



PLAN HIDROLÓGICO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL CANTÁBRICO ORIENTAL

Revisión para el tercer ciclo: 2022-2027

MEMORIA - ANEJO XVII

Riesgos asociados al cambio climático y adaptación

Aprobado por Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. BASE NORMATIVA	4
2.1. Reglamento de planificación hidrológica	4
2.2. Instrucción de planificación hidrológica	5
2.3. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático	6
2.4. Ley de Cambio Climático y Transición Energética	7
2.5. Otras referencias	9
3. AFECCIÓN A LOS RECURSOS HÍDRICOS, SEQUÍAS E INUNDACIONES	10
3.1. Afección a los recursos hídricos	10
3.2. Impactos en el régimen de sequías	16
3.3. Impactos en las inundaciones	20
4. PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO	23
5. AVANCES EN LOS MODELOS DE RIESGO PARA LOS ECOSISTEMAS	27
5.1. Pérdida de hábitat para especies de aguas frías	27
5.2. Riesgo de reducción del oxígeno disuelto en el agua	33
5.3. Riesgo de afección a macroinvertebrados	37
5.4. Otros estudios de afección del cambio climático a los ecosistemas	40
6. AFECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO A LA COSTA	43
7. AFECCIÓN A LOS USOS	48
8. CONCLUSIONES	50
9. REFERENCIAS	52

APÉNDICE XVII.1 Mapas de impacto potencial para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 en los tres periodos de impacto considerados54

APÉNDICE XVII.2 Mapas de riesgo para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 en los tres periodos de impacto considerados64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Afección del cambio climático con respecto a una situación no afectada sobre las variables hidrológicas en el ámbito de la DHC Oriental.	12
Tabla 2. Porcentajes de cambio de la esorrentía para cada UTS y trimestre.	15
Tabla 3. Impactos sobre los ecosistemas y sobre los usos a tener en cuenta en el PACC.....	25
Tabla 4. Combinación de los mapas de impacto y vulnerabilidad para la definición del riesgo.	31
Tabla 5. Grado de Impacto debido a la afección en los macroinvertebrados.	38
Tabla 6. Ascensos del nivel medio del mar considerados en el proyecto KOSTEGOKI en función del horizonte temporal y del escenario climático.	45
Tabla 7. Resumen de los rangos de inversión que podrían ser necesarios para adaptar la infraestructura de la CAPV al cambio climático (millones de euros).	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de las emisiones de CO ₂ según las RCP.	11
Figura 2. Evolución de la variación porcentual de la precipitación en la DH Cantábrico Oriental como promedio de las 6 proyecciones climáticas.	12
Figura 3. Evolución de la variación porcentual de la ETP en la DH Cantábrico Oriental como promedio de las 6 proyecciones climáticas.	13
Figura 4. Concepto y definición de sequía (CEH, 2017).	16
Figura 5. Variación en el periodo de retorno de las sequías de dos años según las proyecciones del escenario RCP 4.5.	17
Figura 6. Variación en el periodo de retorno de las sequías de cinco años según las proyecciones del escenario RCP 4.5.	18
Figura 7. Variación en el periodo de retorno de las sequías de dos años según las proyecciones del escenario RCP 8.5.	19
Figura 8. Variación en el periodo de retorno de las sequías de cinco años según las proyecciones del escenario RCP 8.5.	19
Figura 9. Valoración cualitativa total del incremento probable en el riesgo de inundación debido al cambio climático para T10 y T100 en un escenario RCP 4.5 a nivel de subcuencas en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental.	22
Figura 10. Valoración cualitativa total del incremento probable en el riesgo de inundación debido al cambio climático para T10 y T500 en un escenario RCP 8.5 a nivel de subcuencas en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental.	22
Figura 11. Marco conceptual para la evaluación de riesgos asociados al cambio climático (GTII, 2014).	23
Figura 12. Metodología propuesta para la definición del riesgo asociado al cambio climático.	26
Figura 13. Definición de la zona de apremio y de la barrera termal de la Trucha Común y límites máximos de exposición en días en función de la temperatura media diaria (Wehrly & Wang, 2007).	28
Figura 14. Mapa de Exposición potencial, elaborado en base al límite termal de 21,8 °C (arriba) y Adaptación de la Presencia de la Trucha Común a las masas de agua superficiales (Atlas y Libro Rojo de los Peces, MMA, 2001) (abajo), en el ámbito de la demarcación.	29
Figura 15. Mapa del impacto potencial a corto plazo (PI1) según ambas sendas de emisiones (RCP4.5 y RCP8.5).	30
Figura 16. Mapa de vulnerabilidad.	31
Figura 17. Mapa del riesgo a corto plazo (PI1) según ambas sendas de emisiones (RCP4.5 y RCP8.5).	32
Figura 18. Distribución de la concentración de oxígeno disuelto en agua calculada, en función de la temperatura y la altitud, y observada (mg/l).	34
Figura 19. Estimación de la concentración de oxígeno disuelto en el agua (mgO ₂ /l) calculada en función de la temperatura y la altitud en el mes de agosto.	34
Figura 20. Mapa del riesgo a corto plazo (PI1) debido a la reducción del oxígeno disuelto (RCP4.5 y RCP8.5).	36
Figura 21. Porcentaje de individuos por familia que experimentan un cambio como resultado de incrementos en la temperatura del agua (método del Óptimo Robusto) (CEH, 2012).	37
Figura 22. Mapa de peligro: Incremento esperado de la temperatura del agua a corto plazo (PI1) para el escenario de emisiones RCP4.5.	38
Figura 23. Mapa del impacto potencial a corto plazo (PI1) sobre los macroinvertebrados según la senda de emisiones relativamente optimista (RCP4.5) y la más pesimista (RCP8.5).	39
Figura 24. Mapa del riesgo a corto plazo (PI1) para los macroinvertebrados según la senda de emisiones relativamente optimista (RCP4.5) y más pesimista (RCP8.5).	40
Figura 25. Nº de especies autóctonas por cuadrícula UTM de 1 km ² . Granate > 30, Naranja: 15-30. Amarillo: 7-14. Verde: 3-6. Azul: 1-2. Las zonas con mayor número de especies se corresponden con las áreas más humanizadas situadas a baja altitud.	42

Figura 26. Evolución del nivel medio del mar a escala anual en varios registros de la costa cantábrica. Fuente: Evaluación del impacto de los factores climáticos en el ascenso del nivel del mar sobre el litoral vasco (Ihobe).....	43
Figura 27. Inundación del estuario del río Butroe correspondiente a un evento extremo de 500 años de periodo de retorno para los siguientes escenarios: clima presente (izquierda) escenario climático RCP4.5 para el horizonte 2100, con un ascenso del nivel medio del mar de 0,51 m (centro) y escenario climático RCP8.5 para el horizonte 2100, con un ascenso del nivel medio del mar de 1,00 m (derecha).....	46
Figura 28. Mapas del impacto potencial en las especies de aguas frías a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).	55
Figura 29. Mapas del impacto potencial en las especies de aguas frías a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).	56
Figura 30. Mapas del impacto potencial en las especies de aguas frías a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).	57
Figura 31. Mapas del impacto potencial en el oxígeno disuelto a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).	58
Figura 32. Mapas del impacto potencial en el oxígeno disuelto a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).	59
Figura 33. Mapas del impacto potencial en el oxígeno disuelto a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).	60
Figura 34. Mapas del impacto potencial en los macroinvertebrados a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).	61
Figura 35. Mapas del impacto potencial en los macroinvertebrados a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).	62
Figura 36. Mapas del impacto potencial en los macroinvertebrados a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).	63
Figura 37. Mapas del riesgo sobre las especies de aguas frías a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).	65
Figura 38. Mapas del riesgo sobre las especies de aguas frías a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).	66
Figura 39. Mapas del riesgo sobre las especies de aguas frías a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).	67
Figura 40. Mapas del riesgo de reducción del oxígeno disuelto a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).	68
Figura 41. Mapas del riesgo de reducción del oxígeno disuelto a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).	69
Figura 42. Mapas del riesgo de reducción del oxígeno disuelto a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).	70
Figura 43. Mapas del riesgo de afección en los macroinvertebrados a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).	71
Figura 44. Mapas del riesgo de afección en los macroinvertebrados a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).	72
Figura 45. Mapas del riesgo de afección en los macroinvertebrados a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).	73

ACRÓNIMOS

CAPV.....	Comunidad Autónoma del País Vasco
CEDEX.....	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
CEH.....	Centro de Estudios Hidrográficos
DHC Oriental....	Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental
DMA.....	Directiva 2000/60/CE Marco del Agua
ETI.....	Esquema de Temas Importantes en materia de gestión de aguas
ETP.....	Evapotranspiración potencial
ETR.....	Evapotranspiración real
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IPH	Instrucción de Planificación Hidrológica
LCCTE.....	Ley de Cambio Climático y Transición Energética
MITERD.....	Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
PNACC.....	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático
QBR.....	Índice de Calidad del Bosque de Ribera
RPH.....	Reglamento de Planificación Hidrológica
TRLA.....	Texto Refundido de la Ley de Aguas

1. INTRODUCCIÓN

La Directiva Marco de Aguas (DMA), incorporada al ordenamiento jurídico español mediante el Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA) y el Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH), determina que los estados miembros de la Unión Europea deberán establecer las medidas necesarias para alcanzar el buen estado de las aguas superficiales y subterráneas a más tardar a los 15 años después de la entrada en vigor de la Directiva.

En el artículo 11 del RPH, en relación con el inventario de los recursos hídricos naturales, se establece que los planes hidrológicos evaluarán el posible efecto del cambio climático sobre los recursos hídricos naturales, estudiando su efecto en las asignaciones y reserva de recursos. También se incluye por tanto en el artículo 21, referente a los balances a realizar en el escenario a largo plazo para el establecimiento de asignaciones y reservas de recursos.

Así se ha venido haciendo en los planes anteriores, reflejando la posible reducción de los recursos hídricos en comparación con la situación actual y la afección que esta reducción supondría para las garantías de los principales usos en cada sistema, en base a la modelización de los sistemas de gestión.

En los últimos años la conciencia de este fenómeno y el conocimiento sobre sus posibles impactos ha avanzado sustancialmente, y además existe un marco político y legal más desarrollado, por lo que el enfoque en el presente ciclo de planificación necesariamente tiene que ser diferente.

Como ya se reflejó en el ETI, el cambio climático se considera hoy en día uno de los temas importantes si hablamos de afección en la gestión de los recursos hídricos y en el alcance de los objetivos ambientales, con el problema añadido de su transversalidad, suponiendo, casi con carácter generalizado un empeoramiento de todas las demás problemáticas existentes.

La imprescindible lucha frente al cambio climático establece un condicionante general que ha de marcar la gestión asociada a cualquier política sectorial y, en particular, la gestión de los recursos hídricos, con tanta repercusión en dichas políticas sectoriales. El cambio climático no es un problema particular de esta demarcación sino un reto global. Las políticas de la transición ecológica alineadas con el Pacto Verde Europeo lo afrontan decididamente.

A este respecto, a finales de febrero de 2022 se publicó la **segunda entrega** (<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>), **del Sexto Informe de Evaluación (IE6) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático (IPCC)**, que se completará este año. En este informe se reconoce la interdependencia del clima, la biodiversidad y las personas, y se hace hincapié en la necesidad urgente de adoptar medidas inmediatas y más ambiciosas para hacer frente a los riesgos climáticos.

Esta entrega, que trata de los impactos, adaptación y vulnerabilidad del cambio climático, aporta una mayor comprensión en relación a cómo el cambio climático se está manifestando, sobre todo en sus extremos, y cómo estos están afectado a los sistemas naturales y humanos. Resalta que los impactos son de tal naturaleza que la salud del planeta y el bienestar de quienes lo habitamos están comprometidos.

Entre otras cuestiones, el Informe destaca el hecho de que los ecosistemas afrontan condiciones dramáticas no vistas en 10.000 años. El IPCC indica que habrá menos tierra cultivable si la temperatura sigue en escala ascendente. Estima que con 2 °C de calentamiento más de un tercio de la población sufrirá escasez de agua en el sur de Europa, y que si se llega a 3 °C el problema será mucho mayor y habrá un importante aumento de las pérdidas económicas en los sectores dependientes del agua y la energía.

En definitiva, el informe alerta con mayor contundencia que en entregas anteriores sobre el hecho de que los impactos y riesgos del cambio climático son cada vez más complejos y difíciles de gestionar, y destaca la importancia de trabajar para conseguir resultados climáticos ambiciosos en las próximas décadas, aprovechando sinergias para la reducción de la vulnerabilidad y destacando el papel protector que juega la naturaleza. Este Plan Hidrológico se alinea con este enfoque e integra en su Programa de Medidas diversos estudios y trabajos que formarán parte de la adaptación al cambio climático en la demarcación hidrográfica del Cantábrico Oriental.

Los efectos del cambio climático sobre el agua, los ecosistemas acuáticos y las actividades económicas son evidentes y progresivos. Estos efectos pueden catalogarse en los siguientes grupos:

- Sobre las variables hidrometeorológicas que determinan el balance hídrico y con ello la escorrentía, la recarga, la acumulación de hielo y nieve, los fenómenos extremos y demás efectos dependientes. En particular se espera una reducción general de la escorrentía y un incremento de los episodios extremos (sequías e inundaciones). La variación hidrológica tendrá una lógica repercusión en la calidad de las aguas.
- Sobre los ecosistemas, introduciendo una deriva en las condiciones de referencia a partir de las que se evalúa el estado o potencial de las distintas categorías y tipos de masas de agua. Todo ello en especial relación con el incremento de temperatura, que directamente condiciona el ascenso del nivel mar y con ello el cambio de nivel de base de los acuíferos costeros y otros diversos efectos geomorfológicos en la costa. Así mismo, el incremento de temperatura afecta a la corología de las distintas especies animales y vegetales, introduciendo derivas sobre los patrones actuales.
- Sobre el sistema económico, alterando la seguridad hídrica en general, tanto desde la perspectiva de las garantías de suministro (modificación de las necesidades de agua de los cultivos, de las condiciones de generación energética y otros) como desde la perspectiva de las condiciones exigibles a los vertidos y retornos que, coherentemente, deberán ser más exigentes.

Así, según las proyecciones climáticas (CEDEX, 2017) en los próximos años la planificación y gestión hídrica deberá hacer frente a una importante reducción de los recursos y a un incremento de fenómenos extremos, con importantes impactos en los ecosistemas dependientes y en los sistemas económicos, requiriendo para ellos de importantes cambios en las distintas políticas sectoriales que reduzcan la vulnerabilidad aumentando la resiliencia. En el ámbito de la demarcación, la evaluación de la incidencia del cambio climático sobre los recursos hídricos también ha sido analizada a escala más local. Tal es el caso de los estudios realizados en la Comunidad Autónoma del País Vasco a través de proyectos de la convocatoria de subvenciones KLIMATEK del Gobierno Vasco – Iñobe, en los que se pronostica también una reducción importante de los recursos hídricos y un incremento de la intensidad de los fenómenos extremos.

En el presente anejo se pretende exponer los avances en el análisis de riesgos vinculados al cambio climático en base a los estudios disponibles y a los trabajos para la elaboración del futuro Plan de adaptación al cambio climático, ya en desarrollo.

El anejo se divide en los siguientes capítulos:

- Introducción
- Base normativa
- Afección a los recursos hídricos
- Plan de adaptación al cambio climático
- Efectos sobre los ecosistemas
- Afección a la costa
- Afección a los sistemas económicos
- Conclusiones

El capítulo de base normativa describe, no solo los artículos relevantes en relación con el cambio climático, sino también el marco político actual europeo y nacional. En el capítulo de afección a los recursos se presentan los resultados derivados de los trabajos “Elaboración de escenarios regionales de cambio climático de alta resolución sobre el País Vasco”, elaborado por Neiker e Ihobe y “Vulnerabilidad hídrica: de las tendencias del pasado reciente a las del futuro”, elaborado por la Universidad del País Vasco e Ihobe a escala local y las últimas proyecciones climáticas de acuerdo con el 5º informe del IPPC y las conclusiones del estudio del CEDEX (CEH, 2017) sobre el efecto de dichas proyecciones en los recursos hídricos a mayor escala.

Los resultados de estos trabajos han servido de base para la modelización de los escenarios futuros de gestión (2039) en situación de cambio climático recogidos en el anejo 6 del presente plan.

Posteriormente, se presenta el enfoque empleado para la elaboración del futuro plan de adaptación al cambio climático y sus avances preliminares en relación con el riesgo sobre los ecosistemas.

Igualmente, se expone el riesgo en la línea de costa y otros riesgos previsibles para los usos, de forma complementaria a los expuestos en el anejo 6.

Finalmente, se incluye un capítulo con las principales conclusiones obtenidas de los apartados anteriores.

2. BASE NORMATIVA

2.1. Reglamento de planificación hidrológica

El Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH), aprobado mediante el Real Decreto 907/2007, del 6 de julio, recoge el articulado y detalla las disposiciones del TRLA relevantes para la planificación hidrológica.

En su articulado hay dos referencias al cambio climático relacionadas entre sí, en el artículo 11, relativo al inventario de recursos hídricos naturales, y en su artículo 21, en relación con los balances, asignaciones y reservas de recursos.

En su artículo 11 establece:

1. Por inventario de recursos hídricos naturales se entenderá la estimación cuantitativa, la descripción cualitativa y la distribución temporal de dichos recursos en la demarcación hidrográfica. En el inventario se incluirán las aguas que contribuyan a las aportaciones de los ríos y las que alimenten almacenamientos naturales de agua, superficiales o subterráneos.

2. A efectos de la realización del inventario la demarcación hidrográfica se podrá dividir en zonas y subzonas. La división se hará en cada caso atendiendo a criterios hidrográficos, administrativos, socioeconómicos, medioambientales u otros que en cada supuesto se estime conveniente tomar en consideración.

3. El inventario contendrá, en la medida que sea posible:

a) Datos estadísticos que muestren la evolución del régimen natural de los flujos y almacenamientos a lo largo del año hidrológico.

b) Interrelaciones de las variables consideradas, especialmente entre las aguas superficiales y subterráneas, y entre las precipitaciones y las aportaciones de los ríos o recarga de acuíferos.

c) La zonificación y la esquematización de los recursos hídricos naturales en la demarcación hidrográfica.

d) Características básicas de calidad de las aguas en condiciones naturales.

4. El plan hidrológico evaluará el posible efecto del cambio climático sobre los recursos hídricos naturales de la demarcación. Para ello estimará los recursos que corresponderían a los escenarios climáticos previstos por el Ministerio de Medio Ambiente, que se tendrán en cuenta en el horizonte temporal indicado en el artículo 21.4.

En el artículo 21, apartado 4, por su parte establece:

4. Con objeto de evaluar las tendencias a largo plazo, para el horizonte temporal del año 2027 el plan hidrológico estimará el balance o balances entre los recursos previsiblemente disponibles y las demandas previsibles correspondientes a los diferentes usos. Para la realización de este balance se

tendrá en cuenta el posible efecto del cambio climático sobre los recursos hídricos naturales de la demarcación de acuerdo con lo establecido en el artículo 11. El citado horizonte temporal se incrementará en seis años en las sucesivas actualizaciones de los planes.

Así, los efectos del cambio climático deberán estudiarse en el escenario 2039, según los 2 incrementos de 6 años correspondientes a esta segunda actualización del plan.

2.2. Instrucción de planificación hidrológica

La Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH) recoge y desarrolla los contenidos del RPH y del TRLA.

La IPH por su parte incluye un cierto desarrollo a los artículos del RPH en relación con el cambio climático.

Por una parte, los apartados 2.4.6 y 3.5.2 son un desarrollo de los 2 artículos anteriores, con prácticamente el mismo contenido que el reglamento salvo la inclusión de una tabla con porcentajes de reducción de recursos a emplear en ausencia de modelos más precisos.

Además, hay una referencia al cambio climático en su apartado 3.4.7, con relación al seguimiento de los caudales ecológicos que se reproduce a continuación:

Se realizará un seguimiento del régimen de caudales ecológicos y de su relación con los ecosistemas, con objeto de conocer el grado de cumplimiento de los objetivos previstos e introducir eventuales modificaciones del régimen definido.

El seguimiento del régimen de caudales incorporará los siguientes elementos al proceso:

- a) Mejora del conocimiento sobre el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y de las especies objetivas identificadas.*
- b) Mejora del conocimiento de la relación de los caudales ecológicos con el mantenimiento y estructura de los ecosistemas terrestres asociados.*
- c) Previsiones del efecto del cambio climático sobre los ecosistemas acuáticos.*

En la presente revisión del plan se abordará por primera vez el efecto del cambio climático sobre los ecosistemas acuáticos en el marco del plan de adaptación.

Por último, en el apartado 8, relativo al programa de medidas, se establece:

Deberá realizarse una comprobación de la adecuación del programa de medidas a los escenarios de cambio climático considerados. Tal comprobación deberá incluir la capacidad de adaptación de las medidas al cambio climático, así como la robustez y eficacia para alcanzar los objetivos de la planificación hidrológica.

2.3. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático

Como resultado del compromiso nacional con la política europea, y en particular con el Pacto Verde Europeo, España aprobó, el 22 de septiembre de 2020, un nuevo Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) para el período 2021-2030.

El Pacto Verde Europeo es una estrategia de crecimiento con el objetivo último de transformar el modelo económico de la UE en uno más sostenible y neutro en emisiones, que deberá haberse logrado en 2050, protegiendo y mejorando a su vez el capital natural de la unión y la salud y el bienestar de los ciudadanos frente a los riesgos.

El Plan Nacional, por su parte, deberá ser el instrumento de planificación básico para promover la acción coordinada frente a los efectos del cambio climático en España a lo largo de la próxima década y ciclo de planificación. Sin perjuicio de las competencias que correspondan a las diversas Administraciones Públicas, el PNACC 2021-2030 define objetivos, criterios, ámbitos de trabajo y líneas de acción para fomentar la adaptación y la resiliencia frente al cambio del clima.

En concreto, el PNACC 2021-2030 define y describe 81 líneas de acción sectoriales organizadas en 18 ámbitos de trabajo. Entre ellos se diferencia uno dedicado al agua y a los recursos hídricos. En esta materia se distinguen seis (6) líneas de acción, que de manera muy sintética se describen a continuación y deberán tenerse en cuenta, en la medida de lo posible, en el presente ciclo de planificación:

1. Ampliación y actualización del conocimiento sobre los impactos del cambio climático en la gestión del agua y los recursos hídricos. Responsables: OECC y DGA en colaboración con AEMET.
2. Integración de la adaptación al cambio climático en la planificación hidrológica. Responsables: Organismos de cuenca para ámbitos intercomunitarios y CCAA para los intracomunitarios, DGA con el apoyo de la OECC.
3. Gestión contingente de los riesgos por sequías integrada en la planificación hidrológica. Responsables: Organismos de cuenca para ámbitos intercomunitarios y CCAA para los intracomunitarios, DGA con el apoyo de la OECC.
4. Gestión coordinada y contingente de los riesgos por inundaciones. Responsables: Organismos de cuenca para ámbitos intercomunitarios y CCAA para los intracomunitarios, DGA, OECC, DG de Costa y Mar, AEMET, DG de Protección Civil y Emergencias, CCAA y EELL.
5. Actuaciones de mejora del estado de las masas de agua y de los ecosistemas acuáticos, con incidencia en las aguas subterráneas. Responsables: Organismos de cuenca para ámbitos intercomunitarios y CCAA para los intracomunitarios, DGA con el apoyo de la OECC y DG Costa y Mar.
6. Seguimiento y mejora del conocimiento sobre los efectos del cambio climático en las masas de agua y sus usos. Responsables: Organismos de cuenca para ámbitos intercomunitarios y CCAA para los intracomunitarios, DGA con el apoyo de la OECC y DG Costa y Mar.

Una de las herramientas operativas desarrolladas en el marco del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático es el Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático, PIMA Adapta¹. Este plan, que comenzó en 2015 para apoyar la consecución de los objetivos del PNACC, utiliza

¹ <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/planes-y-estrategias/PIMA-Adapta.aspx>

recursos económicos procedentes de las subastas de derechos de emisión, realizadas en el marco del régimen de comercio de derechos de emisión, canalizándolos hacia proyectos de adaptación.

La iniciativa PIMA Adapta, que está coordinada por la OECC y se gestiona desde diversas entidades públicas, contempla actuaciones en los ámbitos: agua, costas, parques nacionales, biodiversidad y ecosistemas.

En el presente anejo se dará cuenta del avance en las líneas de acción comentadas. Cabe destacar que algunos de los documentos y trabajos desarrollados, cuyas conclusiones se presentan a lo largo de este documento, se han hecho en el marco del PIMA Adapta.

2.4. Ley de Cambio Climático y Transición Energética

Recientemente se ha aprobado la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética. Esta Ley hace expresa referencia a la planificación hidrológica, concretamente su artículo 19, que por su interés se reproduce a continuación:

Artículo 19. Consideración del cambio climático en la planificación y gestión del agua.

1. La planificación y la gestión hidrológica, a efectos de su adaptación al cambio climático, tendrán como objetivos conseguir la seguridad hídrica para las personas, para la protección de la biodiversidad y para las actividades socioeconómicas, de acuerdo con la jerarquía de usos, reduciendo la exposición y vulnerabilidad al cambio climático e incrementando la resiliencia.

2. La planificación y la gestión hidrológica deberán adecuarse a las directrices y medidas que se desarrollen en la Estrategia del Agua para la Transición Ecológica, sin perjuicio de las competencias que correspondan a las Comunidades Autónomas. Dicha Estrategia es el instrumento programático de planificación de las Administraciones Públicas que será aprobado mediante Acuerdo del Consejo de Ministros en el plazo de un año desde la entrada en vigor de esta ley.

3. La planificación y la gestión, en coherencia con las demás políticas, deberán incluir los riesgos derivados del cambio climático a partir de la información disponible, considerando:

a) Los riesgos derivados de los impactos previsibles sobre los regímenes de caudales hidrológicos, los recursos disponibles de los acuíferos, relacionados a su vez con cambios en factores como las temperaturas, las precipitaciones, la acumulación de la nieve o riesgos derivados de los previsibles cambios de vegetación de la cuenca.

b) Los riesgos derivados de los cambios en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos asociados al cambio climático en relación con la ocurrencia de episodios de avenidas y sequías.

c) Los riesgos asociados al incremento de la temperatura del agua y a sus impactos sobre el régimen hidrológico y los requerimientos de agua por parte de las actividades económicas.

d) Los riesgos derivados de los impactos posibles del ascenso del nivel del mar sobre las masas de agua subterránea, las zonas húmedas y los sistemas costeros.

4. Con objeto de abordar los riesgos señalados en el apartado anterior, la planificación y la gestión hidrológicas deberán:

a) Anticiparse a los impactos previsibles del cambio climático, identificando y analizando el nivel de exposición y la vulnerabilidad de las actividades socio-económicas y los ecosistemas, y desarrollando medidas que disminuyan tal exposición y vulnerabilidad. El análisis previsto en este apartado tomará en especial consideración los fenómenos climáticos extremos, desde la probabilidad de que se produzcan, su intensidad e impacto.

b) Identificar y gestionar los riesgos derivados del cambio climático en relación con su impacto sobre los cultivos y las necesidades agronómicas de agua del regadío, las necesidades de agua para refrigeración de centrales térmicas y nucleares y demás usos del agua.

c) Considerar e incluir en la planificación los impactos derivados del cambio climático sobre las tipologías de las masas de agua superficial y subterránea y sus condiciones de referencia.

d) Determinar la adaptación necesaria de los usos del agua compatibles con los recursos disponibles, una vez considerados los impactos del cambio climático, y con el mantenimiento de las condiciones de buen estado de las masas de agua.

e) Considerar los principios de la Estrategia del Agua para la Transición Ecológica para la adaptación y mejora de la resiliencia del recurso y de los usos frente al cambio climático en la identificación, evaluación y selección de actuaciones en los planes hidrológicos y en la gestión del agua.

f) Incluir aquellas actuaciones cuya finalidad expresa consista en mejorar la seguridad hídrica mediante la reducción de la exposición y la vulnerabilidad y la mejora de la resiliencia de las masas de agua, dentro de las que se incluyen las medidas basadas en la naturaleza.

g) Incluir en la planificación los impactos derivados de la retención de sedimentos en los embalses y las soluciones para su movilización, con el doble objetivo de mantener la capacidad de regulación de los propios embalses y de restaurar el transporte de sedimentos a los sistemas costeros para frenar la regresión de las playas y la subsidencia de los deltas.

h) Elaborar el plan de financiación de las actuaciones asegurando la financiación para abordar los riesgos del apartado primero.

i) Realizar el seguimiento de los impactos asociados al cambio del clima para ajustar las actuaciones en función del avance de dichos impactos y las mejoras en el conocimiento.

5. En el marco de los Planes de Gestión del Riesgo de Inundación se considerará la necesidad de medidas de control de avenidas mediante actuaciones de corrección hidrológico forestal y prevención de la erosión.

En el presente anejo se abordará, en la medida de lo posible, los avances en estas líneas de trabajo en el ámbito de la demarcación. En futuras actualizaciones y en el plan de adaptación en desarrollo se tendrán en cuenta las conclusiones y recomendaciones de la Estrategia del Agua para la Transición Ecológica, una vez se desarrolle. Cabe destacar que en su contenido jugará un papel muy importante la restauración ambiental y la mejora de caudales ecológicos como herramienta fundamental para la lucha contra el cambio climático.

