del cambio climático, al disminuir la

solubilidad de los gases y generar mayor estratificación reduciendo la mezcla de la columna de agua con la atmósfera, pero también a causa de la eutrofización², como resultado de la descarga de nutrientes en las costas y la deposición de nitrógeno proveniente de la quema de combustibles fósiles. La disminución del oxígeno soluble puede tener consecuencias en diferentes especies marinas y consecuencias como pérdida de funcionalidad y diversidad del ecosistema en zonas con poco oxígeno.



6. Fig. Serie temporal de oxígeno disuelto de profundidad en el periodo 2002-2019. Arriba: datos originales de la serie temporal en los distintos puntos de medida de la Red de Calidad del Estado Ecológico de la CAPV. Abajo: Residuos parciales de la serie temporal para la componente de tendencia lineal de (línea azul).

2 La eutrofización se refiere al aporte en exceso de nutrientes inorgánicos (procedente de actividades humanas) en un sistema acuático, produciendo una proliferación descontrolada de algas fitoplanctónicas produciendo una indeseable perturbación del equilibrio de los organismos presentes en el agua y de la calidad de esta, como hipoxia o anoxia.

Los análisis de tendencias indican que tanto la concentración de oxígeno disuelto en superficie como a 25 m, ha aumentado significativamente en el periodo 1995–2019 a una tasa de $0,144 \pm 0,021$ mg/l por década y $0,090 \pm 0,022$ mg/l por década, respectivamente. En cambio, a 100 m de profundidad la concentración de

oxígeno disuelto ha disminuido en $-0,253 \pm 0,062$ mg/l por década. Todavía no se han establecidos las causas de estas tendencias, aunque probablemente estén relacionadas con procesos de mezcla invernal, aportes fluviales y/o consumo/respiración del fitoplancton.

NUTRIENTES

Los nutrientes son esenciales para la vida en los océanos. La información sobre la disponibilidad de nutrientes permite vincular la variabilidad de las condiciones físicas con la variabilidad de los ecosistemas. La variación en la cantidad de nutrientes en la costa, debida al cambio climático, puede estar relacionada con (1) el cambio en el régimen de precipitaciones, que a su vez puede hacer variar el caudal de los ríos y, con ello, la cantidad de nutrientes de origen terrestre que llegan a la costa y (2) el incremento en la estratificación de la columna de agua por el aumento de la temperatura; en las zonas tropicales el aumento de la estratificación limita el aporte de nutrientes a la zona fótica mientras que en regiones con mucha mezcla, como las zonas subárticas, el aumento de la estratificación puede favorecer la producción primaria.

En el litoral vasco, los nutrientes inorgánicos disueltos, excepto el nitrito, aumentan ligeramente su concentración en el periodo 1995–2019. Las posibles causas de este ligero aumento podrían asociarse a cambios en las condiciones oceanográficas, como a la mayor profundización de la capa de mezcla y al aumento de los eventos extremos del oleaje. Será necesario, en próximos estudios, profundizar en el análisis de estas causas oceanográficas para poder relacionar el aumento de los nutrientes con las consecuencias del cambio climático.

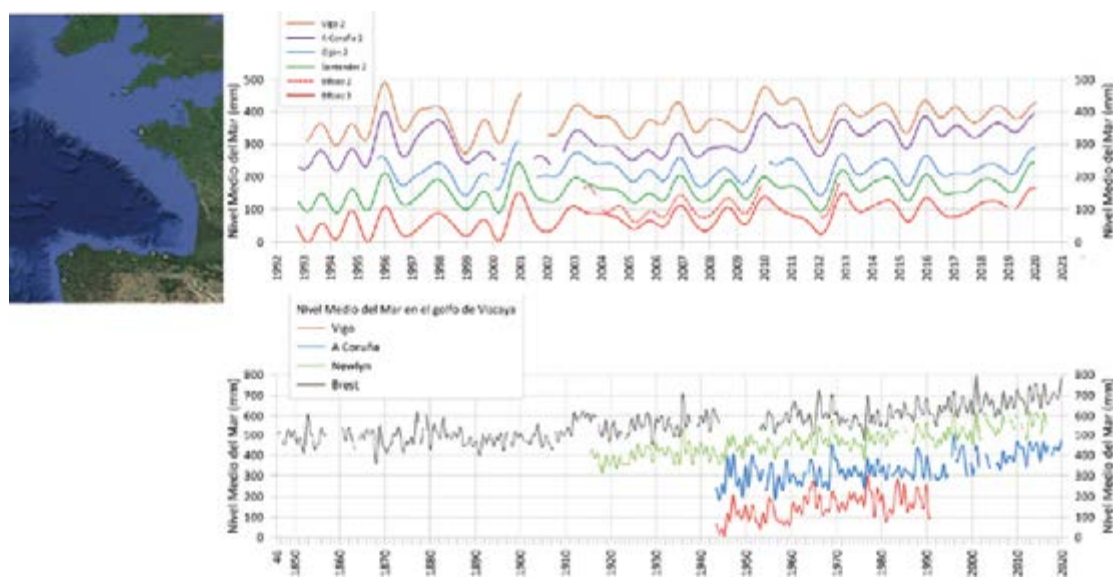
NIVEL DEL MAR

El nivel del mar es uno de los principales indicadores del cambio climático. El calentamiento global está provocando el aumento del nivel del mar en toda la Tierra, que globalmente se debe a la fusión de hielo de los glaciares y de los casquetes polares, y en menor medida, a la expansión térmica de los océanos. Localmente el nivel del mar también varía a causa de los cambios en la circulación atmosférica, de la presión atmosférica y de los vientos, pero ninguna de estas tres causas puede hacer variar la media global.

Una subida del nivel del mar y el consiguiente retroceso de la línea de costa puede conducir a la reducción o desaparición de la superficie aérea de las playas y al incremento de las inundaciones causadas por tormentas marinas. Es por ello que se trata de una variable a monitorizar durante los próximos años.

A nivel global, el ascenso del nivel del mar se ha acelerado en las dos últimas décadas, variando entre 1,5 y 1,9 mm año⁻¹ desde 1900 a 2010 y entre 2,8 y 3,6 mm año⁻¹ entre 1993 y 2010 (IPCC-AR5, 2013). En el periodo 1993–2020 la tasa de incremento global ha sido de $3,1 \pm 0,4$ mm/año, lo que supone un incremento total de unos 8 cm. Se ha estimado que, como mínimo, el 45% del incremento observado desde el inicio del siglo XX tiene un origen antropogénico.

Los datos *in situ* del nivel del mar provienen de los registros de los mareógrafos. Se han analizado las series temporales del nivel medio del mar de los 9 mareógrafos del golfo de Vizcaya. También se ha analizado el nivel medio del mar del golfo de Vizcaya obtenido con sensores satelitales.



7. Fig. Imagen con la posición de los mareógrafos analizados en el golfo de Vizcaya y las series temporales del nivel medio del mar analizadas.

El nivel medio del mar está ascendiendo significativamente en todos los mareógrafos del golfo de Vizcaya, excepto en Gijón cuya tendencia positiva no es significativa. Las tasas de ascenso para las 8 series significativas oscilan entre $1,25 \pm 0,05$ cm por década en Brest, (1846–2019) y $2,97 \pm 0,33$ cm por década en Bilbao (1992–2019). Asimismo, se observa un incremento

de la tasa de crecimiento desde los años 90, como se comprueba analizando la misma serie de Brest de 1992 a 2019 ($2,48 \pm 0,44$ cm década⁻¹), cuya tasa de ascenso es el doble que en el periodo completo de la serie. El nivel medio del mar del golfo de Vizcaya medido mediante satélite muestra también un ascenso significativo desde 1993 de $2,42 \pm 0,43$ cm por década.

El nivel medio del mar en el golfo de Vizcaya está ascendiendo a una tasa de entre 1,5 y 3,5 cm/década desde los años 90. Este ascenso se está acelerando.

El ascenso detectado en la costa y mar del golfo de Vizcaya es consistente con el ascenso a nivel global. El análisis de las series, también confirma que el ascenso

del nivel del mar se está acelerando, en coherencia con estudios que analizan periodos más largos (Woppelmann et al., 2006; Dangendorf et al., 2019).

OLEAJE

Los estudios recientes de análisis de tendencias del oleaje a nivel global han identificado un ligero aumento de la altura de ola significativa en condiciones medias (H_s) (0,3 cm/año) y un mayor aumento en condiciones extremas desde 1985 en el Atlántico Norte (Young & Ribal, 2019). En cuanto a la potencia del oleaje (P_w), se ha identificado un incremento global de 0,4% al año entre 1948 y 2008 (Reguero et al., 2019), que se podría asociar al calentamiento de la superficie del océano.

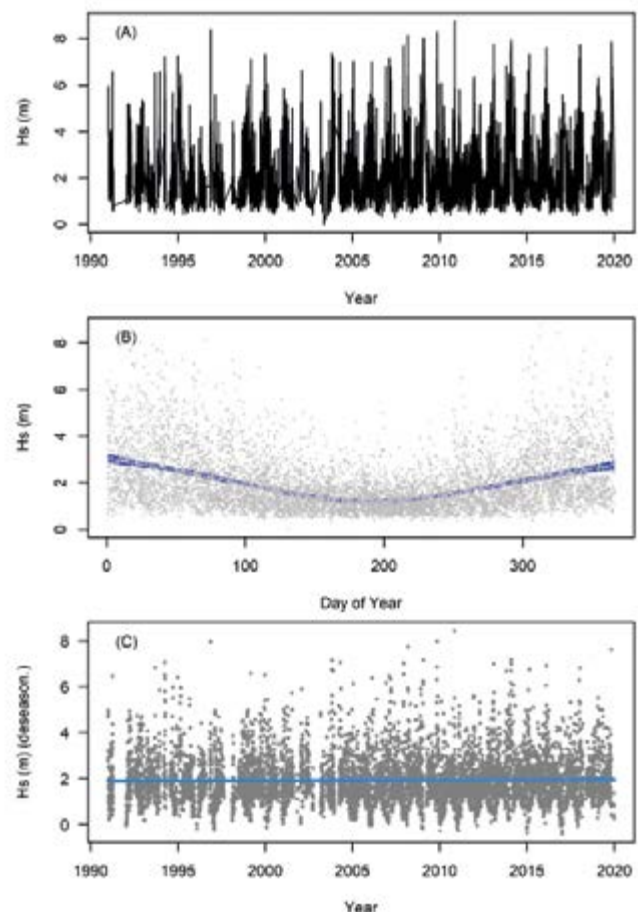
En el golfo de Vizcaya, también se ha detectado un aumento de H_s y P_w desde 1900. En concreto, se han detectado el aumento medio de H_s de 0,4 cm/año y de 0,3 cm/año en un punto cercano a la boya de Bilbao (Ulazia et al., 2017). Paris et al. (2014), para el periodo 1970–2000, han identificado un incremento mayor de H_s (0,5 cm/año). Las tendencias de H_s en el golfo de Vizcaya están relacionadas con los indicadores de variabilidad de la circulación atmosférica y, en particular, los indicadores climáticos de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y con el indicador basado en la Anomalía de Presión sobre Europa Occidental (WEPA) (Castelle et al., 2017b).



8. Fig.Boya de puertos del estado

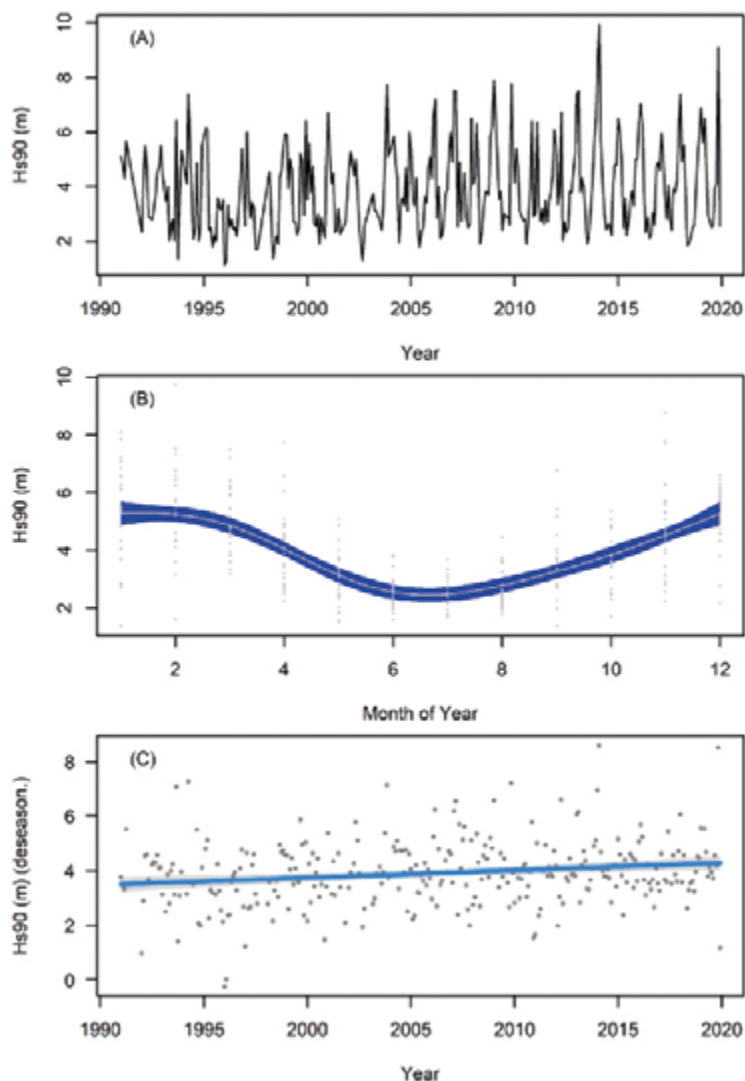
Los principales cambios en el oleaje se observan en las condiciones extremas, con incrementos significativos en el percentil 90 de altura de ola significativa y altura de ola asociada a 100 años de periodo de retorno. No se ha determinado de momento que estos cambios sean efecto del cambio climático.

9. Fig. Altura de ola significativa H_s (m) de la boya de Bilbao-Vizcaya en el periodo 1991–2019 (promedio diario): (A) Datos originales de la serie temporal; (B) Residuos parciales a lo largo del año (puntos) y componente estacional parcial del modelo (línea gris con su intervalo de confianza en azul); (C) Residuos parciales de la serie temporal para la componente de tendencia (línea azul).



En los últimos 30 años, se ha observado el incremento de Hs de, de $1,791 \pm 3,160$ cm por década (boya Bilbao-Vizcaya), pero la tendencia no es significativa. Asimismo,

se observa el aumento de la potencia del oleaje de $0,504 \pm 1,107$ kW/m por década (aumento del 1,8% por década), pero la tendencia no es significativa.



10. Fig. Altura de ola significativa Hs90 mensual (m) de la boya de Bilbao-Vizcaya en el periodo 1991–2019. A) Datos originales de la serie temporal; B) Residuos parciales a lo largo del año (puntos) y componente estacional parcial (línea gris con su intervalo de confianza en azul). C) Residuos parciales de la serie temporal de la Hs90 para la componente de tendencia (línea azul). Los residuos parciales se han escalado sumando el promedio de Hs90 de toda la serie.

Las condiciones de oleaje extremo muestran cambios más importantes. En los últimos 30 años (1991–2019), Hs90 (percentil 90 de Hs), ha aumentado $27,165 \pm 8,566$ cm por década (aumento del 7,7% por década en la boya Bilbao-

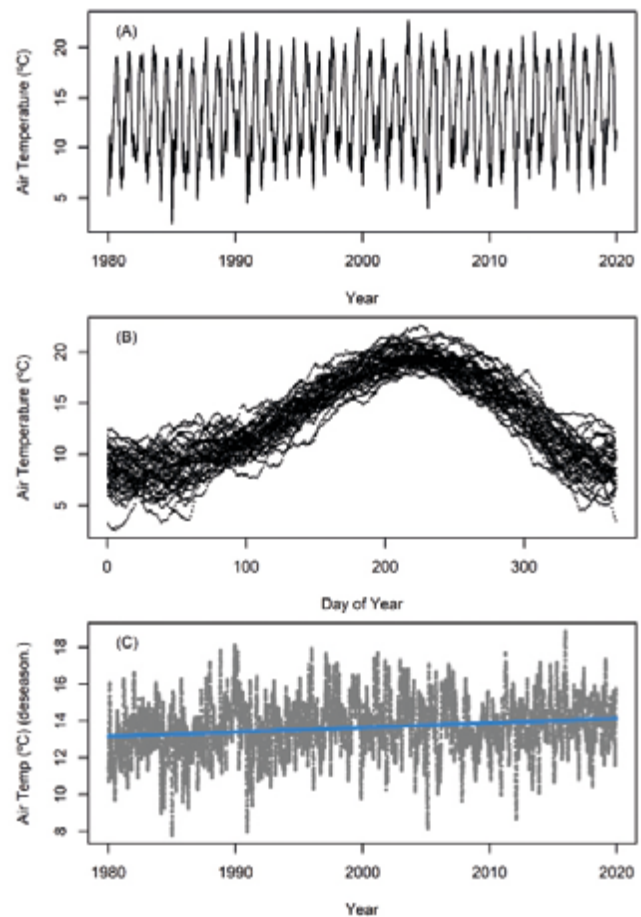
Vizcaya) y Hs100 (Hs de 100 años de periodo de retorno) ha aumentado $167,129 \pm 40,658$ cm por década (aumento del 13,4% por década).

