GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA, O.A.

# PROYECTO DE PLAN HIDROLÓGICO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA

## (REVISIÓN DE TERCER CICLO: 2022-2027)

# ANEJO XIII

## RIESGOS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO Y ADAPTACIÓN

**Diciembre de 2022**

**CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA, O.A.**

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN ..... 7
2. BASE NORMATIVA ..... 10
**2.1. Reglamento de Planificación Hidrológica ..... 10**
**2.2. Instrucción de Planificación Hidrológica ..... 11**
**2.3. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático ..... 12**
**2.4. Ley de Cambio Climático y Transición Energética ..... 13**
3. AFECCIÓN A LOS RECURSOS HÍDRICOS Y A LAS SEQUÍAS ..... 16
**3.1. Afección a los Recursos Hídricos ..... 16**
**3.2. Impactos en el régimen de sequías ..... 26**
4. PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO ..... 30
5. AVANCES EN LOS MODELOS DE RIESGO PARA LOS ECOSISTEMAS ..... 34
**5.1. Pérdida de hábitat para especies de aguas frías ..... 34**
**5.2. Riesgo de reducción del oxígeno disuelto en el agua ..... 42**
**5.3. Riesgo de afección a macroinvertebrados ..... 48**
**5.4. Otros estudios de afección del cambio climático a los ecosistemas ..... 54**
5.4.1. Tendencia a la expansión de especies invasoras ..... 54
5.4.2. Riesgo de desertización asociado al cambio climático ..... 57
6. AFECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO A LA COSTA ..... 59
7. AFECCIÓN A LOS USOS ..... 67
8. CONCLUSIONES ..... 69
9. REFERENCIAS ..... 71

# 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 DHS ..... 18
Tabla 2. Porcentajes de cambio de la escorrentía para cada UTS y trimestre ..... 22
Tabla 3. Variación porcentual de las aportaciones en los puntos significativos de la red fluvial ..... 24
Tabla 4. Variación porcentual de la recarga en las masas de aguas subterráneas de la demarcación ..... 25
Tabla 5. Variación de recursos naturales en la demarcación debido al cambio climático ..... 26
Tabla 4. Impactos sobre los ecosistemas y sobre los usos a tener en cuenta en el PACC ..... 32
Tabla 7. Combinación de los mapas de impacto y vulnerabilidad para la definición del riesgo ..... 40
Tabla 8. Grado de Impacto debido a la afección en los macroinvertebrados ..... 50

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de las emisiones de $CO_2$ según las RCP ..... 17
Figura 2. Evolución de la variación de la precipitación en la DHS como promedio de las proyecciones climáticas ..... 18
Figura 3. Variación porcentual de la ETP en la DHS como promedio de las proyecciones climáticas ..... 19
Figura 4. Variación porcentual de la recarga en la DHS como promedio de las proyecciones climáticas ..... 20
Figura 5. Variación porcentual de la escorrentía en la DHS como promedio de las proyecciones climáticas ..... 21