2.5. Otras referencias

A nivel autonómico, se ha planteado La Estrategia de Cambio Climático del País Vasco - KLIMA 2050, respondiendo a los objetivos estratégicos 1, 2 y 5 del Programa Marco Ambiental de la CAPV 2020. Esta estrategia ha sido el resultado de un largo proceso, iniciado en 2014 con la elaboración de un documento de focalización estratégica, en el que trabajaron numerosos expertos en cambio climático, entre los que se encontraban investigadores de centros tecnológicos y de la Universidad del País Vasco.

En 2015 se definió la estrategia, con la colaboración de los distintos departamentos del Gobierno Vasco, ayuntamientos y diputaciones, así como la sociedad civil a través de los diversos foros de participación pública puestos en marcha. Fue aprobada en junio de 2015 por el Consejo de Gobierno.

3. AFECCIÓN A LOS RECURSOS HÍDRICOS, SEQUÍAS E INUNDACIONES

Los efectos del cambio climático sobre las variables hidrometeorológicas afectan, no solo a la cuantía de dichas variables, sino también a su distribución espacial y temporal. Esto puede suponer variaciones en el balance hídrico, la escorrentía, la recarga, la acumulación de nieve y la incidencia de los fenómenos extremos. La variación de estas variables hidrológicas podrá tener una lógica repercusión en la calidad de las aguas, que se estudiará en apartados consecuentes.

En el año 2017, por encargo de la OECC, el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX presentó el informe más reciente hasta la fecha en relación al impacto del cambio climático sobre las variables hidrológicas para el conjunto de España: *“Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y Sequías en España (2015-2017)”* (CEH,2017).

Por otro lado, tal y como se ha comentado con anterioridad, la evaluación de la incidencia del cambio climático sobre los recursos hídricos también ha sido analizada a escala más local en el ámbito de la demarcación, a través de proyectos tales como la *“Elaboración de escenarios regionales de cambio climático de alta resolución sobre el País Vasco* (Neiker e Ihobe en 2017) o el estudio de *“Vulnerabilidad hídrica: de las tendencias del pasado reciente a las del futuro”* (Universidad del País Vasco e Ihobe , 2017).

A continuación, se presentan los resultados de dichos estudios con especial atención a las variables en el ámbito de la DHC Oriental.

3.1. Afección a los recursos hídricos

El estudio referenciado del CEDEX, evalúa el impacto en base a 12 proyecciones climáticas regionalizadas, combinando 6 modelos climáticos globales, regionalizados a la escala nacional, y dos escenarios de emisiones. Estos escenarios de emisiones, conocidos como RCP (sendas representativas de concentración, según sus siglas en inglés), se han obtenido del 5º informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés).

Realmente, en dicho 5º informe del IPCC se presentan 4 RCP que se identifican según su forzamiento radiativo total para el año 2100 que varía desde 2.6 a 8.5 W/m². Así, se han establecido estas 4 sendas representativas de concentración: 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5. Cada RCP tiene asociada una base de datos de emisiones de sustancias contaminantes, de emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) y de usos de suelo hasta el año 2100. A grandes rasgos el escenario RCP2.6 está basado en una fuerte reducción de emisiones, los escenarios RCP4.5 y RCP6.0 son escenarios intermedios y el RCP8.5 es un escenario tendencial de altas emisiones.

Los RCP seleccionados por el CEH para la evaluación de impactos son el escenario tendencial (RCP8.5), según el cual se superaría una concentración de 1000 ppm de CO₂ en la atmósfera a finales de siglo, y un escenario intermedio (RCP4.5) relativamente optimista según el cual se aplican políticas de reducción de emisiones que sitúan el pico máximo de concentración en el año 2050 y estabilizándose en este caso la concentración en torno a 650 ppm de CO₂ a final de siglo (en la actualidad se sitúa en 410 ppm).

En la figura siguiente se puede ver la evolución de las emisiones de CO₂ a lo largo del siglo XXI para cada una de las RCP consideradas.

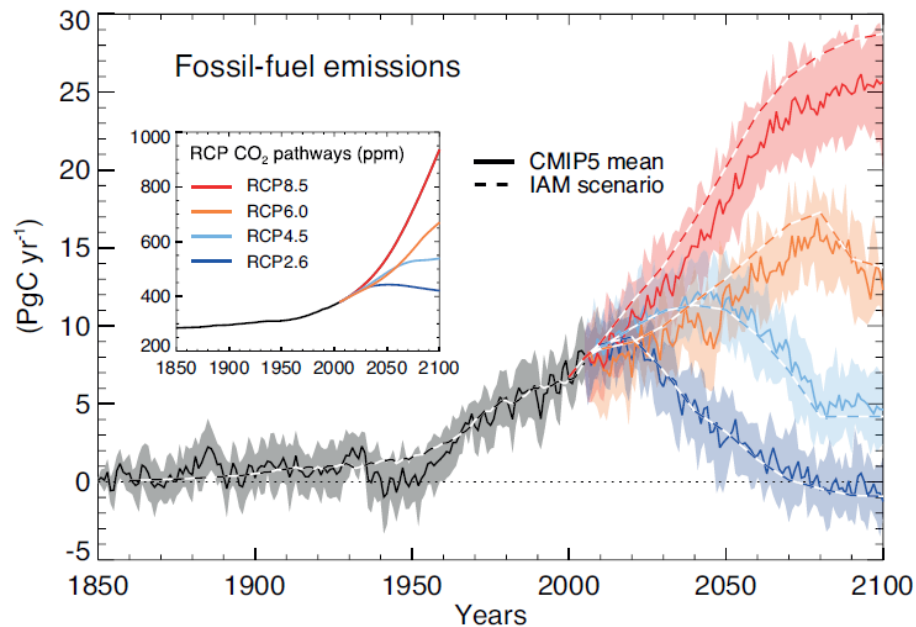


Figura 1. Evolución de las emisiones de CO₂ según las RCP.

Como apunte inicial a los resultados del informe cabe destacar que todas las proyecciones muestran un incremento de temperaturas y de fenómenos extremos en España a lo largo del siglo, la precipitación, sin embargo, muestra mayor variabilidad e incertidumbre.

A partir de estas 12 proyecciones se obtienen los mapas mensuales de precipitación y de temperaturas máximas y mínimas y con ellos se alimenta el modelo hidrológico empleado, que en este caso ha sido SIMPA, modelo desarrollado en el CEH (Estrela y Quintas 1996, Álvarez-Rodríguez et al. 2005) y ampliamente utilizado en la estimación de recursos hídricos a nivel nacional.

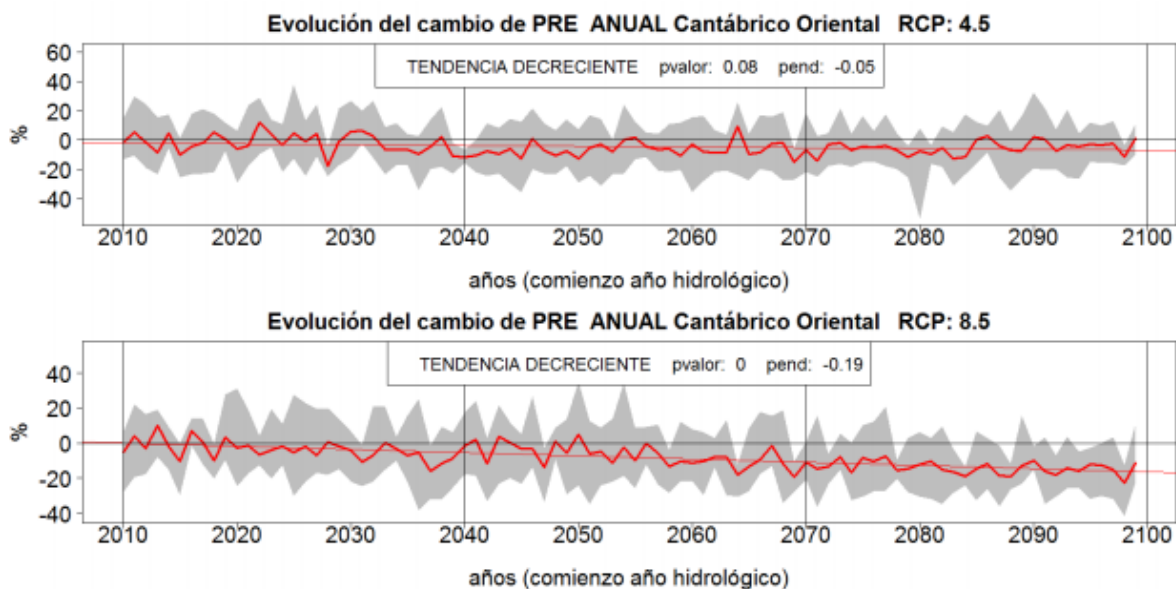
Así, el impacto sobre los recursos hídricos se ha evaluado en tres periodos futuros de 30 años, denominados periodos de impacto (PI), por comparación con el periodo de control (PC), que abarca de 1961 a 2000. Estos tres periodos de impacto son: PI1: 2010-2040, PI2: 2040-2070 y PI3: 2070-2100, reflejando el impacto en el corto, medio y largo plazo.

Todos los resultados del estudio se presentan como porcentajes de cambio promedio referido al periodo de control simulado, que se considera representativo de un periodo no impactado. Todos los resultados del estudio del CEDEX se han puesto a disposición del público y se pueden consultar mediante la aplicación CAMREC (de libre difusión y gratuita) desarrollada sobre QGIS https://ceh.cedex.es/web_ceh_2018/Evimpacambclim2017.htm. A continuación, se presentan los resultados, para los tres periodos de impacto, de cada una de las variables hidrológicas que analiza el estudio, en el ámbito del Cantábrico Oriental.

Tabla 1. Afección del cambio climático con respecto a una situación no afectada sobre las variables hidrológicas en el ámbito de la DHC Oriental.

		Med RCP4.5	Med RCP8.5
Precipitación	PI1 (2010-2040)	-2%	-4%
	PI2 (2040-2070)	-6%	-7%
	PI3 (2070-2100)	-5%	-14%
Evapotranspiración potencial	PI1 (2010-2040)	2%	3%
	PI2 (2040-2070)	5%	7%
	PI3 (2070-2100)	6%	11%
Evapotranspiración real	PI1 (2010-2040)	1%	1%
	PI2 (2040-2070)	2%	4%
	PI3 (2070-2100)	3%	6%
Humedad en el suelo	PI1 (2010-2040)	-2%	-2%
	PI2 (2040-2070)	-4%	-5%
	PI3 (2070-2100)	-4%	-9%
Recarga	PI1 (2010-2040)	-3%	-6%
	PI2 (2040-2070)	-9%	-10%
	PI3 (2070-2100)	-9%	-21%
Escorrentía	PI1 (2010-2040)	-3%	-7%
	PI2 (2040-2070)	-12%	-13%
	PI3 (2070-2100)	-10%	-26%

A grandes rasgos se observa una reducción de la precipitación media anual. Esta reducción es bastante más moderada en el escenario RCP4.5, donde llama la atención que el decrecimiento es menor en el PI3 que en el PI2. Sin embargo, en la proyección RCP8.5 se observa una tendencia descendente en la precipitación, que incluso llega a reducirse un 14% en el periodo PI3. La banda gris del gráfico siguiente indica el rango de resultados de las proyecciones, mostrándose una gran variabilidad entre ellas. Dado que la precipitación es la variable que más influye en el ciclo hidrológico conviene tener en cuenta las incertidumbres en su determinación.

**Figura 2.** Evolución de la variación porcentual de la precipitación en la DH Cantábrico Oriental como promedio de las 6 proyecciones climáticas.

En cuanto a la apreciación de cambios en el ciclo anual, estos están enmascarados por la falta de ajuste de las proyecciones al ciclo observado en el periodo de control. Además, no hay unos claros patrones de cambio por la variabilidad de unas proyecciones climáticas a otras. Destaca, no obstante, una concentración de las precipitaciones en febrero en todos los PI y RCP y una reducción al final del verano.

Por su parte, en el caso de la evapotranspiración potencial (ETP), su variación responde a la tendencia de temperaturas. La ETP sube en todos los periodos según todas las proyecciones del RCP4.5, aunque cabe destacar que se trata de incrementos leves ya que, en el caso de esta variable, la cornisa cantábrica se ve afectada en menor medida por el cambio climático, al contrario del interior peninsular.

Las proyecciones del RCP8.5 presentan mayores subidas de ETP que las respectivas del RCP4.5. En este caso en el periodo PI3 se observa un incremento mayor del 10%.

En este caso la incertidumbre es menor, dado que no va más allá de diez puntos porcentuales arriba o abajo (banda gris del gráfico siguiente).

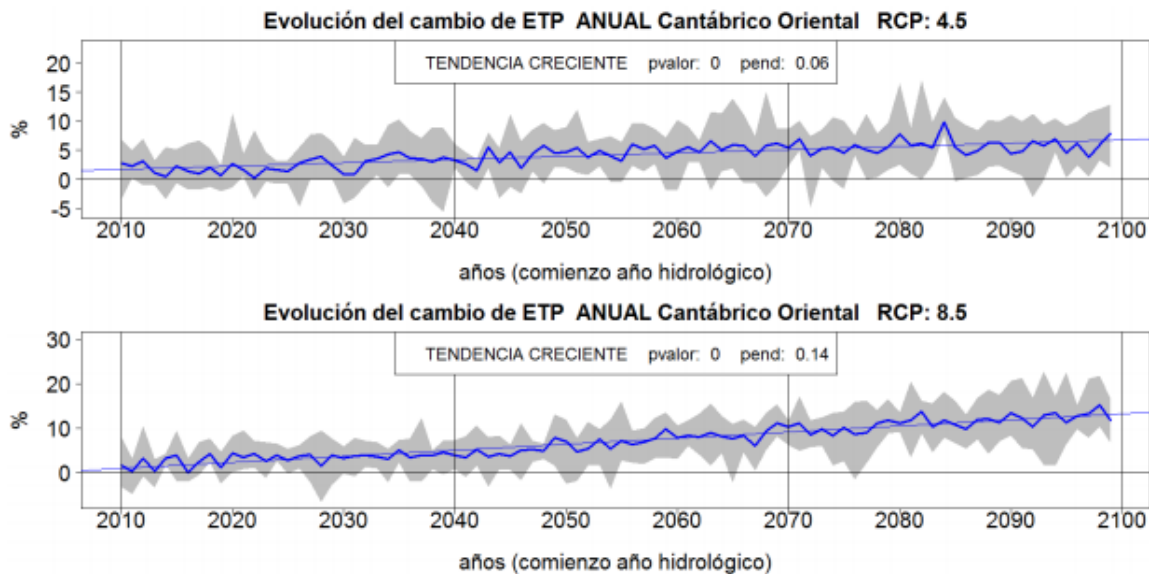


Figura 3. Evolución de la variación porcentual de la ETP en la DH Cantábrico Oriental como promedio de las 6 proyecciones climáticas.

En cuanto a la ETR, apenas presenta cambios en la proyección PI1 para ambos escenarios de emisiones RCP. En las proyecciones futuras, según avanza el siglo, se prevén variaciones poco significativas y con valores positivos, siendo más notables en el escenario RCP8.5. Esta tendencia en escenarios futuros es similar a la ETP pero más moderada, puesto que la ETR también se verá influida por la reducción de la precipitación y de la humedad del suelo. Respecto al cambio en el ciclo anual, se aprecia un patrón que consiste en una concentración de la ETR en los meses donde hay más disponibilidad de agua, en invierno, y una reducción en los meses de verano, hacia el final del año hidrológico.

La humedad en el suelo también presenta una tendencia decreciente, debido al descenso de la precipitación y al aumento de ETP, lo que causaría importantes impactos en los ecosistemas y la agricultura. La relación directa entre esta variable y la reducción de la precipitación es notable, puesto que, tal y como ocurre con la previsión de la precipitación, no se observa variación de la humedad para los periodos PI2 y PI3 en el escenario RCP4.5. No obstante, la reducción es más acusada en las proyecciones RCP8.5.

La variación en la recarga, por su parte, oscila entre un -3% en el PI1 del escenario RCP4.5 y un -26% en el PI3, RCP8.5. Con carácter general, los cambios en la recarga siguen pautas similares a las de la precipitación, aunque más acentuadas. No se observan tampoco unos claros patrones de cambio en el ciclo anual salvo por la tendencia a concentrarse en los meses invernales y a reducirse a finales del verano.

Finalmente, la variación de la escurrimiento presenta valores de variación muy similares a la recarga, entre un -3% en el PI1 y RCP4.5 y un -26% en el PI3 y RCP8.5. Al igual que ocurría con la precipitación, no se observan unos claros patrones de cambio en el ciclo anual, ya que los resultados varían mucho según la proyección climática.

Los cambios en la recarga y en la escurrimiento son indicativos de la variación en la disponibilidad de recursos subterráneos y superficiales respectivamente, y servirán de base para la definición del escenario futuro de cambio climático a efectos de modelar la gestión de los sistemas recogida en el anejo 6.

Para ello, con el fin de obtener los valores de reducción más adecuados, aplicables a los modelos de gestión, se ha solicitado al CEDEX un mayor detalle geográfico y temporal para estas dos últimas variables. Por el momento se dispone de la variación de la escurrimiento según se muestra a continuación.

Cabe recordar, según se ha apuntado ya en el apartado dedicado a la normativa que, de acuerdo con la IPH, para la evaluación de tendencias a largo plazo, en el horizonte 2039, se han de realizar balances entre recursos y demandas previsibles teniendo en cuenta el posible efecto del cambio climático.

De acuerdo con las recomendaciones del CEDEX (2020) una buena aproximación para el horizonte 2039 se obtendría promediando los valores de los dos primeros periodos de impacto (2010-2040 y 2040-2070), y a su vez, promediando los resultados para las seis proyecciones climáticas utilizadas en cada senda de emisiones.

Dado que el sesgo de los valores climáticos de partida es muy importante, y no se reproduce adecuadamente la variabilidad interanual y los periodos secos y húmedos en el periodo de control (PC), no es posible modificar estos porcentajes en base a una serie real diferente a dicho PC, esto es, para la serie actual empleada en los modelos de gestión (1940/41-2017/18, serie larga, y 1980/81-2017/18, serie corta). Por este motivo, con carácter general, los porcentajes de reducción obtenidos en el estudio se consideran válidos para comparar una serie afectada por el cambio climático con una que no lo esté. Así, el CEDEX propone emplear el promedio de los dos primeros PI para aproximar al horizonte 2039 y aplicar estos porcentajes sobre la serie 1940/41-2005/06, considerándose que a partir de dicho año la serie ya está afectada por el cambio climático. Por otro lado, se han recalculado también los porcentajes de reducción media que habría que aplicar en cada demarcación a la serie corta para estimar los recursos al horizonte 2039.

En cuanto a la desagregación temporal y espacial, el CEH consideró de utilidad facilitar los porcentajes de cambio en las aportaciones hídricas de la red fluvial, de manera que se pudieran obtener directamente los porcentajes de variación en la aportación en los puntos de interés para los modelos hidrológicos empleados, y poder analizar así el impacto del cambio climático sobre los usos. Como ejemplo, se presentan a continuación los resultados obtenidos por trimestre para las unidades

territoriales de sequía definidas en el Plan Especial de Sequía correspondiente a las cuencas intercomunitarias de la DH del Cantábrico Oriental:

Tabla 2. Porcentajes de cambio de la escorrentía para cada UTS y trimestre.

Código UTS	Nombre UTS	RCP4.5				RCP8.5			
		Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	Jul-Sep	Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	Jul-Sep
UTS 1	Ibaizabal	-16%	-3%	-6%	-10%	-14%	-8%	-13%	-13%
UTS 2	Oria	-12%	-1%	-6%	-11%	-10%	-6%	-11%	-13%
UTS 3	Urumea	-10%	-1%	-5%	-12%	-7%	-5%	-9%	-12%
UTS 4	Bidasoa	-11%	-1%	-6%	-13%	-9%	-4%	-11%	-13%
UTS 5A	Ríos Pirenaicos	-11%	-2%	-8%	-11%	-10%	-4%	-12%	-13%
UTS 5A	Ríos Pirenaicos	-12%	-1%	-7%	-10%	-10%	-5%	-12%	-11%
UTS 5B	Ríos Pirenaicos	-10%	-1%	-8%	-13%	-9%	-4%	-12%	-14%
UTS 5C	Ríos Pirenaicos	-12%	-1%	-8%	-13%	-9%	-5%	-12%	-14%

Como se puede ver en el cuadro anterior, en el caso de la parte intercomunitaria de la DHC Oriental existe importante diferencia entre considerar un escenario optimista (RCP4.5) y uno pesimista (RCP 8.5). Si bien en términos absolutos en ambos escenarios se produce una reducción global de la escorrentía, en el escenario RCP4.5 hay una reducción más acusada en el primer y cuarto trimestre del año hidrológico en todas las UTS, mientras que en el escenario RCP8.5 la reducción es generalizada en todos los trimestres y ámbitos geográficos.

Tal y como propone CEH, la obtención de los porcentajes de cambio de la aportación trimestral en cada celda de la red fluvial, podría ser un dato interesante para la modelización de la gestión en el escenario de cambio climático, ya que permite obtener para cada punto de aportación en la red fluvial, la reducción que se ha producido en cada trimestre.

La evaluación de la incidencia del cambio climático sobre los recursos hídricos también ha sido analizada a escala más local en el ámbito de la demarcación. Tal es el caso de los estudios realizados en la Comunidad Autónoma del País Vasco a través de proyectos de la convocatoria de subvenciones KLIMATEK del Gobierno Vasco.

Por un lado, en el proyecto denominado *“Elaboración de escenarios regionales de cambio climático de alta resolución sobre el País Vasco”*, elaborado por Neiker e Ihobe en 2017 se ha desarrollado:

- Un atlas climático (datos diarios del periodo 1971-2015) de alta resolución espacial (1km x 1km) de variables básicas (precipitación, temperaturas medias, temperatura máxima y temperatura mínima).
- Proyecciones climáticas para el siglo XXI (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100), de alta resolución espacial (1km x 1km) generados para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, a partir de simulaciones realizadas con RCMs (Regional Climate Models) en el marco del proyecto Euro-CORDEX.

Este estudio estima un descenso de la precipitación anual de en torno a un 15% para finales de siglo, mientras que en el caso de las temperaturas el aumento oscilaría, dependiendo del escenario y modelo, entre los 1,5°C y los 5°C. El aumento de las temperaturas llevaría asociado un aumento de la ET₀.

Por otro lado, en el estudio llamado *“Vulnerabilidad hídrica: de las tendencias del pasado reciente a las del futuro”*, elaborado por la Universidad del País Vasco e Ihobe en 2017, se analizan las tendencias

observadas en las series de caudales circulantes por 117 estaciones de aforos de la Comunidad Autónoma de Euskadi y zonas limítrofes. En todas ellas se identifican las tendencias temporales, a diferentes escalas, poniendo especial énfasis en las tendencias espaciales, agrupando las estaciones por zonas con objeto de analizar posibles tendencias regionales subyacentes. Los resultados parecen converger hacia una disminución de los caudales medios y bajos.

Las conclusiones de ambos estudios realizados en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Euskadi son congruentes con las obtenidas en los mencionados estudios del CEDEX.

Por otro lado, recientemente el CEDEX ha evaluado el posible efecto del cambio climático en la recarga subterránea de las masas de agua, proporcionando porcentajes de cambio anual de la recarga subterránea para el horizonte 2039 según los escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5 y respecto al periodo 1961-2000. Para la DH del Cantábrico Oriental se concluye que la reducción de la recarga subterránea prevista para el año 2039 es de, aproximadamente, 7% en el escenario RCP 4.5, y del 9% en el escenario RCP 8.5.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos en este estudio tienen una alta incertidumbre, debido a que a la incertidumbre inherente a los modelos climáticos hay que añadir la dificultad de simular los procesos del ciclo subterráneo por modelos hidrológicos sencillos

En conclusión, teniendo en cuenta los diversos estudios realizados para el ámbito de la DH del Cantábrico Oriental, para la modelización de la gestión en el escenario de cambio climático en la elaboración del presente Plan Hidrológico se ha considerado una reducción de las aportaciones respecto de la serie corta para el horizonte 2039 del 5,3% en un escenario medio, y del 12,1% en un escenario pesimista, respecto a las aportaciones del periodo 1980/81-2017/18.

3.2. Impactos en el régimen de sequías

El informe del CEDEX (CEH, 2017) aborda igualmente la variación de las sequías según las 12 proyecciones climáticas, entendida como el cambio en su periodo de retorno en cada uno de los periodos de impacto con respecto al periodo de control. A partir de los resultados de escorrentía obtenidos con el modelo SIMPA, la metodología desarrollada por el CHE es la siguiente: por acumulación de los valores mensuales de cada ámbito geográfico, se identifican las sequías como rachas de años seguidos cuyo valor de escorrentía es inferior al umbral elegido (en este caso la mediana).

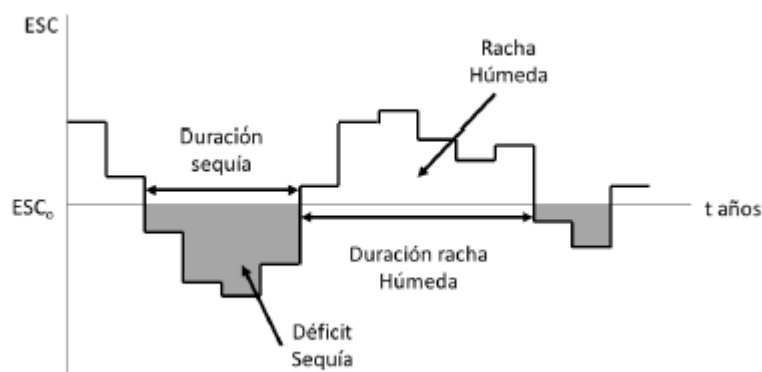


Figura 4. Concepto y definición de sequía (CEH, 2017).

A continuación, se ajusta una función de distribución de probabilidad en base a las características de interés de la sequía: duración y déficit. Se clasifican las sequías según su duración en categorías: sequías de 1 a 5 años. Y posteriormente se estudia la probabilidad para distintos déficits en cada una de estas categorías.

Los resultados obtenidos se representan gráficamente como la peligrosidad de cada categoría de sequía. En abscisas se indica el déficit acumulado medio y en ordenadas el periodo de retorno en años.

A continuación, se muestran los gráficos que representan los resultados de la evaluación del impacto del cambio climático en el régimen de sequías en la demarcación, obtenidos de dicho informe.

En cada gráfica se muestra el cambio en la frecuencia de sequías de 2 o 5 años de duración, según cada uno de los modelos climáticos empleados en este trabajo, tanto para el RCP 4.5 como para el RCP 8.5. El cambio se ilustra mediante curvas que expresan la relación entre el periodo de retorno de sequías y el mínimo déficit medio anual para cada uno de los tres periodos de impacto futuros frente al periodo de control.

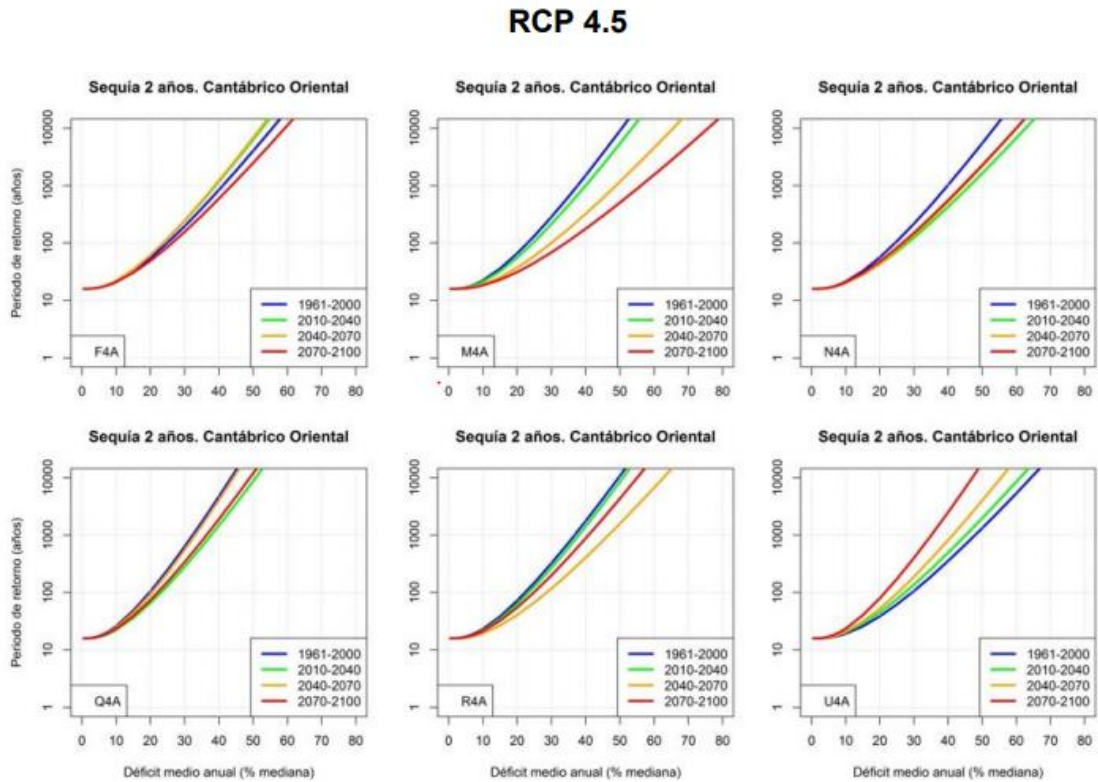


Figura 5. Variación en el periodo de retorno de las sequías de dos años según las proyecciones del escenario RCP 4.5.