INDICADORES ATMOSFÉRICOS E HIDROLÓGICOS

TEMPERATURA DEL AIRE

La temperatura del aire es el principal indicador de cambio climático cuyo aumento es resultado directo del incremento de la concentración de gases de efecto invernadero provocado por la actividad humana (IPCC-AR5, 2013).

El resultado del análisis realizado indica que la temperatura del aire se está incrementando. Desde 1928 el incremento es significativo en la estación de Igueldo ($0,1947 \pm 0,0466$ °C por década). Desde 1980, una tasa de aumento se ha incrementado a $0,3057 \pm 0,1601$ °C (no significativo) y de $0,2480 \pm 0,0588$ °C en Hondarribia, donde el cambio sí es significativo.



11. Fig. Serie temporal de la temperatura del aire en la estación meteorológica de Igueldo en el periodo 1980–2019: (A) Datos originales de la serie temporal; (B) Residuos parciales a lo largo del año (puntos) y componente estacional parcial del modelo (línea negra con su intervalo de confianza en sombreado gris); (C) Residuos parciales de la serie temporal para la componente de tendencia (línea azul).

INSOLACIÓN

Se ha analizado el incremento de número de horas de sol diarias para los periodos 1947–2019 y 1980–2019. En ambos periodos se observa un incremento significativo, de $0,0462 \pm 0,0156$ horas por década y una mayor tasa de

$0,2615 \pm 0,0387$ horas por década para 1947–2019 y 1980–1947, respectivamente. Este último, equivale a unos 15 minutos más de sol diarios por década.

VIENTO

El viento en la superficie del mar determina el intercambio de cantidad de movimiento entre la atmósfera y océano, produciendo el oleaje y da lugar a un forzamiento clave en la circulación oceánica responsable del transporte de calor y gases en el océano.

Desde 1990 se ha observado que la intensidad del viento en la superficie del mar se ha incrementado, con pocas excepciones a nivel global (Young et al., 2011). Por otra parte, se ha observado un descenso significativo de la velocidad del viento en la superficie terrestre (“global

terrestrial stilling”) desde 1960 (Vicente-Serrano et al., 2017). Sin embargo, estudios recientes indican que dicha tendencia se ha invertido a partir de 2010 (Zeng et al., 2019). Las causas de ambas tendencias aún se encuentran en debate (Blunden & Arndt, 2019).

En Igueldo, para el periodo 1980–2019, la velocidad del viento ha disminuido significativamente a una tasa de $-0,2875 \pm 0,0304$ m/s por década. Por contra, en Hondarribia, para el periodo 1995–2019, el viento se ha incrementado significativamente ($0,4558 \pm 0,0275$ m/s).

PRECIPITACIÓN

Los principales impactos del cambio climático sobre la precipitación son el cambio en la temporalidad en la distribución de precipitaciones, cambio en el régimen extremal o reducción de la precipitación anual. En las zonas costeras, el cambio en el régimen de precipitaciones asociado puede modificar el caudal de los ríos, afectando a los aportes de nutrientes o la salinidad.

La precipitación anual acumulada en Igueldo y Hondarribia, para el periodo 1980–2019, no muestra un cambio significativo.

En el caso de la precipitación extremal, definida como el número de días del año con precipitación superior al percentil 75 de la serie, se observa un incremento significativo en Hondarribia (5,415 días por década), mientras que en Igueldo no se observan cambios significativos.

La tasa de calentamiento del aire en la costa guipuzcoana desde 1980 es de $0,25-0,31^{\circ}\text{C}$ por década. También se ha incrementado el número de horas de sol. No se observan tendencias en la precipitación anual acumulada, para la precipitación extrema en cambio se observa una tendencia positiva en Hondarribia. En los caudales de los ríos de Gipuzkoa no se observan tendencias significativas, salvo en Oiartzun, aunque no está asociada a una tendencia positiva en la variabilidad de las precipitaciones. Por el contrario, si se observa una tendencia positiva significativa para los eventos de caudal superior al percentil 90.

CAUDALES FLUVIALES EN ESTUARIOS

En las zonas costeras, el cambio de régimen de precipitaciones asociado al cambio climático puede modificar el caudal de los ríos. Este cambio en el caudal en las proximidades de la desembocadura, puede dar lugar a variaciones en la salinidad superficial observada en las aguas cercanas a la costa.

Se han analizado las series temporales del caudal en los 5 ríos de Gipuzkoa, desde la década de los años 90 hasta 2019. Para cuatro de los ríos analizados, (Deba,

Urola, Oria y Urumea), no se observa ninguna tendencia significativa. Únicamente se observa una tendencia positiva significativa desde 1997 en el caso del río Oiartzun, $0,155 \pm 0,057 \text{ m}^3/\text{s}$ por década. Esta tendencia no se puede explicar por la tendencia de las precipitaciones, ya que, los análisis de esta variable no indica una tendencia significativa.

1. Tabla. Análisis de ocurrencia de eventos extremos del caudal de los 5 ríos de Gipuzkoa

RÍO	P90	TENDENCIA (NB.DÍA>P90)	SIGNIFICANCIA	P10	TENDENCIA (NB.DÍA<P10)	SIGNIFICANCIA
DEBA	26,0	8,4/DÉCADA	NO SIGNIFICATIVO	1,4		NO SIGNIFICATIVO
UROLA	16,9	9,1/DÉCADA	SÍ SIGNIFICATIVO	1,3		NO SIGNIFICATIVO
ORIA	53,8	14,3/DÉCADA	SÍ SIGNIFICATIVO	3,7	-27,6/DÉCADA	SÍ SIGNIFICATIVO
URUMEA	18,4	12,8/DÉCADA	SÍ SIGNIFICATIVO	1,6		NO SIGNIFICATIVO
OIARTZUN	5,33	15,8/DÉCADA	SÍ SIGNIFICATIVO	0,4		NO SIGNIFICATIVO

El análisis de los eventos extremos indica una tendencia positiva solamente para los eventos de caudal superior al percentil 90, no significativa para el caso de caudales inferiores al percentil 10. Esta tendencia al incremento puede estar en relación con la tendencia

positiva de eventos de precipitación superiores al percentil 75 observada en Hondarribia, ya que, los ríos de Gipuzkoa tienen un régimen pluvial dominado por las precipitaciones en forma de lluvia.

INDICADORES GEOMORFOLÓGICOS DE EROSIÓN COSTERA

El aumento del nivel del mar supone un riesgo para las regiones costeras, expuestas a riesgos de inundación cada vez mayores debido al incremento de la frecuencia de los episodios de nivel del mar extremos. La combinación del aumento del nivel del mar y del oleaje tiene como consecuencia el retroceso de la línea de costa. Al menos el 70% de las playas de arena del mundo está en recesión (Bird, 1985). A escala regional, las proyecciones indican que los retrocesos en las playas vascas podrían ser del 25% al 40% de su anchura para finales de siglo (Chust et al., 2010).

Para determinar las tendencias de los indicadores geomorfológicos se utilizan las imágenes capturadas por la Red Foral de Videometría Litoral de Gipuzkoa (RFVLG). Esta red es un servicio de monitorización de los arenales guipuzcoanos a corto, medio y largo plazo, que pertenece al Departamento de Medio Ambiente y Obras Hidráulicas de la Diputación Foral de Gipuzkoa. La red está integrada por 10 estaciones (Zarautz, Santiago, Hondarribia, Saturrarán, Itzurun, Santiago, Gaztetape, Malkorbe, Antilla, Ondarbeltz) repartidas a lo largo de toda la costa guipuzcoana (<https://www.gipuzkoa.eus/es/web/ingurumena/hondartzak/bideometria-foru-sarea>).

La mayoría de las series temporales no superan los 16 meses, lo que impide determinar las tendencias a largo plazo, aunque sí ha permitido describir el comportamiento general de cada una de las playas. Los informes de síntesis de la evolución morfológica de los distritos arenales están disponibles

(<https://www.gipuzkoa.eus/documents/3767975/3808245/Informe+s%C3%ADntesis+morfolog%C3%ADa+playas+2020.pdf/78cdbcdf-9083-ce6f-9c08-7be1cf97449>).

En el caso de Zarautz (propiedad del Ayuntamiento y gestionada por la Fundación AZTI), con una serie de datos de más de 9 años, ha permitido analizar la serie temporal de tres variables: área supramareal, área intermareal y anchura media de playa.

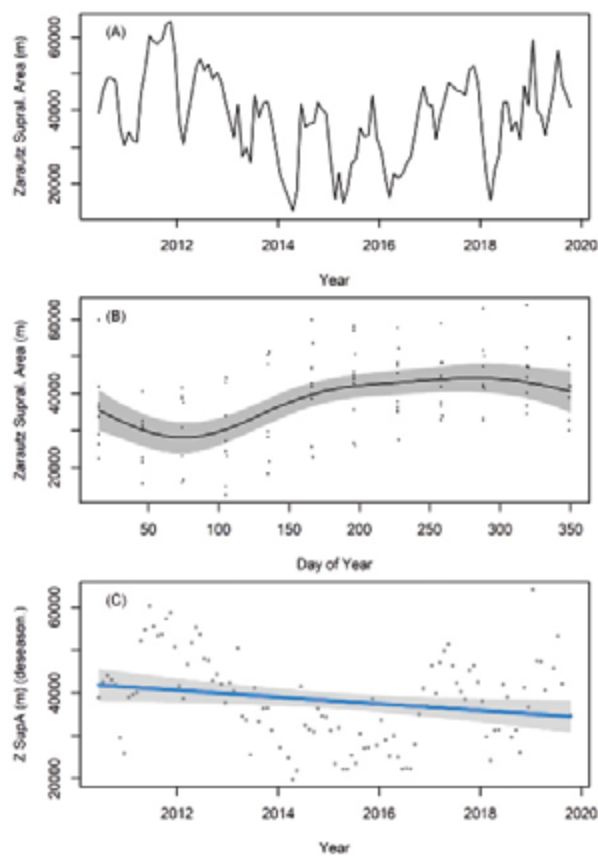


12. Fig. Instalación de la estación de videometría litoral de la playa de Saturrarán

ÁREA SUPRAMAREAL

El área supramareal es el área de playa que se encuentra por encima de la cota de pleamar media, y está limitado por el contorno definido por la línea de costa obtenida mediante imágenes y una línea de referencia.

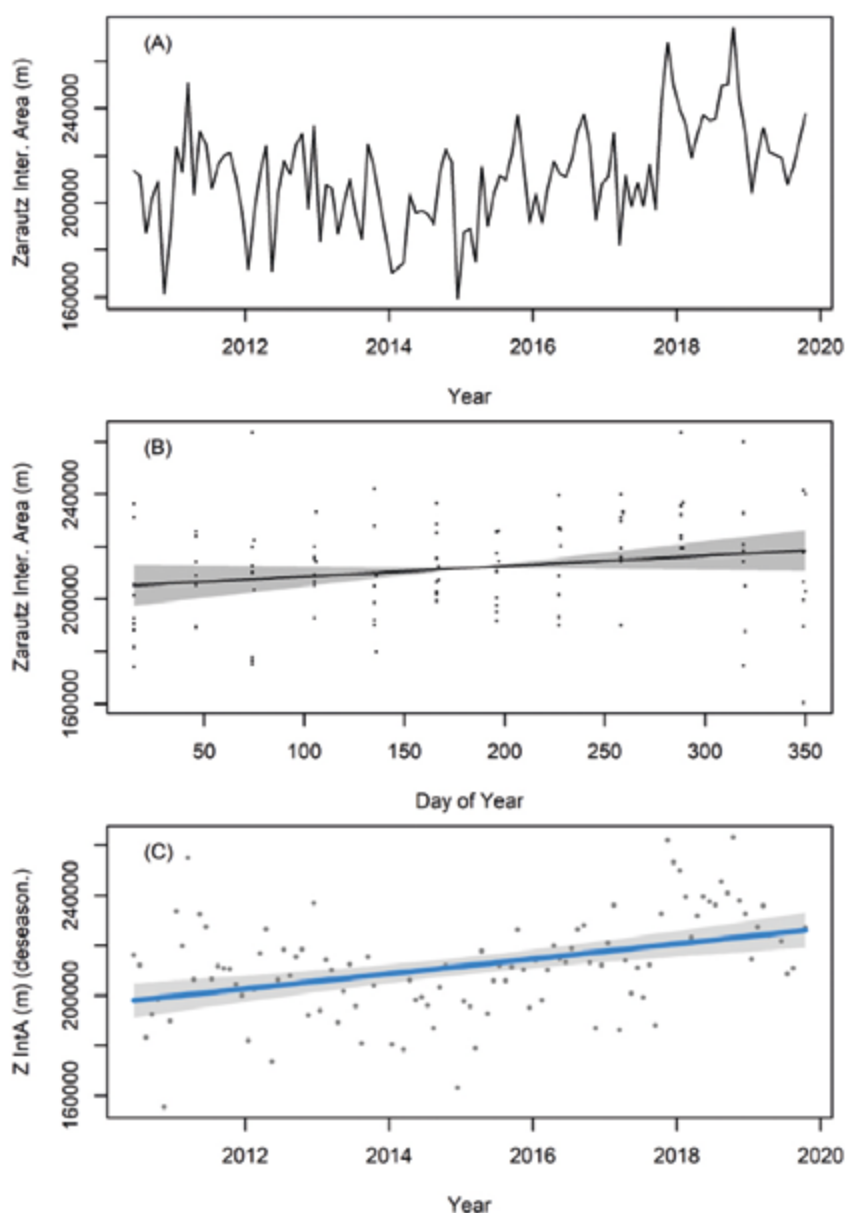
El análisis de la serie temporal indica una tendencia de $-1.535,1 \pm 7.765,6 \text{ m}^2$ por década, aunque no se encuentran tendencias significativas.



13. Fig. Área supramareal de Zarautz en el periodo 2010–2019: (A) Datos originales de la serie temporal; (B) Residuos parciales a lo largo del año (puntos) y componente estacional parcial del modelo (línea negra con su intervalo de confianza en sombreado gris); (C) Residuos parciales de la serie temporal para la componente de tendencia (línea azul).

ÁREA INTERMAREAL

El área intermareal es el área de la playa que se encuentra entre las cotas de pleamar y bajamar medias. La serie temporal del área intermareal muestra un incremento significativo, con una tendencia de $30.544,1 \pm 9.793,8 \text{ m}^2$ por década.



14. Fig. Área intermareal de Zarautz en el periodo 2010–2019: (A) Datos originales de la serie temporal; (B) Residuos parciales a lo largo del año (puntos) y componente estacional parcial del modelo (línea negra con su intervalo de confianza en sombreado gris); (C) Residuos parciales de la serie temporal para la componente de tendencia (línea azul).

ANCHURA MEDIA DE PLAYA

La anchura media de la playa se ha estimado a partir de la distancia neta en dirección sensiblemente perpendicular a la costa, entre cada punto de la línea de costa y la línea base. Se determina tanto para la serie correspondiente a la pleamar como en la de bajamar.

La playa de Zarautz muestra tendencias contrapuestas en los extremos oeste y este. En la parte oeste y central de la playa, la anchura de la playa en bajamar está creciendo a 2-3 m por año, no variando significativamente en la pleamar. El balance neto en esta parte de la playa es un aumento de la zona intermareal hacia el mar. En contra, en la zona este de la playa se produce una retracción muy significativa de un metro por año.

El análisis medio indica un crecimiento de la bajamar hacia el mar a una tasa de 1,72 m por año y que la pleamar se está erosionando hacia el interior a una tasa de 0,45 m por año. Por tanto, el balance neto es una pérdida de playa seca (0,45 m/año) y un aumento de la playa intermareal (2,17 m/año). Esto es coherente con una tendencia hacia un perfil de playa más disipativo, y no tanto con una erosión neta de la playa por pérdida del volumen o por el retroceso asociado al aumento del nivel medio del mar. La serie analizada es corta para representar tendencias de mayor escala como las atribuidas al efecto del cambio climático.

INDICADORES BIOLÓGICOS Y DEL ECOSISTEMA MARINO

Para identificar los impactos del cambio climático sobre las especies marinas se han definido cuatro indicadores:

- Distribución (centro de gravedad o límites de la distribución) y Abundancia local (biomasa o número de individuos). El calentamiento del mar está desplazando ya, y prevé desplazar en el futuro, la distribución de las poblaciones hacia los polos (Cheung et al., 2013, Poloczanska et al., 2013). Como consecuencia del desplazamiento latitudinal de las poblaciones derivado de la respuesta al calentamiento, la abundancia en cada franja latitudinal (más concretamente, en cada franja termal) puede variar. Hay que considerar que, en especies comerciales, la abundancia puede estar muy influenciada por la pesca y la disponibilidad de alimento de la especie. Por lo tanto, es mejor usar este indicador para un conjunto de especies (comunidad) teniendo en cuenta su nicho termal (Villarino et al., 2020).
- Fenología (evento de un ciclo estacional, por ej. migración, puesta), por zonas. El calentamiento del mar puede avanzar el inicio de ciertos ciclos estacionales (puesta, migración) y atrasar el fin de estos (Poloczanska et al., 2016). Dado que el momento en el año en el que tiene lugar el evento fenológico depende de la latitud, este debe tenerse en cuenta.
- Desplazamiento en profundidad. Este indicador está relacionado con el calentamiento dado que la especie busca mantener su nicho termal (Perry et al., 2005).
- Tamaño (o peso) de los individuos, por zonas. Está relacionado inversamente con el calentamiento del mar (Pauly & Cheung, 2018). No obstante, en especies comerciales, puede estar muy influenciado por la pesca y la disponibilidad de alimento de la especie.

FITOPLANCTON

La variación de la biomasa de fitoplancton puede ser un indicador para caracterizar la influencia que ejercen los cambios ambientales, incluidos los atmosféricos, en la base de los ecosistemas marinos.

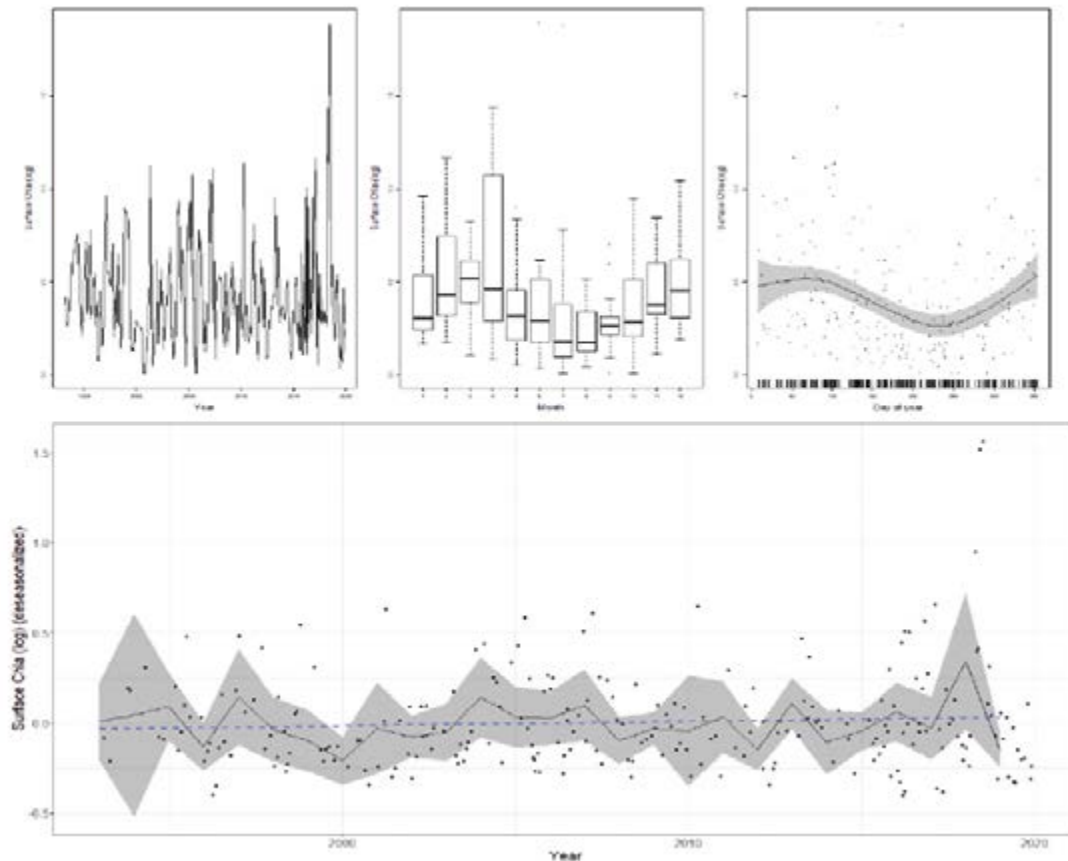
Las comunidades de fitoplancton son altamente sensibles a variables ambientales como la luz y nutrientes, factores que a su vez dependen de procesos relacionados con la temperatura, viento, nubosidad, precipitación, etc., y, por lo tanto, verse afectadas por el cambio climático. Podría cambiar la fenología de los blooms y la estructura de la comunidad de fitoplancton, lo que a su vez afectaría a las redes tróficas y servicios ecosistémicos (Staudinger et al., 2019; Trombetta et al., 2019).

En relación a la biomasa de fitoplancton, medida a través de la concentración de clorofila, se ha sugerido un descenso generalizado en los océanos durante las últimas décadas debido al incremento de la temperatura superficial y la estratificación y la consiguiente limitación por nutrientes en la capa superficial (IPCC-AR5, 2013; Siegel et al., 2013). Pero, la relación entre la temperatura superficial y la clorofila es compleja y difícil de correlacionar a escala global (Behrenfeld et al., 2016; Dave & Lozier, 2013).

Concentración de clorofila en superficie y en la columna

La clorofila "a" se considera una aproximación válida para la biomasa fitoplanctónica, siempre que no se trate de un medio limitado por luz. En todo caso, hay que

indicar que la concentración de clorofila "a", la biomasa del fitoplancton y la abundancia celular son atributos diferentes del fitoplancton (Domingues et al., 2008).



15. Fig. Serie temporal de concentración de clorofila superficial en la estación D2 en el periodo 1993–2019.

Frente a la costa de Gipuzkoa (estación D2), el análisis de la tendencia para el periodo 1993–2019, teniendo en cuenta el ciclo estacional, indica que la concentración de clorofila en superficie no muestra ninguna tendencia lineal. Asimismo, la concentración integrada hasta 50 m

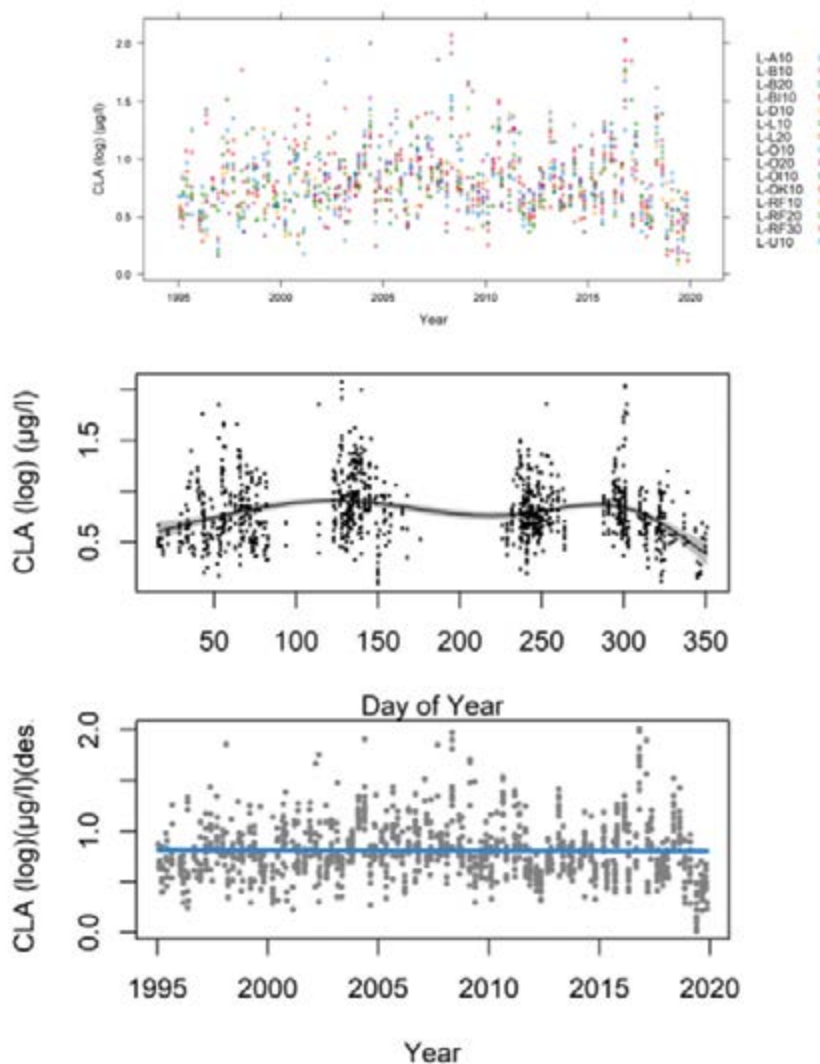
tampoco presenta cambios significativos para el mismo periodo de análisis. El análisis de todas las observaciones por profundidades indica que hay un aumento significativo de la concentración de clorofila.

Profundidad del máximo de clorofila

El análisis de la serie temporal indica que la profundidad del máximo de clorofila no presenta tendencia significativa para los últimos 22 años analizados.

Concentración de clorofila en estaciones de la costa

El análisis de los datos de superficie a 25 m de las estaciones costeras de la red de calidad no indica cambios significativos en la concentración de clorofila en las proximidades a la costa durante el periodo 1995-2019.



16. Fig. Serie temporal de la concentración de clorofila (en log) en las estaciones costeras de la red de calidad en el periodo 1995-2019.

Concentración de clorofila en superficie por satélite

El análisis de la concentración de clorofila en superficie, estimada a partir de datos de satélite para todo el Golfo de Vizcaya, muestra una tendencia ascendente significativa de $0,054 \pm 0,012 \text{ mgm}^{-3}$ por década para el periodo 2003-2019. La relación de este ascenso con el cambio climático está aún por ser analizada. El análisis de estos datos en una estación próxima a Donostia no muestra tendencias significativas.

Fenología de la clorofila superficial por satélite

El objetivo de este análisis es estimar si el ciclo estacional del bloom primaveral de la concentración de clorofila en superficie por satélite (inicio, pico y fin) se adelanta, retrasa o cambia de patrón.

Los resultados del análisis realizado indican que tanto el inicio, pico y fin del bloom no tienen tendencia significativa, si bien todos ellos tienen una tasa negativa que podría sugerir un ligero adelanto en el año.

MEDIDA	DESCRIPCIÓN	ESTACIÓN	ZONA	UNIDAD	PERIODO	TENDENCIA (/DÉCADA)	STD. ERROR (/DÉCADA)	P-VALOR
COMUNIDAD	CTI	REDCAL	COSTA VASCA	°C	2002-2019	-0,1523	0,2812	0,5883
ABUNDANCIA TOTAL	ABUND TOTAL	REDCAL	COSTA VASCA	n	2002-2019	45.309,3	82.416,0	0,5828
CHLA EN COLUMNA	CHLA SUPERFICIE	D2	COSTA GIPIZKOA	µg/l	1993-2019	0,0632	0,0733	0,3892
	CHLA 0-50 M	D2	COSTA GIPIZKOA	µg/l	1993-2019	0,0207	0,0411	0,6156
	CHLA PROFUNDIDAD	D2	COSTA GIPIZKOA	µg/l	1993-2019	0,0362	0,0103	0,0004
	PROFUNDIDAD MAX.CHLA	D2	COSTA GIPIZKOA	m	1993-2019	0,2595	1,6202	0,8729
CHLA EN COSTA	CHLA (0M+25M)	REDCAL	COSTA VASCA	µg/l	1995-2019	0,0226	0,0345	0,5133
CHLA SAT EN SUPERFICIE	CHLA SUP SAT	SAT	GOLFO VIZCAYA	mg-m³	2003-2019	0,0543	0,0126	<0,001
CHLA SAT EN SUPERFICIE	CHLA SUP SAT FRENTE DONOSTIA	SAT	FRENTE A DONOSTIA	mg-m ³	2003-2019	0,0834	0,0635	0,1894
CHLA SAT FENOLOGÍA	FENOLOGÍA (PICO)CHLA EN SUP SAT	SAT	GOLFO VIZCAYA	mg-m ³	2003-2019	-0,5245	0,6455	0,4290

2. Tabla. Tendencias de los indicadores de fitoplancton. En negrita se indican las tendencias significativas (p-valor<0.05).

Comunidad

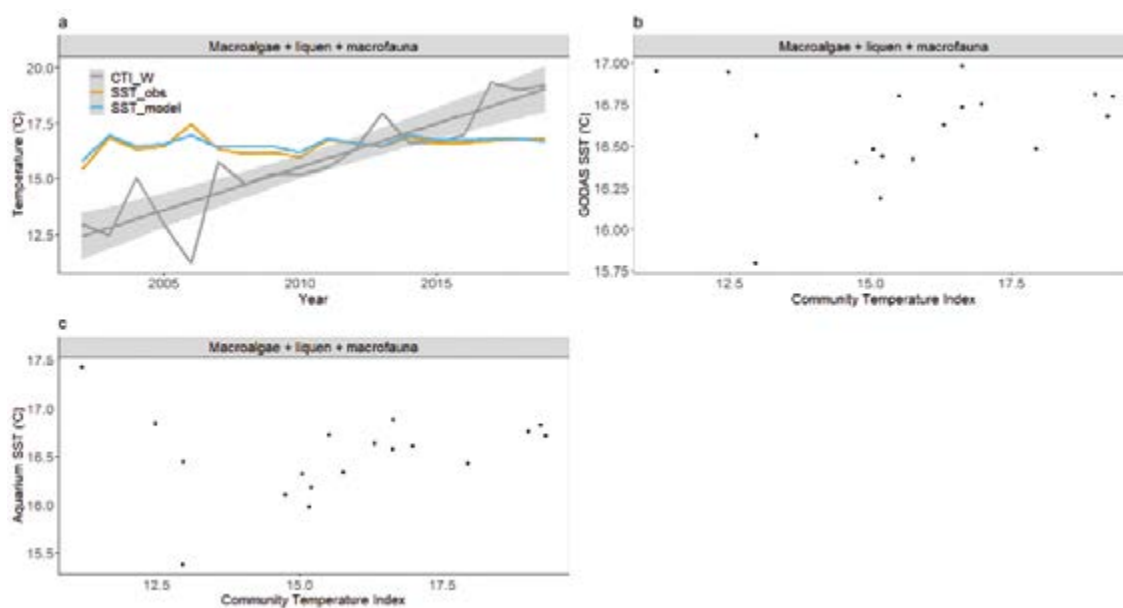
Se ha analizado la tendencia del índice de temperatura de la comunidad (CTI) de fitoplancton de 2002 a 2019 correspondiente a 6 estaciones costeras. Los resultados

indican que no hay una tendencia significativa en el tiempo.

MACROALGAS Y OTRAS COMUNIDADES DEL SUSTRATO DURO

Existen diversos estudios que relacionan cambios en diversas variables ambientales susceptibles de cambio asociado al cambio climático, como temperatura, insolación, y la energía del oleaje, con cambios en la cobertura y biomasa de macroalgas, tanto en la costa vasca (Díez et al., 2012, Borja et al., 2018, Borja et al., 2013, Díez et al., 2014, Muguerza et al., 2017) como en la costa Cantábrica (Voerman et al., 2013, Duarte et al., 2013, Martínez et al., 2015, Casado-Amezúa et al., 2019, Ramos et al., 2020) o en todo el golfo de Vizcaya (Alcock, 2003).

Se ha analizado la comunidad del sustrato duro, que integra macroalgas, líquenes y macroinvertebrados, a lo largo de 26 transectos en la zona intermareal a lo largo de la costa vasca. En concreto, para un total de 154 especies, se ha analizado el Índice Termal de Comunidad, que representa la preferencia térmica de la comunidad, en el periodo 2002–2019.



17. Fig. Tendencia del índice termal de comunidad (CTI) de la comunidad bentónica de sustrato rocoso en el periodo 2002–2019. (a) Temperatura media anual observada y modelizada, y CTI anual estimado; (b) Relación entre CTI y temperatura superficial del mar según el Sistema de Asimilación de Datos Oceánicos Globales (GODAS); (c) Relación entre CTI y temperatura superficial del mar medida en el Aquarium de Donostia.

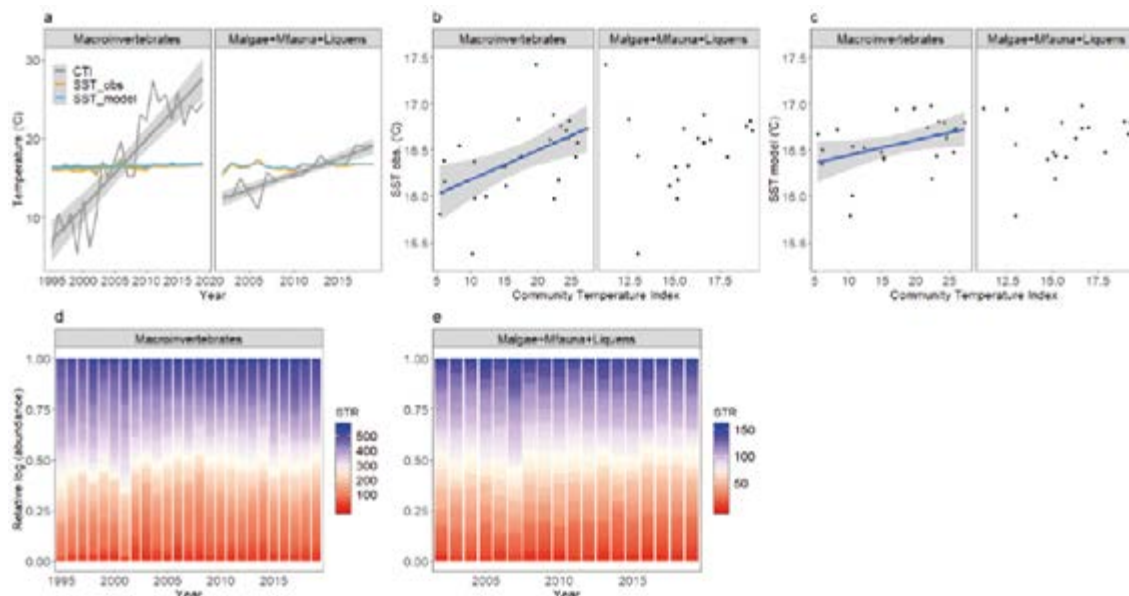
Los resultados indican que, para la comunidad de sustrato duro, dicho índice aumenta de forma importante y significativa para el periodo analizado. La tasa de cambio de preferencia térmica del índice es de 0,27 °C por década. Dicho cambio es del mismo orden que la tasa de calentamiento de temperatura del mar de la zona, 0,3 °C por década, y del aire, 0,25–0,31°C por década.