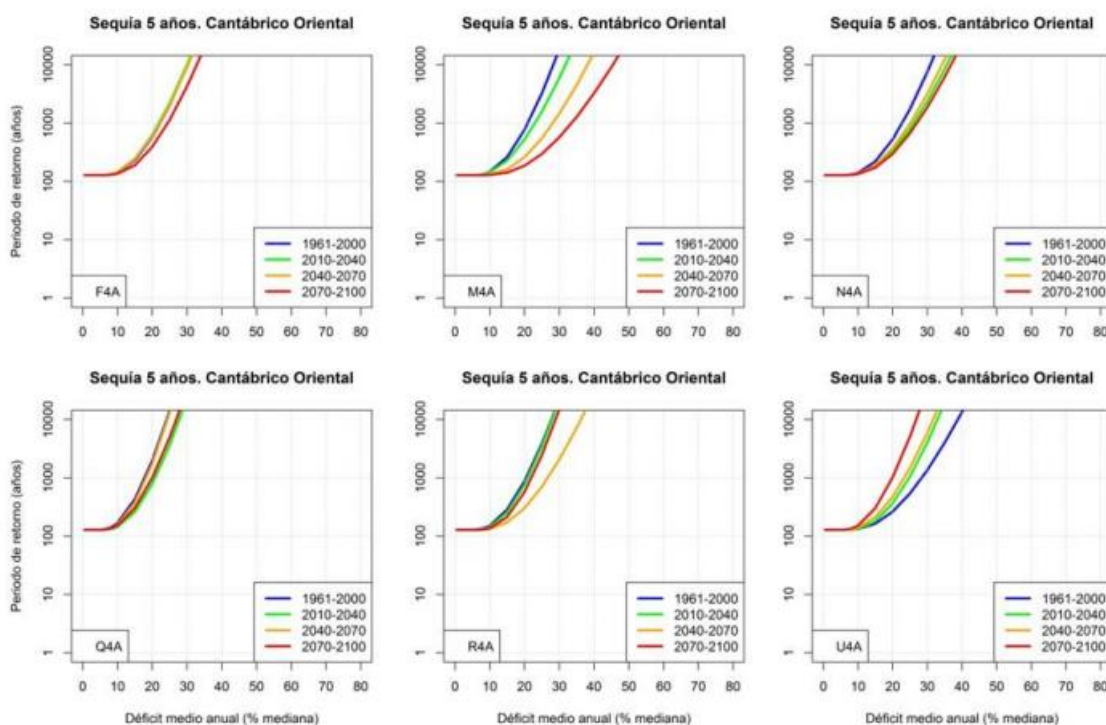


Figura 6. Variación en el periodo de retorno de las sequías de cinco años según las proyecciones del escenario RCP 4.5.

En términos generales se observa un aumento en la frecuencia (o una disminución del periodo de retorno) en las sequías de 2 años de duración en la mayoría de las proyecciones futuras para el RCP4.5. Esto se traduce a que, para un mismo periodo de retorno, las sequías serán más intensas ya que presentarán déficits mayores. No obstante, algunas modelizaciones no presentan aumentos en la frecuencia de sequías en escenarios futuros, e incluso muestran una disminución en la incidencia. Estos resultados son aún más frecuentes en las sequías de 5 años, donde solamente en dos de las proyecciones futuras se puede observar una clara disminución del periodo de retorno a medida que avanzan los años.

RCP 8.5

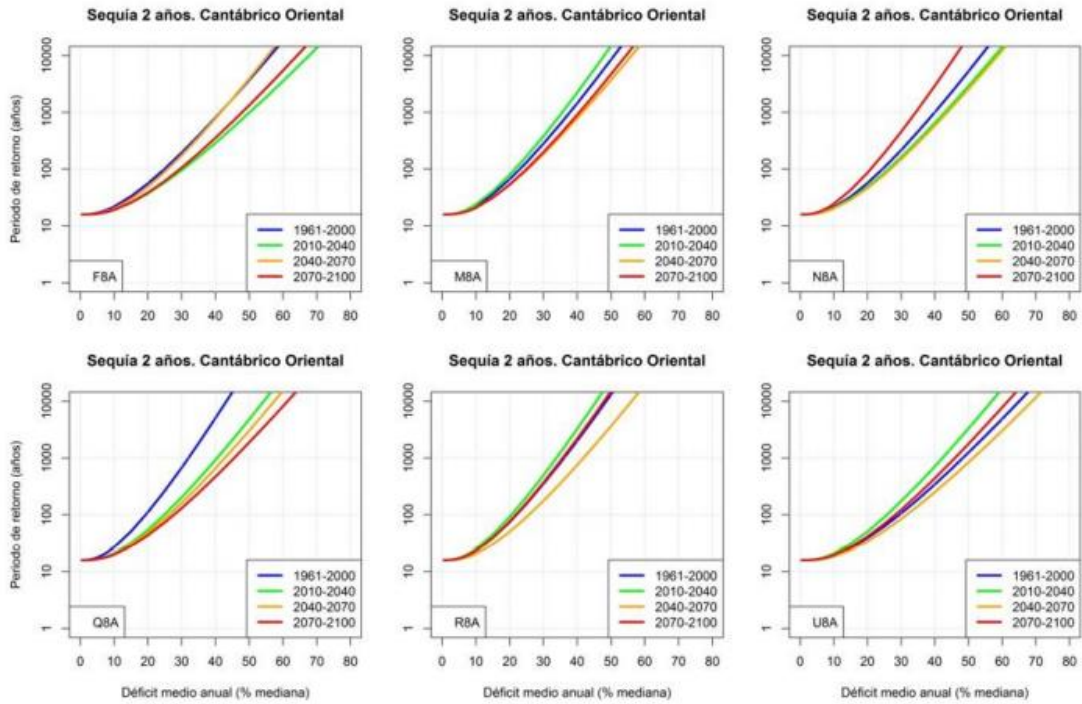


Figura 7. Variación en el periodo de retorno de las sequías de dos años según las proyecciones del escenario RCP 8.5.

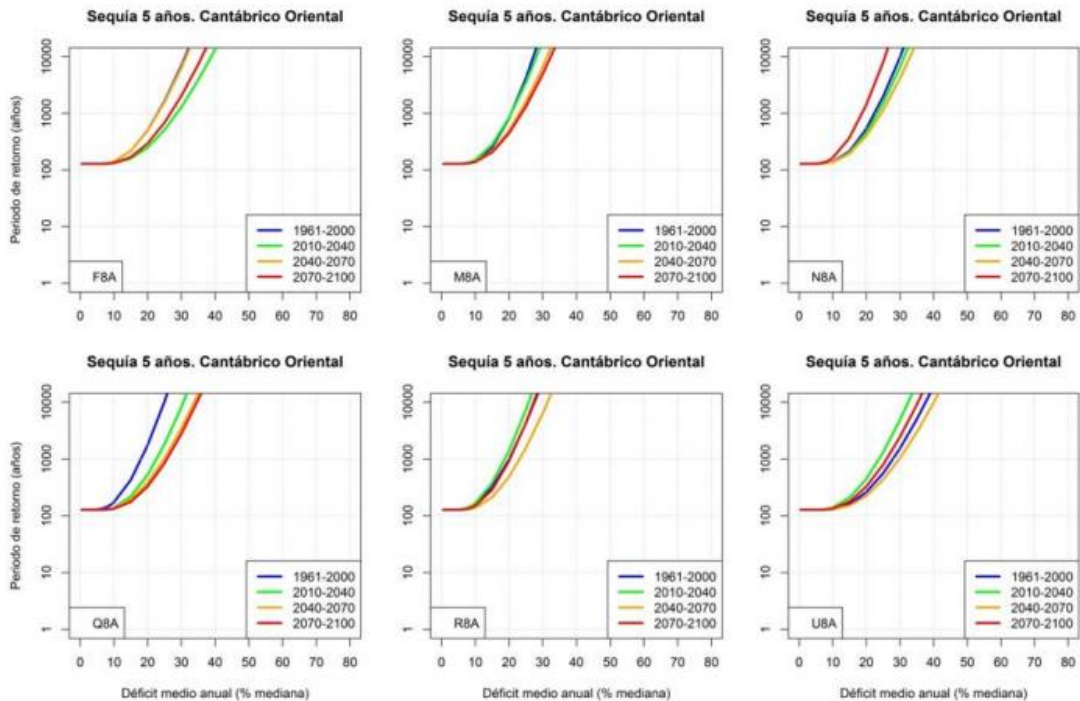


Figura 8. Variación en el periodo de retorno de las sequías de cinco años según las proyecciones del escenario RCP 8.5.

En el escenario RCP8.5 se observan conclusiones similares y también la misma incertidumbre. En este caso no es tan marcada la diferencia entre ambas sendas de emisiones como lo era en la variación de los recursos hídricos.

Si bien a priori parece probable un aumento del riesgo de sufrir sequías más a menudo y más intensas, dado que no se observa un claro empeoramiento entre la senda de emisiones 8.5 con respecto a la senda 4.5 es difícil vincular este aumento del riesgo con la evolución de otros factores asociados al cambio climático (emisiones, aumento de temperatura, ...).

No se puede afirmar de forma concluyente un aumento en la incidencia de la sequía, pero sí parece razonable pensar que las sequías que se den en el futuro serán más intensas.

A esto se une la más que probable reducción de recursos convencionales en situación de normalidad, que podría suponer la puesta en marcha de medida hasta ahora reservadas a periodos de sequía (incremento de desalinización y reutilización, pozos de sequía, ...) y que por lo tanto reducirán su disponibilidad en periodos críticos.

En conclusión, a la vista de la incertidumbre en las predicciones y a la probabilidad de sufrir un empeoramiento en relación con el estrés hídrico en la agricultura y en lo que a recursos disponibles se refiere, las medidas que se recogen en los PES de la demarcación deberán enfocarse al aumento de la resiliencia de los sistemas, para poder hacer frente a la variabilidad de recursos y la incertidumbre creciente. Así, en la revisión del Plan Especial de Sequía del ámbito intercomunitario de la demarcación se deberá tener en cuenta, más si cabe, el carácter impredecible de estas situaciones y cómo afrontarlas con unos recursos en disminución, cuestión que ya se ha tratado de considerar en la elaboración del Plan Especial de Sequía de las cuencas internas del País Vasco realizado en paralelo al presente plan hidrológico.

El programa de medidas del plan ha incluido la realización de los estudios técnicos que han de conducir a la actualización de los citados planes de sequía con el fin de desarrollar análisis de probabilidad y riesgo más robustos que los realizados hasta el momento, conforme a lo previsto en la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética.

3.3. Impactos en las inundaciones

En la revisión de la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación de la DHC Oriental realizada en el año 2018 según lo establecido por la Directiva de Inundaciones, se ha analizado la influencia del cambio climático en la frecuencia de los caudales, y se ha concluido que estos cambios en el régimen de precipitaciones y en la evapotranspiración darían lugar, para el horizonte 2100, a cambios apreciables en los caudales de avenida; 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 más elevados (100 y 500 años) los modelos predicen un incremento de los caudales de avenida².

Por otro lado, también se han analizado los resultados en el informe “Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España” (CEDEX, 2021), elaborado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, cuyo objetivo es la evaluación del impacto del cambio climático sobre las precipitaciones máximas anuales.

² Agencia Vasca del Agua (2015). Efecto del cambio climático en la inundabilidad de la CAPV.

Es preciso indicar que estos posibles incrementos en los caudales de avenida no se traducen en un aumento proporcional de la inundabilidad. La probabilidad de desbordamiento de los cauces y el comportamiento de las avenidas en las llanuras de inundación dependen de múltiples factores que a su vez son susceptibles de experimentar cambios en un contexto de cambio climático. En este sentido, conviene destacar la carga sólida transportada por los cauces, que juega un papel muy relevante en el comportamiento de las avenidas y que puede experimentar cambios importantes en un contexto de cambio climático debido a cambios en los usos del suelo, cambios en las prácticas agrarias, evolución de las comunidades vegetales y, muy particularmente, como consecuencia de un incremento en la intensidad y frecuencia de los incendios forestales, que las proyecciones climáticas identifican como un escenario muy probable.

En este sentido, en la DH del Cantábrico Oriental, para evaluar las posibles repercusiones del cambio climático en las inundaciones de origen pluvial y fluvial, se ha llevado a cabo un análisis de la potencial influencia de dicho cambio climático sobre dos componentes, las cuales son determinantes en la variación y frecuencia de las leyes de caudales: la componente meteorológica y la componente usos del suelo.

Con respecto a la componente meteorológica, se han analizado los cambios en la precipitación máxima diaria acumulada en la red hidrográfica básica para los tres periodos de retorno que indica la Directiva (10, 100 y 500 años) según los dos principales escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, los RCP 4.5 y 8.5 y se le ha dado un peso del 80% dentro de la componente meteorológica frente al 20% que se le habría asignado de peso al fenómeno nival dentro de la componente meteorológica.

En el caso de la componente usos del suelo, se considera condicionada por cuatro factores: los propios cambios en los usos del suelo, la erosión, la incidencia de los incendios y la superficie impermeabilizada. El factor al que se ha asignado mayor relevancia en la generación de crecidas, dentro de la componente de usos de suelo, es la presencia de superficie impermeabilizada y se le ha dado un peso del 50%, ya que influye en la mayor generación de escorrentía y velocidad del agua y reduce la infiltración natural. También se considera de relevancia el factor de la erosión, a la que se le ha dado un 30%, pues incrementa el arrastre de sedimentos y la velocidad del flujo, lo que se traduce en un aumento de la peligrosidad de la inundación.

Además, aunque con menor relevancia, se han tenido en cuenta los cambios de usos de suelo en las subcuencas y el número de incendios forestales, a los que se les ha asignado un peso de un 10% a cada uno.

De forma de general, el estudio concluye que en la DHC Oriental, las zonas que presentan un grado de influencia de un incremento probable altamente significativo corresponden a los tramos bajos de los ríos Nervión, Ibaizabal y Urola, así como en los tramos medios de los ríos Deba, Oria y Bidasoa, a su paso por núcleos municipales como Tolosa, Bera, Zumaia, Erandio o Bilbao.

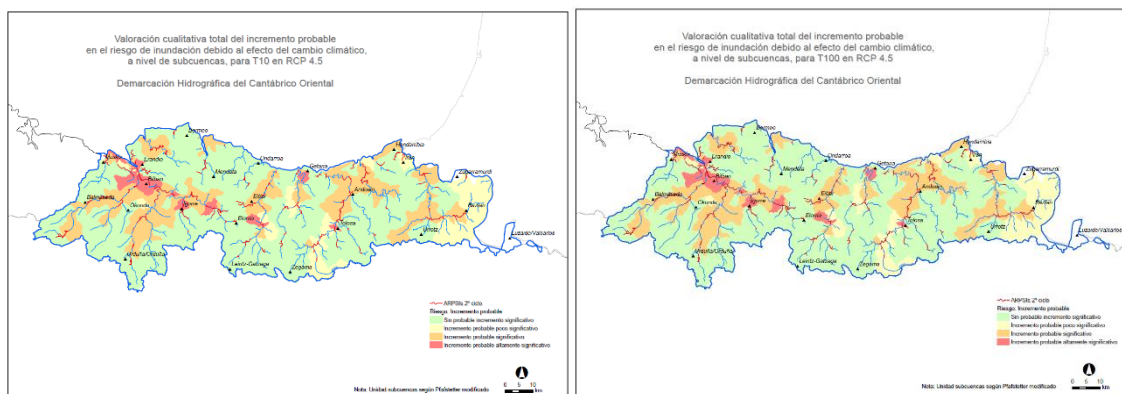


Figura 9. Valoración cualitativa total del incremento probable en el riesgo de inundación debido al cambio climático para T10 y T100 en un escenario RCP 4.5 a nivel de subcuencas en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental.

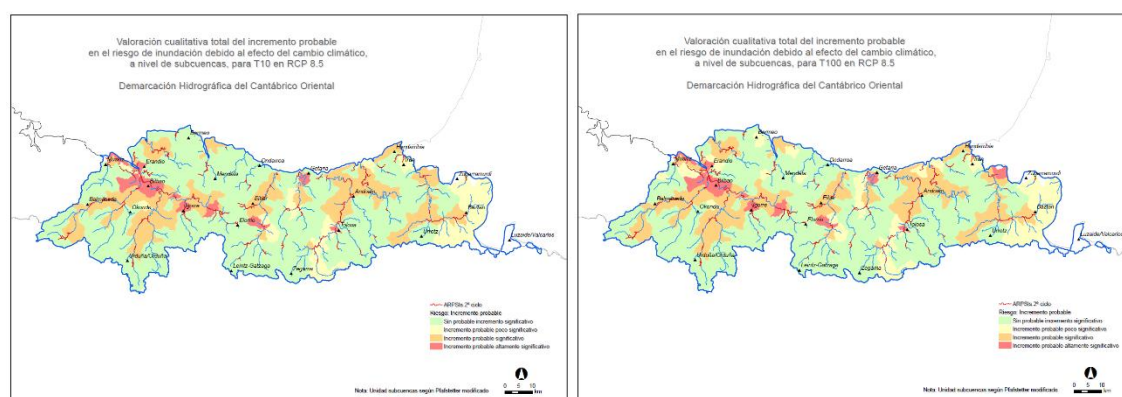


Figura 10. Valoración cualitativa total del incremento probable en el riesgo de inundación debido al cambio climático para T10 y T500 en un escenario RCP 8.5 a nivel de subcuencas en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental.

El programa de medidas del plan ha incluido la realización de estudios técnicos que permitan continuar profundizando en los posibles efectos del cambio climático sobre el régimen de inundaciones de la demarcación, así como sobre la gestión del riesgo asociado, con especial atención a la incertidumbre ligada y a las estrategias existentes en el marco de la adaptación al cambio climático³.

³ Proyecto H2O GUREA (2018). Análisis de susceptibilidad torrencial en la Comunidad Autónoma del País Vasco en un escenario de cambio climático.

Diputación Foral de Gipuzkoa (2018). Influencia del cambio climático en la inundabilidad de Gipuzkoa.

Agencia Vasca del Agua (2019). Influencia del cambio climático en la inundabilidad de Bizkaia.

Azti Tecnalia - Gobierno Vasco (2018-2019). Vulnerabilidad, riesgo y adaptación de la costa de la CAPV frente al cambio climático. Proyecto KOSTEGOKI.

4. PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Tal y como se ha presentado en el apartado 2.3, el PNACC 2021-2030 define 6 líneas de acción sectoriales en el ámbito de los recursos hídricos. Estas líneas de acción se centran en la mejora del conocimiento de los impactos del cambio climático sobre los propios recursos, los ecosistemas y los distintos usos; la gestión contingente de los riesgos por fenómenos extremos y la integración de la adaptación en la planificación, entendida como la reducción de riesgos y la adopción de medidas de mejora o de mitigación.

Además, la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, también recoge en el artículo 19 el mandato de incluir el efecto del cambio climático en la planificación, con el objetivo de conseguir la seguridad hídrica de las personas, la protección de la biodiversidad y de las actividades socio económicas, teniendo en cuenta la jerarquía de usos y reduciendo la exposición y la vulnerabilidad.

Con el objetivo de dar cumplimiento a este artículo y sobre todo de reducir así la vulnerabilidad frente al cambio climático, el IIAMA-UPV (Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València) está elaborando el proyecto "Medidas para la adaptación de la gestión del agua y la planificación hidrológica al cambio climático. Aplicación en la Demarcación Hidrográfica del Júcar". Este proyecto, que cuenta con financiación de la Fundación Biodiversidad del MITERD, desarrollará el contenido básico del Plan de Adaptación del Júcar y servirá de base para los futuros planes de adaptación al cambio climático en todas las demarcaciones.

El objeto del estudio, cuya fecha prevista de finalización será a mediados de 2021, es doble: por un lado, la identificación y caracterización espacial de los principales riesgos derivados del cambio climático y, por otro lado, definir las medidas de reducción de dichos riesgos.

Con el propósito de objetivar la evaluación del riesgo asociado al cambio climático, el enfoque del trabajo se centrará en el empleo de indicadores que cuantifiquen los peligros asociados al cambio climático, el nivel de exposición y la vulnerabilidad del sistema hídrico (Pérez Martín, M.A., 2020), de acuerdo con el siguiente esquema:

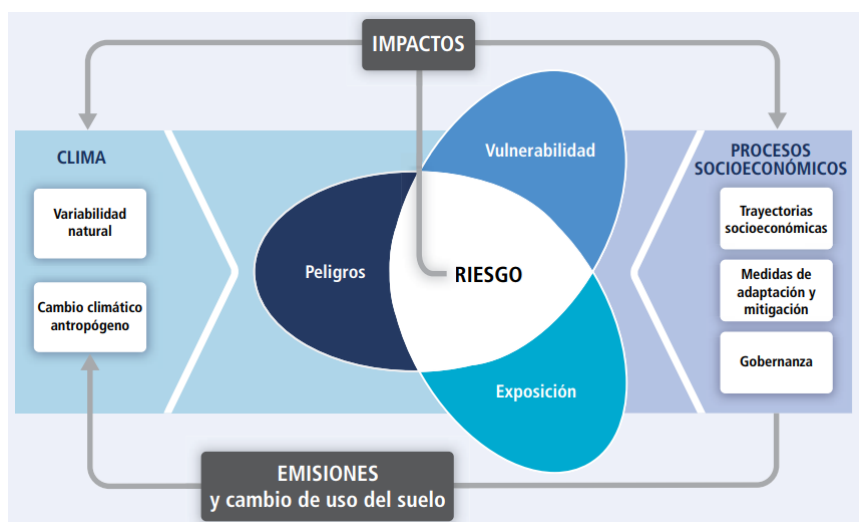


Figura 11. Marco conceptual para la evaluación de riesgos asociados al cambio climático (GTII, 2014).

En base a este esquema conceptual la metodología desarrollada en dicho estudio se basa en la elaboración de mapas, para cada una de las variables objeto de estudio, cuyo fin último es la obtención del mapa de riesgos. Estos mapas se desarrollarán en consonancia con las definiciones consensuadas en el seno del grupo de trabajo para el cambio climático (IPPC, 2019), que se expresan a continuación:

- Mapas de peligrosidad, considerada como los sucesos o tendencias físicas relacionadas con el clima o los impactos físicos de éste que muestran la distribución espacial y temporal de una determinada variable en los diferentes escenarios de cambio climático planteados.

Aquí entran en juego las diferentes proyecciones climáticas ya expuestas (CHE, 2017). En concreto se ha trabajado con los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5, o más concretamente con las medias de las variables meteorológicas de cada uno de estos escenarios de emisiones, previstas para el corto plazo (PI1: 2010 - 2040), el medio plazo (PI2: 2040 - 2070) y el largo plazo (PI3: 2070 - 2100), según los 3 periodos de impacto (PI) analizados.

- Mapas de exposición, considerada como la presencia de personas; medios de subsistencia; especies o ecosistemas; funciones, servicios y recursos ambientales; infraestructura; o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente.

La exposición de una variable puede entenderse como presencia potencial o real, como veremos más adelante para algunas de las variables ya analizadas.

El cruce de los mapas de peligro y exposición se obtienen los mapas de impacto potencial, que nos da una idea del posible impacto del cambio climático para la variable.

- El mapa de vulnerabilidad, definida como la propensión o predisposición a ser afectado negativamente o, dicho de otra manera, la capacidad del sistema de asimilar ese peligro sin sufrir daños.

En este contexto la vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación, y deberá tener en cuenta no solo las características de la variable en sí sino también del medio en el que se encuentra.

- Finalmente, los mapas de riesgo, definido como las consecuencias eventuales en situaciones en que algo de valor está en peligro y el desenlace es incierto, reconociendo la diversidad de valores. También para referirse a las posibilidades, cuando el resultado es incierto, de que ocurran consecuencias adversas para la vida; los medios de subsistencia; la salud; los ecosistemas y las especies; los bienes económicos, sociales y culturales; los servicios (incluidos los servicios ambientales) y la infraestructura.

El análisis de riesgos que deberá incluirse en el futuro plan de adaptación, atendiendo al contenido del artículo 19 de la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, incluirá, en la medida de lo posible, las siguientes variables:

Tabla 3. Impactos sobre los ecosistemas y sobre los usos a tener en cuenta en el PACC.

Masas de agua superficial	SW1 Alteración de hábitats: especies piscícolas (y otras) asociadas a determinados rangos térmicos → ECB
	SW2 Descenso O2 afectación fauna acuática → ECB y Q/FQ
	SW3 Afección a la biodiversidad acuática y ribereña por el cambio de régimen hidrológico → ECB e HMF
	SW4 Conversión ecosistemas que pasan de permanente a estacional, o derivados de cambios en los patrones de temporalidad hidrológica → HMF
	SW5 Afección en la distribución, composición y abundancia de macroinvertebrados → ECB
	SW6 Afección en la distribución, composición y abundancia de diatomeas y macrófitos → ECB
	SW7 Reducción de hábitats aptos para determinadas formaciones/gremios de vegetación de ribera → HMF
	SW8 Distribución y abundancia de especies exóticas invasoras → ECB
	SW9 Incremento de la concentración de contaminantes (P,NO3) → Q/FQ
	SW10 Afección al pH y a otros parámetros fisicoquímicos → Q/FQ
ECB = Elementos de calidad biológica Q/FQ = Condiciones químicas y fisicoquímicas HMF = Condiciones hidromorfológicas	SW11 Eutrofización de lagos y humedales → ECB
	SW12 Cuña salina ríos → Q/FQ y ECB
	SW13 Afección a la vegetación climatófila de la Demarcación
	SW14 Aumento de la frecuencia e intensidad de los incendios forestales
	SW15 Cambio del estado de las masas de agua superficiales (DMA)
Masas de agua subterránea	GW1 Incremento de la concentración de contaminantes (NO3) → QUI
	GW2 Cuña salina aguas subterráneas → QUI
	GW3 Balance aguas subterráneas → CUA
	GW4 Cambio del estado de las masas de agua subterráneas (DMA)
QUI = Químico CUA = Cuantitativo	
Abastecimiento urbano	AU1 Aumento demanda agua
	AU2 Pérdida garantía urbana
	AU3 Descenso en la calidad del agua bruta
	AU4 Aumento de vertidos por aliviaderos en episodios de lluvias (entrada EDAR)
	AU5 Colapso de colectores
	AU6 Desbordamiento de cauces
Regadíos y usos agrarios	AG1 Aumento estrés hídrico en cultivos de secano
	AG2 Aumento demanda agua en cultivos de regadío
	AG3 Pérdida garantía regadío
	AG4 Cambio hábitat cultivos
	AG5 Aumento malas hierbas
	AG6 Eventos extremos
Producción de energía hidroeléctrica	EH1 Reducción caudal disponible natural
Acuicultura	AC1 Cambios en temperatura, oxígeno disuelto y caudal (afección hábitat de las especies)
Usos recreativos	RE1 Aumento de la concentración de contaminantes

La dificultad para abordar los riesgos asociados al cambio climático para cada una de estas variables radica principalmente en la disponibilidad de valores de referencia o límites de tolerancia asociados al clima para cada una de estas variables, de manera que se pueda definir a partir de qué momento una variable estaría impactada.

Por el momento se ha analizado, a partir de la peligrosidad asociada al incremento de temperatura en el agua, los riesgos asociados a las siguientes variables:

- La pérdida de hábitat en las especies piscícolas de aguas frías (SW1),
- La reducción en el oxígeno disuelto en el agua (SW2),
- Y la afección a las especies de macroinvertebrados (SW5).

Los resultados de la evaluación de riesgos para estas variables se presentan en los siguientes apartados de este anejo.

La metodología desarrollada es la siguiente, según la cual se determinan los impactos en base a la combinación de las variables de peligrosidad y exposición, y los riesgos, mediante el cruce de dicho impacto con la vulnerabilidad. El riesgo se clasificará en muy alto, alto, medio, bajo o nulo de acuerdo con los rangos establecidos en cada caso:

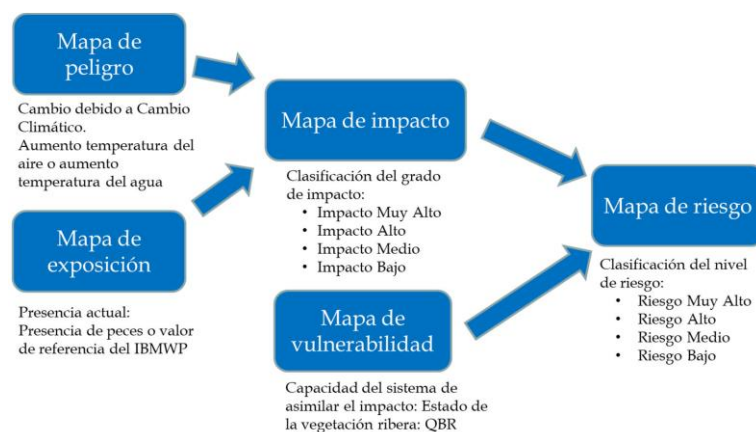


Figura 12. Metodología propuesta para la definición del riesgo asociado al cambio climático.

Finalmente, a partir del análisis de estos mapas se definirán las medidas de adaptación necesarias para reducir el riesgo y se priorizarán las zonas donde su aplicación es más urgente.

Para ello, en base al análisis de riesgos a corto, medio y largo plazo realizado, se considera que las zonas más afectadas en el escenario de emisiones más optimista de los dos estudiados (RCP4.5) y en el periodo de impacto correspondiente al corto plazo (2010-2040) son las más prioritarias para la aplicación de medidas de adaptación. En consecuencia, en los apartados siguientes se muestran los resultados para este escenario climático, sin menoscabo del análisis completo que se presenta en los Apéndices 1 y 2.

5. AVANCES EN LOS MODELOS DE RIESGO PARA LOS ECOSISTEMAS

Además de las presiones a las que están sometidas las masas de agua en la situación actual, el efecto del cambio climático supondrá una presión añadida sobre los ecosistemas y los usos.

En el marco de la elaboración del plan de adaptación al cambio climático expuesto en el punto anterior se ha abordado el análisis de riesgos frente al cambio climático de forma independiente a esos otros riesgos debidos a las diferentes presiones expuestas en el anejo VII. Los resultados preliminares se recogen en el documento borrador “Determinación de los mapas de peligrosidad, exposición, vulnerabilidad y riesgo asociados al cambio climático en España” (Pérez Martín, M.A., 2020).

No es objeto de este anejo establecer un análisis combinado de riesgos sino analizar donde serán más patentes los impactos del cambio climático si no se actúa y las zonas prioritarias de actuación, desde el enfoque del cambio climático, para aquellas medidas enfocadas a la minimización de estos impactos. Aunque, como se verá a lo largo del documento, las zonas sometidas a más presión en la actualidad tenderán a verse más castigadas por los riesgos asociados al cambio climático, ya que suponen factores de vulnerabilidad.

Como ya se ha dicho, en términos generales se considera más prioritario actuar en aquellas zonas donde ya se aprecian riesgos en el escenario a corto plazo (PI 2010-2040), y más si cabe cuando estos se prevean en el escenario más optimista de emisiones (RCP4.5). En los siguientes apartados se presenta la información de ambos escenarios de emisiones en el corto plazo, si bien los resultados del resto de escenarios climáticos y periodos de impacto pueden consultarse en los apéndices.

5.1. Pérdida de hábitat para especies de aguas frías

La determinación del riesgo de pérdida de hábitat en las especies de aguas frías, se ha realizado para una las especies de mayor presencia en España: la Trucha común o Trucha marrón, *Salmo trutta* (Linnaeus, 1758).

El rango de temperatura del agua que determina la adecuación de la especie se ha obtenido a partir de la literatura científica existente y se ha contrastado con la presencia actual de la especie en las masas de agua superficiales. Los valores de referencia son:

- La temperatura que determina la zona de apremio de la especie: temperatura en la que la especie se ve significativamente afectada.
- El límite termal de la especie: valor de temperatura en la que se produce una pérdida total de hábitat.

Dado que se va a evaluar el efecto del aumento de temperatura del agua por efecto del cambio climático se han analizado los valores máximos que puede aguantar la especie durante un periodo continuado. El valor de temperatura que determina la entrada en la zona de apremio, como media mensual, se ha establecido en 18,7 °C, dado que es el límite superior que determina el rango óptimo de la especie (Santiago, 2017). La barrera termal se ha establecido en 21,8 °C (Wehrly & Wang, 2007), como límite máximo de temperatura media del agua.

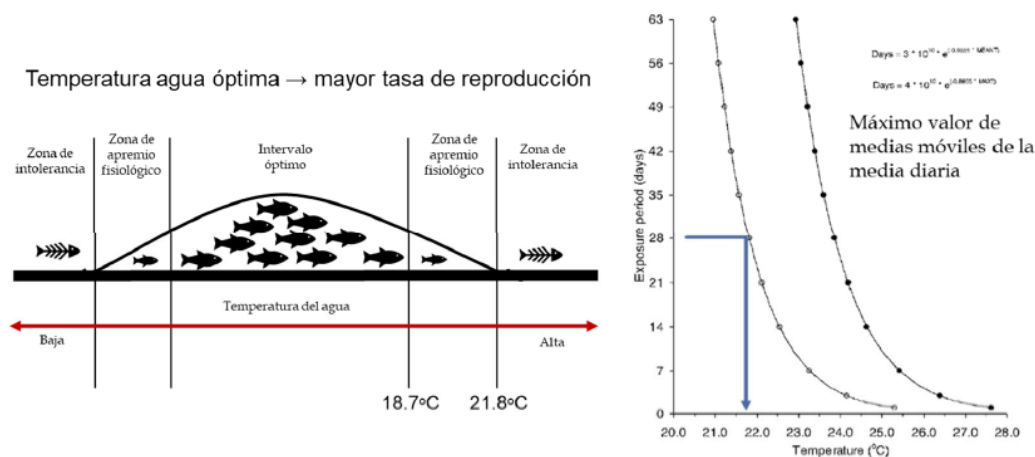


Figura 13. Definición de la zona de apremio y de la barrera termal de la Trucha Común y límites máximos de exposición en días en función de la temperatura media diaria (Wehrly & Wang, 2007).

Como se puede ver en la figura anterior (derecha), de forma puntual la especie puede aguantar temperaturas en el agua de hasta 25 °C, pero si hablamos de una temperatura sostenida a lo largo de todo un mes este límite baja a los 21,8 °C ya comentados. La variable, por tanto, que marcará los mapas de peligrosidad es la temperatura media en el mes de agosto, mes en el que se alcanzan las mayores temperaturas.

A partir de la temperatura media del aire en agosto, y mediante las expresiones, de tipo lineal, que relacionan la temperatura del aire y la temperatura del agua para cada ecotipo (CEDEX, 2012), se determina la temperatura del agua en el mes de agosto, con una correlación entre los datos observados y calculados de 0,64.

En primer lugar, se ha calibrado un mapa de exposición nacional en base a la barrera termal, que representa la presencia potencial de la especie. Este mapa se ha comparado con los datos de presencia actual del Atlas y Libro Rojo de los Peces (MMA, 2001). Se considera que los resultados obtenidos suponen una buena aproximación a la realidad. Pese a que solo se ha estudiado el efecto de la temperatura y ningún otro factor de influencia (temporalidad, barreras, calidad del agua o del hábitat...), los tramos obtenidos en base a la barrera termal coinciden exactamente con los tramos identificados con la presencia real de la trucha, a excepción de la masa Larrainazubi-A, donde el mapa calibrado muestra su presencia potencial pero no se ha detectado en la realidad.

En la siguiente figura se puede ver la calibración para el ámbito de la DHC Oriental.

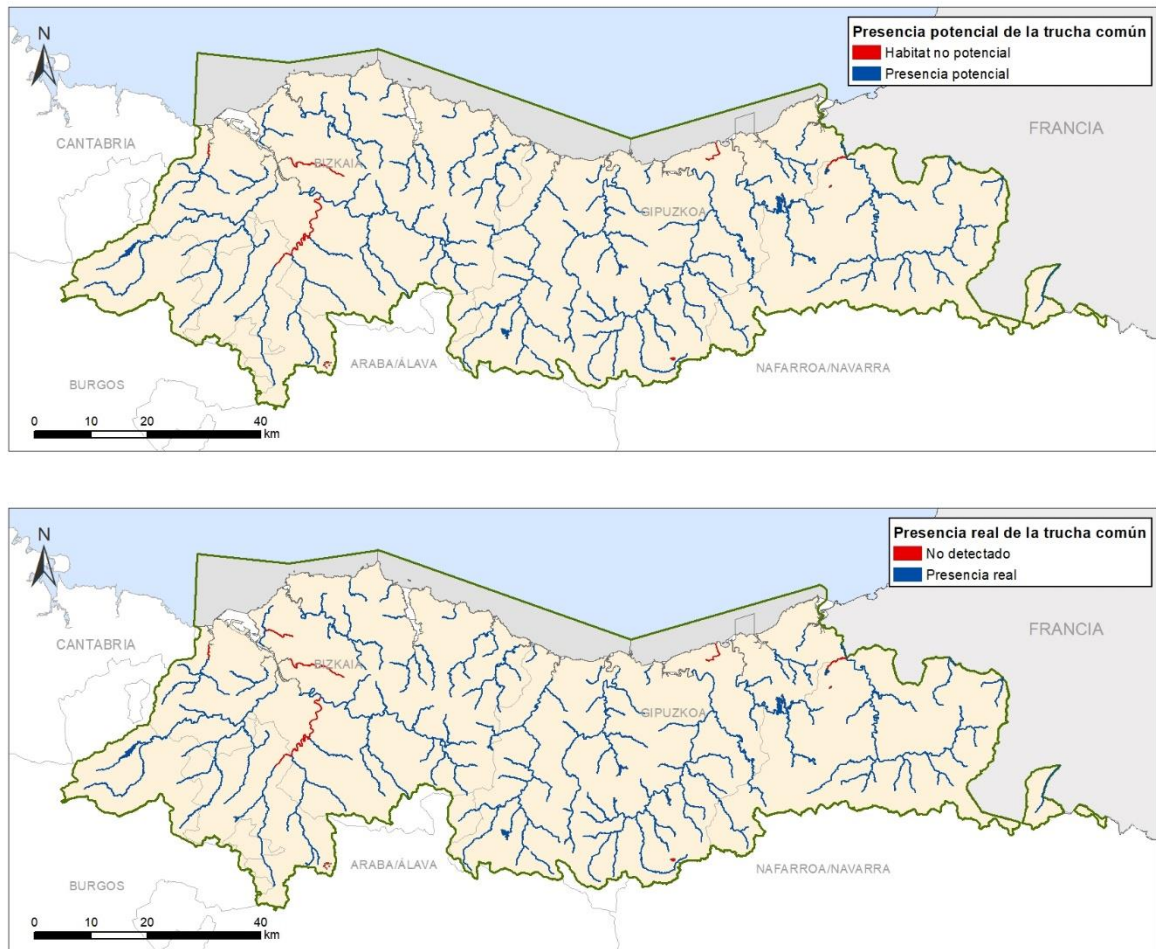


Figura 14. Mapa de Exposición potencial, elaborado en base al límite termal de 21,8 °C (arriba) y Adaptación de la Presencia de la Trucha Común a las masas de agua superficiales (Atlas y Libro Rojo de los Peces, MMA, 2001) (abajo), en el ámbito de la demarcación.

El incremento medio de temperatura del agua en agosto debido al cambio climático se estima entre 1,0 y 1,1º C en el corto plazo, 2010-2040, entre 1,6 y 2,1º C en el medio plazo, 2040-2070, y entre 2,0 y 3,7º C en el largo plazo, 2070-2100. Estos valores se han obtenido como promedio de los seis modelos empleados y el rango marca los valores correspondientes a los escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5, respectivamente.

El impacto se ha graduado según los siguientes criterios: si en una masa con presencia potencial en la actualidad la temperatura del agua en agosto supera la barrera termal, entrando en la zona de intolerancia de la especie, se define un Impacto Muy Alto; si el incremento de temperatura produce un cambio del intervalo óptimo a la zona de apremio, se considera un Impacto Alto. Finalmente, se considera No Impacto en las zonas de intolerancia actual e Impacto Medio el resto de incrementos de temperatura que suponen un empeoramiento del hábitat sin saltar de la zona optima a la zona de apremio o de la zona de apremio a la de intolerancia.

Los lagos naturales no se han evaluado.

Se presentan a continuación los mapas de impacto para el primer periodo (2010-2040) según ambos escenarios de emisiones: RCP4.5 y RCP8.5. Como se ha expuesto, este periodo de impacto nos indica aquellas masas que primero van a verse afectadas, incluso aplicando políticas de reducción de emisiones

en el caso del escenario RCP4.5, y son por tanto aquellas masas donde se deberá actuar de forma prioritaria. El resto de mapas de impacto pueden consultarse en el apéndice 1.

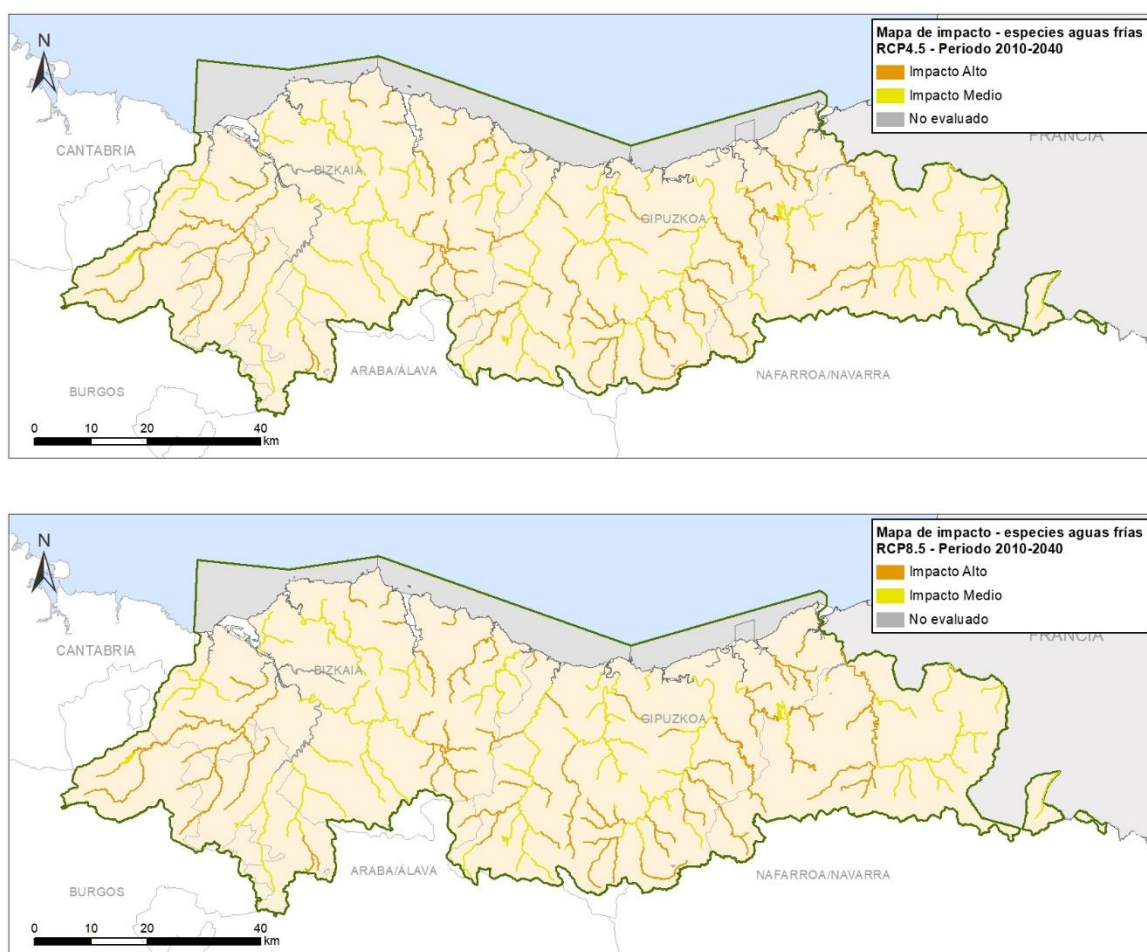


Figura 15. Mapa del impacto potencial a corto plazo (PI1) según ambas sendas de emisiones (RCP4.5 y RCP8.5).

Todas las masas evaluadas se ven afectadas por la pérdida de hábitat potencial, si bien ninguna presenta un grado de impacto muy alto. Se puede observar que el grado de afección es igual en ambos escenarios de emisiones a corto plazo, salvo en las cabeceras de los ríos Urola, Leizaran y Añarbe, que pasan de impacto medio a alto del escenario RCP4.5 al escenario RCP8.5. Por lo tanto, limitándonos a las que tienen un impacto potencial mayor en el escenario más pesimista, de las 114 masas evaluadas, 53 masas, o un 46% del total, presentan impacto potencial alto.

A continuación, el mapa de vulnerabilidad se ha determinado a partir del estado de la vegetación de ribera, considerando que un buen estado de la vegetación de ribera proporciona zonas de sombreado y reduce la cantidad de radiación solar incidente sobre el agua, además de proporcionar refugios para los peces. En contrapartida, un peor estado de la vegetación de ribera hace que el sistema sea más vulnerable al incremento de temperatura.

Como indicador del estado de la vegetación de ribera se ha utilizado el Índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR) (Munné et al., 1998 y 2003). Se considera que la vulnerabilidad es baja cuando el QBR presenta valores correspondientes al estado Muy Bueno y vulnerabilidad alta cuando presenta valores correspondientes al estado Peor que Muy Bueno.

Con respecto al indicador de calidad de la vegetación de ribera empleado, el QBR, cabe apuntar que está en desuso. El pasado año 2019 el MITERD aprobó un nuevo protocolo de caracterización hidromorfológica de las masas de agua que establece un nuevo indicador para evaluar la calidad de la vegetación de ribera. No obstante, dado que este nuevo indicador requiere trabajo de campo intensivo por el momento no se han evaluado un número elevado de las masas de agua.

Si bien por el momento se ha empleado el QBR para los estudios de impacto del cambio climático, por su mayor aplicación hasta la fecha en el ámbito nacional, en el plan de adaptación sería recomendable incluir este nuevo indicador a medida que su uso se haga más extensivo.



Figura 16. Mapa de vulnerabilidad.

Del cruce de los mapas de impacto potencial y vulnerabilidad se obtienen los mapas de riesgo. Estos serán finalmente los que nos indican en qué zonas se deberá actuar de forma prioritaria, dado que además de ser zonas con alta probabilidad de sufrir impacto presentan un mal estado de conservación.

Los criterios empleados para la definición de los rangos de riesgo se presentan en el cuadro siguiente:

Tabla 4. Combinación de los mapas de impacto y vulnerabilidad para la definición del riesgo.

		QBR	
		Muy Bueno	Peor que muy bueno
Impacto	Nulo	Nulo	Nulo
	Medio	Bajo	Bajo
	Alto	Medio	Alto
	Muy Alto	Alto	Muy Alto

Así, los mapas de riesgo para el primer periodo de impacto se muestran en la figura siguiente. El resto de mapas de riesgo para los periodos de impacto dos y tres, en ambas sendas de emisiones se pueden consultar en el apéndice 2.

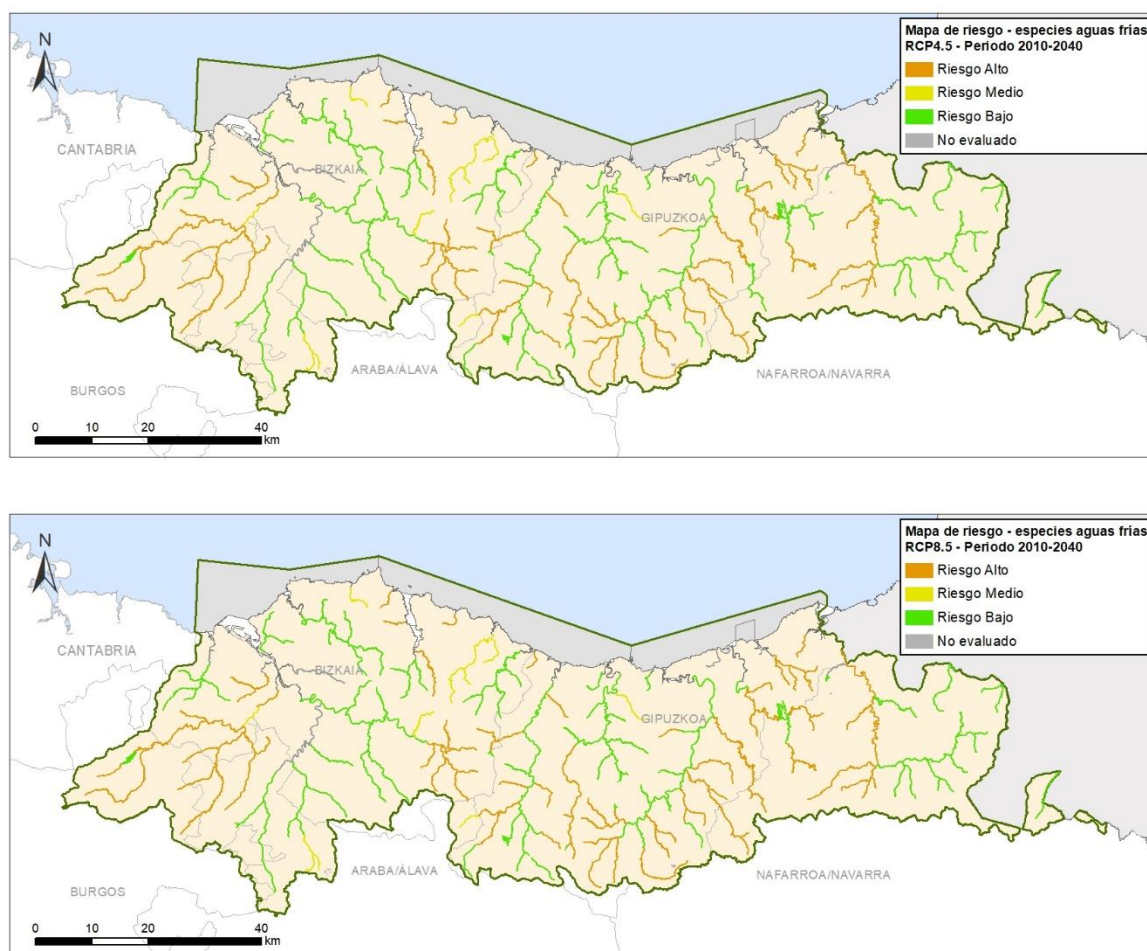


Figura 17. Mapa del riesgo a corto plazo (PI1) según ambas sendas de emisiones (RCP4.5 y RCP8.5).

Tal y como se aprecia en las figuras anteriores, el grado de riesgo obtenido es muy similar en ambas sendas de emisiones, a excepción de los tres tramos de cabecera que se han mencionado previamente. Se observa como la mayoría de las masas con un grado medio de impacto por el cambio de temperatura presentan riesgo bajo, debido a la atenuación causada por el buen estado de la vegetación de ribera. Por su parte, 8 masas con un grado de impacto alto muestran un riesgo medio.

Las masas más propensas a sufrir riesgo para las especies piscícolas de aguas frías se encuentran por toda la demarcación. En la unidad hidrológica Ibaizabal, se ven especialmente afectadas las cuencas de los ríos Cadagua y Herrerías, además de la cabecera del río Ibaizabal. También muestran un alto riesgo los ríos ubicados en la parte más baja de la UH Oka y el río Golako.

En la cuenca del Deba destacan varios afluentes distribuidos a lo largo de toda la unidad hidrológica, al igual que en el Oria, donde prácticamente la totalidad de la cuenca se vería notablemente afectada, salvo el eje principal del río. En el caso del río Urola, presenta un riesgo elevado en su tramo alto, desde cabecera hasta la altura del río Katuin.

Por último, la parte más oriental de la demarcación también se vería muy afectada a corto plazo. Se observa un alto riesgo en gran parte de la cuenca del río Urumea y en el río Oiartzun, al igual que en el tramo medio-bajo del Bidasoa y los ríos Ezkurra y Ezpelura.

Estas serán, en consecuencia, las primeras zonas donde se deberán plantear medidas para reducir los riesgos frente al cambio climático, con el objetivo último de reducir la temperatura del agua fluyente.

En este sentido, de acuerdo con las conclusiones del proyecto de investigación sobre el análisis del impacto del cambio climático sobre especies piscícolas y ecosistemas fluviales (FIC, 2018c), junto con los propios factores de vulnerabilidad considerados en el plan de adaptación, los factores de mayor influencia en la temperatura del agua y que pueden verse alterados mediante la aplicación de medidas son:

- La vegetación riparia: dado que la sombra directa reduce la temperatura del agua.
- La vegetación de la cuenca vertiente: dado que favorece la infiltración y por tanto la escorrentía subterránea que origina un régimen más frío en verano, en aquellas masas con una fuerte componente hidrogeológica en su alimentación, permitiendo además un microclima más fresco en el área de influencia del río.
- La disponibilidad de caudales adecuados, principalmente en épocas de estiaje, que permiten reducir el calentamiento del agua.
- La adaptación del funcionamiento de embalses: favoreciendo los desembalses hipolimnéticos de fondo frente a los de coronación, que pueden originar una alteración térmica por calentamiento que puede ser crítica en época estival.
- La mejora de la morfología del cauce: reduciendo los tramos dragados y evitando las canalizaciones que favorecen con frecuencia una mayor insolación y reducen la conectividad con el subálveo y por tanto permiten el calentamiento de las aguas.

5.2. Riesgo de reducción del oxígeno disuelto en el agua

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

La temperatura del agua afecta directamente al contenido de oxígeno presente. En el presente apartado se analiza el efecto de dicho aumento de temperatura en el contenido de O₂, sin tener en cuenta otros posibles factores como la calidad del agua, la fotosíntesis, el caudal fluyente o la existencia de turbulencias que favorecen la oxigenación de las aguas.

Por tanto, para evaluar el riesgo de reducción del oxígeno se ha estimado su contenido en el agua (mg/l) en función de las dos principales variables que determinan su solubilidad, la temperatura y la presión atmosférica, que está relacionada con la altitud. (Julien, P., 2018).

La relación entre la temperatura y la concentración de oxígeno, considerando la altitud, se ha modelado mediante la fórmula:

$$OD \left(\frac{mg}{l} \right) = (14,7 - 0,0017Alt(m)) \exp[-0,0225xT_{agua}(^{\circ}C)]$$

La consideración de la altitud mejora significativamente el ajuste del modelo en masas de agua situadas por encima de los 1000 m de altitud, sobre todo en las masas con mayor contenido de oxígeno. El valor medio del percentil superior al 80% coincide en el modelo y los datos observados, siendo de 9,5 mg/l.

Se observa en el gráfico siguiente que el ajuste a valores altos de oxígeno disuelto puede considerarse bueno.

Teniendo en cuenta que las masas que tienen valores bajos de O₂ serán masas influenciadas por algún tipo de presión, y que no es objeto de este anejo hacer un análisis combinado de presiones, se asume que el valor estimado para todas las masas en base a la formulación anterior es representativo de los valores máximos de contenido en oxígeno.

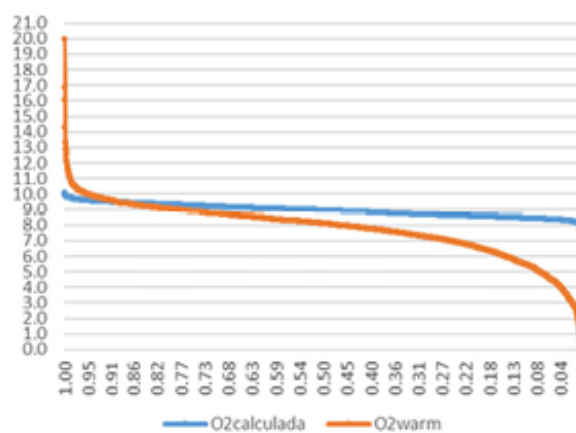


Figura 18. Distribución de la concentración de oxígeno disuelto en agua calculada, en función de la temperatura y la altitud, y observada (mg/l).

Las concentraciones así calculadas en el ámbito de la demarcación se sitúan entre los 9,1 y los 10,1 mg O₂/l, sin mostrar especial distinción entre las concentraciones de los tramos altos y bajos de los ríos, como se puede observar en la siguiente figura.



Figura 19. Estimación de la concentración de oxígeno disuelto en el agua (mgO₂/l) calculada en función de la temperatura y la altitud en el mes de agosto.

Al igual que en caso anterior, la peligrosidad se vincula a la variación de temperatura del agua por efecto del cambio climático. Así, a partir de la modelización del oxígeno disuelto en función de la temperatura, y el aumento de temperatura achacable al cambio climático, se evaluaron los impactos potenciales sobre la concentración de oxígeno en el agua.

En base a los valores de referencia de O₂ necesarios para la vida de diversos organismos acuáticos, a efectos del presente estudio, se ha considerado que un contenido por encima de 9 mg O₂/l es un contenido alto en O₂ y un valor entre 9 y 5,5 mg O₂/l es un contenido medio (CWAMP,2010). Los resultados de variación de temperatura en el mes de agosto (el mes más crítico) arrojan una reducción de O₂ entre 0,16 y 0,23 mg/l en el escenario RCP4.5 y entre 0,18 y 0,26 mg/l en el RCP8.5. En primer lugar, cabe destacar que estas reducciones en ningún caso producen bajadas del contenido en O₂ por debajo de 5 mg/l, límite entre el estado bueno y moderado para la evaluación de las masas de agua tipo ríos.

El impacto, en consecuencia, se ha graduado según los siguientes criterios: aquellas masas con un contenido potencial actual alto de O₂ que pasan a un contenido medio tienen un impacto potencial alto, mientras que aquellas que se mantienen en el mismo rango de contenido de O₂ presentan un impacto potencial medio.

Así, en la siguiente figura se muestra el impacto potencial a corto plazo, en los escenarios RCP4.5 y RCP8.5. Todas las masas evaluadas se ven impactadas en cierta medida, si bien ninguna alcanza el grado de impacto muy alto, puesto que como se ha comentado el impacto del cambio climático no supondrá en sí mismo un riesgo de no alcanzar el buen estado para este parámetro.

Al igual que ocurría con el parámetro del cambio de temperatura, las masas afectadas por la reducción de oxígeno disuelto son prácticamente las mismas en ambos escenarios de emisiones, salvo en la cabecera del río Nervión y en el río Bearzun, en la cuenca del Bidasoa.

En términos generales, la mayoría de las masas de la demarcación presentan impacto medio y atendiendo al escenario de emisiones más pesimista, de las 114 masas evaluadas, solamente 8 masas, un 7% del total, presentan impacto potencial alto.

A la hora de evaluar los riesgos asociados a estos impactos potenciales, se ha considerado que éstos se pueden ver mitigados en función, nuevamente, de la calidad del bosque de ribera y por tanto del sombreado sobre la masa de agua. Así, nuevamente se ha tenido en cuenta la vulnerabilidad de las masas mediante el índice QBR (aunque habrá que tener en cuenta en el futuro el cambio de indicador propuesto por el protocolo hidromorfológico).