El calentamiento del mar y del aire de la costa guipuzcoana podría explicar en parte el incremento del CTI del bentos de sustrato rocoso. El incremento de este indicador sugiere que la comunidad del bentos está redistribuyéndose y que el calentamiento está favoreciendo a las especies de aguas calidas.

MACROINVERTEBRADOS BENTÓNICOS DE SUSTRATO BLANDO

Distintos estudios relacionan cambios en diversas variables ambientales, como la temperatura, caudal de ríos, precipitación, NAO, y la East Atlantic Oscillation, con cambios en la abundancia y biomasa de macroinvertebrados, tanto en la costa vasca (Garmendia et al., 2008, Borja et al., 2016, Pérez et al., 2009), como en la costa Cantábrica (Fernández, 2016), o en todo el golfo de Vizcaya (Alcock, 2003).

Se ha analizado la comunidad de sustrato blando que integra macroinvertebrados de 16 estaciones situadas a lo largo de la costa vasca para el periodo 1995–2016. Se ha analizado el óptimo térmico para un total de 559 especies.



18. Fig. Tendencia del índice termal de comunidad (CTI) de la comunidad bentónica de sustrato blando en el periodo 1995–2019.

Los resultados indican que existe un incremento en el índice termal de la comunidad significativo, con una tasa de cambio de 0,16 °C por década. Ello indica que la comunidad está cambiando y que las especies de aguas cálidas han aumentado en relación a las especies con preferencia de aguas más frías. Como en el caso del sustrato rocoso, el cambio del índice termal de la comunidad del sustrato blando es del mismo orden que la tasa de calentamiento de la temperatura del mar y del aire de la zona. Además, existe una correlación significativa entre el CTI y el incremento de la temperatura superficial

registrada en las medidas del Aquarium, lo cual indica que la comunidad responde año a año a la variación de la temperatura del mar.

Al igual que en el caso de las comunidades de sustrato duro, se concluye que el calentamiento del mar y del aire de la zona podría explicar, en parte, el incremento del índice termal de la comunidad de sustrato blando. La comunidad del bentos está redistribuyéndose y el calentamiento está favoreciendo a las especies de aguas cálidas.

PECES

Verdel

La puesta del verdel se ha desplazado hacia el norte a una velocidad de $15,9 \pm 0,9$ km por década entre 1992 y 2013 (Bruge et al., 2016). El nicho térmico también se ha desplazado hacia el norte.

La fenología del verdel también parece haberse alterado, adelantándose 29 días entre 2000 y 2006 en el mar Cantábrico (Punzón & Villamor, 2009).

Anchoa

La anchoa es una especie con una gran amplitud de nicho termal que se distribuye desde zonas tropicales a templadas y, por lo tanto, su tolerancia al calentamiento del mar es mayor. En lo referente a la puesta en el golfo de Vizcaya, se ha observado una expansión hacia el norte que podría deberse a cambios en las condiciones ambientales (Bellier et al., 2010). También se ha observado un adelantamiento del pico de desove, a una tasa de 5,5 días por década en el periodo 1987–2015 (Erauskin-Extramiana et al., 2019).

El análisis del peso por edad de la anchoa desde 1987 hasta 2019 indica que éste ha disminuido en los últimos años del periodo. No está claro si la disminución se inicia en 2005, donde es más leve y para las edades 1 y 2 años o

en 2011, a partir de la cual la disminución es más acusada y es generalizada para todas las edades. El análisis de las causas de dicha disminución apunta a que en parte está relacionado con el aumento reciente de la abundancia de juveniles, del reclutamiento y de la biomasa del stock. Otros factores potenciales como la pesca y la alimentación no presentan evidencias en la disminución del peso de la anchoa. El calentamiento del mar en el golfo de Vizcaya no puede descartarse como causante de dicha disminución de los pesos y podría tener un papel secundario o indirecto que se ve más en la edad 2 años.

Juveniles del bonito

Los resultados de los análisis de las capturas de túnidos en el golfo de Vizcaya indican que los túnidos llegan ahora antes. En el caso del bonito, llega ahora 8 días antes que hace 40 años (periodo de análisis 1967–2005), mientras que el atún rojo llega 14 días antes que hace 25 años (periodo de análisis 1981–2005).

En un estudio reciente (Chust et al., 2019) que analiza las capturas durante el periodo 1981–2017, concluye que, asociado al calentamiento del mar, la llegada de los juveniles de bonito se adelanta a una tasa de 2,3 días por década. Asimismo, se ha observado un ligero desplazamiento del hábitat del bonito hacia el norte.

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones son las siguientes:

- En el mar Cantábrico se observa un calentamiento desde la década de los 80, del orden de 0,10–0,20°C por década en toda la columna de agua, desde la superficie hasta los 1000 m, siendo más intenso en la superficie y cercano a la costa guipuzcoana que en los primeros 100 m y considerando todo el golfo de Vizcaya. El calentamiento del mar a nivel del golfo de Vizcaya observado estaría asociado al calentamiento del Atlántico noreste, ligado a los patrones de interacción océano-atmósfera, asociados al cambio climático. El calentamiento del mar más acusado en la costa vasca podría explicarse por la influencia terrestre y de la plataforma continental y, por lo tanto, al calentamiento del aire, el cual es el principal indicador de cambio climático.
- En los primeros 100 metros de la columna de agua, en la estación situada frente a Pasaia, se observa una tendencia a la disminución de la salinidad (0,029 por década en el periodo 1993–2019). Sin embargo, no es difícil asociar este descenso a procesos de escala global relacionados con el cambio climático.
- El calentamiento del mar estaría produciendo la profundización de la capa de mezcla, a una tasa de 21 m por década desde 1986. Asimismo, la isoterma de 14°C se está también profundizando.
- El nivel medio del mar en el golfo de Vizcaya está ascendiendo a una tasa de entre 1,5 y 3,5 cm por década desde los años 90, y además se está acelerando, en consistencia con el ascenso a nivel global.
- En los últimos 30 años se ha observado el aumento de la altura de ola significativa de, como mínimo, 1,8 cm por década (boya Bilbao Vizcaya) aunque no es estadísticamente significativo. Sí se han observado cambios importantes en las condiciones extremas, como aumentos significativos en el percentil 90 mensual de altura de ola significativa (7,7% por década) y de la altura de ola asociada a 100 años de periodo de retorno (13,4% por década). No obstante, estas tendencias no pueden ser atribuidas directamente al cambio climático.
- Una posible consecuencia del incremento del oleaje y, en particular de ciertos eventos extremos, es la erosión de la línea de costa de la pleamar y reducción de la superficie supramareal tal y como se observa en el periodo 2010–2019 en la playa de Zarautz. Sin embargo, la serie analizada es corta para representar tendencias de mayor escala cómo las atribuidas al efecto del cambio climático.
- La gran variabilidad en la concentración de clorofila no ha permitido identificar una tendencia clara en la concentración de clorofila frente a la costa guipuzcoana. Sin embargo, a escala del golfo de Vizcaya, con datos de satélite, se ha detectado un aumento en el periodo 2003–2019, aunque todavía no se ha establecido su posible relación con el cambio climático. No se han apreciado cambios en la composición de las especies de fitoplancton relacionadas con sus rangos óptimos de temperatura, a diferencia de las comunidades bentónicas.
- El calentamiento del mar y del aire podría explicar en parte el incremento del índice termal de la comunidad del bentos de sustrato rocoso y sustrato blando, esto es, mejores condiciones para las especies de aguas cálidas.
- El calentamiento del mar parece también inducir el avance de la puesta de la anchoa y la llegada de los juveniles del bonito durante su migración trófica, así como la distribución latitudinal de la puesta del verdel.

Tendencias observadas en los indicadores

Indicador	Descripción	Estación/ Zona	Unidad	Periodo	Tendencia (/década)	p-valor
TEMPERATURA DEL MAR	SST AQUARIUM	AQUARIUM	°C	1946-1980	-0,216 ± 0,055	0,0001
	SST AQUARIUM	AQUARIUM	°C	1980-2019	0,232 ± 0,035	0,0000
	SST SATÉLITE	GOLFO VIZCAYA	°C	2003-2019	0,106 ± 0,041	0,0092
	SST REANÁLISIS	GOLFO VIZCAYA	°C	1986-2019	0,252 ± 0,049	0,0000
	T POR PROF. 0-100 M	D2	°C	1986-2019	0,154 ± 0,041	0,0002
SALINIDAD	S 0-100 M	D2		1986-2019	-0,022 ± 0,015	0,1620
	S 0-100 M	D2		1993-2019	-0,015 ± 0,021	0,4810
	S 0-100 M POR PROF.	D2		1993-2020	-0,030 ± 0,012	0,0095
CAPA DE MEZCLA Y ESTRATIFICACIÓN	PROF. ISOTERMA 14°C	D2	m	1993-2019	-5,038 ± 2,092	0,0167
	PROF. ISOTERMA 14°C (ABRIL-DICIEMBRE)	D2	m	1993-2019	-2,426 ± 2,414	0,3165
	ESTRAT. TÉRMICA	D2	°C/m	1993-2019	-0,011 ± 0,030	0,7240
	ESTRAT. TERMOHALINA	D2	Kg m ⁻³ / m	1993-2019	0,015 ± 0,016	0,3528
	PROF. CAPA DE MEZCLA INVERNAL	D2	m	1986-2019	-21,390 ± 9,940	0,0391
OXÍGENO DISUELT	DO SUPERFICIE	RED DE CALIDAD	mg/l	1995-2019	0,144 ± 0,021	0,0000
	DO 25 M	RED DE CALIDAD	mg/l	1995-2019	0,090 ± 0,022	0,0000
	DO 100 M	RED DE CALIDAD	mg/l	1995-2019	-0,253 ± 0,062	0,0001
NUTRIENTES	NH ₄	RED DE CALIDAD	µmol/l	1995-2019	0,171 ± 0,075	0,0227
	PO ₄	RED DE CALIDAD	µmol/l	1995-2019	0,013 ± 0,005	0,0080
	NO ₂	RED DE CALIDAD	µmol/l	1995-2019	-0,005 ± 0,004	0,1998
	NO ₃	RED DE CALIDAD	µmol/l	1995-2019	0,279 ± 0,096	0,0038
	SiO ₄	RED DE CALIDAD	µmol/l	1995-2019	0,447 ± 0,103	0,0000
NIVEL DEL MAR	NMM VIGO 2	VIGO2	cm	1992-2019	1,534 ± 0,711	0,0407
	NMM VIGO	VIGO	cm	1943-1990	2,481 ± 0,429	0,0000
	NMM GIJON 2	GIJON 2	cm	1995-2019	0,375 ± 0,555	0,5053
	NMM SANTANDER 2	SANTANDER2	cm	1992-2019	1,800 ± 0,325	0,0000

Indicador	Descripción	Estación/ Zona	Unidad	Periodo	Tendencia (/década)	p-valor
NIVEL DEL MAR	NMM NEWLYN	NEWLYN	cm	1915-2016	1,860 ± 0,088	0,0000
	NMM BREST	BREST	cm	1846-2019	1,253 ± 0,054	0,0000
	NMM BREST	BREST	cm	1992-2019	2,481 ± 0,442	0,0000
	NMM CORUÑA2	CORUÑA 2	cm	1992-2019	3,532 ± 0,647	0,0000
	NMM CORUÑA	CORUÑA	cm	1943-2019	1,968 ± 0,194	0,0000
	NMM BILBAO3	BILBAO3	cm	1992-2019	2,965 ± 0,328	0,0000
	NMM PASAIA	PASAIA	cm	2007-2019	4,2	0,0001
	NMM SATÉLITE	GOLFO VIZCAYA	cm	1993-2019	2,418 ± 0,438	0,0000
OLEAJE	HS BOYA	BOYA BIL- BAO-VIZCAYA	cm	1991-2019	1,791 ± 3,160	0,5709
	HS BOYA	BOYA DONOSTIA	cm	2007-2019	2,674 ± 10,041	0,7900
	PW BOYA	BILBAO-VIZCAYA	kW/m	1991-2019	0,504 ± 1,107	0,6492
	PW BOYA	DONOSTIA	kW/m	2007-2019	0,735 ± 3,582	0,8373
	HS90 BOYA	BILBAO-VIZCAYA	cm	1991-2019	27,165 ± 8,566	0,0017
	HS90 BOYA	DONOSTIA	cm	2007-2019	14,111 ± 26,746	0,5988
	HS100 BOYA	BILBAO-VIZCAYA	cm	2001-2019	167,129 ± 40,658	0,0007
	HS100 BOYA	DONOSTIA	cm	2017-2019	116,078 ± 31,148	0,1669
	GOW HS BOYA BILBAO-VIZCAYA		cm	1979-2019	-0,218 ± 1,815	0,9044
	GOW HS BOYA BILBAO-VIZCAYA		cm	1991-2019	2,732 ± 2,958	0,3558
	SIMAR HS BOYA BILBAO-VIZCAYA		cm	1958-2019	4,011 ± 0,929	0,0000
	SIMAR HS BOYA BILBAO-VIZCAYA		cm	1979-2019	5,169 ± 1,706	0,0024
	SIMAR HS BOYA BILBAO-VIZCAYA		cm	1991-2019	8,333 ± 2,768	0,0026
	GOW HS BOYA DONOSTIA		cm	1979-2019	-0,257 ± 1,815	0,8875
	GOW HS BOYA DONOSTIA		cm	2007-2019	12,870 ± 9,952	0,1960
	GOW PW BOYA BILBAO-VIZCAYA		kW/m	1979-2019	-0,421 ± 0,747	0,5730
	GOW PW BOYA BILBAO-VIZCAYA		kW/m	1991-2019	1,255 ± 1,172	0,2843
	SIMAR PW BOYA BILBAO-VIZCAYA		kW/m	1958-2019	1,196 ± 0,293	0,0000
	SIMAR PW BOYA BILBAO-VIZCAYA		kW/m	1979-2019	1,625 ± 0,544	0,0028
	SIMAR PW BOYA BILBAO-VIZCAYA		kW/m	1991-2019	3,212 ± 0,884	0,0003
	GOW HS90 BOYA BILBAO-VIZCAYA		cm	1979-2019	-0,636 ± 3,920	0,8711
	GOW HS90 BOYA BILBAO-VIZCAYA		cm	1991-2019	6,116 ± 6,494	0,3470
	SIMAR HS90 BOYA BILBAO-VIZCAYA		cm	1958-2019	3,969 ± 1,954	0,0426
	SIMAR HS90 BOYA BILBAO-VIZCAYA		cm	1979-2019	5,276 ± 3,641	0,1481

Indicador	Descripción	Estación/ Zona	Unidad	Periodo	Tendencia (/década)	p-valor
OLEAJE	SIMAR HS90 BOYA BILBAO-VIZCAYA		cm	1991-2019	11,274 ± 6,435	0,0807
	GOW HS90 BOYA DONOSTIA		cm	2007-2019	24,424 ± 23,192	0,2940
	GOW HS100 BOYA BILBAO-VIZCAYA		cm	1989-2019	10,615 ± 17,959	0,5591
	GOW HS100 BOYA BILBAO-VIZCAYA		cm	2001-2019	-15,391 ± 30,29	0,6180
	SIMAR HS100 BOYA BILBAO-VIZCAYA		cm	1968-2019	45,192 ± 9,404	0,0000
	SIMAR HS100 BOYA BILBAO-VIZCAYA		cm	2001-2019	182,736 ± 34,2	0,0001
TEMPERATURA DEL AIRE	T AIRE	IGELDO	°C	1928-2019	0,1947 ± 0,0466	0,0000
	T AIRE	IGELDO	°C	1980-2019	0,3057 ± 0,1601	0,0562
	T AIRE	HONDARRIBIA	°C	1971-2017	0,3693 ± 0,0424	0,0000
	T AIRE	HONDARRIBIA	°C	1980-2017	0,2480 ± 0,0588	0,0000
HORAS DE SOL	HORAS DIARIAS	IGELDO	h	1947-2019	0,0462 ± 0,0156	0,0031
	HORAS DIARIAS	HONDARRIBIA	h	1980-2019	0,2615 ± 0,0387	0,0000
VIENTO	VELOCIDAD MEDIA	IGELDO	m/s	1980-2019	-0,2875 ± 0,030	0,0000
	VELOCIDAD MEDIA	HONDARRIBIA	m/s	1995-2019	0,4558 ± 0,0275	0,0000
	VELOCIDAD MEDIA	BOYA GASCOG-NE	m/s	1998-2019	0,2431 ± 0,0873	0,0054
	VEL. MAX DIARIA	BOYA GASCOG-NE	m/s	1998-2019	0,3504 ± 0,1126	0,0019
	U MED. DIARIA	BOYA GASCOG-NE	m/s	1998-2019	-0,0623 ± 0,212	0,7691
	V MED. DIARIA	BOYA GASCOG-NE	m/s	1998-2019	-0,0623 ± 0,212	0,7691
PRECIPITACIÓN	PREC. AC. ANUAL	IGELDO	mm	1980-2019	34,530 ± 30,410	0,2630
	PREC. AC. ANUAL	HONDARRIBIA	mm	1980-2019	78,650 ± 41,660	0,0667
	PREC. ANUAL EXTR.	IGELDO	día	1980-2019	0,2140 ± 0,1600	0,1870
	PREC. ANUAL EXTR.	HONDARRIBIA	día	1980-2019	0,5420 ± 0,2020	0,0108
CAUDAL		OIARTZUN	m ³ /s	1997-2019	0,1550 ± 0,057	0,0065
		URUMEA	m ³ /s	1992-2019	0,086 ± 0,048	0,0738
		ORIA	m ³ /s	1999-2019	0,115 ± 0,065	0,0741
		UROLA	m ³ /s	1996-2019	0,033 ± 0,051	0,5242
		DEBA	m ³ /s	1995-2019	0,024 ± 0,049	0,6177
		ADOUR	m ³ /s	1967-2019	-0,066 ± 0,016	0,0001