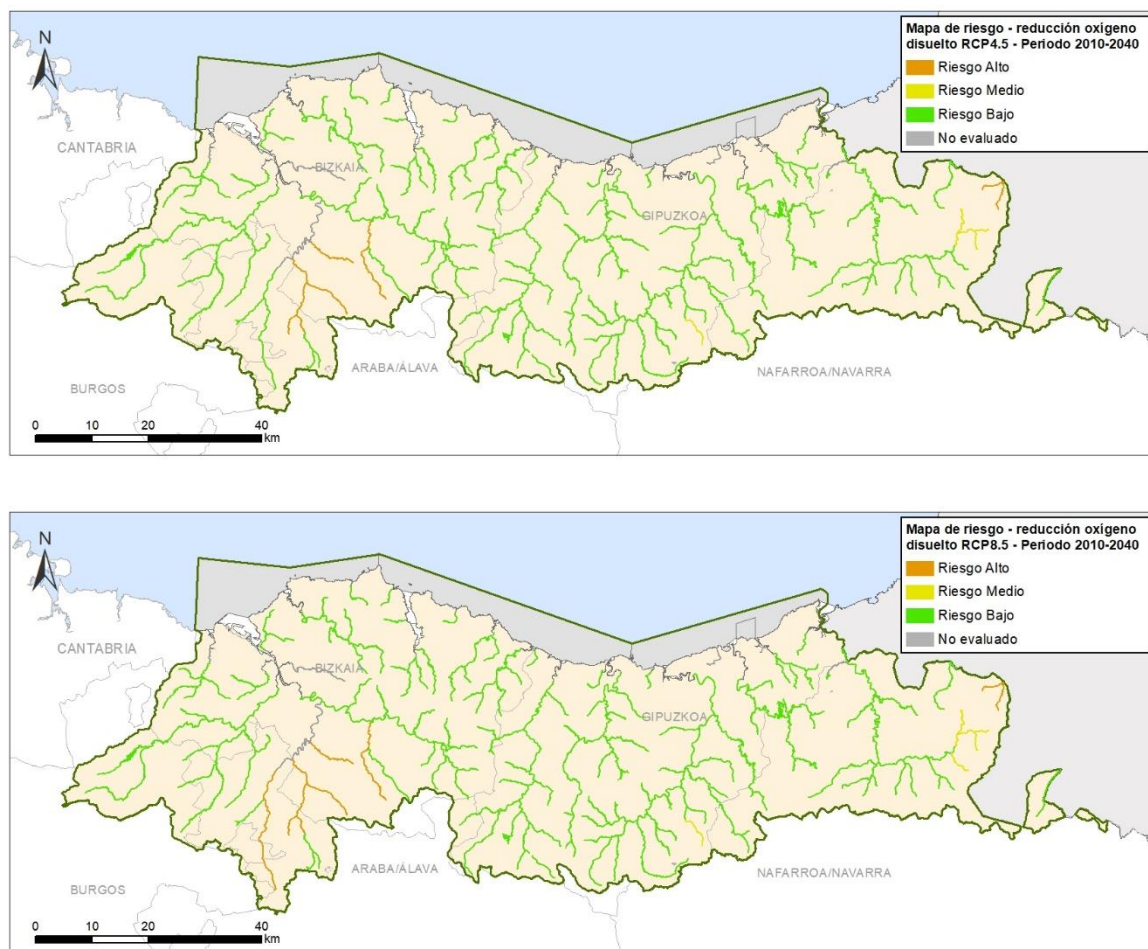


Figura 20. Mapa del riesgo a corto plazo (PI1) debido a la reducción del oxígeno disuelto (RCP4.5 y RCP8.5).

En este caso, 3 masas de las 8 que presentan impacto potencial alto, éste se ve mitigado por la calidad actual de su bosque de ribera. Además, todas las masas con grado medio de impacto presentan un riesgo bajo por la misma razón.

De este modo, la distribución de las masas en alto riesgo por reducción de oxígeno disuelto es similar a las masas con alta potencialidad de impacto. Estos tramos se concentran en la unidad hidrológica Ibaizabal, concretamente en el tramo alto del río Nervión y en sus afluentes, los ríos Altube y Zeberio, y en el río Arratia. También presenta alto riesgo el río Urrizate-Aritzakun, ubicado en la zona pirenaica que drena a Francia.

Cabe destacar finalmente, que para valorar el verdadero impacto del cambio climático en la reducción del contenido de O_2 habría que tener en cuenta el efecto combinado de las presiones actuales en el contenido de O_2 y el efecto del cambio climático, que empeorará la situación en aquellas masas que ya presentan mal estado o que están en el límite. En la DHC Oriental no existen en la actualidad masas de agua donde el contenido de O_2 ya se encuentra en valores por debajo de 5 mg/l.

5.3. Riesgo de afección a macroinvertebrados

La evaluación del riesgo de afección del cambio climático a los macroinvertebrados se realiza a partir de la relación entre el índice IBMWP (Iberian Biological Monitoring Working Party), y el incremento esperado en la temperatura del agua.

El IBMWP, es uno de los indicadores más empleados para la evaluación del estado de la fauna bentónica de macroinvertebrados en ríos. Se basa en la asignación de valores de tolerancia a la contaminación a las familias de macroinvertebrados acuáticos, comprendidos entre 1 (familias muy tolerantes) y 10 (familias intolerantes). De manera que la suma de los valores obtenidos para todas las familias en un punto nos dará el grado de contaminación en el punto estudiado o, dicho de otra manera, el estado de la masa de agua.

La relación entre el IBMWP y el efecto del cambio climático se ha establecido obteniendo el % de individuos de macroinvertebrados que cambian su puntuación en función del incremento de temperatura (CEH, 2012).

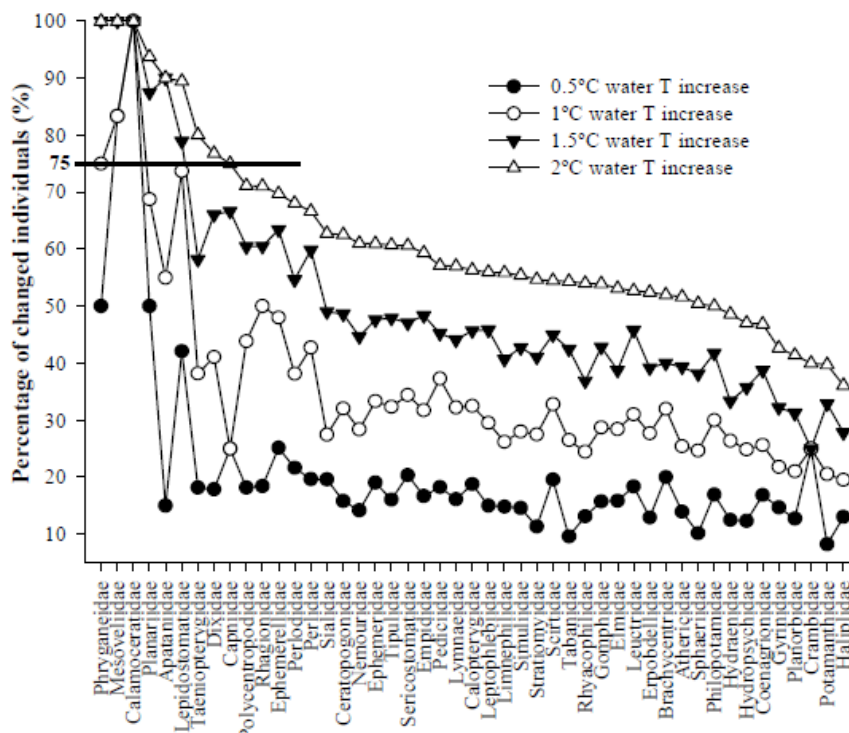


Figura 21. Porcentaje de individuos por familia que experimentan un cambio como resultado de incrementos en la temperatura del agua (método del Óptimo Robusto) (CEH, 2012).

En el gráfico anterior se observa un comportamiento similar en cuanto a la afección para los diferentes grupos de familias. Un incremento de 0,5 °C produce una afección media ponderada del 20% de los individuos y para un incremento de temperatura de 2 °C un grado de afección del 55%. Estos valores se han ajustado de forma lineal mediante la siguiente expresión:

$$\text{Afección (\%)} = 8,52 + 24,98 \times \Delta T$$

En la DHC Oriental, según los resultados obtenidos en el escenario RCP4.5 se predice que la temperatura media del agua puede incrementarse entre 0,7 y 0,8°C en la mayoría de las masas de agua. En la parte oriental de la demarcación el incremento desciende a 0,6-0,7°C en gran parte de las masas, al igual que en varios ríos más cortos ubicados en tramos bajos.

Destacan las masas Río Altube II y Río Ibaizabal III al presentar ambas un incremento de temperatura mayor de 0,8°C. Por el contrario, los incrementos más bajos, menores de 0,6°C, se observan prácticamente en la totalidad de los embalses evaluados.



Figura 22. Mapa de peligro: Incremento esperado de la temperatura del agua a corto plazo (PI1) para el escenario de emisiones RCP4.5.

Para transformar esta afección en impacto potencial, a partir del valor del IBMWP que define el estado muy bueno por ecotipo en las masas de agua, se determina un nuevo valor del índice en cada escenario evaluado afectado por el incremento de temperatura previsto. A partir de la variación del índice, se valora el % de individuos afectados y el valor del IBMWP resultante. Si la afección supera al 50% de los individuos o produce un descenso en el valor del IBMWP por debajo del límite de cambio de clase entre bueno y moderado, se considera que se produce un Impacto muy alto. En caso de que la afección sea mayor de un 30% o se produzca una reducción del indicador por debajo del límite de cambio de clase entre muy bueno y bueno se considera un impacto alto. Para una afección menor o sin cambio de estado final la afección sería media.

Tabla 5. Grado de Impacto debido a la afección en los macroinvertebrados.

Grado de impacto	Porcentaje de afección	Estado final
Muy alto	>50%	Moderado
Alto	>30%	Bueno
Medio	<30%	Muy bueno

De esta forma, se obtiene una evaluación del impacto del aumento de temperatura en las poblaciones de macroinvertebrados para cada escenario y masa de agua. En la siguiente figura se muestra el impacto potencial a corto plazo, en los escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

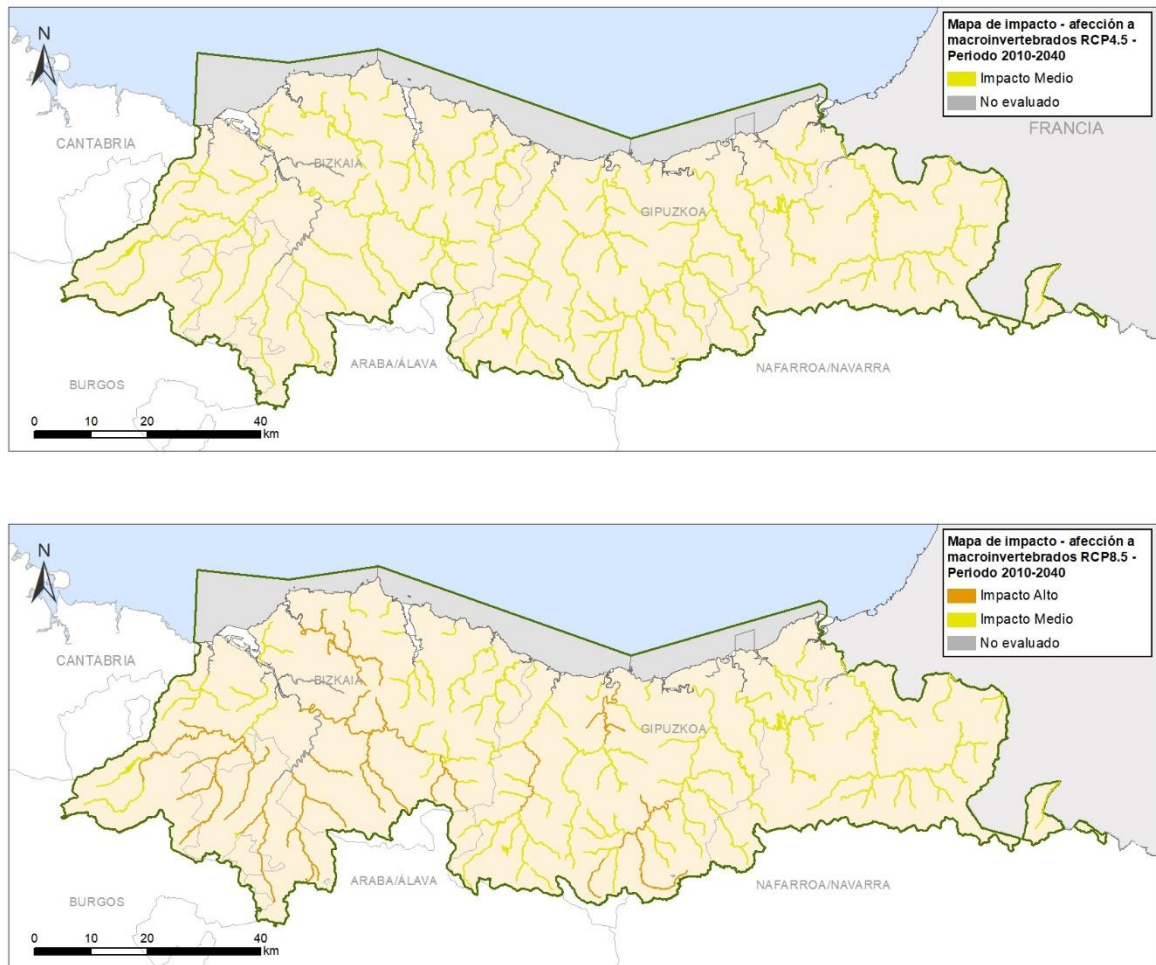


Figura 23. Mapa del impacto potencial a corto plazo (PI1) sobre los macroinvertebrados según la senda de emisiones relativamente optimista (RCP4.5) y la más pesimista (RCP8.5).

Se observa que si se considera la senda de emisiones relativamente optimista (RCP4.5), a corto plazo todas las masas se ven impactadas, aunque todas presentan impactos medios y en ningún caso se observan impactos altos o muy altos. Sin embargo, este resultado se restringe a este escenario y el corto plazo.

Si se considera el escenario de emisiones más pesimista (RCP8.5), varias masas de la demarcación pasarían a sufrir impactos más severos, especialmente en la unidad hidrológica Ibaizabal. Teniendo en cuenta este escenario, de las 114 masas evaluadas, 26 masas, un 23% del total, presentan impacto potencial alto.

Como en las variables anteriores, y en consecuencia con las mismas reservas, dado que la peligrosidad se mide en base al aumento de temperatura, el parámetro considerado para la vulnerabilidad es el QBR.

Los mapas del riesgo para los macroinvertebrados para el primer periodo de impacto en las sendas de emisiones RCP4.5 y RCP8.5, como cruce del impacto y la vulnerabilidad, se muestran en la figura siguiente. El resto de mapas de riesgo asociados a este indicador, para los periodos de impacto dos y tres, para ambas sendas de emisiones, RCP4.5 y RCP8.5, se pueden consultar en el apéndice 2 del presente documento.

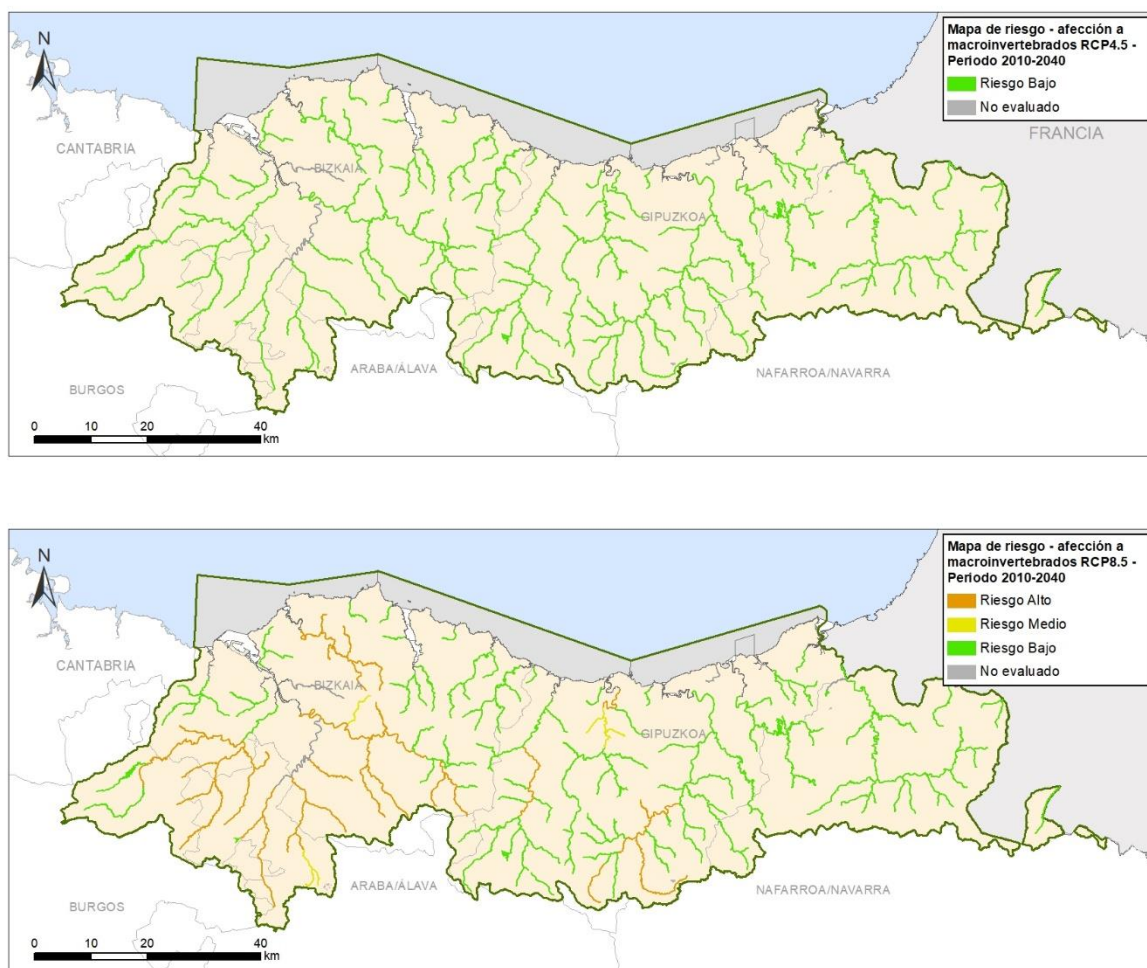


Figura 24. Mapa del riesgo a corto plazo (PI1) para los macroinvertebrados según la senda de emisiones relativamente optimista (RCP4.5) y más pesimista (RCP8.5).

La figura anterior muestra como en el escenario de emisiones más favorable, las masas que presentaban impacto medio se ven mitigadas por la calidad del bosque de ribera, mostrando todas ellas riesgo bajo. En el escenario RCP8.5 ocurre lo mismo, en cambio, entre las masas que presentan impacto alto, solamente en 3 de 26 de ellas el riesgo se atenúa por el estado actual del bosque de ribera.

Por lo tanto, las masas que presentan un riesgo más elevado en la afección a los macroinvertebrados se concentran en las unidades hidrológicas Ibaizabal y Butroe. También se localizan en el tramo medio del río Deba, en el curso bajo del Urola y en varias masas del tramo alto del río Oria.

5.4. Otros estudios de afección del cambio climático a los ecosistemas

Además de los trabajos expuestos en apartados anteriores, existen diversos trabajos científicos que analizan cómo afectará el cambio climático a los diferentes ecosistemas.

En cuanto a la tendencia a la expansión de especies invasoras, comentar que en la actualidad, está ampliamente reconocido que las especies invasoras son una de las principales amenazas a nivel global

para la salud de los ecosistemas y su presencia genera importantes efectos negativos sobre la estructura y funcionamiento de estos ecosistemas y sobre las especies que en ellos habitan.

Investigaciones llevadas a cabo en diferentes partes del mundo han demostrado que la presencia de especies invasoras está relacionada con variables climáticas^{4,5}. En nuestro entorno inmediato se ha realizado un estudio intentando analizar estas relaciones entre presencia de especies invasoras y condiciones climáticas. En 2016 se publicó un trabajo⁶, realizado por científicos de la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea, en el que, entre otros objetivos, se intentaba dilucidar la posible relación entre una serie de variables climáticas y la abundancia de especies de flora invasora en el interior de la CAPV. Los resultados demostraron que la mayor parte de las especies analizadas (84%) responden a las variables climáticas, especialmente a la temperatura, y siempre lo hacen en el mismo sentido, la probabilidad de presencia de especies invasoras aumenta cuando se incrementa la temperatura.

Se espera, por tanto, que **el cambio climático tenga efectos importantes en la expansión de las especies invasoras** a lo largo del mundo, pero los detalles de esos efectos se desconocen en buena medida. Exploraciones variadas sugieren que el riesgo de invasiones biológicas se incrementa en un contexto de cambio climático, especialmente en el caso de las especies de flora^{7,8}.

La siguiente imagen (0) muestra la distribución de la abundancia de especies exóticas de flora vascular en el Territorio Histórico de Bizkaia⁹. El número de especies se relaciona fundamentalmente con el nivel de presión humana sobre los ecosistemas y con la temperatura.

⁴ Pino J, Font X, Carbo J, Jove M, Pallarès L. *Large-scale correlates of alien plant invasion in Catalonia (NE of Spain)*. Biol Conserv. 2005; 122: 339–350.

⁵ Marini L, Gaston KJ, Prosser F, Hulme PE. Contrasting response of native and alien plant species richness to environmental energy and human impact along alpine elevation gradients. *Global Ecol Biogeogr*. 2009; 18: 652–661.

⁶ Campos JA, García-Baquero G, Caño L, Biurrun I, García-Mijangos I, Loidi J, et al. (2016) *Climate and Human Pressure Constraints Co-Explain Regional Plant Invasion at Different Spatial Scales*. PLoS ONE 11(10): e0164629. doi:10.1371/journal.pone.0164629.

⁷ Ibañez I, Silander JA Jr, Allen JM, Treanor SA, Wilson A. *Identifying hotspots for plant invasions and forecasting focal points of further spread*. J Appl Ecol. 2009; 46: 1219–1228.

⁸ Runyon JB, Butler JL, Megan, Friggens M, Meyer SE, Sing SE. *Invasive species and climate change*. 2012. In: Finch, Deborah M., ed. *Climate change in grasslands, shrublands, and deserts of the interior American West: a review and needs assessment*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-285. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 97-115.

⁹ Herrera M, Campos JA (2010). *Flora alóctona invasora en Bizkaia*. 196 pp. Instituto para la Sostenibilidad de Bizkaia.

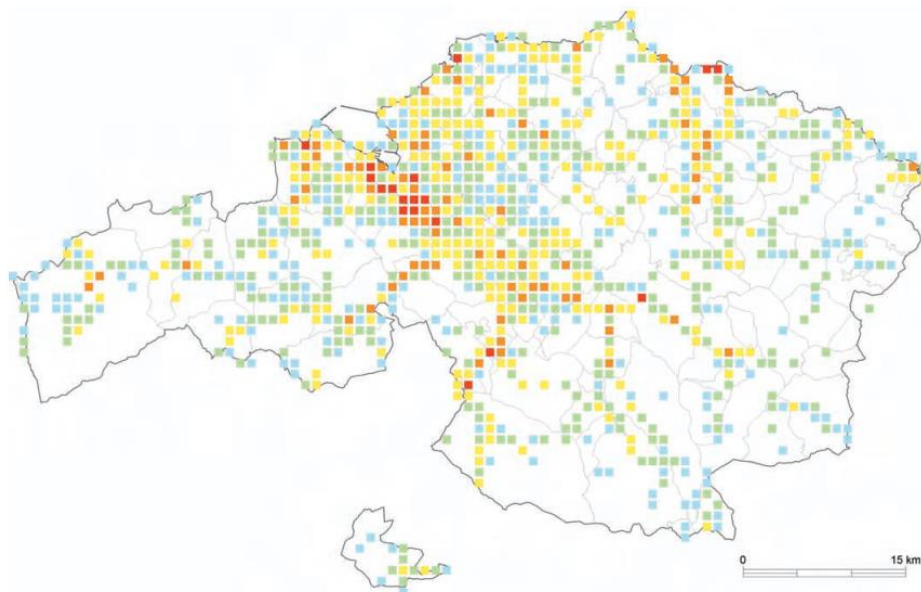


Figura 25. Nº de especies alóctonas por cuadrícula UTM de 1 km². Granate > 30, Naranja: 15-30. Amarillo: 7-14. Verde: 3-6. Azul: 1-2. Las zonas con mayor número de especies se corresponden con las áreas más humanizadas situadas a baja altitud.

6. AFECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO A LA COSTA

De todos los efectos del cambio climático, el ascenso del nivel del mar es uno de gran importancia, que sin duda tiene un efecto muy claro sobre la inundabilidad. De acuerdo con el informe AR5 del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, existe una evidencia muy clara de que se está produciendo un incremento del nivel medio del mar, tal y como refleja la tasa de ascenso medio de 2.0 mm/año durante el periodo 1971-2010. Además, este informe considera como muy probable que el nivel del mar continúe ascendiendo durante el siglo XXI, probablemente a una tasa mayor (entre 8 y 16 mm/año para el escenario RCP8.5).

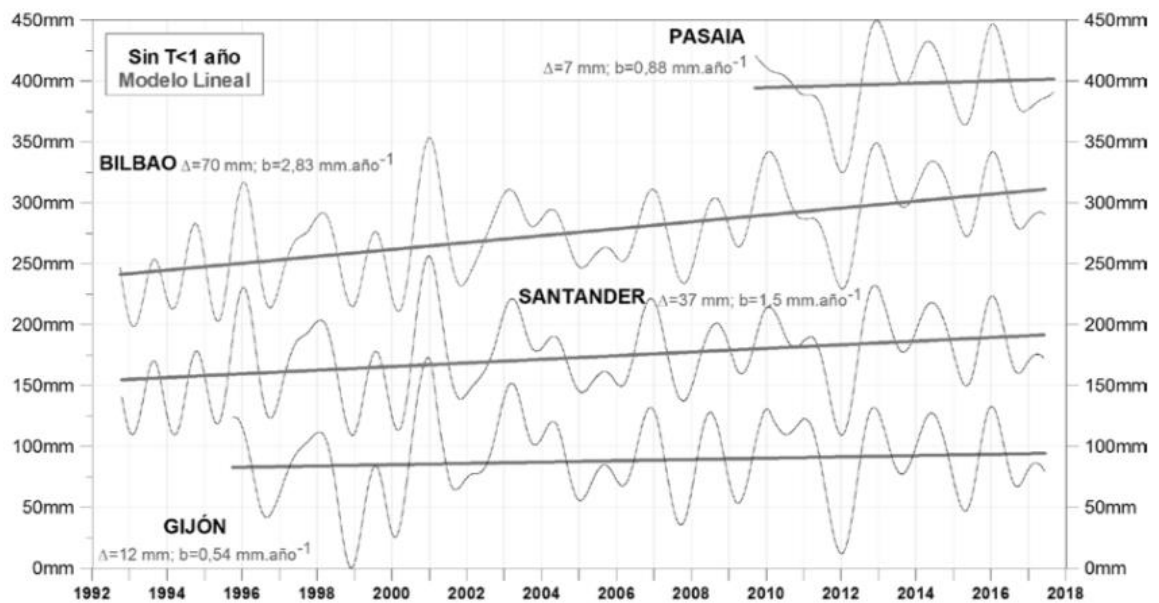


Figura 26. Evolución del nivel medio del mar a escala anual en varios registros de la costa cantábrica. Fuente: Evaluación del impacto de los factores climáticos en el ascenso del nivel del mar sobre el litoral vasco (Ihobe).

La DH del Cantábrico Oriental tiene un frente costero de unos 180 km en el que la inundabilidad está claramente condicionada por las variaciones del nivel del mar. Es de esperar que el ascenso del nivel medio del mar tenga un impacto significativo en toda la franja litoral de la demarcación, en la que se producirá, previsiblemente, un incremento de la inundabilidad. Aunque las predicciones climáticas no prevén cambios apreciables en el régimen del oleaje, la existencia de un nivel medio más elevado tendrá como consecuencia que las olas, junto con el resto de los procesos que condicionan la inundabilidad (marea astronómica y meteorológica), tengan un impacto neto mayor en la costa.

La revisión y actualización de la EPRI y los MAPRI del segundo ciclo del Plan de Gestión del Riesgo de Inundación de la DHC Oriental constata que la tendencia de ascenso del nivel medio del mar que se observa en el golfo de Bizkaia tendrá un efecto significativo en la inundabilidad de las zonas costeras y de transición. Sin embargo, la tasa de ascenso del nivel medio del mar no produce, a lo largo de un ciclo de planificación (6 años), una variación suficiente para tener un efecto apreciable en la inundación. Se trata, por lo tanto, de un efecto a medio plazo que debe ser gestionado en el marco de un horizonte temporal más amplio.

A nivel estatal, con el objetivo de actualizar la información generada durante el primer ciclo de aplicación de la Directiva de Inundaciones y cumplir las obligaciones impuestas por la Unión Europea en relación a la incorporación del impacto del cambio climático en las inundaciones costeras, el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria ha desarrollado nuevas bases de datos de proyecciones regionales de cambio climático de variables marinas para estimar el impacto en la inundación costera.

Esta información ha permitido comparar los eventos extremos de inundación costera proyectados con los históricos, en cada uno de los perfiles y acotando la incertidumbre en la determinación del impacto del cambio climático en la inundación costera en España. Para ello, se han utilizado los escenarios climáticos RCP 4.5 y 8.5, distintos periodos de tiempo (1985-2005, 2026-2045, 2081-2100), modelos climáticos, función distribución de ANMM (aumento del nivel medio del mar) y periodos de retorno (10, 50, 100 y 500 años; estos dos últimos son los que la Directiva de Inundaciones establece como mínimo).

Los resultados de estos trabajos sobre el incremento relativo máximos del nivel del mar compuesto han sido los siguientes:

- Para el medio plazo (2026-2045), el valor del incremento relativo máximo del nivel del mar es bastante homogéneos, oscilando desde incrementos del 5 % para el RCP4.5 y ANMM=5 %, hasta del 10 % para el RCP8.5 y ANMM=95 %.
- Para el largo plazo (2081-2100) también es bastante homogéneo, oscilando desde incrementos del 15 % para el RCP4.5 y ANMM=5 %, hasta del 30 % para el RCP8.5 y ANMM=95 %.
- Y las desviaciones típicas tienen valores y patrones de variación similares, presentando valores inferiores al 10 %.

Por otro lado, los Incrementos Relativos de Cota (CI) y Distancia de Inundación (DI), aumentan fundamentalmente para el periodo de largo plazo (2081-2100), y también a medida que aumenta el valor de periodo de retorno. Las diferencias entre los resultados de los dos escenarios climáticos estudiados (RCP 4.5 y 8.5) no son, en general, muy importantes, aunque siempre son mayores los de RCP 8.5.

- Los valores de incremento relativo máximos de CI y DI, para el medio plazo (2026-2045), tienen una altísima variabilidad a lo largo de la Demarcación Hidrográfica. Los mayores valores para CI oscilan desde aproximadamente incrementos del 15% para el periodo de retorno de 10 años del RCP4.5, hasta del orden del 40% para el periodo de retorno de 500 años del RCP8.5. Por otro lado, los mayores valores para DI oscilan desde aproximadamente incrementos del 25% para el periodo de retorno de 10 años del RCP4.5, hasta del orden del 50% para el periodo de retorno de 500 años del RCP8.5.
- Los valores de incremento relativo máximos de CI y DI, para el largo plazo (2081-2100), son mayores que los del medio plazo y también tienen una altísima variabilidad a lo largo de la Demarcación Hidrográfica. Los mayores valores para CI oscilan desde aproximadamente incrementos del 30% para el periodo de retorno de 10 años del RCP4.5, hasta del orden del 50% para el periodo de retorno de 500 años del RCP8.5. Por otro lado, los mayores valores para DI oscilan desde aproximadamente incrementos del 50% para el periodo de retorno de 10 años del RCP4.5, hasta del orden del 290% para el periodo de retorno de 500 años del RCP8.5.

A escala autonómica, en los últimos años se han llevado a cabo estudios específicos sobre el impacto del ascenso del nivel del mar en la costa vasca, que abarca todo el ámbito costero de la DHC Oriental. El primero de estos proyectos, KLIMPACT¹⁰, analizó las diferentes componentes que del ascenso observado durante los últimos años y evaluó su impacto en la costa vasca en dos zonas estuarinas (Nervión en la ría del Nervión-Ibaizabal y Donostia – San Sebastián en la ría del Urumea), una zona afectada por el oleaje (Zarautz) y un puerto (Bermeo). El proyecto KLIMPACT concluyó que el ascenso del nivel del mar proyectado para los dos escenarios analizados (RCP 4.5 y RCP 8.5) tendrá una incidencia muy significativa en todas las zonas analizadas, con un aumento de las superficies inundables y un mayor impacto del oleaje.

El segundo proyecto desarrollado recientemente, KOSTEGOKI¹¹, analiza el impacto del ascenso del nivel del mar de la costa vasca tomando como referencia los horizontes temporales 2050 y 2100 en dos de los escenarios climáticos considerados por el IPCC: RCP 4.5 (el escenario más probable adoptando medidas de mitigación) y RCP 8.5 (el escenario más pesimista). La tabla siguiente sintetiza los valores de ascenso del nivel medio del mar analizados en el proyecto KOSTEGOKI.

Tabla 6. Ascensos del nivel medio del mar considerados en el proyecto KOSTEGOKI en función del horizonte temporal y del escenario climático.

Grado de impacto	Subida del nivel medio del mar (SLR)	Escenario climático	Ascenso del nivel medio el mar
2050	SLR1	RCP 4.5 y RCP 8.5	0,26 m
2100	SLR2	RCP 4.5	0,51 m
	SLR3	RCP 8.5	0,70 m
	SLR4	Escenario más pesimista	1,00 m

Los resultados de KOSTEGOKI sugieren que el ascenso del cambio climático tendrá un efecto notable en la inundabilidad la costa vasca a medio y largo plazo, independientemente del escenario climático considerado. Los mayores impactos se identifican en los núcleos de población que en la actualidad se encuentran más expuestos, como es el caso de Bermeo, Zarautz y las zonas estuarinas.

¹⁰ *Evaluación del impacto de los factores climáticos en el ascenso del nivel del mar sobre el litoral vasco.* Ihobe, Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda (Gobierno Vasco). 2019

¹¹ *Vulnerabilidad, riesgo y adaptación de la costa de la CAPV frente al cambio climático.* Azti. 2019.



Figura 27. Inundación del estuario del río Butroe correspondiente a un evento extremo de 500 años de periodo de retorno para los siguientes escenarios: clima presente (izquierda) escenario climático RCP4.5 para el horizonte 2100, con un ascenso del nivel medio del mar de 0,51 m (centro) y escenario climático RCP8.5 para el horizonte 2100, con un ascenso del nivel medio del mar de 1,00 m (derecha).

El proyecto KOSTEGOKI concluye también que, además del incremento de la superficie inundable, el ascenso del nivel medio del mar desencadenará cambios morfológicos significativos en la configuración del litoral. Estos cambios serán especialmente relevantes en dos contextos: por un lado, las playas, donde habrá una pérdida importante de superficie seca y, por otro, los estuarios, en los que habrá un desplazamiento hacia el interior de la zona intermareal.

En la actualidad se está llevando a cabo la revisión del Plan Territorial Sectorial de Protección y Ordenación del Litoral del País Vasco, cuyo ámbito abarca la totalidad de la franja costera de la DHC Oriental. En el marco de esta revisión, en marzo de 2020 se publicó el documento «Estudios previos y diagnóstico para la revisión y adaptación del Plan Territorial Sectorial de Protección y Ordenación del Litoral de la CAPV al reto del cambio climático», en el que se analizan las afecciones del ascenso del nivel del mar en la costa vasca desde el punto de vista de la inundabilidad y de la ordenación del territorio. Las principales conclusiones de este documento son las siguientes:

- El ascenso del nivel del mar tendrá un impacto significativo en la costa vasca para los dos escenarios de cálculo considerados (RCP 4.5 y RCP 8.5). Este impacto experimentará un aumento apreciable desde el horizonte 2045 hasta el 2100.
- En las zonas urbanas, este impacto se traducirá en un incremento de los daños por temporales. En las zonas naturales, se prevén impactos negativos en playas y sistemas dunares por erosión y pérdidas de marismas sin capacidad de regeneración por falta de superficies libres aguas arriba.
- Resulta necesario adoptar medidas de adaptación con el objetivo de compensar los impactos que previsiblemente ocasione el cambio climático en la costa vasca. En el medio urbano, las medidas de adaptación deberán incluir actuaciones estructurales de defensa y mejora de los sistemas de drenaje. En las zonas de playa, las propuestas se centran en incrementar las zonas de amortiguación

En este contexto, conviene recordar que uno de los componentes estratégicos del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030 (PNACC-2) (ver epígrafe 2.3) para la acción en materia de adaptación es la integración de propuestas en los distintos planes, programas y normativa de carácter sectorial.

Entre las estrategias y planes que se prevé actualizar para incorporar o reforzar el enfoque adaptativo se encuentran los planes hidrológicos de cuenca y los planes de gestión del riesgo de inundación, entre otros planes relacionados con el agua.

Esto se llevará a cabo a través de las distintas líneas de acción planteadas para cada uno de los 18 ámbitos de trabajo que establece el PNACC-2. Entre los objetivos establecidos para el ámbito de trabajo “agua y recursos hídricos” se encuentran los siguientes:

- Evaluar los impactos y riesgos ecológicos, sociales y económicos derivados de los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos y los ecosistemas acuáticos asociados.
- Profundizar en la integración del cambio climático en la planificación hidrológica y la gestión del ciclo integral del agua, dando especial prioridad a la gestión de eventos extremos (sequías e inundaciones).
- Reducir el riesgo, promoviendo prácticas de adaptación sostenibles, que persigan objetivos múltiples, en materia de uso y gestión del agua, así como sobre los eventos extremos.
- Reforzar la recogida de parámetros clave para el seguimiento de los impactos del cambio climático en el ciclo hidrológico, uso del agua y eventos extremos.

En general, en relación con las medidas de adaptación se plantea como objetivo incrementar la resiliencia de los sistemas naturales, adaptar los sistemas económicos y promover medidas, a ser posible basadas en infraestructuras verdes, solidarias, planificadas, coordinadas y viables económica, legal y temporalmente.

Además de las medidas de seguimiento e investigación se propone como opción la ejecución de medidas infraestructurales, dentro del plan PIMA Adapta, de regeneración de playas y sistemas dunares, creación de playas artificiales, conservación y restauración de humedales y marismas, gestión de sedimentos, construcción de estructuras de protección, etc. Otras medidas planteadas se basan en la adquisición de terrenos para su incorporación al DPMT o la promoción de cambios en el uso del suelo o relocalización de actividades e infraestructuras si el retroceso lo requiere.

Para pasar de la planificación general a la planificación de medidas concretas se requerirá un estudio caso por caso donde el análisis coste-eficacia sea una herramienta de ayuda a la toma de decisiones.

7. AFECCIÓN A LOS USOS

En el anejo 6 del presente plan se ha analizado, mediante modelos hidrológicos, la principal afección a los usos en relación con el recurso hídrico disponible, analizando el cumplimiento de las garantías para los usos planteados en cada sistema de explotación. Estas estimaciones se han hecho en base los porcentajes de reducción expuestos en el apartado 3.1 del presente anejo.

La reducción de recursos planteada es importante, en concreto, se ha considerado una reducción de las aportaciones respecto de la serie corta en el horizonte 2039 del 5,3% en un escenario medio, y del 12,1% en un escenario pesimista, respecto a las aportaciones del periodo 1980/81-2017/18.

Sin embargo, en el plan se fija como objetivo la reducción de incontrolados en los sistemas urbanos de abastecimiento, limitando el porcentaje máximo de incontrolados en el horizonte 2039 en un 20%. Esta mejora en las redes urbanas supone, en muchos casos, importantes reducciones de demanda que compensarían la reducción de recursos hídricos. Por tanto, en la mayor parte de los sistemas de explotación urbanos no se esperan problemas de garantía.

En lo que respecta a los usos industriales no conectados a redes urbanas, sí se prevén algunos ligeros incrementos de déficit que pueden afectar al abastecimiento de determinadas industrias. En cualquier caso, existe una tendencia clara de reducción de consumos industriales, que de mantenerse podría compensar la disminución de recursos hídricos.

Por otro lado, los usos agrarios no conectados a redes urbanas no son relevantes en la demarcación, por lo que la influencia de las reducciones de recursos no se prevé que sea relevante.

Lamentablemente, la reducción de los recursos o los fenómenos meteorológicos extremos como las inundaciones no son el único peligro vinculado al cambio climático que afecta a los usos. En este sentido, las olas de calor son consideradas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como uno de los fenómenos más peligrosos. El IPCC advertía en su último informe que las olas de calor han aumentado ya su ocurrencia y se espera un aumento de su frecuencia, intensidad y duración en las próximas décadas.

IHOBE, a través del proyecto OSATU¹² ha analizado los impactos potenciales que las olas de calor podrían tener sobre la salud de la población en el futuro. Los resultados obtenidos muestran que en el escenario más desfavorable (RCP 8.5) la mortalidad en Bilbao asociada a las olas de calor aumentaría para 2100 entre un 13-54%, en función de si existe aclimatación fisiológica, mientras que en Donostia-San Sebastián el incremento del impacto se situaría entre el 18 % y el 58 %. El aumento de costes directos asociados a las olas de calor en este escenario sería importante, si bien, el estudio muestra que los costes de alerta y prevención sería mucho menores que los costes de impacto de morbilidad.

Aunque no se hayan realizado estudios específicos sobre el aumento de demandas como consecuencia del incremento de las olas de calor, es previsible, como muestran los datos observados en otros

¹² OSATU: Olas de calor y salud: impactos y adaptación en Euskadi. Proyecto Klimatek 2016. IHOBE.

territorios¹³, que puedan darse aumentos puntuales de las mismas, si bien, la reducción de incontrolados prevista en el plan debería ser suficiente para contrarrestar este posible efecto.

Por otra parte, el sistema energético vasco desde el lado de la oferta es muy vulnerable al cambio climático, en especial a acontecimientos extremos como olas de frío y calor, y tormentas. El aumento del nivel del mar e inundaciones costeras y fluviales son amenazas que, obviamente, están muy ligadas a localizaciones concretas, repercutiendo más a las infraestructuras geográficamente ubicadas en costa o cerca de ríos. En determinados casos, estas amenazas pueden afectar de manera decisiva a la infraestructura, que, no contando con una medida de adaptación adecuada, podría quedar completamente inutilizable. Sin embargo, en ocasiones, su repercusión se observa, más que en la instalación en sí, en el acceso a la misma. Dada su ubicación geográfica, la mayor parte de las empresas localizadas en la zona portuaria podrían estar en riesgo como consecuencia del aumento del nivel del mar¹⁴.

La siguiente tabla recoge los costes asociados a las diferentes medidas identificadas en el estudio clasificados según el nivel de riesgo potencial al que harían frente. Como se puede observar, son aquellas medidas para adaptar la infraestructura expuesta a un mayor nivel de riesgo las que podrían requerir inversiones más elevadas. Ello se debe a que, si bien hay más medidas ante riesgos medios y bajos, estas no están valoradas por la bibliografía revisada.

Tabla 7. Resumen de los rangos de inversión que podrían ser necesarios para adaptar la infraestructura de la CAPV al cambio climático (millones de euros)¹⁵.

	Mínimo	Máximo
Riesgos severos	1.325	2.375
Riesgos medios	240	450
Riesgos bajos o muy bajos	260	510
Total	1.825	3.335

¹³ <https://www.elagoradiario.com/agua/asi-afecta-la-ola-de-calor-al-consumo-de-agua/>

¹⁴ Resiliencia climática del sector de la energía en el País Vasco. Proyecto Klimatek 2017-2018. IHOBE

¹⁵ Si se implementan todas las medidas de adaptación identificadas, los costes totales podrían reducirse en un 20-25%.

8. CONCLUSIONES

Como se ha expuesto a lo largo de este documento se ha tratado de avanzar en la cuantificación de impactos como consecuencia del cambio climático en aquellos aspectos que pueden tener influencia en la gestión del recurso hídrico, particularmente en el medio ambiente asociado y la atención de las demandas.

Por el momento se dispone de una estimación basada en las últimas proyecciones climáticas disponibles, aunque no sin incertidumbre, del efecto que el cambio climático tendrá sobre la temperatura, la lluvia y todas las componentes del ciclo hidrológico.

En base a estos cambios en el clima se está avanzando, principalmente en base a los trabajos en el marco del plan de adaptación, en el estudio de la afección sobre los ecosistemas y los usos.

La conclusión más general que se obtiene del análisis de riesgos es que nuestros sistemas, están sometidos a un gran número de presiones que van a verse acentuadas por efecto del cambio climático.

No obstante, es de esperar que en la medida en que el plan se desarrolle y se amplíe la evaluación a otras variables se puedan identificar mejor las zonas que presentan mayor riesgo y mejorar el diseño de actuaciones de adaptación.

Haciendo una lectura positiva, como se ha visto a lo largo del presente documento, las medidas apuntadas para la adaptación al cambio climático, son totalmente compatibles y en muchos casos coincidentes con las medidas que se recogen en el programa de medidas para el alcance de los objetivos ambientales y la garantía en la atención de las demandas.

Así, para evitar el calentamiento del agua de nuestros ríos y evitar la afección a los ecosistemas además de evitar el avance de las especies invasoras se señalan medidas como la restauración fluvial y el mantenimiento de un régimen de caudales adecuado.

Para evitar la desertización y los efectos dañinos de las avenidas se apunta a la necesidad de conservar adecuadamente las cubiertas vegetales y los proyectos de reforestación.

Para prevenir los daños causados por el aumento del nivel del mar en la costa se constata la importancia de mantener un adecuado espacio costero, con cordones dunares y zonas húmedas en buen estado.

Igualmente, para la atención adecuada de las demandas y la superación de eventos de sequía se requiere de una mayor flexibilidad en las fuentes de suministro y el impulso a los recursos no convencionales, así como la mejora de las eficiencias en las redes de suministro.

Por parte de las distintas administraciones competentes, y con un impulso creciente, ya se están abordado muchas actuaciones en todas estas líneas sobre todo en el ámbito de la restauración fluvial y de mejora de la conectividad longitudinal de nuestros ríos.

Queda también pendiente la mejora del conocimiento en muchos aspectos y la reducción de las incertidumbres, si bien hay que asumir que cualquier análisis de riesgos vinculado al cambio climático va a llevar siempre implícita una cierta incertidumbre.

En este sentido para poder avanzar en la cuantificación de riesgos y brechas a salvar en el escenario futuro en condiciones de cambio climático, uno de los aspectos a mejorar es la relación entre los factores climáticos y las variables a analizar, relación que no siempre está cuantificada. Igualmente, en cuanto a los factores de vulnerabilidad que afectan a las variables.

9. REFERENCIAS

- Agencia Vasca del Agua (2015). *Efecto del cambio climático en la inundabilidad de la CAPV*.
- Agencia Vasca del Agua (2019). *Influencia del cambio climático en la inundabilidad de Bizkaia*.
- Azti Tecnalía - Gobierno Vasco (2018-2019). *Vulnerabilidad, riesgo y adaptación de la costa de la CAPV frente al cambio climático. Proyecto KOSTEGOKI*.
- Campos JA, García-Baquero G, Caño L, Biurrun I, García-Mijangos I, Loidi J, et al. (2016) *Climate and Human Pressure Constraints Co-Explain Regional Plant Invasion at Different Spatial Scales*. PLoS ONE 11(10): e0164629.doi:10.1371/journal.pone.0164629
- CE, 2012. *Informe sobre la revisión de la política europea de lucha contra la escasez de agua y la sequía. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones*. Comisión Europea, COM(2012) 672 final, Bruselas, 14/11/2012. 11 pp. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0672:FIN:ES:PDF>
- CEH, 2000. *Documentación técnica del Plan Hidrológico Nacional. Análisis de los sistemas hidráulicos*. Septiembre de 2000. Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX.
- CEH, 2012. *Estudio de los Impactos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y las Masas de Agua. Efecto del cambio climático en el estado ecológico de las masas de agua*. Informe final. Diciembre de 2012. Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX.
- CEH, 2017. *Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y Sequías en España (2015-2017)*. Informe técnico para el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. CEDEX, Madrid, julio de 2017.
- CEH, 2020. *Incorporación del cambio climático en los planes hidrológico del tercer ciclo*. Nota, 26 de octubre de 2020.
- CWAMP, 2010. *Folleto informativo sobre oxígeno disuelto. Valores de oxígeno disuelto para la supervivencia de diversas especies acuáticas*. California Water Boards. Marzo de 2010.
- Diputación Foral de Gipuzkoa (2018). *Influencia del cambio climático en la inundabilidad de Gipuzkoa*.
- FIC, 2018a. *Anticipando el clima para defender las unidades hidrográficas*. Fundación para la investigación del Clima. 2018.
- FIC, 2018c. *Análisis del impacto del cambio climático sobre especies piscícolas y ecosistemas fluviales*. Fundación para la investigación del Clima. 2018.
- FIC, 2019a. *Efecto del cambio climático en las sequías y evaluación del ciclo hidrológico para la agricultura*. Fundación para la investigación del Clima. 2019.
- FIC-UPM, 2020. *Modelización de distribución de plantas alóctonas invasoras más problemáticas en la península Ibérica. Proyecto SPAINCLIM: Escenarios futuros de índices bioclimáticos en España y aplicación al estudio de especies invasoras*.
- Herrera M, Campos JA (2010). *Flora alóctona invasora en Bizkaia*. 196 pp. Instituto para la Sostenibilidad de Bizkaia.

- Ibañez I, Silander JA Jr, Allen JM, Treanor SA, Wilson A. *Identifying hotspots for plant invasions and forecasting focal points of further spread*. J Appl Ecol. 2009; 46: 1219–1228
- IPCC, 2019. *Calentamiento global de 1,5°C. Resumen para responsables de políticas. Unidad de apoyo técnico del grupo de trabajo I. Grupo intergubernamental de expertos del cambio climático. 2019.*
- IPCC, 2019. *Glosario de términos. Grupo de trabajo II. Grupo intergubernamental de expertos del cambio climático. 2019.*
- IPCC, 2014. *Cambio climático: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. 5º informe de evaluación. Grupo de trabajo II. Grupo intergubernamental de expertos del cambio climático. 2014.*
- Losada, I.J., Izaguirre, C., Diaz-Simal, P., 2014. *Cambio Climático en la Costa Española. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.*
- Marini L, Gaston KJ, Prosser F, Hulme PE. Contrasting response of native and alien plant species richness to environmental energy and human impact along alpine elevation gradients. *Global Ecol Biogeogr.* 2009; 18: 652–661
- MMA, 2005. *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente. 2005.*
- MAGRAMA, 2016. *Estrategia de adaptación al cambio climático de la costa española. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Diciembre de 2016.*
- MITECO, 2021. *Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética. Ministerio para la Transición Ecológica*
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2020). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/plan-nacional-adaptacion-cambio-climatico/default.aspx>*
- OECC (Oficina Española de Cambio Climático). *Proyecto AdapteCCa. Plataforma de intercambio y consulta de información sobre impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en España. Disponible en: <https://www.adaptecca.es/>*
- Pérez Martín, M.A. (2020). *Determinación de los mapas de peligrosidad, exposición, vulnerabilidad y riesgo asociados al Cambio Climático en España. Versión borrador. Diciembre de 2020.*
- Pino J, Font X, Carbo J, Jove M, Pallarès L. *Large-scale correlates of alien plant invasion in Catalonia (NE of Spain)*. Biol Conserv. 2005; 122: 339–350.
- Proyecto H₂O GUREA (2018). *Análisis de susceptibilidad torrencial en la Comunidad Autónoma del País Vasco en un escenario de cambio climático.*
- Runyon JB, Butler JL, Megan, Friggens M, Meyer SE, Sing SE. *Invasive species and climate change*. 2012. In: Finch, Deborah M., ed. *Climate change in grasslands, shrublands, and deserts of the interior American West: a review and needs assessment*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-285. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 97-115.



PLAN HIDROLÓGICO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL CANTÁBRICO ORIENTAL

Revisión para el tercer ciclo: 2022-2027

APÉNDICE XVII.1

Mapas de impacto potencial para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 en los tres periodos de impacto considerados

Aprobado por Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro.

Mapas de impacto potencial para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 en los tres periodos de impacto considerados

Mapas de impacto potencial de pérdida de hábitat para especies de aguas frías

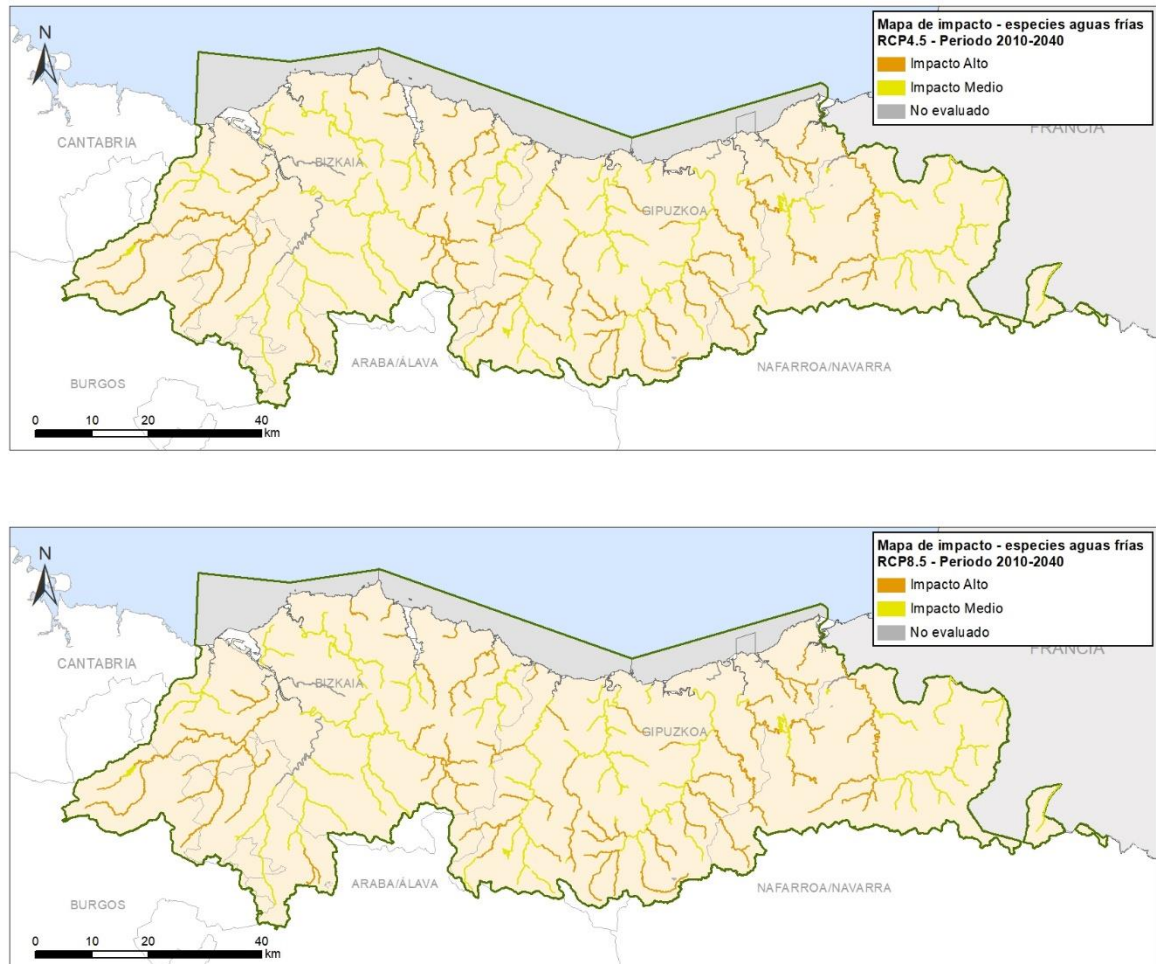


Figura 28. Mapas del impacto potencial en las especies de aguas frías a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).

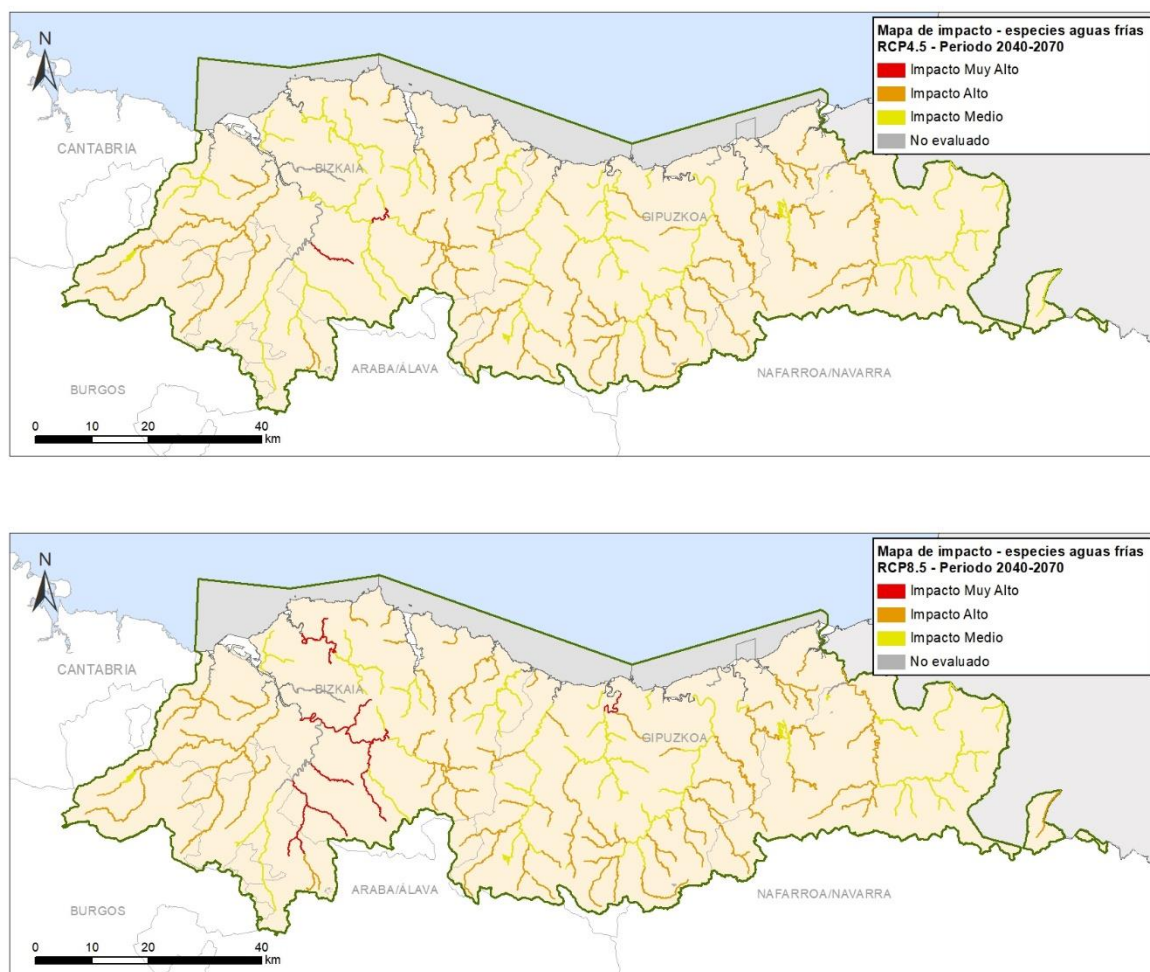


Figura 29. Mapas del impacto potencial en las especies de aguas frías a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).