Indicador	Descripción	Estación/ Zona	Unidad	Periodo	Tendencia (/década)	p-valor
LÍNEA DE COSTA	BAJAMAR	ZARAUZ	m	2010-2019	17,180	
	PLEAMAR	ZARAUZ	m	2010-2019	-4,490	
EROSIÓN PLAYAS	ÁREA SUPRAMAREAL	ZARAUZ	m ²	2010-2019	-1535,1 ± 7765,6	0,8437
	ÁREA INTERMAREAL	ZARAUZ	m ²	2010-2019	30544,1 ± 9793,9	0,0023
FITOPLANCTON	COMUNIDAD	RED DE CALIDAD	°C	2002-2019	-0,1523 ± 0,281	0,5883
	ABUNDANCIA TOTAL	RED DE CALIDAD		2002-2019	45309,339 ± 82416,0366	0,5828
	CHLA SUPERFICIE	D2	µg/l	1993-2019	0,0632 ± 0,0733	0,3892
	CHLA 0-50 M	D2	µg/l	1993-2019	0,0207 ± 0,0411	0,6156
	CHLA POR PROF.	D2	µg/l	1993-2019	0,0362 ± 0,0103	0,0004
	PROF. MAX. CHLA	D2	m	1993-2019	0,2595 ± 1,6202	0,8729
	CHLA (0M+25M)	RED DE CALIDAD	µg/l	1995-2019	0,0226 ± 0,0345	0,5133
	CHLA SUP. SATELLITE	GOLFO VIZCAYA	mg-m ³	2003-2019	0,0543 ± 0,0126	<0,001
	CHLA SUP. SAT	FRENTE DONOSTIA	mg-m ³	2003-2019	0,0834 ± 0,0635	0,1894
	CHLA SAT FENOLOGÍA	GOLFO VIZCAYA	mg-m ³	2003-2019	-0,5245 ± 0,645	0,4290
BENTOS SUSTRATO ROCOSO	CTI COM. SUSTRATO ROCOSO	RED DE CALIDAD	°C	2002-2019	0,2700	0,0030
BENTOS SUSTRATO BLANDO	CTI COM. SUSTRATO BLANDO	RED CALIDAD	°C	1995-2019	0,1600	0,0032
PECES	PESO ANCHOA EDAD 2	BIOMAN	g	1987-2019	-3,300	<0,001

REFERENCIAS

- Alcock, R. (2003) The effects of climate change on rocky shore communities in the Bay of Biscay, 1895–2050. PhD. Thesis, University of Southampton, 296.
- Behrenfeld, M.J., O'Malley, R.T., Boss, E.S., Westberry, T.K., Graff, J.R., Halsey, K.H., Milligan, A.J., Siegel, D.A. and Brown, M.B. (2016) Revaluating ocean warming impacts on global phytoplankton. *Nature Climate Change*, 6, 323–330.
- Bindoff, N.L., Cheung, W.W.L., Kairo, J.G., Arístegui, J., Guinder, V.A., Hallberg, R., Hilmi, N., Jiao, N., Karim, M.S., Levin, L., O'Donoghue, S., Cuicapusa, S.R.P., Rinkevich, B., Suga, T., Tagliabue, A. and Williamson, P. (2019) Changing Ocean, Marine Ecosystems, and Dependent Communities. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.
- Blunden, J. and Arndt, D.S. (2019) State of the Climate in 2018. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 100 (9): Si-S305, doi:10.1175/2019BAMSStateoftheClimate.1.
- Bopp, L., Resplandy, L., Orr, J.C., Doney, S.C., Dunne, J.P., Gehlen, M., Halloran, P., Heinze, C., Ilyina, T., Séférian, R., Tjiputra, J. and Vichi, M. (2013) Multiple stressors of ocean ecosystems in the 21st century: projections with CMIP5 models. *Biogeosciences*, 10, 6225–6245.
- Borja, A., Chust, G., Fontán, A., Garmendia, J.M. and Uyarra, M.C. (2018) Long-term decline of the canopy-forming algae *Gelidium corneum*, associated to extreme wave events and reduced sunlight hours, in the southeastern Bay of Biscay. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 205, 152–160.
- Borja, Á., Chust, G., Rodríguez, J.G., Bald, J., Belzunce-Segarra, M.J., Franco, J., Garmendia, J.M., Larreta, J., Menchaca, I., Muxika, I., Solaun, O., Revilla, M., Uriarte, A., Valencia, V. and Zorita, I. (2016) 'The past is the future of the present': Learning from long-time series of marine monitoring. *Sci. Total Environ.*, 566–567, 698–711.
- Borja, Á., Fontán, A. and Muxika, I. (2013) Interactions between climatic variables and human pressures upon a macroalgae population: Implications for management. *Ocean Coast. Manage.*, 76, 85–95.
- Bruge, A., Alvarez, P., Fontán, A., Cotano, U. and Chust, G. (2016) Thermal Niche Tracking and Future Distribution of Atlantic Mackerel Spawning in response to Ocean Warming. *Frontiers in Marine Science*, 3, 86.
- Casado-Amezúa, P., Araújo, R., Bárbara, I., Bermejo, R., Borja, Á., Díez, I., Fernández, C., Gorostiaga, J.M., Guinda, X., Hernández, I., Juanes, J.A., Peña, V., Peteiro, C., Puente, A., Quintana, I., Tuya, F., Viejo, R.M., Altamirano, M., Gallardo, T. and Martínez, B. (2019) Distributional shifts of canopy-forming seaweeds from the Atlantic coast of Southern Europe. *Biodivers. Conserv.*, 28, 1151–1172.
- Cheung, W.W.L., Watson, R. and Pauly, D. (2013) Signature of ocean warming in global fisheries catch. *Nature*, 497, 365–368.
- Chust, G., Allen, J.I., Bopp, L., Schrum, C., Holt, J., Tsiaras, K., Zavatarelli, M., Chifflet, M., Cannaby, H., Dadou, I., Daewel, U., Wakelin, S.L., Machu, E., Pushpadas, D., Butenschon, M., Artioli, Y., Petihakis, G., Smith, C., Garçon, V., Goubanova, K., Le Vu, B., Fach, B.A., Salihoglu, B., Clementi, E. and Irigoien, X. (2014) Biomass changes and trophic amplification of plankton in a warmer ocean. *Global Change Biol.*, 20, 2124–2139.
- Chust, G., Goikoetxea, N., Ibaibarriaga, L., Sagarmínaga, Y., Arregui, I., Fontán, A., Irigoien, X. and Arrizabalaga, H. (2019) Earlier migration and distribution changes of albacore in the Northeast Atlantic. *Fish. Oceanogr.*, 28, 505–516.
- Chust, G., M. González, A. Fontán, M. Revilla, P. Alvarez, M. Santos, U. Cotano, M. Chifflet, A. Borja, I. Muxika, Y. Sagarmínaga, A. Caballero, I. De Santiago, I. Epelde, P. Liria, A. Lanzén, L. Alonso, L. Ibaibarriaga, R. Garnier, E. Ramírez, J. Franco, Ernesto Villarino (2020). *Servicios de Asistencia técnica para el seguimiento y análisis de indicadores físico-químicos y biológicos del cambio climático en el litoral de Gipuzkoa en relación a la evolución de dichos indicadores, así como posibles escenarios, impactos y adaptación futuros. Inventario final elaborado por AZTI para Naturklima. 163 pp.*
- Dave, A.C. and Lozier, M.S. (2013) Examining the global record of interannual variability in stratification and marine productivity in the low-latitude and mid-latitude ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118, 3114–3127.
- Díez, I., Muguerza, N., Santolaria, A., Ganzedo, U. and Gorostiaga, J.M. (2012) Seaweed assemblage changes in the eastern Cantabrian Sea and their potential relationship to climate change. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 99, 108–120.
- Díez, I., Santolaria, A., Muguerza, N. and Gorostiaga, J.M. (2014) Capacity for recovery of rocky subtidal assemblages following pollution abatement in a scenario of global change. *Mar. Pollut. Bull.*, 86, 197–209.

Domingues, C.M., Church, J.A., White, N.J., Gleckler, P.J., Wijffels, S.E., Barker, P.M. and Dunn, J.R. (2008) Improved estimates of upper-ocean warming and multi-decadal sea-level rise. *Nature*, 453, 1090–1093.

Duarte, L., Viejo, R.M., Martínez, B., deCastro, M., Gómez-Gesteira, M. and Gallardo, T. (2013) Recent and historical range shifts of two canopy-forming seaweeds in North Spain and the link with trends in sea surface temperature. *Acta Oecol.*, 51, 1–10.

EPA (2016) Climate Change Indicators in the United States. Technical Documentation Overview. US Environmental Protection Agency. 15pp.

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

Fernández, C. (2016) Current status and multidecadal biogeographical changes in rocky intertidal algal assemblages: The northern Spanish coast. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 171, 35–40.

Garmendia, M., Borja, A. and Muxika, I. (2008) Long-term environmental, climatic and anthropogenic factors affecting subtidal soft-bottom benthic communities, within the Basque coast. *Revista de Investigación Marina, AZTI-Tecnalia*, 2, 1–28.

GCOS (2017) Indicators of Climate Change. Outcome of a meeting. Technical Report, 206. WMO, Geneva, Switzerland, 3 February 2017. Available at https://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=3418.

GonzálezGil, R., González Taboada, F., Cáceres, C., Largier, J.L. and Anadón, R. (2018), Wintermixing preconditioning of the spring phytoplankton bloom in the Bay of Biscay. *Limnol. Oceanogr.*, 63, 1264–1282. <https://doi.org/10.1002/lno.10769>.

González-Pola, C., Lavín, A., Díaz del Río, G., Cabanas, J.M., Ruiz-Villarreal, M., Somavilla, R., Rodríguez, C., González-Nuevo, G. and Nogueira, E. (2012) Hidrografía y circulación. En: *Cambio climático y oceanográfico en el Atlántico del norte de España*. Inst. Español de Oceanografía. 69–98 pp.

IPCC-AR5 (2013) The Physical Science Basis. Working Group I. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press. 1535pp.

IPCC (2019) Technical Summary [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing*

Climate [H.- O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

Laffoley, D.B., J.M. (eds.) (2019) Ocean deoxygenation: Everyone's problem - Causes, impacts, consequences and solutions. Full report. Gland, Switzerland: IUCN. 580pp.

Martínez, B., Afonso-Carrillo, J., Anadón, R., Araújo, R., Arenas, F., Arrontes, J., Borja, A., Díez, I., Duarte, L., Fernández, C., Tasende, M.G., Gorostiaga, J.M., Peteiro, C., Puente, A., Rico, J.M., Sangil, C., Sansón, M., Tuya, F., Bárbara, I., Juanes, J.A. and Viejo, R.M. (2015) Regresión de las algas marinas en la costa atlántica de la Península ibérica y en las Islas Canarias por efecto del cambio climático. *ALGAS, Boletín Informativo de la Sociedad Española de Ficología*, 49, 5–12.

Muguerza, N., Díez, I., Quintano, E., Bustamante, M. and Gorostiaga, J.M. (2017) Structural impoverishment of the subtidal vegetation of southeastern Bay of Biscay from 1991 to 2013 in the context of climate change. *J. Sea Res.*, 130, 166–179.

Pauly, D. and Cheung, W.W.L. (2018) Sound physiological knowledge and principles in modeling shrinking of fishes under climate change. *Global Change Biol.*, 24, e15–e26.

Pérez, L., Borja, A., Rodríguez, J.G. and Muxika, I. (2009) Long-term environmental, anthropogenic and climatic factors explaining spatial and temporal distribution of soft-bottom benthic communities within the Basque estuaries. *Revista de Investigación Marina*, 14, 1–22.

Perry, A.L., Low, P.J., Ellis, J.R. and Reynolds, J.D. (2005) Climate Change and Distribution Shifts in Marine Fishes. *Science*, 308, 1912–1915.

Poloczanska, E.S., Brown, C.J., Sydeman, W.J., Kiessling, W., Schoeman, D.S., Moore, P.J., Brander, K., Bruno, J.F., Buckley, L.B., Burrows, M.T., Duarte, C.M., Halpern, B.S., Holding, J., Kappel, C.V., O'Connor, M.I., Pandolfi, J.M., Parmesan, C., Schwing, F., Thompson, S.A. and Richardson, A.J. (2013) Global imprint of climate change on marine life. *Nature Clim. Change*, 3, 919–925.

Poloczanska, E.S., Burrows, M.T., Brown, C.J., Garcia Molinos, J., Halpern, B.S., Hoegh-Guldberg, O., Kappel, C.V., Moore, P.J., Richardson, A.J., Schoeman, D.S. and Sydeman, W.J. (2016) Responses of marine organisms to climate change across oceans. *Frontiers in Marine Science*, 3.

Punzón, A. and Villamor, B. (2009) Does the timing of the spawning migration change for the southern component of the Northeast Atlantic Mackerel (*Scomber scombrus*, L. 1758)? An approximation using fishery analyses. *Cont. Shelf Res.*, 29, 1195–1204.

- Ramos, E., Guinda, X., Puente, A., de la Hoz, C.F. and Juanes, J.A. (2020) Changes in the distribution of intertidal macroalgae along a longitudinal gradient in the northern coast of Spain. *Mar. Environ. Res.*, 157, 104930.
- Reguero, B.G., Losada, I.J. and Méndez, F.J. (2019) A recent increase in global wave power as a consequence of oceanic warming. *Nature Communications*, 10, 205.
- Siegel, D.A., Maritorea, S., Nelson, N.B., Behrenfeld, M.J. and McClain, C.R. (2005) Colored dissolved organic matter and its influence on the satellite-based characterization of the ocean biosphere. *Geophys. Res. Lett.*, 32.
- Staudinger, M.D., Mills, K.E., Stamieszkin, K., Record, N.R., Hudak, C.A., Allyn, A., Diamond, A., Friedland, K.D., Golet, W., Henderson, M.E., Hernandez, C.M., Huntington, T.G., Ji, R., Johnson, C.L., Johnson, D.S., Jordaan, A., Kocik, J., Li, Y., Liebman, M., Nichols, O.C., Pendleton, D., Richards, R.A., Robben, T., Thomas, A.C., Walsh, H.J. and Yakola, K. (2019) It's about time: A synthesis of changing phenology in the Gulf of Maine ecosystem. *Fish. Oceanogr.*, 28, 532–566.
- Steinacher, M., Joos, F., Frölicher, T.L., Bopp, L., Cadule, P., Cocco, V., Doney, S.C., Gehlen, M., Lindsay, K., Moore, J.K., Schneider, B. and Segschneider, J. (2010) Projected 21st century decrease in marine productivity: a multi-model analysis. *Biogeosciences*, 7, 979–1005.
- Trombetta, T., Vidussi, F., Mas, S., Parin, D., Simier, M. and Mostajir, B. (2019) Water temperature drives phytoplankton blooms in coastal waters. *Plos One*, 14.
- Ulazia, A., Penalba, M., Ibarra-Berastegui, G., Ringwood, J. and Saénz, J. (2017) Wave energy trends over the Bay of Biscay and the consequences for wave energy converters. *Energy*, 141, 624–634.
- Vicente-Serrano, S.M., Rodríguez-Camino, E., Domínguez-Castro, F., Kenawy, A.E. and Azorin-Molina, C. (2017) An updated review on recent trends in observational surface atmospheric variables and their extremes over Spain. *Cuadernos de Investigación Geográfica*. 49: 209–232.
- Villarino, E., Irigoien, X., Villate, F., Iriarte, A., Uriarte, I., Zervoudaki, S., Carstensen, J., O'Brien, T.D. and Chust, G. (2020) Response of copepod communities to ocean warming in three time-series across the North Atlantic and Mediterranean Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 636, 47–61.
- Voerman, S.E., Llera, E. and Rico, J.M. (2013) Climate driven changes in subtidal kelp forest communities in NW Spain. *Mar. Environ. Res.*, 90, 119–127.
- Young, I.R., Zieger, S., and Babanin, V. (2011). Global trends in wind speed and wave height. *Science*, 22, 451–455.
- Zeng, Z., Ziegler, A.D., Searchinger, T., Yang, L., Chen, A., Ju, K., Piao, S., Li, L.Z.X., Ciais, P., Chen, D., Liu, J., Azorin-Molina, C., Chappell, A., Medvigy, D. and Wood, E.F. (2019) A reversal in global terrestrial stilling and its implications for wind energy production. *Nature Climate Change*, 9, 979–985.