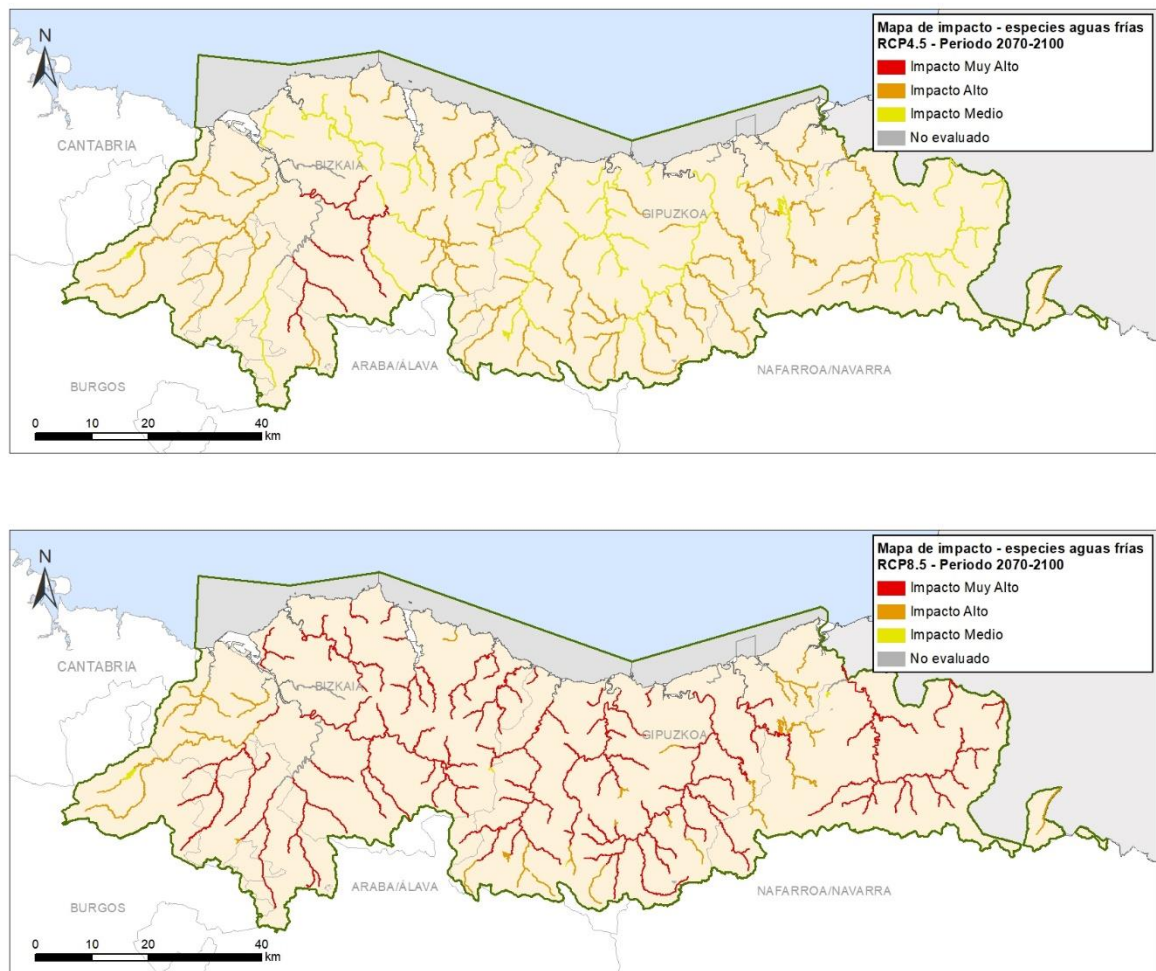


Figura 30. Mapas del impacto potencial en las especies de aguas frías a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).

Mapas de impacto potencial en el oxígeno disuelto

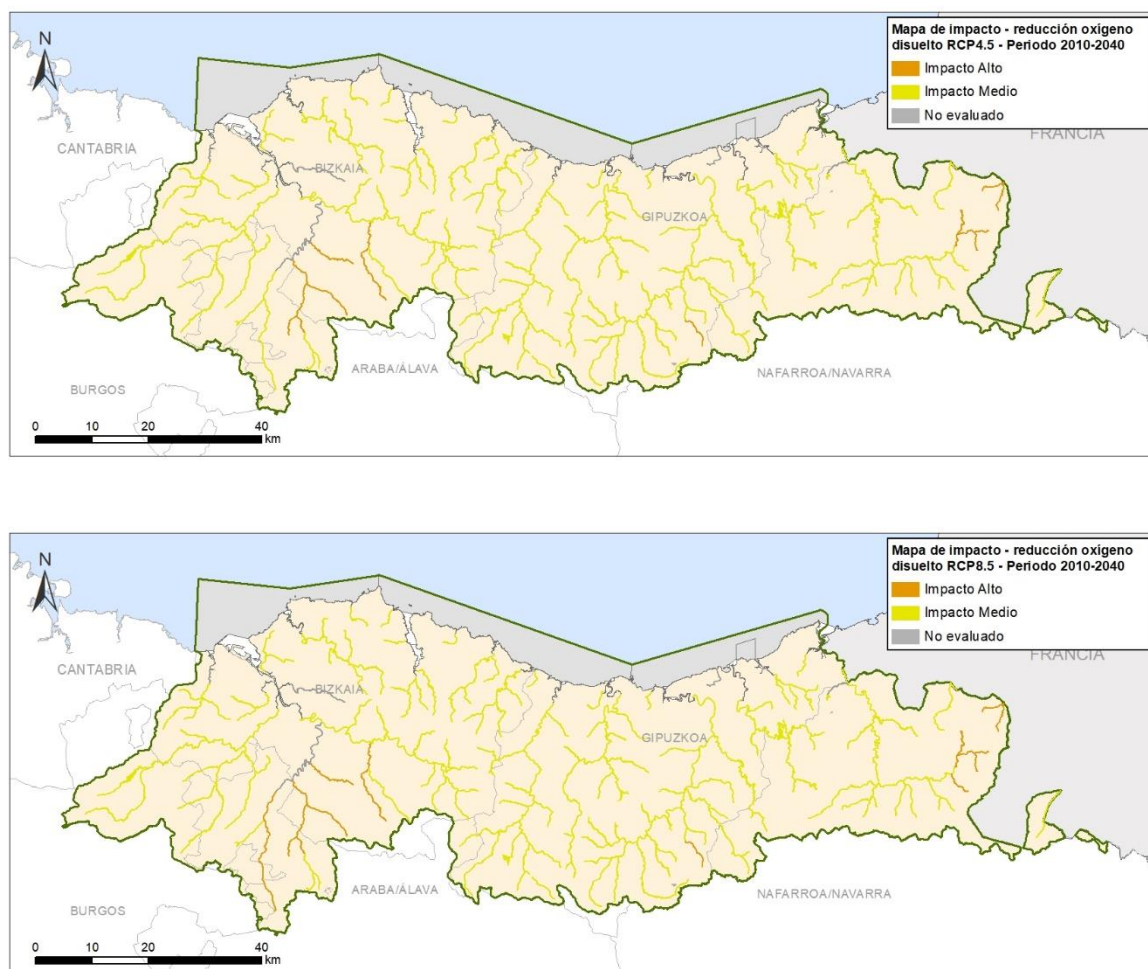


Figura 31. Mapas del impacto potencial en el oxígeno disuelto a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).

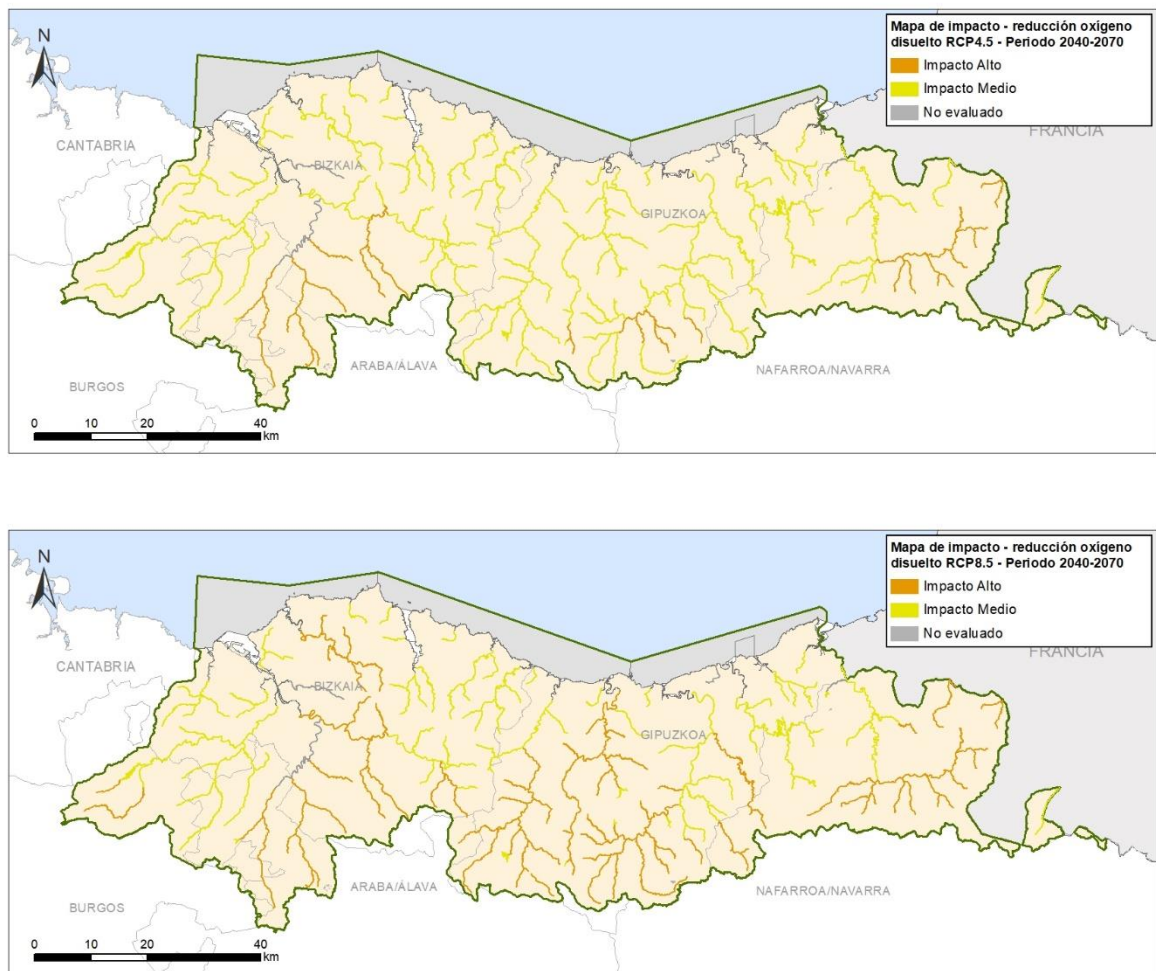


Figura 32. Mapas del impacto potencial en el oxígeno disuelto a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).

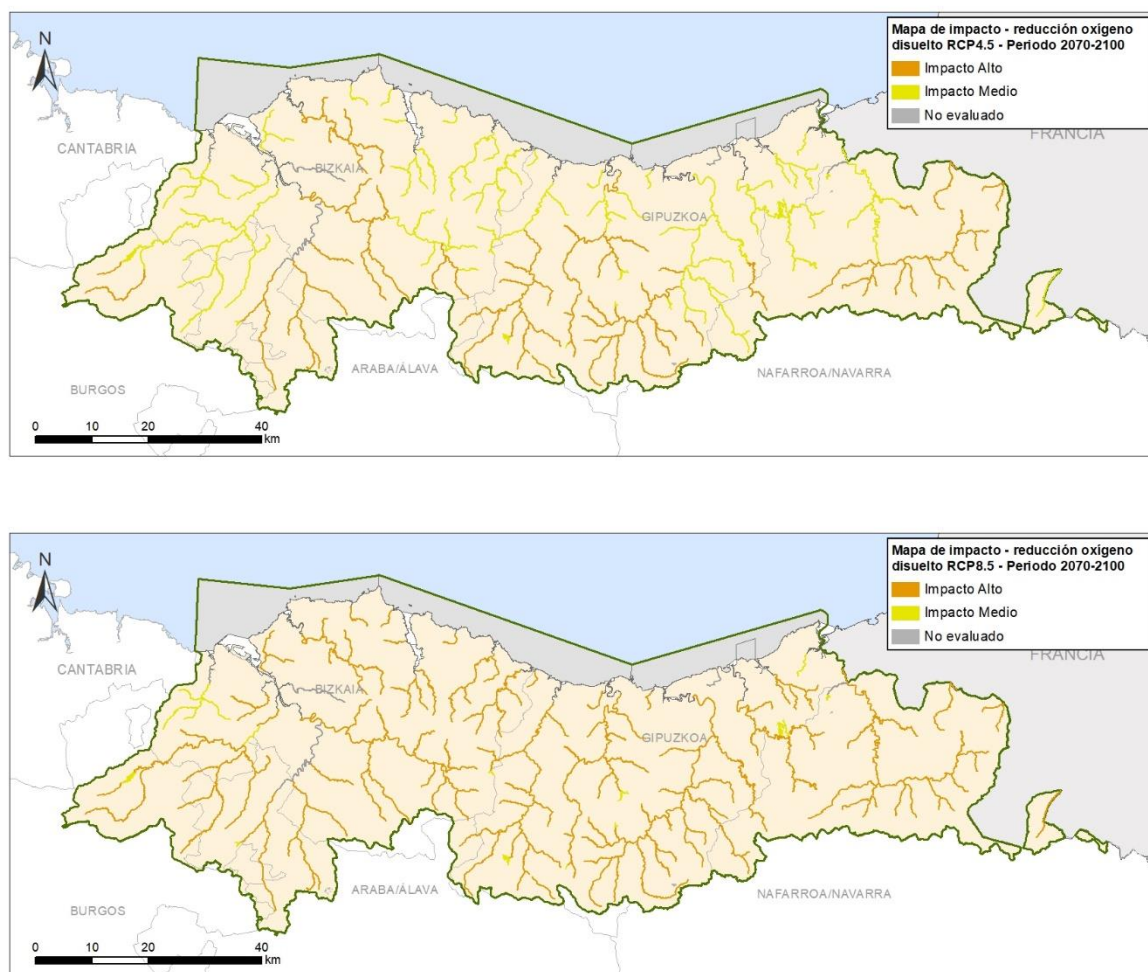


Figura 33. Mapas del impacto potencial en el oxígeno disuelto a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).

Mapas de impacto potencial en los macroinvertebrados

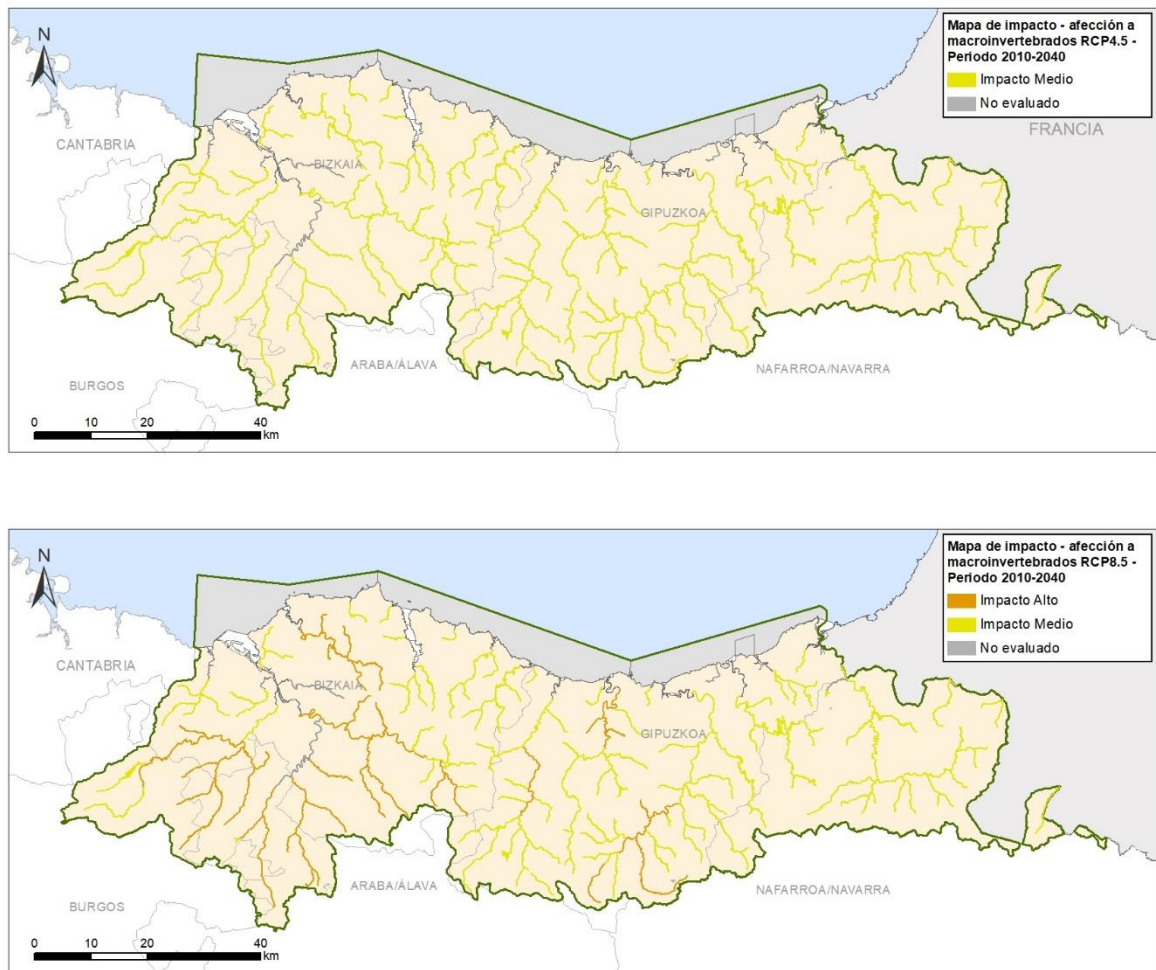


Figura 34. Mapas del impacto potencial en los macroinvertebrados a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).

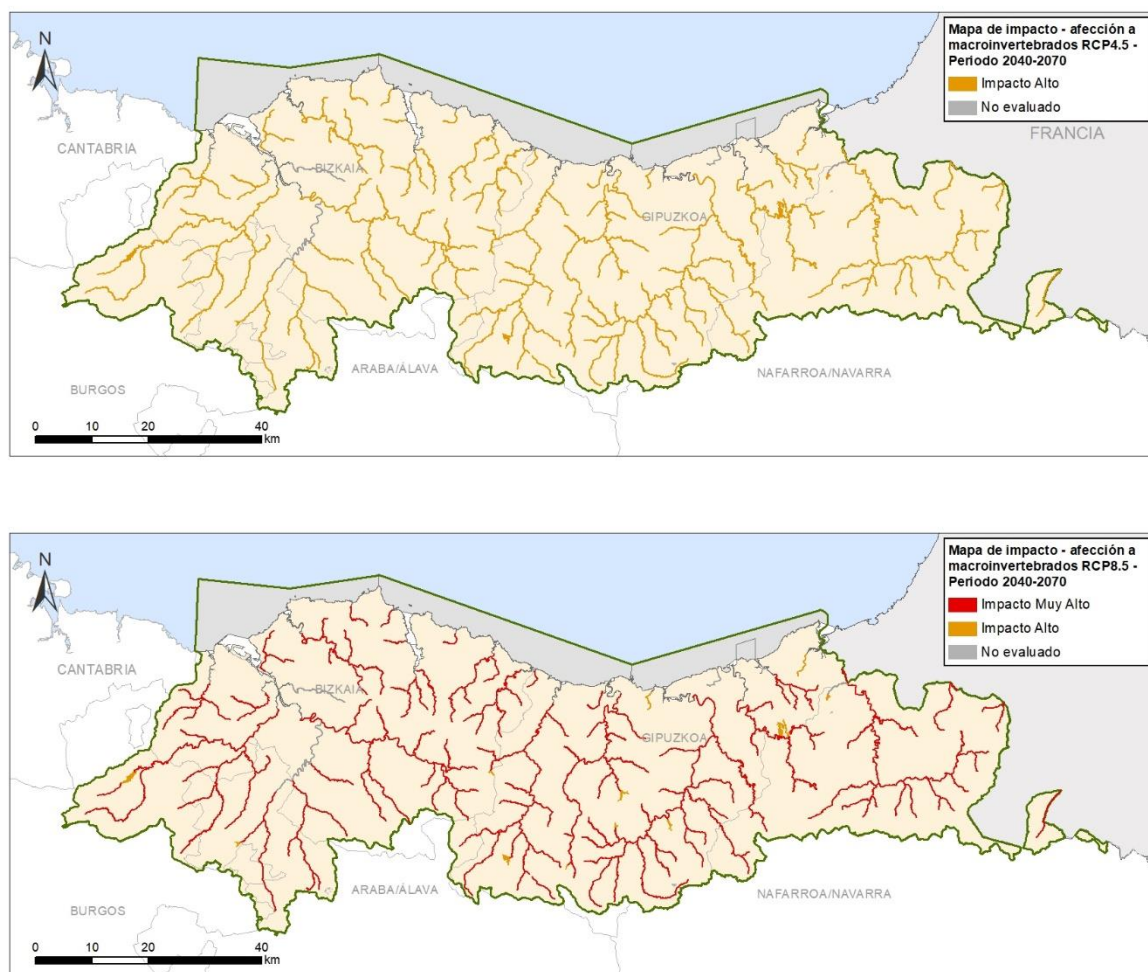


Figura 35. Mapas del impacto potencial en los macroinvertebrados a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).

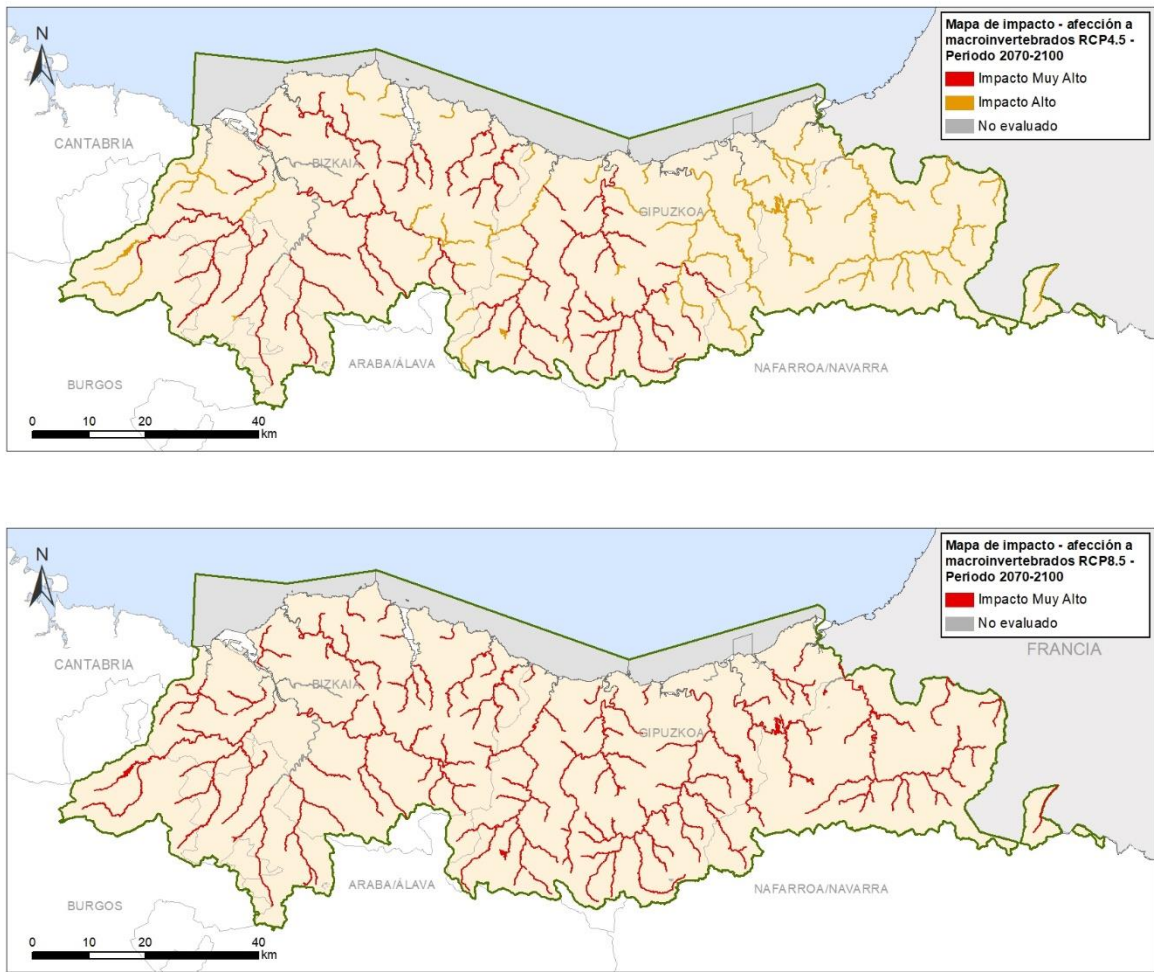


Figura 36. Mapas del impacto potencial en los macroinvertebrados a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).



PLAN HIDROLÓGICO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL CANTÁBRICO ORIENTAL

Revisión para el tercer ciclo: 2022-2027

APÉNDICE XVII.2

Mapas de riesgo para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 en los tres periodos de impacto considerados

Aprobado por Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro.

Mapas de riesgo para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 en los tres periodos de impacto considerados

Mapas de riesgo de pérdida de hábitat para especies de aguas frías

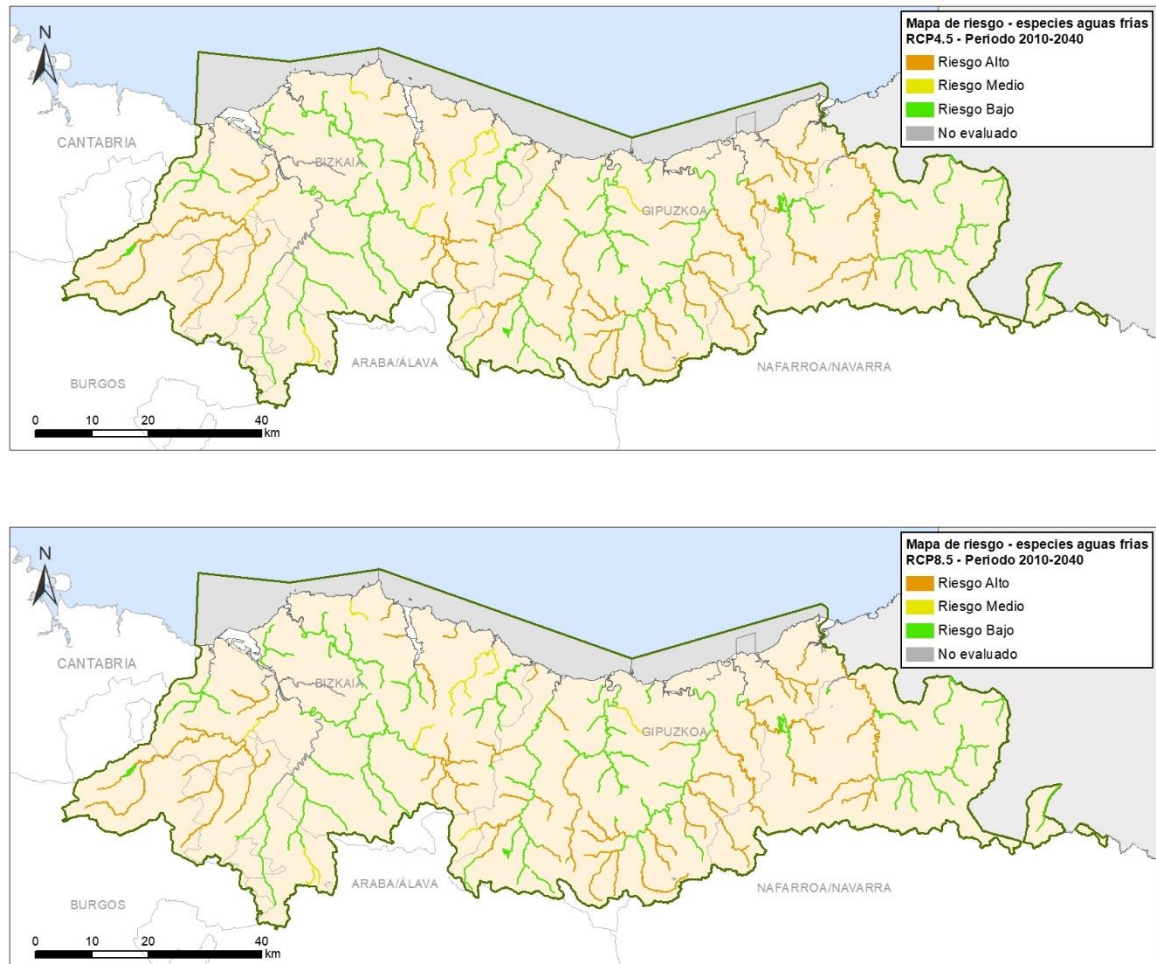


Figura 37. Mapas del riesgo sobre las especies de aguas frías a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).

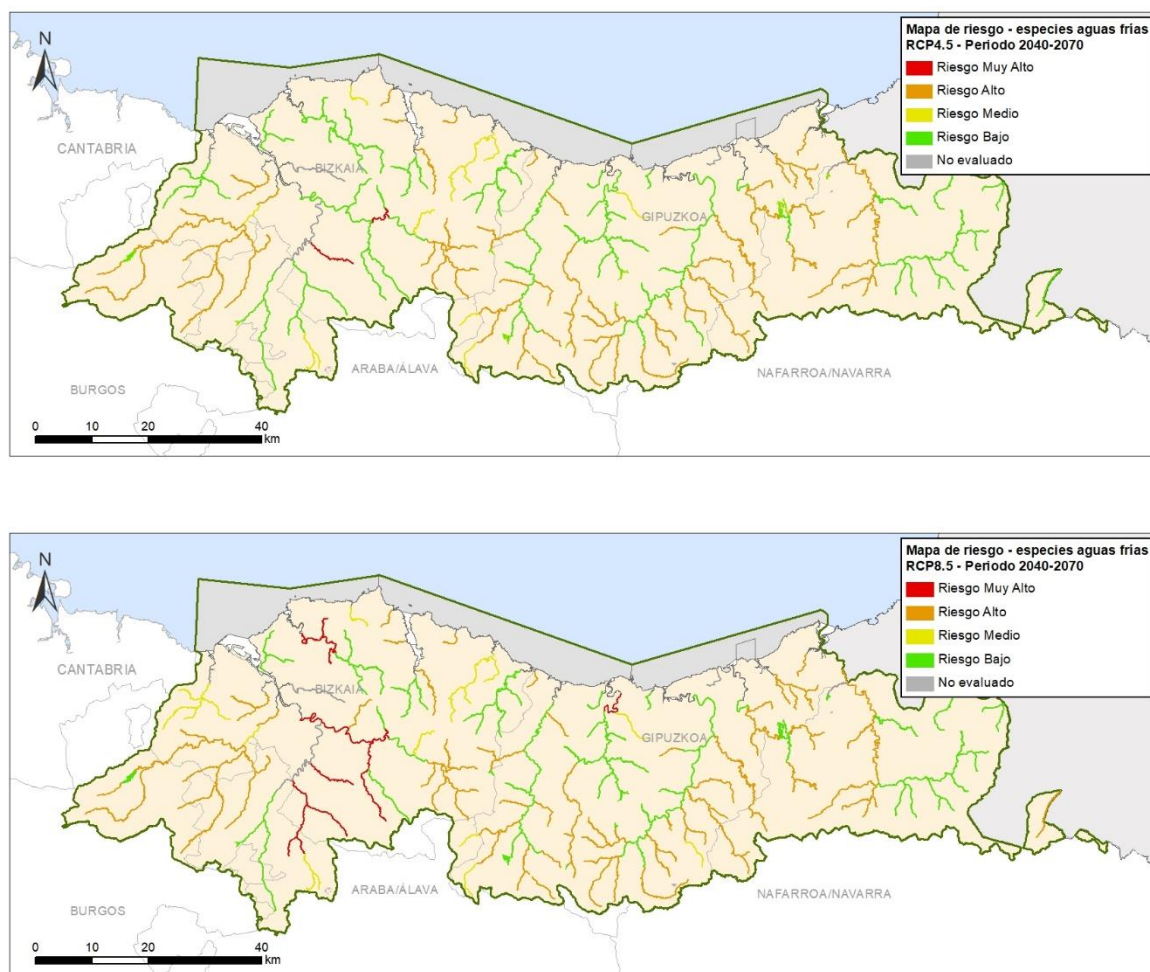


Figura 38. Mapas del riesgo sobre las especies de aguas frías a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).

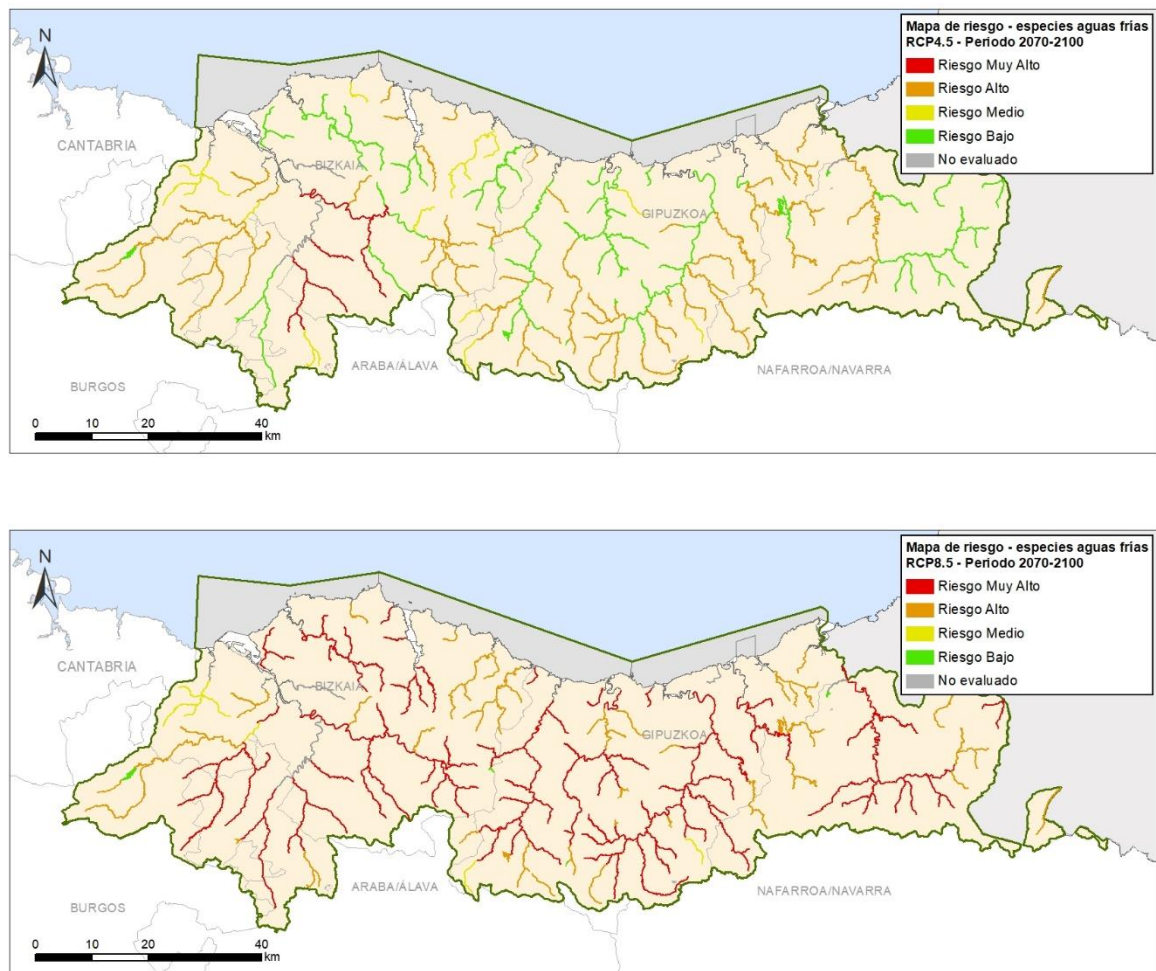


Figura 39. Mapas del riesgo sobre las especies de aguas frías a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).

Mapas de riesgo de reducción de oxígeno disuelto

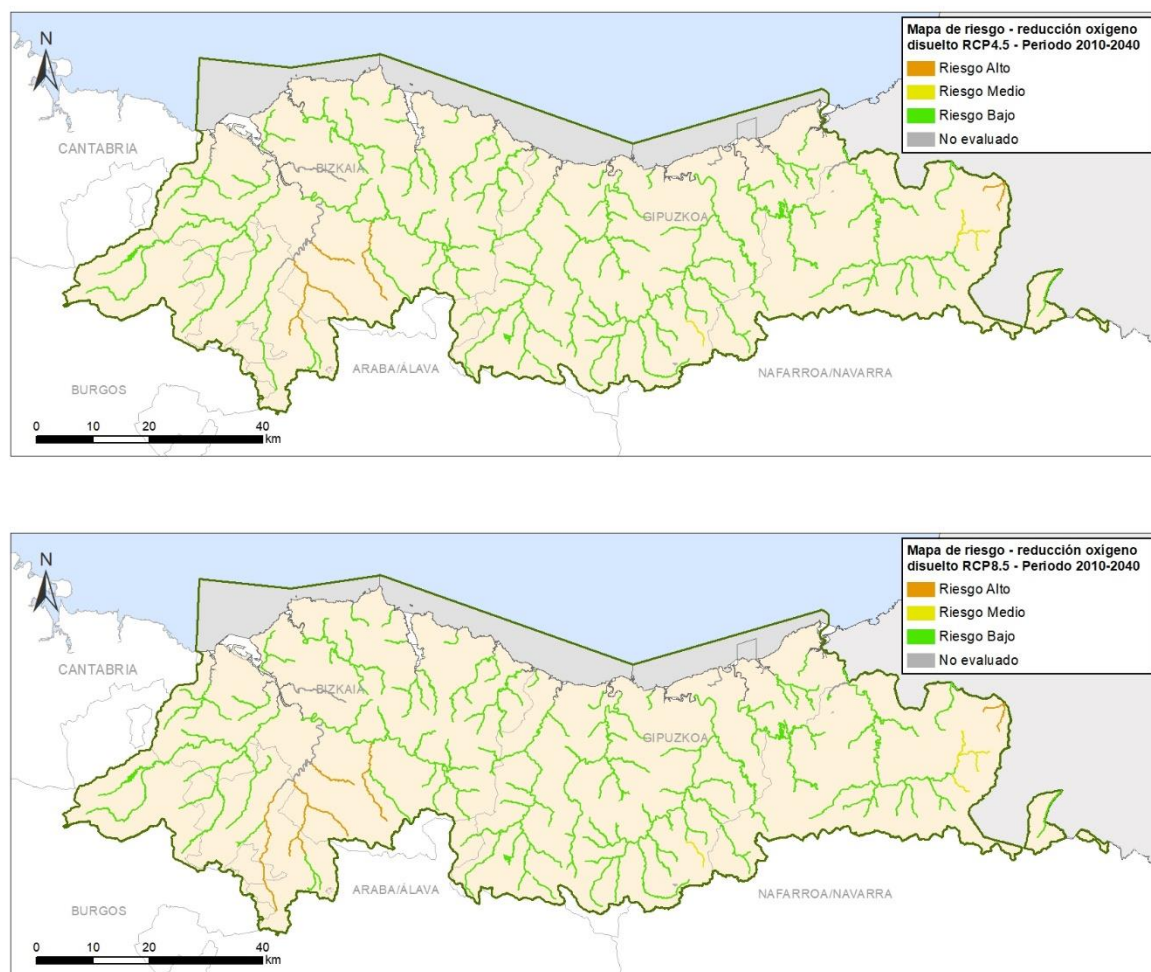


Figura 40. Mapas del riesgo de reducción del oxígeno disuelto a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).

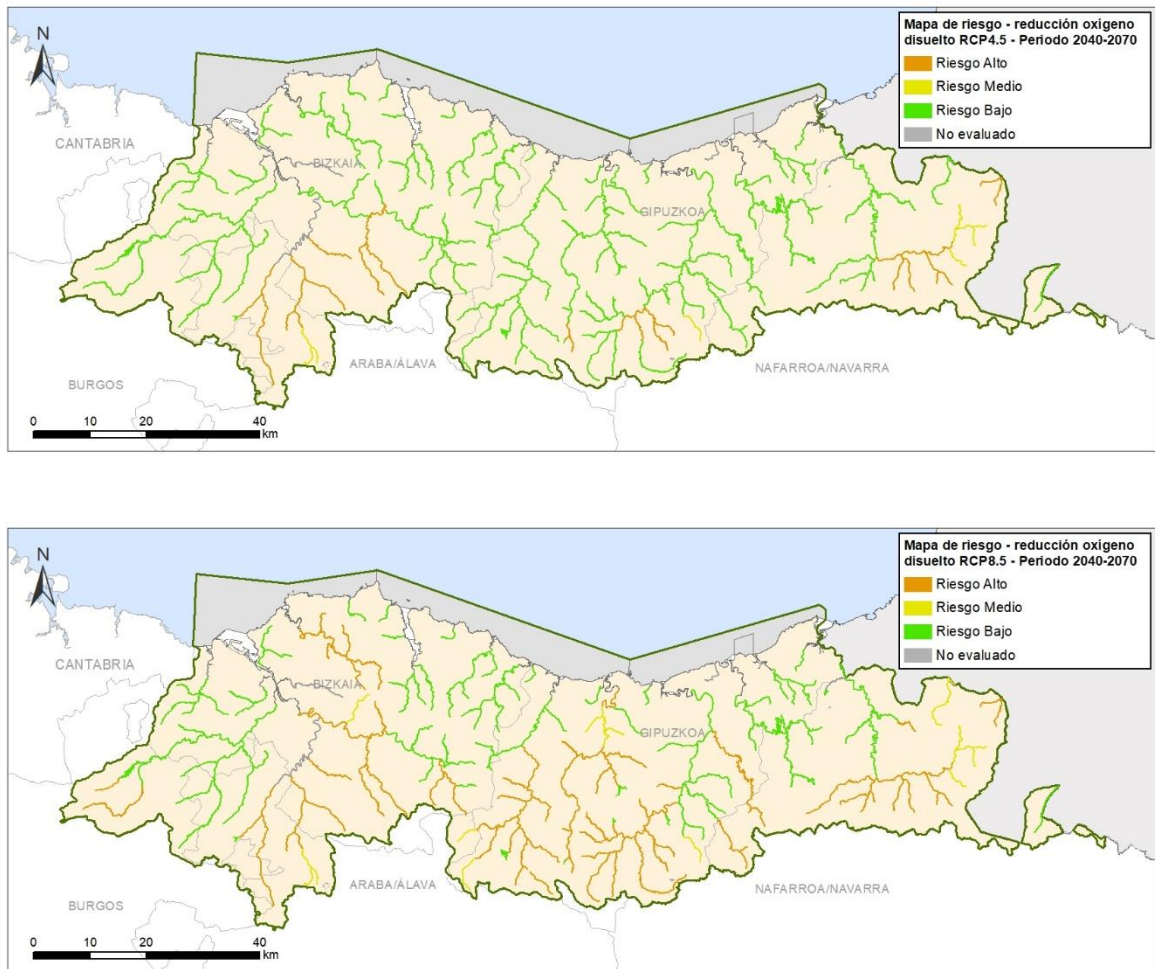


Figura 41. Mapas del riesgo de reducción del oxígeno disuelto a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).

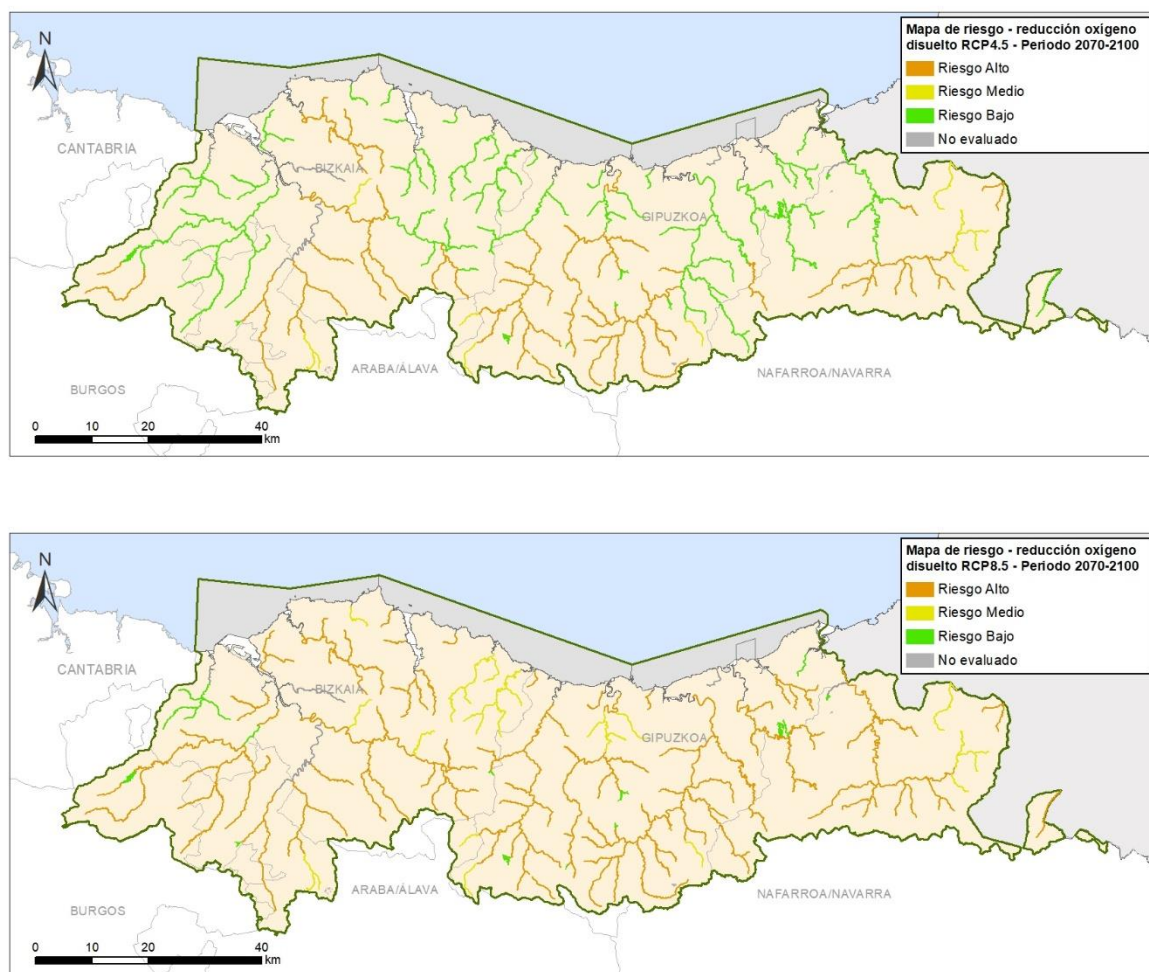


Figura 42. Mapas del riesgo de reducción del oxígeno disuelto a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).

Mapas de riesgo de afección en los macroinvertebrados

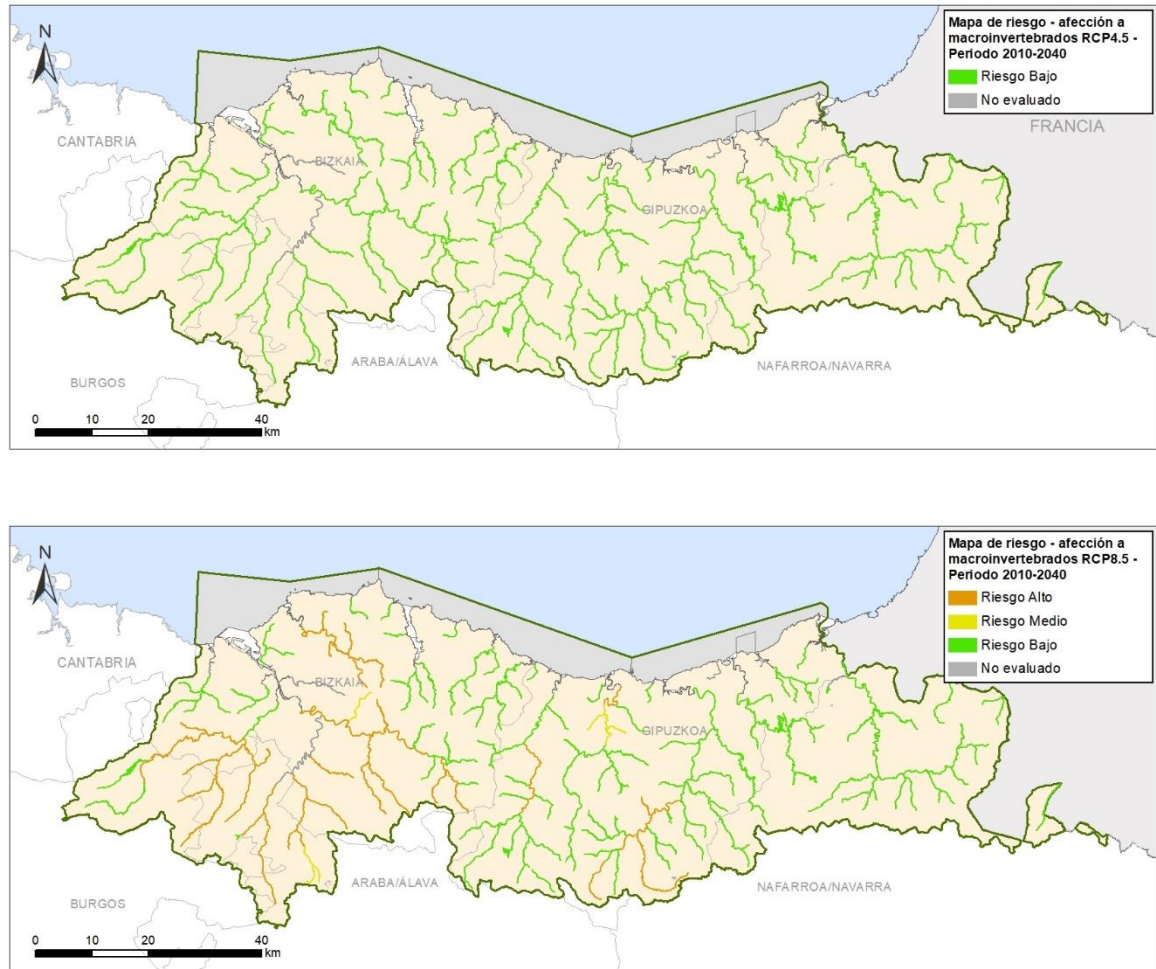


Figura 43. Mapas del riesgo de afección en los macroinvertebrados a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).

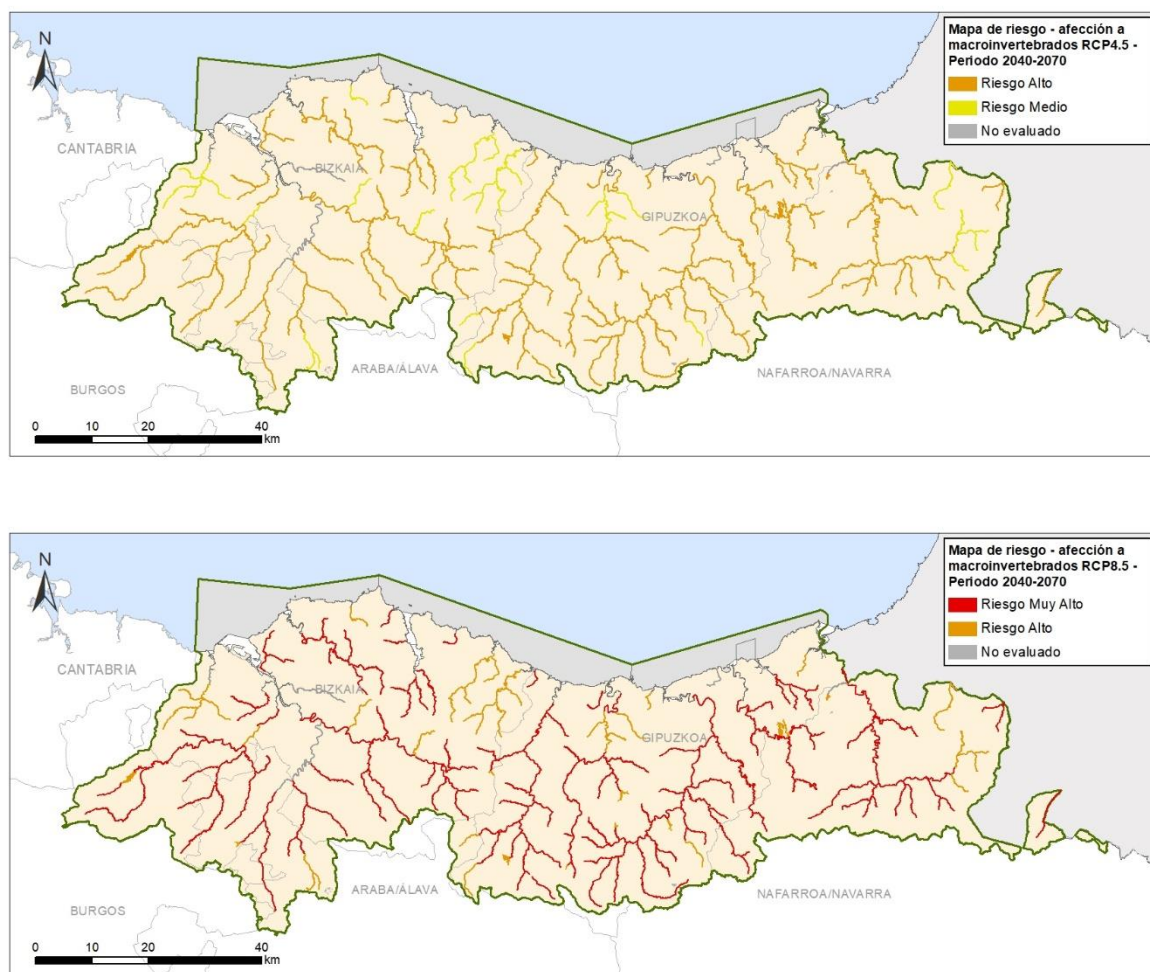


Figura 44. Mapas del riesgo de afección en los macroinvertebrados a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).

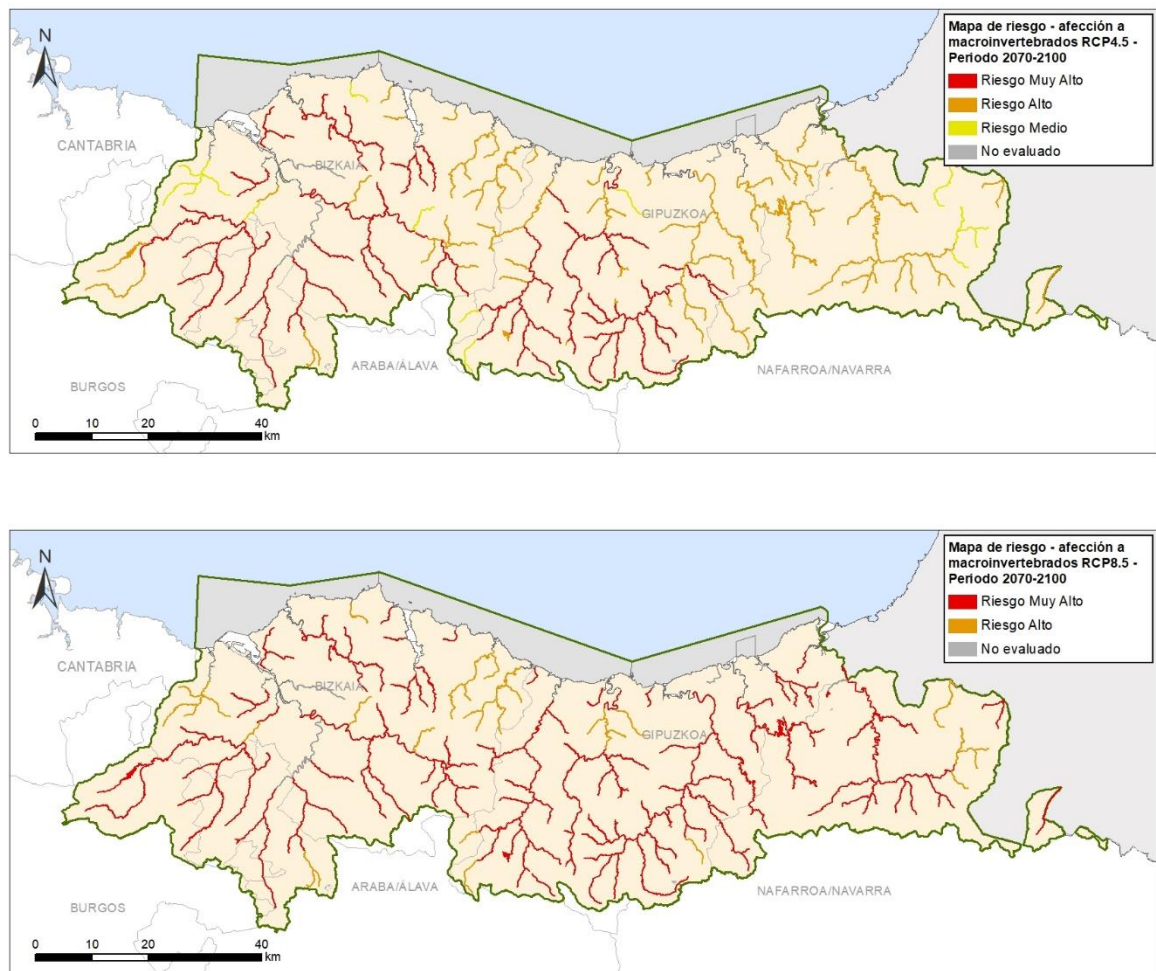


Figura 45. Mapas del riesgo de afección en los macroinvertebrados a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5).