Anexos Glosario Referencias



Gipuzkoako
Foru Aldundia
Departamento de Medio Ambiente
y Obras Hidráulicas



ETORKIZUNA ORAIN
Es futuro

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 salud¹) facilitarán la toma de decisiones, todo ello encaminado a mejorar e incrementar la resiliencia del territorio frente al cambio climático.

El objetivo de estos indicadores es:

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

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

¹ 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.



		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
VARIABLES CLIMÁTICAS																	
	Temperatura media anual (°C)	P	12,4	13,6	12,5	12,5	13,0	12,3	14,0	13,1	14,1	13,7	13,6	13,5	13,5	13,3	13,9
	Media de temperaturas mínimas diarias (°C)	P	8,2	9,3	8,6	9,0	8,2	9,9	8,9	9,1	10,0	9,6	9,5	9,3	9,6	9,1	9,9
	Media de temperaturas máximas diarias (°C)	P	17,4	18,5	17,3	17,4	18,0	17,1	18,8	18,2	17,5	18,7	18,5	18,6	18,0	18,7	19,0
	Mínimo de las temperaturas mínimas diarias (°C)	P	-7,7	-4,2	-5,3	-2,2	-4,4	-4,9	-3,0	-5,2	-2,6	-3,1	-1,7	-4,7	-5,7	-2,8	-1,1
	Máximo de las temperaturas máximas diarias (°C)	P	36,7	36,1	35,8	34,7	37,1	36,4	38,4	39,6	37,6	37,4	38,2	37,0	34,9	38,9	38,9
	Número de días fríos (días)	P						173,0	202,0	203,0	180,0	181,0	194,0	196,0	190,0	216,0	183,0
	Número de días cálidos (días)	P						8,0	15,0	7,6	3,9	12,0	14,0	12,0	6,0	10,0	10,0
	Número de olas de calor (días)	P	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1 (3 DÍAS)	0,0	0,0	0,0	1 (4 DÍAS)	0,0	0,0	1 (5 DÍAS)	
	Número de días de helada (días)	P	39,0	26,0	20,0	11,0	20,0	32,0	11,0	12,0	5,0	12,0	6,0	20,0	14,0	9,0	6,0
	Precipitación media anual (mm)	P	1.486,3	1.061,3	1.460,8	1.729,9	1.432,8	1.296,9	1.277,0	1.327,5	2.049,7	1.503,2	1.447,8	1.477,5	1.597,1	1.651,6	1.424,1
	Número de noches tropicales (días)	P							1,2	3,6	4,4	2,9	1,8	2,7	1,9	1,9	2,9
	Número de días de lluvia (días)	P	180,0	171,0	189,0	205,0	183,0	191,0	165,0	188,0	210,0	185,8	198,0	185,0	211,0	143,0	187,0
	Número de días soleados/despejados (días)	P	42,0	34,0	33,0	25,0	33,0	23,0	45,0	38,0	28,0	38,0	33,0	47,0	29,0	44,0	42,0
	Precipitación máxima en 24 horas (mm)	P	56,6	60,8	72,0	62,6	86,4	73,5	114,3	54,1	73,5	88,5	78,0	71,3	81,6	64,9	56,3
	Humedad relativa (%)	P	80,0	80,2	84,2	85,0	83,6	81,5	80,8	82,2	83,3	81,1	81,7	81,8	84,4	80,2	79,4
	Velocidad media del viento (km/h)	P	10,7	10,9	9,9	10,9	10,3	9,7	10,0	9,6	10,7	10,5	10,6	10,2	10,1	9,1	
	Número de alertas meteorológicas	P	9,0	9,0	7,0	11,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	10,0	7,0	12,0	9,0	7,0	9,0
	Días grados de refrigeración (°C)	I						131,4	164,2	128,3	121,6	150,3	145,0	148,7	118,9	134,0	146,5
	Días grados de calefacción (°C)	I						872,4	1.059,3	1.045,4	833,9	929,6	905,1	1.009,4	1.017,2	936,2	871,8

		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
RECURSOS HÍDRICOS																	
	Caudal medio anual (m³/s)	I															
	Endara	0,2			0,3			0,3	0,5	0,5	0,5	0,4	0,3	0,6	0,3	0,4	
	Oiartzun				2,8		2,1	0,5	4,0		2,8	2,0	2,2	3,6	2,0	2,7	
	Añarbe			2,3	2,9	2,2	2,2	2,2	3,3	3,1	3,2	2,3	2,1	3,8	2,2	2,5	
	Ereñozu		8,5	8,5	10,8	7,3	8,1	8,8	14,1	12,4	12,0	8,5	7,2	14,4	7,9	8,7	
	Arriaran	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	
	Estanda	0,9	0,9	0,9	1,4	1,1	0,6	0,7	2,1	1,1	1,5	0,9	0,6	1,5	0,7	0,8	
	Agauntza	1,6	1,7	1,5	2,3	1,8	1,4	1,7	3,3	2,0	2,5	1,7	1,4	2,8	1,4	1,5	
	Amundarain	0,9	1,0	0,8	1,2	0,9	0,8	0,9	1,5	1,1	1,2	0,8	0,7	1,5	0,8	0,8	
	Ibiur						0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	
	Alegia	6,6	6,6	6,0	9,7	6,7	4,8	6,3	13,4	7,7	11,3	7,5	5,2	12,7	5,9	6,6	
	Araxes							3,5	6,6	4,3	4,9	3,7	3,0	6,2	3,3	3,5	
	Belauntza	1,0	1,1	1,0	1,3	1,0	1,2	1,3	1,9	1,3	1,7	1,2	1,0	2,0	1,1	1,1	
	Leitzarain	4,3	4,8	4,4	5,3	4,0	4,2	4,4	7,5	6,0	6,3	4,6	3,8	7,7	4,1	4,6	
	Lasarte	19,8	21,0	19,0	28,7	20,2	19,0	22,2	40,6	25,8	29,3	21,1	17,5	36,9	18,2	19,7	
	Barrendiola	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	
	Aitzu		1,4	1,2	2,1	1,5	1,2	1,3	2,6	1,7	2,1	1,5	0,9	2,4	1,2	1,4	
	Ibaieder	1,4	1,2	1,1	2,1	1,2	1,0	1,4	2,9	1,5	1,9	1,3	0,9	2,2	0,9	1,0	
	Matxinbenta	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	



	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Aizamazabal	6,5	6,1	5,5	9,6	6,3	5,8	7,4	13,0	7,7	9,4	6,7	5,4	11,1	5,3	6,2	
San Prudentzio	2,3	2,3	2,2	3,4	2,2	1,6	2,0	4,7	2,9	3,9	2,6	1,6	4,0	2,1	2,4	
Oñati	2,6	3,0	2,6	4,0	2,9	2,4	2,6	5,3	3,3	4,1	2,9	2,0	4,6	2,3	2,5	
Urkulu		0,2	0,2				0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2	
Aixola	1,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Altzola	9,9	10,4	9,4	14,6	10,4	8,3	9,4	19,0	12,0	15,4	10,4	6,8	16,5	7,6	9,7	
Nivel medio anual del agua																
Oiartzun	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3
Añarbe	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4		0,4	0,4	0,4	0,4
Ereñozu	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5
Arriaran																
Estanda	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Agauntza	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,6	0,3	0,3	0,2
Amundarain	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
Alegia	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4
Araxes								0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	369,0	0,4	0,4	0,3
Belauntza	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,25	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2
Lasarte	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,6	0,6
Aitzu	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
Ibaieder	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Matxinbenta	0,5	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1
Aizarnazabal	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
San Prudentzio	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4
Oñati	0,3		0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,3
Urkulu	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Aixola	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Aitzola	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,7	0,5	0,6	0,5	0,5	0,7	0,5	0,5
Número de eventos de inundación	I	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	3,0		
Número de eventos de embates de mar	I	1,0	0,0	1,0	2,0	2,0	1,0	2,0	1,0	4,0	1,0	4,0	3,0	1,0	4,0	5,0
Nivel piezométrico (m)	P															
Elduaen-3		24,6	21,8	19,8	10,7	17,9	17,6	23,9	23,5	15,7	20,3					
Kilimon-3		6,1	6,2	6,0	5,6	6,4	6,0	6,2	6,0	5,7	6,0					
Hernani-C		3,3	3,5	3,6	3,3	3,5	3,5	3,5	3,5	3,4	3,5					
Legorreta-5		-62,9	-62,9		-64,5	-63,0									-31,2	
Aralar-P4		-377	-39,2	-5,0	-55,5	-46,5	-48,7	-47,9	-48,1	-58,2	-48,7					
DTH-1		109,1	109,9	110,0	106,6	107,7	24,2	107,8	108,1	105,4	105,7					
Jaizkibel-5				38,2	37,6	36,3	35,7	35,9	38,8	36,1	36,2					
Makinetxe		1,8	5,3	1,5	1,5	2,4	2,6	15,2	22,9	1,5	2,8					
Inurritza-2		2,4	2,0	2,0	1,9	1,8	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8					
Calidad de las aguas. Porcentaje de masas de agua con estado o potencial ecológico bueno o muy bueno.	V			0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,8	0,7	



	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Estado ecológico de las aguas de transición y costeras. Porcentaje de masas de agua con estado o potencial ecológico bueno o muy bueno.	I			0,6	0,4	0,6	0,6	0,6	0,3	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	
Demanda total de agua por habitante (l/Hab./ día)	A						179,2	177,4		175,5	170,2	172,5	172,4	168,1	171,0	
Número de habitantes que pueden verse afectados dentro de zonas inundables (Hab./año)											2.444,0					
Nº de ETAP en zonas inundables	E											1,0				
SECTOR AGROFORESTAL																
Bosque (ha)	V	45.931					46.825					47.981		47.721	48.299	47.928
Bosque de plantación (ha)	V	77.645					76.558					74.865		72.231	72.359	72.827
Bosque de galería (ha)	V						956					944		921	921	921
Superficie del territorio bajo figura de protección (ha)	A											44.776	44.776	44.776	44.776	
Porcentaje de superficie forestal ordenada (ha)	V	124.645					124.339					123.790		120.873	121.579	121.676
Hectáreas anuales quemadas por incendios forestales (ha)	I	275,4	18,1	33,8	26,8	612,3	77,4	87,3	97,8	87,3	294,0	10,6	37,5	10,8	51,2	
Superficie de agricultura ecológica (ha)	E										627,0	666,0	750,0	848,0	1.224,0	
Superficie afectada por plagas forestales (ha)	I											2.466	1.354	19.208	8.541	
Evapotranspiración de referencia (mm)	I	2,0	2,1	1,9	1,9	1,9	2,1	2,0	1,9	2,1	2,2	2,1	2,1	2,0	2,1	
Duración o longitud de la estación de crecimiento (días)	I						330,0	310,0	298,0	350,0	325,0	347,0	323,0	308,0	344,0	357,0

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ENERGÍA																
Consumo final de energía (ktep)	I	2.094,4	2.086,0	2.141,3	2.196,9	2.048,7	2.137,0	1.978,3	1.950,2	1.887,7	1.852,8	1.860,4	1.981,1	1.935,8	1.912,2	
Intensidad energética final (%)	A	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
INFRAESTRUCTURAS Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO																
Usos del suelo (ha)																
Matorral	V	10.189,0					8.023,0					7.497,0		10.252,0	9.722,0	9.592,0
Herbazal	V	4.100,0					2.957,0					3.472,0		3.572,0	3.523,0	3.509,0
Monte sin veg. Superior	V	1.185,0					2.827,0					2.672,0		2.672,0	2.670,0	2.669,0
Agrícola	V	1.478,0					1.876,0					2.454,0		2.454,0	2.447,0	2.440,0
Artificial	V	9.909,0					10.024,0					10.612,0		10.610,0	10.609,0	10.624,0
Agua	V	1.098,0					1.144,0					1.097,0		1.098,0	1.093,0	1.093,0
Autopistas y autovías	I	941,0					2.140,0					2.288,0		2.288,0	2.294,0	2.293,0
Minería-escombreras-vertederos	I	658,0					589,0					575,0		575,0	575,0	580,0
Prado con setos / con sebes	V	1.453,0					523,0					487,0		487,0	517,0	517,0
Prado con setos / con sebes	V	35.104,0					37.217,0					36.887,0		36.916,0	36.878,0	36.844,0
Pastizal-matorral	V	3.569,0					5.848,0					5.748,0		5.778,0	5.672,0	5.743,0
Porcentaje de población mayor de 65 años (%)	V	18,1	18,2	18,3	18,4	18,6	19,0	19,4	19,8	20,1	20,6	21,0	21,3	21,9	22,2	22,4
Porcentaje de población menor de 4 años (%)	V	4,7	4,8	4,9	5,0	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1	4,9	4,8	4,7	4,5	4,3	3,1
Daños en los bienes causados por inundación (€)	I											3.656.389,7	276.689,9	4.232.256,8		



	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Superficie de espacios libres (parques, jardines y zonas verdes urbanas) por habitante (m2/Hab.)	V	12,4	12,6	17,1	16,3	18,2										
Daños en los bienes causados por embates del mar (€)	I										19.132,1	2.137.306,8	22.751,2			
Densidad población (Hab./m2)	V	350,4	346,6	347,1	350,3	352,6	353,6	354,9	356,3	357,8	358,9	359,3	360,3	361,0	362,5	364,2
Porcentaje de suelo artificializado (%)	V			6,4	6,6	6,7	6,7	6,7	6,7	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
Indemnizaciones por desastres naturales (consorcio de compensación de seguros)	I		1436.82	4.754.399,0	19.340.580,0	16.078.371,0	9.587.899,0	52.089.6370	20.749,0	4.653.653,0	3.889.124,0	2.414.604,0	6.791.022,0	933.810,0	1.339.764,0	
Municipios con estrategia de cambio climático	A										3,0	3,0	6,0	6,0	6,0	6,0
SALUD																
Casos autóctonos e importados de paludismo, virus del Nilo Occidental, enfermedad de Lyme, etc.	I											88,0	64,0			
Porcentaje de personas >80 años que vive solas (%)	V														0,3	
Número de alertas por altas temperaturas	P	0,0	0,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	3,0	0,0	1,0	2,0	1,0	0,0	2,0	1,0
Mortalidad por exposición al calor natural	I							0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
Universal Thermal Climate Index (UTCI) (°C)	I	6,0	7,2	6,3	5,4	6,2	4,5	7,1	6,2	6,0	6,8	6,4	6,9			



Acidificación del océano: disminución del pH del océano durante un período prolongado, normalmente decenios o períodos más largos, causado primordialmente por la incorporación de dióxido de carbono de la atmósfera, pero también por otras adiciones químicas o sustracciones del océano. La acidificación del océano antropógeno hace referencia a la proporción de la disminución del pH causada por la actividad humana.

Adaptación al cambio climático: proceso de ajuste de los sistemas humanos o naturales al actual o proyectado clima y sus efectos, para moderar o evitar sus daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas.

Altura significativa de ola: promedio de altura entre el punto de depresión y el punto de cresta del tercio más alto de las olas (de viento y de fondo) en un período dado.

Amenaza: en este informe se refiere a los potenciales peligros que representa la probable manifestación de un fenómeno climático, ya sea un evento extremo o cambios progresivos, sobre el objeto de estudio. Cada amenaza se caracteriza por su localización, magnitud o intensidad, frecuencia y probabilidad.

Antropógeno: resultante de la actividad de los seres humanos o producto de esta.

Balance energético: diferencia entre los valores totales de energía entrante y saliente. Si el balance es positivo, se produce un calentamiento; si es negativo, sobreviene un enfriamiento. Promediado a nivel global y durante largos períodos de tiempo, este balance ha de ser igual a cero. Como el sistema climático obtiene virtualmente toda su energía del Sol, un balance nulo implica que, a nivel global, la cantidad de radiación solar absorbida, esto es, la radiación solar entrante debe ser, en promedio, igual a la suma de la radiación solar reflejada en la parte superior de la atmósfera más la radiación saliente de onda larga emitida por el sistema climático.

Base/referencia: estado respecto del cual se mide un cambio. Un período de referencia es el período relativo al cual se computan las anomalías.

Cambio climático: variación del estado del clima que persiste durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios o periodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como 'cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables'. La CMNUCC diferencia, pues, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales.

Cambio del nivel del mar: el nivel del mar puede cambiar, tanto en términos globales como locales, por efecto de: 1) cambios de conformación de las cuencas oceánicas, 2) cambios en el volumen del océano como resultado de un cambio en la masa del agua del océano, y 3) cambios en el volumen del océano como resultado de cambios en la densidad del agua del océano (cambios estéricos).

Cambio global: término genérico que describe los cambios a escala global en los sistemas, incluyendo el sistema climático, los ecosistemas y los sistemas socio-ecológicos. Como motores del cambio global se incluyen todas aquellas actividades que, aunque ejercidas localmente, tienen efectos que trascienden el ámbito local o regional para afectar el funcionamiento global del planeta.

Capacidad de adaptación: capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático a fin de moderar los daños potenciales, aprovechar las consecuencias positivas, o soportar las consecuencias negativas.

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 millares o millones de años. El período de promedio habitual es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial. Las magnitudes son casi siempre variables de superficie (por ejemplo, temperatura, precipitación o viento). En un sentido más amplio, el clima es el estado del sistema climático en términos tanto clásicos como estadísticos.

Downscaling: reducción de escala, método que deriva a escala local (entre 10 y 100 km) información de modelos a gran escala. Puede ser estadístico o dinámico. El downscaling estadístico se basa en encontrar relaciones entre las variables mejor ajustadas (presión, geopotencial, temperatura o parámetros derivados) en baja resolución por los modelos climáticos, y las variables de interés en la zona de estudio. El downscaling dinámico se basa en el aumento de resolución de los modelos en el área donde se sitúa la zona de estudio. Esto puede hacerse aumentando directamente la resolución en dicha área o anidando en el modelo climático de baja resolución un modelo de área limitada de alta resolución.

Efecto radiativo: repercusión en el flujo de la radiación o el índice de calentamiento (por regla general, en el flujo descendente en la parte superior de la atmósfera) causado por la interacción de un determinado elemento con los campos de radiación infrarroja o radiación solar mediante absorción, dispersión y emisión, en relación con una porción idéntica de atmósfera que carezca de ese elemento. Cuantifica la repercusión del elemento en el sistema climático. Entre otros ejemplos de este efecto figuran las interacciones aerosol-radiación, el efecto radiativo de nube y el efecto invernadero.

Efecto invernadero: efecto por el cual la radiación emitida por la superficie de la Tierra y cualquier punto de la atmósfera, es absorbida por los gases de efecto radiativo, las nubes, y en menor medida, los aerosoles. Como consecuencia, la cantidad neta de energía emitida al espacio es generalmente menor que la se habría emitido en ausencia de esos absorbentes. La modificación de la concentración de los gases de efecto invernadero debida a emisiones antropogénicas contribuye a reducir la energía emitida al espacio, incrementando la temperatura global del planeta.

Escenarios climáticos: representación plausible y a menudo simplificada del clima futuro, 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.

Escenarios climáticos regionalizados: escenarios futuros para áreas concretas, de mayor o menor extensión, aunque con mayor resolución que los escenarios globales. Los escenarios climáticos regionalizados sirven como referencia para elaborar estudios de impacto y vulnerabilidad específicos y valorar las necesidades de adaptación al cambio climático en distintos sectores ecológicos, económicos y sociales.

Escenario de emisiones: representación plausible de la evolución futura de las emisiones de sustancias que podrían ser radiativamente activas (ej. gases de efecto invernadero, aerosoles), basada en un conjunto coherente de supuestos sobre las fuerzas que las determinan (ej. desarrollo demográfico y socioeconómico y la evolución tecnológica) y las principales relaciones entre ellos. Los escenarios de concentración, obtenidos a partir de los escenarios de emisión, se introducen en un modelo climático para obtener proyecciones climáticas.

Evapotranspiración: proceso combinado de evaporación en la superficie de la Tierra y de transpiración de la vegetación.

Evidencias del cambio climático: estudios que, a través del análisis de registros históricos y evolución actual de determinadas variables climáticas o geofísicas, ponen de manifiesto su evolución anómala asociada a los efectos del cambio climático y por tanto constatándolo.

Expansión térmica: en referencia al nivel del mar, aumento de volumen (y disminución de densidad) causado por el calentamiento del agua. El calentamiento del océano conlleva un aumento de volumen y, por consiguiente, un aumento del nivel del mar.

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

Fenología: Relación entre los fenómenos biológicos que se repiten periódicamente (p. ej., las etapas de desarrollo y la migración) y los cambios climáticos y estacionales.

Fenómeno meteorológico extremo: fenómeno meteorológico raro en determinado lugar y época del año. Aunque las definiciones de raro son diversas, la rareza normal de un fenómeno meteorológico extremo sería igual o superior a los percentiles 10° o 90° de la estimación de la función de densidad de probabilidad observada. Por definición, las características de un fenómeno meteorológico extremo pueden variar de un lugar a otro en sentido absoluto.

Forzamiento radiativo: Diferencia entre la insolación (luz recibida desde el sol) absorbida por la Tierra y la energía irradiada de vuelta al espacio. Los cambios en el sistema climático de la Tierra alteran el equilibrio radiativo, forzando a la temperatura a subir o bajar, originando “forzamientos climáticos”. Un forzamiento radiativo positivo significa que al Tierra recibe más energía del sol de la que irradia al espacio. Esta ganancia neta de energía causará un calentamiento global. Por el contrario, el forzamiento radiativo negativo significa que la Tierra emite más energía al espacio de la que recibe del sol, lo que se traduciría en un enfriamiento en términos globales.

Gases de efecto invernadero: gases que integran la atmósfera, de origen natural o antropogénico, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de ondas emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad causa el efecto invernadero. El vapor de agua, dióxido de carbono, óxido nitroso, metano y ozono son los principales gases de efecto invernadero, además de gases totalmente producidos por el hombre como halocarbonados y otras sustancias que contienen cloro y bromuro.

Impactos climáticos: efectos en los sistemas naturales, salud, ecosistemas, económica, sociedad, cultura, servicios o infraestructuras debido a la interacción de los cambios climáticos o fenómenos climáticos peligrosos que ocurren en un lapso de tiempo específico.

Incertidumbre: descriptor de la calidad de nuestro conocimiento asociado a un riesgo, o del grado de desconocimiento de un valor (p. ej., el estado futuro del sistema climático). La incertidumbre puede derivarse de la falta de información o de las discrepancias en cuanto a lo que se sabe o incluso en cuanto a lo que es posible saber. Puede tener muy diversos orígenes, desde errores cuantificables en los datos hasta ambigüedades en la definición de conceptos o en la terminología, o inseguridad en las proyecciones del comportamiento humano. La incertidumbre puede, por lo tanto, representarse con medidas cuantitativas (p. ej., una serie de valores calculados con distintos modelos) o con expresiones cualitativas (p. ej., que reflejen la opinión de un grupo de expertos).

Indicador: valor observado representativo de un fenómeno determinado. En general, los indicadores cuantifican la información mediante la agregación de múltiples y diferentes datos. La información resultante se encuentra sintetizada. En resumen, los indicadores simplifican una información que puede ayudar a revelar fenómenos complejos.

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

Marea meteorológica: aumento episódico de la altura del mar en un determinado lugar causado por condiciones meteorológicas extremas (presión atmosférica baja y/o vientos fuertes). Se define como la diferencia entre el nivel de la marea alcanzado y el esperado en un lugar y momento dados.

Mitigación del cambio climático: conjunto de intervenciones humanas dirigidas a frenar el proceso de cambio climático, a través de la disminución de la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Mitigación del riesgo de desastre: disminución de los posibles impactos adversos de los riesgos físicos, incluidos los inducidos por la acción humana, a través de acciones que reducen el riesgo, la exposición y la vulnerabilidad.

Modelo climático: representación numérica del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, sus interacciones y procesos de retroalimentación.

Ola de calor: periodo de tiempo anormalmente caluroso.

Peligro: sucesos o tendencias físicos relacionados con el clima o los impactos físicos de éste.

Periodo de retorno: estimación del intervalo de tiempo medio transcurrido entre distintos sucesos de un episodio (por ejemplo, una crecida o lluvias extremas) de (o mayores/menores de) un tamaño o intensidad definidos.

Permafrost: Terreno (suelo o roca, junto con el hielo y la materia orgánica que contienen) que permanece a un máximo de 0 °C durante al menos dos años consecutivos.

Probabilidad: posibilidad de que ocurra un determinado evento, siempre que sea posible estimarla por métodos probabilísticos.

Proyecciones climáticas: evoluciones posibles del clima para el S. XXI, cuando se asumen diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero como datos de entrada en los Modelos Generales de Circulación.

Resiliencia: capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales de afrontar un suceso, tendencia o perturbación peligrosa respondiendo o reorganizándose de modo que mantenga su función esencial, su identidad y su estructura y conservando al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación.

Riesgo: potencial consecuencia cuando algo está en juego y cuando la ocurrencia y el resultado son inciertos.

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 de la tierra/cobertura del suelo. Se han seleccionado cuatro RCPs producidos por los modelos:

- **RCP2.6:** vía en la que el forzamiento radiativo alcanza su máximo nivel aproximadamente 3 W m^{-2} antes de 2100 y luego declina.
- **RCP4.5 y RCP6.0:** dos vías intermedias de estabilización en las cuales el forzamiento radiativo se estabiliza aproximadamente a 4.5 W m^{-2} y 6.0 W m^{-2} después de 2100.
- **RCP8.5:** vía alta para la cual el forzamiento radiativo alcanza más de 8.5 W m^{-2} para 2100 y continúa aumentando durante cierto tiempo.

Sensibilidad: grado en el que se ve afectado un sistema, sector, elemento o especie por la variabilidad climática o los eventos extremos, ya sea de forma negativa o positiva.

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

Uso del suelo y cambio de uso del suelo: el término uso del suelo denota el conjunto de disposiciones, actividades e insumos (conjunto de actividades humanas) adoptados para cierto tipo de cubierta terrestre. Este término se utiliza también en el sentido de los fines sociales y económicos que persigue la gestión de los suelos (por ejemplo, pastoreo, y extracción y conservación de madera). Un cambio de uso del suelo es un cambio del uso o gestión del suelo por los seres humanos, que puede originar una modificación de la cubierta terrestre. Las modificaciones de la cubierta terrestre y del uso del suelo pueden afectar al albedo de la superficie, a la evapotranspiración, a las fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero o a otras propiedades del sistema climático y pueden, por consiguiente, producir un forzamiento radiativo y/u otros efectos sobre el clima, a nivel local o global.

Variabilidad climática: variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos del clima, como desviaciones típicas, ocurrencia de fenómenos extremos, etc., más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático o a variaciones en los forzamientos externos antropogénicos.

Vulnerabilidad: propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación.

- Agencia Ambiental Europea (EEA). (2014). Adaptation of transport to climate change in Europe. Challenges and options across transport modes and stakeholders. Luxembourg: EEA.
- Alfieri, L., Burek, P., Feyen, L., & Forzieri, G. (2015). Global warming increases the frequency of river floods in Europe. *Hydrological Earth System Science*, 19, 2247–2260.
- Álvarez, S., Nájera, A., & Espejo F. (2016). El impacto del cambio climático en el sector financiero y de seguros. *Economía y cambio climático. Reto y Oportunidad*, 892, pp. 70.
- Arent, D.J., Tol, R.S.J., Faust, E., Hella, J.P., Kumar, S., Strzepek, K.M., Tóth, F.L., & Yan, D. (2014). Key economic sectors and services. En: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, y L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 659–708.
- Beare, D.J., & Reid, D.G. (2002). Investigating spatio-temporal change in spawning activity by Atlantic mackerel between 1977 and 1998 using generalized additive models. *ICES Journal of Marine Science*, 59, 711–724.
- Becken, S. (2010). The importance of climate and weather for tourism. Technical Report Lincoln University. Retrieved from <https://wuve.pw/pxhuwuloey.pdf>.
- Becker, A., Acciaro, M., Asariotis, R., Carera, E., Cretegnny, L., Crist, P., Esteban, M., Mather, A., Messner, S., Naruse, S., Ng, A.K.Y., Rahmstorf, S., Savonis, M., Song, D., Stenek, V., & Velegrakis, A.F. (2013). A Note on Climate change adaptation for seaports: A challenge for global ports, a challenge for global society. *Climatic Change*, 120, 4, 683–695.
- Bellier, E., Planque, B., & Petitgas, P. (2007). Historical fluctuations in spawning location of anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and sardine (*Sardina pilchardus*) in the Bay of Biscay during 1967–1973 and 2000–2004. *Fisheries Oceanography*, 16, 1–15.
- Blunden, J. & Arndt, D. S., Eds. (2020). State of the Climate in 2019. *Bulletin of American Meteorology*, 101 (8), Si–S429.
- Bruge, A., Alvarez, P., Fontán, A., Cotano, U., & Chust, G. (2016). Thermal Niche Tracking and Future Distribution of Atlantic Mackerel Spawning in response to Ocean Warming. *Frontiers in Marine Science*, 3, 86.
- C3S (Copernicus Climate Change Service). (2018). European State of the Climate 2019. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), <https://climate.copernicus.eu/ESOTC>.
- C3S (Copernicus Climate Change Service). (2021). European State of the Climate 2020. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), <https://climate.copernicus.eu/ESOTC>.
- C3S (Copernicus Climate Change Service). (2020). Monthly climate bulletins. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS), <https://climate.copernicus.eu/climate-bulletins>.
- Caballero, A., Pascual, A., Dibarboure, G., & Espino, M. (2008). Sea level and eddy kinetic energy variability in the Bay of Biscay, inferred from satellite altimeter data. *Journal of Marine Systems*, 72, 116–134.
- Castañares Hernández, G. (2018). La adaptación al cambio climático en el transporte ferroviario en España. *Revista Digital Del Cedex*, 191, 133–140.
- CEDEX. (2017). Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España. Informe final. Tomo único. Clave: CEDEX 42–415–001.
- CEDEX. (2018). Secciones de la red estatal de infraestructura de transporte terrestre potencialmente más expuestas por razón de la variabilidad y cambio climáticos.
- Cheng, L., Abraham, J., Hausfather, Z., & Trenberth, K. (2019). How fast are the oceans warming? *Science*, 363, 128–129.
- Cheng, L., Abraham, J., Trenberth, K.E., Fasullo, J., Boyer, T., Locarnini, R., Zhang, B., Yu, F., Wna, L., Chen, X., Song, X., Liu, Y., Mann, M.E., Reseghetti, F., Simoncelli, S., Gouretski, V., Chen, G., Mishonov, A., Reagan, J., & Zhu, J. (2021). Upper Ocean Temperatures Hit Record High in 2020. *Advances in Atmospheric Sciences*, 38, 523–530.
- Cheung, W.W.L., Watson, R., & Pauly, D. (2013). Signature of ocean warming in global fisheries catch. *Nature*, 497, 365–368.

- Church, J. A., White, N. J., Konikow, L. F., Domingues, C. M., Cogley, J. G., Rignot, E., Gregory, J. M., van den Broeke, M. R., Monaghan, A. J., & Velicogna, I. (2011). Revisiting the Earth's sealevel and energy budgets from 1961 to 2008. *Geophysical Research Letters*, 38, L18601.
- Chust G., Borja, Á., Liria, P., Galparsoro, I., Marcos, M., Caballero, A., & Castro, R. (2009). Human impacts overwhelm the effects of sea-level rise on Basque coastal habitats (N Spain) between 1954 and 2004. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 84,453–462.
- Chust, G., Goikoetxea, N., Ibaibarriaga, L., Sagarminaga, Y., Arregui, I., Fontán, A., Irigoien, X., & Arrizabalaga, H. (2019). Earlier migration and distribution changes of albacore in the Northeast Atlantic. *Fisheries Oceanography*, 28, 505–516.
- Ciais, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., DeFries, R., Galloway, J., Heimann, M., Jones, C., Quéré, C. Le, Myneni, R. B., Piao, S., & Thornton, P. (2013). *Carbon and Other Biogeochemical Cycles*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 6, 465–570.
- Ciscar, J.C., Ibarreta, D., Soria, A., Dosio, A., Toreti, A., Ceglar, A., Fumagalli, D., Dentener, F., Lecerf, R., Zucchini, A., Panarello, L., Niemeyer, S., Pérez-Domínguez, I., Fellmann, T., Kitous, A., Després, J., Christodoulou, A., Demirel, H., Alfieri, L., Dottori, F., Voudoukas, M.I., Mentaschi, L., Voukouvalas, E., Cammalleri, C., Barbosa, P., Micale, F., Vogt, J.V., Barredo, J.I., Caudullo, G., Mauri, A., de Rigo, D., Libertà, G., Houston Durrant, T., Artés Vivancos, T., San-Miguel-Ayanz, J., Gosling, S.N., Zaherpour, J., De Roo, A., Bisselink, B., Bernhard, J., Bianchi, L., Rozsai, M., Szewczyk, W., Mongelli, I., & Feyen, L. (2018). *Climate impacts in Europe: Final report of the JRC PESETA III Project*. EUR 29427 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente, Gobierno Vasco. (2021). *Mapa Forestal CAE 2020*.
- Departamento de Salud. (2006). *Plan de Prevención en Situación de Ola de Calor en la CAPV*. Gobierno Vasco, Vitoria-Gasteiz.
- de Santiado, I., Camus, P., González, M., Liria, P., Epelde, I., Chust, G., del Campo, A., Uriarte, A. (2021). Impact of climate change on beach erosion in the Basque Coast (NE Spain). *Coastal Engineering*, 167, 0378–3839.
- DGOH-DFG. (2017). *Estudio de actualización del análisis de las precipitaciones intensas y recomendaciones de cálculo de caudales de avenidas en pequeñas cuencas del territorio histórico de Gipuzkoa*.
- Erauskin-Extramiana, M., Alvarez, P., Arrizabalaga, H., Ibaibarriaga, L., Uriarte, A., Cotano, U., Santos, M., Ferrer, L., Cabré, A., Irigoien, X., & Chust, G. (2019). Historical trends and future distribution of anchovy spawning in the Bay of Biscay. *Deep Sea Research II: Topical Studies in Oceanography*, 159, 169–182.
- Erauskin-Extramiana, M., Arrizabalaga, H., Hobday, A.J., et al. (2019). Large-scale distribution of tuna species in a warming ocean. *Glob Change Biology*, 25, 2043–2060.
- Estrada, F., Botzen, W.J.W., Tol, R.S.J. (2017). A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts. *Nature Climate Change*, 7, 403–406.
- EUSKALMET. (2021). *Características meteorológicas del año 2020*.
- Friedlingstein, P., Jones, M. W., O'Sullivan, M., Andrew, R. M., Hauck, J., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Sitch, S., Le Quéré, C., Bakker, D. C. E., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Anthoni, P., Barbero, L., Bastos, A., Bastrikov, V., Becker, M., Bopp, L., Buitenhuis, E., Chandra, N., Chevallier, F., Chini, L. P., Currie, K. I., Feely, R. A., Gehlen, M., Gilfillan, D., Gkritzalis, T., Goll, D. S., Gruber, N., Gutekunst, S., Harris, I., Haverd, V., Houghton, R. A., Hurtt, G., Ilyina, T., Jain, A. K., Joetzjer, E., Kaplan, J. O., Kato, E., Klein Goldewijk, K., Korsbakken, J. I., Landschützer, P., Lauvset, S. K., Lefèvre, N., Lenton, A., Lienert, S., Lombardozzi, D., Marland, G., McGuire, P. C., Melton, J. R., Metzl, N., Munro, D. R., Nabel, J. E. M. S., Nakaoka, S.-I., Neill, C., Omar, A. M., Ono, T., Peregón, A., Pierrot, D., Poulter, B., Rehder, G., Resplandy, L., Robertson, E., Rödenbeck, C., Séférian, R., Schwinger, J., Smith, N., Tans, P. P., Tian, H., Tilbrook, B., Tubiello, F. N., van der Werf, G. R., Wiltshire, A. J., Zaehle, S. (2019). *Global Carbon Budget 2019*. *Earth System Science Data*, 11, 1783–1838.
- García-Soto, C., & Pingree, R.D. (2009). Spring and summer blooms of phytoplankton (SeaWiFS/MODIS) along a ferry line in the Bay of Biscay and western English Channel. *Continental Shelf Research*, 29, 1111–1122.
- Global resource challenges: Risks and opportunities for strategic management. The Economist Intelligence Unit Limited (2016). Accesible en: <https://sealedair.com/sites/default/files/EIU-Sealed%20Air%20Global%20Resource%20Challenges%20Report.pdf>

- GonzálezPola, C., Lavín, A., Díaz del Rio, G., Cabanas, J.M., RuizVillarreal, M. et al. (2012). Hidrografía y circulación. En: Bode A, Lavín A, Valdés L (eds) Cambio climático y oceanográfico en el Atlántico del norte de España. Colección Temas de Oceanografía, núm. 5, Instituto Español de Oceanografía.
- Hansen, J., Nazarenko, L., Ruedy, R., Sato, M., Willis, J., Del Genio, A., Koch, D., Lacis, A., Lo, K., Menon, S., Novakov, T., Perlwitz, J., Russell, G., Schmidt, G. A., & Tausnev, N. (2005). Earth's Energy Imbalance: Confirmation and Implications. *Science*, 308, 1431-1435.
- Hansen, J., Sato, M., Kharecha, P., von Schuckmann, K., Beerling, D. J., Cao, J., Marcott, S., Masson-Delmotte, V., Prather, M. J., Rohling, E. J., Shakun, J., Smith, P., Lacis, A., Russell, G., & Ruedy, R. (2017). Young people's burden: requirement of negative CO₂ emissions. *Earth System Dynamics*, 8, 577-616.
- Hansen, J., Sato, M., Kharecha, P., & von Schuckmann, K. (2011). Earth's energy imbalance and implications. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11, 13421-13449.
- Hansen, J. Sato, M., Ruedy, R., Nazarenko, L., Lacis, A., Schmidt, G. A., Russell, G., Aleinov, I., Bauer, M., Bauer, S., Bell, N., Cairns, B., Canuto, V., Chandler, M., Cheng, Y., Del Genio, A., Faluvegi, G., Fleming, E., Friend, A., Hall, T., Jackman, C., Kelley, M., Kiang, N., Koch, D., Lean, J., Lerner, J., Lo, K., Menon, S., Miller, R., Minnis, P., Novakov, T., Oinas, V., Perlwitz, Ja., Perlwitz, Ju., Rind, D., Romanou, A., Shindell, D., Stone, P., Sun, S., Tausnev, N., Thresher, D., Wielicki, B., Wong, T., Yao, M., Zhang, S. (2005). Efficacy of climate forcings, *Journal of Geophysical Research*, 110, D18104.
- Helaouet, P., & Beaugrand, G. (2009). Physiology, Ecological Niches and Species Distribution. *Ecosystems*, 12, 1235-1245.
- Herrera García, S. (2018). Proyecciones regionales de Cambio Climático para vientos extremos en España para el s. XXI: Caracterización de valores de retorno y frecuencia de configuraciones atmosféricas de peligro.
- Hidalgo Pérez, A.I. (2020). Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la actividad aseguradora. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.
- Hughes, K., Dransfeld, L., & Johnson, M. (2014). Changes in the spatial distribution of spawning activity by north-east Atlantic mackerel in warming seas: 1977-2010. *Marine Biology*, 161, 2563-2576.
- Hutchinson, G.E. (1957). Concluding remarks. *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology*, 22 415-427.
- IHOBE. (2017). Vulnerabilidad hídrica: de las tendencias del pasado reciente a las del futuro.
- IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental. Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente Gobierno Vasco (2017). Proyecto KLIMATEK II.
- IHOBE, Sociedad Pública de Gestión Ambiental. Departamento de Medio Ambiente, Planificación territorial y vivienda. Gobierno Vasco., 2019. Evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de los municipios vascos ante el cambio climático.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- IPCC. (2013). *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P. M., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- IPCC. (2018). *Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.
- IPCC. (2019). *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.
- Jordà, G., Menéndez, M., Aznar, R., & Sanchez-arcilla, A. (2017). Regional marine climate projections over Spain. *Exchanges*, 73, 53-64.

- Lauvset, S. K., Carter, B. R., Perez, F. F., Jiang, L.Q., Feely, R. A., Velo, A., & Olsen, A. (2020). Processes driving global interior ocean pH distribution. *Global Biogeochemical Cycles*, 34, e2019GB006229.
- Lemmen, D., & Warren, F. (2010). Climate change impacts and adaptation: a Canadian perspective. Lemmen, D. & Warren F. eds. Natural Resources Canada, Ottawa, Ontario. 174 pp.
- Le Quéré, C., Andrew, R. M., Friedlingstein, P., Sitch, S., Hauck, J., Pongratz, J., Pickers, P. A., Korsbakken, J. I., Peters, G. P., Canadell, J. G., Arneeth, A., Arora, V. K., Barbero, L., Bastos, A., Bopp, L., Chevallier, F., Chini, L. P., Ciais, P., Doney, S. C., Gkritzalis, T., Goll, D. S., Harris, I., Haverd, V., Hoffman, F. M., Hoppema, M., Houghton, R. A., Hurtt, G., Ilyina, T., Jain, A. K., Johannessen, T., Jones, C. D., Kato, E., Keeling, R. F., Goldewijk, K. K., Landschützer, P., Lefèvre, N., Lienert, S., Liu, Z., Lombardozzi, D., Metzl, N., Munro, D. R., Nabel, J. E. M. S., Nakaoka, S., Neill, C., Olsen, A., Ono, T., Patra, P., Peregon, A., Peters, W., Peylin, P., Pfeil, B., Pierrot, D., Poulter, B., Rehder, G., Resplandy, L., Robertson, E., Rocher, M., Rödenbeck, C., Schuster, U., Schwinger, J., Séférian, R., Skjelvan, I., Steinhoff, T., Sutton, A., Tans, P. P., Tian, H., Tilbrook, B., Tubiello, F. N., van der Laan-Luijkx, I. T., van der Werf, G. R., Viovy, N., Walker, A. P., Wiltshire, A. J., Wright, R., Zaehle, S., & Zheng, B. (2018). Global Carbon Budget 2018. *Earth System Science Data*, 10, 2141–2194.
- Levitus, S., Antonov, J.I., Boyer, T.P., Baranova, O.K., Garcia, H.E., Locarnini, R.A., Mishonov, A.V., Reagan, J.R., Seidov, D., Yarosh, E.S., & Zweng, M.M. (2012). World ocean heat content and thermosteric sea level change (0–2000 m), 1955–2010. *Geophysical Research Letters*, 39.
- Marcos, M., Gomis, D., Monserrat, S., Álvarez-Fanjul, E., Pérez, B., & García-Lafuente, J. (2005). Consistency of long sea-level time series in the northern coast of Spain. *Journal of Geophysical Research*, 110, C03008.
- Marcos, M., Woepelmann, G., Bosch, W., & Savcenko, R. (2007). Decadal sea level trends in the Bay of Biscay from tide gauges, GPS and TOPEX. *Journal of Marine Systems*, 68, 529–536.
- Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad. (2014). Impactos del cambio climático en la salud. Estudios e Investigación 2013.
- Ministerio para la Transición Ecológica. (2018). Inundaciones y cambio climático. Madrid. 105 pp.
- Monioudi I. N., Asariotis R., Becker, A., Bhat, C., Dowding-Gooden, D., Esteban, M., Feyen, L., Mentaschi, L., Nikolaou, A., Nurse, L., Phillips, W., Smith, D. A-Y., Satoh, M., Trotz, U.O., Velegrakis, A., Voukouvalas, E., Vousdoukas, M., & Witkop, R. (2018). Climate change impacts on critical international transportation assets of Caribbean Small Island Developing States (SIDS): The case of Jamaica and Saint Lucia. *Regional Environmental Change*, 18 (8), 2211–2225.
- Mora C., Dousset B., Caldwell I.R., Powell, F.E., Geronimo, R.C., Bielecki, C.R., Counsell, C.W.W., Dietrich, B.S., Johnston, E.T., Louis, L.V., Lucas, M.P., McKenzie, M.M., Shea, A.G., Tseng, H., Giambelluca, T.W., Leon, L.R., Hawkings, E., & Trauernicht, C. (2017.) Global risk of deadly heat. *Nature Climate Change*, 7, 501–507.
- Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestedt, J., Huang, J., Koch, D., Lamarque, J.-F., Lee, D., Mendoza, B., Nakajima, T., Robock, A., Stephens, G., Takemura, T., & Zhang, H. (2013). Anthropogenic and natural radiative forcing. In *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 9781107057, 659–740.
- NOAA National Centers for Environmental Information. (2021). State of the Climate: Global Climate Report for Annual 2020, published online January 2021, retrieved on February 9, 2021 from <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/202013>.
- Observatorio turístico de Gipuzkoa. (2018). Evolución del sector turístico en Gipuzkoa 2006–2017.
- Olazabal, M., Gopegui, M.R. de, Tompkins, E.L., Venner, K., & Smith, R. (2019). A cross-scale worldwide analysis of coastal adaptation planning. *Environmental Research Letters*, 14, 124056.
- OSATU. Olas de calor y salud: impactos y adaptación en Euskadi. Proyecto Klimatek 2016. Evaluación del impacto de las temperaturas extremas sobre la salud en el País Vasco bajo condiciones de cambio climático.
- O'Reilly, K.M., Auzenbergs, M., Jafari, Y., Liu, Y., Flasche, S., & Lowe, R. (2020). Effective transmission across the globe: the role of climate in COVID-19 mitigation strategies. *The Lancet Planetary Health*, 4 (5), E172.
- Palko. (2017). Synthesis. In K. Palko and D.S. Lemmen (Eds.). *Climate risks and adaptation practices for the Canadian transportation sector 2016* (pp. 12–25). Ottawa, ON: Government of Canada.

- Pan-European Thermal Atlas, Flensburg, Halmstad and Aalborg Universities 2018.
- Pejovic, T., Williams, V.A., Noland, R.B., & Toumi, R. (2009). Factors Affecting the Frequency and Severity of Airport Weather Delays and the Implications of Climate Change for Future Delays. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2139, 97-106.
- PESETA Project: Impact of climate change in Europe. Accesible en: <http://peseta.jrc.ec.europa.eu>
- Poloczanska, E.S., Brown, C.J., Sydeman, W.J., Kiessling, W., Schoeman, D.S., Moore, P.J., Brander, K., Bruno, J.F., Buckley, L.B., Burrows, M.T., Duarte, C.M., Halpern, B.S., Holding, J., Kappel, C.V., O'Connor, M.I., Pandolfi, J.M., Parmesan, C., Schwing, F., Thompson, S.A., & Richardson, A.J. (2013). Global imprint of climate change on marine life. *Nature Climate Change*, 3, 919-925.
- Poulard, J.-C., & Blanchard, F. (2005). The impact of climate change on the fish community structure of the eastern continental shelf of the Bay of Biscay. *ICES Journal of Marine Science*, 62, 1436-1443.
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2020). Informe sobre la brecha en las emisiones 2020. Resumen.
- Pulido-Velazquez, 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.
- Punzón, A., & Villamor, B. (2009). Does the timing of the spawning migration change for the southern component of the Northeast Atlantic Mackerel (*Scomber scombrus*, L. 1758)? An approximation using fishery analyses. *Continental Shelf Research*, 29, 1195-1204.
- Qiu, L., & Nixon, W. A. (2008). Effects of Adverse Weather on Traffic Crashes: Systematic Review and Meta-Analysis. *Transportation Research Record*, 2055(1), 139-146.
- Ramírez, M. et al. (2019). Elaboración de la metodología y bases de datos para la proyección de impactos de cambio climático a lo largo de la costa española. Tarea 2: proyecciones de alta resolución de variables marinas en la costa española. MITECO, Madrid.
- RECC. (2015). Medidas para la mitigación y la adaptación al cambio climático en el planeamiento urbano. Guía metodológica. Red Española de Ciudades por el Clima (RECC), sección de Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP) y la Oficina Española de Cambio Climático (Gobierno de España), Madrid, España.
- Revi, A., Satterthwaite, D.E., Aragón-Durand, F., Corfee-Morlot, J., Kiunsi, R.B.R., Pelling, M., Roberts, D.C., & Solecki, W. (2014). Urban areas, in: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White, L.L. (Eds.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 535-612.
- Sainz de Murieta, E., Abadie, L., & Galarraga, I. (2018). Sea-level rise in the Basque coast, A probabilistic approach. *Ekonomiaz*, 94, 324-344.
- Sanz, M.J., & Galán, E. (editoras). (2020). Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.
- Rhein, M., Rintoul, S. R., Aoki, S., Campos, E., Chambers, D., Feely, R. A., Gulev, S., Johnson, G. C., Josey, S. A., Kostianoy, A., Mauritzen, C., Roemmich, D., Talley, L. D., & Wang, F.: Observations: Ocean, in: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P. M., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 255-316.
- Slangen, A.B.A., Carson, M., Katsman, C.A. van del Wal, R.S.W., Köhl, A., Vermeersen, L.L.A., & Stammer, D. (2014). Projecting twenty-first century regional sea-level changes. *Climatic Change*, 124, 317-332.
- Sumaila, U.R., Cheung, W.W.L., Lam, V.W.Y., Pauly, D., & Herrick, S. (2011). Climate change impacts on the biophysics and economics of world fisheries. *Nature Climate Change*, 1, 449-456.
- Sverdrup, H. (1953). On conditions for the vernal blooming of phytoplankton. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 18, 287-295.

- Ulazia, A., Penalba, M., Ibarra-Berastegui, G., Ringwood, J., & Saénz, J. (2017). Wave energy trends over the Bay of Biscay and the consequences for wave energy converters. *Energy*, 141, 624–634.
- UNCTAD. (2011). *The Review of Maritime Transport 2011*. Accesible en: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2011_en.pdf
- United Nations Economic Commission for Europe [UNECE]. (2020). *Climate Change Impacts and Adaptation for International Transport Networks*. Geneva, 2020. <https://www.unece.org/trans/resources/publications/trends-and-economics/2020/climate-change-impacts-and-adaptation-for-international-transport-networks/doc.html>.
- 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., Gentine, 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., Wijffels, S. E. (2020). Heat stored in the Earth system: where does the energy go? *Earth Syst. Sci. Data*, 12(3), 2013–2041. <https://doi.org/10.5194/essd-12-2013-2020>.
- Voukouvalas, E., Verlaan, M. & Feyen, L. (2017). Extreme sea levels on the rise along Europe's coasts. *Earth's Future*, 5, 304–323.
- Vousdoukas, M.I., Mentaschi, L., Voukouvalas, E., Verlaan, M., Jevrejeva, S., Jackson, L., & Feyen, L. (2018). Global probabilistic projections of extreme sea levels show intensification of coastal flood hazard. *Nature Communications*, 9, 2360.
- WMO. (2020). *WMO Greenhouse Gas Bulletin: The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2019*.
- WMO. (2021). *WMO Statement on the State of the Global Climate in 2020*
- Woodby, B., Arnold, M.M., & Valacchi, G. (2020). SARS-CoV-2 infection, COVID-19 pathogenesis, and exposure to air pollution: What is the connection? *Annals of the New York Academy of sciences*, 1486, 15–38.
- Yilmaz, A.G., & Perera, B.J.C. (2015). Spatiotemporal Trend Analysis of Extreme Rainfall Events in Victoria, Australia. *Water Resource Management*, 29, 4465–4480.





Gipuzkoako
Foru Aldundia
Departamento de Medio Ambiente
y Obras Hidráulicas



ETORKIZUNA ORAIN
Es futuro



Naturklima
Fundación de Cambio Climático de Gipuzkoa