Figura 6. Ubicación de los puntos significativos considerados....23
Figura 7. Concepto y definición de sequía (CEH, 2017)....26
Figura 8. Variación en el periodo de retorno de las sequías de dos años según las proyecciones del escenario RCP4.5....27
Figura 9. Variación en el periodo de retorno de las sequías de cinco años según las proyecciones del escenario RCP4.5....27
Figura 10. Variación en el periodo de retorno de las sequías de dos años según las proyecciones del escenario RCP8.5....28
Figura 11. Variación en el periodo de retorno de las sequías de cinco años según las proyecciones del escenario RCP8.5....28
Figura 12. Marco conceptual para la evaluación de riesgos asociados al cambio climático (GTII, 2014)....30
Figura 13. Metodología propuesta para la definición del riesgo asociado al cambio climático....33
Figura 14. 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)....35
Figura 15. Mapas de Exposición potencial, elaborado en base al límite termal de 21.8 ºC (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....36
Figura 16. Mapas del impacto potencial a corto plazo (PI1) según ambas sendas de emisiones (RCP4.5 y RCP8.5)....38
Figura 17. Mapa de vulnerabilidad....40
Figura 18. Mapas del riesgo a corto plazo (PI1) según ambas sendas de emisiones (RCP4.5 y RCP8.5)....41
Figura 19. Distribución de la concentración de oxígeno disuelto en agua calculada, en función de la temperatura y la altitud, y observada (mg/l)....43
Figura 20. 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....44
Figura 21. Mapas del impacto potencial a corto plazo (PI1) sobre el oxígeno disuelto (RCP4.5 y RCP8.5)....45
Figura 22. Mapas del riesgo a corto plazo (PI1) debido a la reducción del oxígeno disuelto (RCP4.5 y RCP8.5)....47
Figura 23. Estado actual del indicador $O_2$....48
Figura 24. Porcentaje de individuos por familia que experimentan un cambio como resultado de incrementos en la temperatura del agua (método del Óptimo Robusto) (CEH, 2012)....49
Figura 25. Mapa de peligro: Incremento esperado de la temperatura del agua a corto plazo (PI1) para el escenario de emisiones CP4.5....50
Figura 26. Mapas 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)....51
Figura 27. Mapas del riesgo a corto plazo (PI1) para los macroinvertebrados según la senda de emisiones relativamente optimista (RCP4.5) y más pesimista (RCP8.5)....53
Figura 28. Probabilidad de presencia potencial y presencia actual (en negro) en los ámbitos de Júcar y Segura (FIC-UPM, 2020)....55
Figura 29. Mapas de presencia potencial futura en España en los escenarios de cambio climático modelizados (J. Zambrano, 2021)....56
Figura 30. Comparativa entre el índice de erosión en situación actual y futura (bajo los escenarios RCP4.5 y 8.5 en el año 2050) en los ámbitos de las demarcaciones de Júcar y Segura (FIC, 2018a)....58
Figura 31. Índice de Vulnerabilidad Costera y Ambiental aplicado a La Manga del Mar Menor (Fuente: *Evaluación del índice de vulnerabilidad costera en la Manga del Mar Menor (Murcia, España)*)....64

# ÍNDICE DE ANEXOS

1. Mapas de impacto potencial (página 73)
2. Mapas de riesgo frente al cambio climático (página 83)

## ACRÓNIMOS

| Sigla | Descripción |
|---|---|
| AEMET | Agencia Española de Meteorología |
| CEDEX | Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas |
| CHS | Confederación Hidrográfica del Segura |
| DGA | Dirección General del Agua |
| DH | Demarcación Hidrográfica |
| DMA | Directiva 2000/60/CE Marco del Agua |
| ETP | Evapotranspiración potencial |
| ETR | Evapotranspiración real |
| IPH | Instrucción de Planificación Hidrológica |
| MCT | Mancomunidad de los Canales del Taibilla |
| MDT | Modelo digital del terreno |
| PH | Plan Hidrológico |
| PHCS | Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura |
| PHDS | Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura |
| RPH | Reglamento de Planificación Hidrológica |
| RRHHNN | Recursos hídricos naturales |
| SIMPA | Sistema Integrado de Precipitación Aportación |
| 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 al 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 (CC) 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.

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.

Esta problemática global es especialmente preocupante en la DHS por dos motivos principales. Por un lado, el balance actual entre recursos disponibles y demandas es de por si complejo, considerando además los requerimientos ambientales y, en segundo lugar, porque los países del arco mediterráneo son especialmente vulnerables a los fenómenos meteorológicos extremos (CE, 2012).

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 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 usos
- Conclusiones

El capítulo de 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 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.

Estas proyecciones han servido de base para la modelización de los escenarios futuros de gestión (2039) en situación de CC recogidos en el anejo 6 del presente PHDS 2022/27.

Posteriormente se presenta el enfoque empleado para la elaboración del futuro plan de adaptación al cambio climático y sus avances preliminares con relación al 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 PHDS 2022/27.

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

# 2. BASE NORMATIVA

El marco normativo en relación con el cambio climático ha tenido un importante desarrollo en los últimos años, en consonancia con la constatación de sus efectos y el aumento de la sensibilidad social al respecto. Así, a pesar de que el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (más conocido por sus siglas en inglés, IPCC) es una entidad científica creada en 1988, el concepto de cambio climático no se recoge en la Directiva Marco de Aguas (DMA), ni en el texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA). Como se ha expuesto en el punto anterior, el Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH) y la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH) hacen referencia a él con relación a la posible reducción de recursos únicamente, y hubo que esperar a la reciente Ley, aun en tramitación, de Cambio Climático y Transición Energética (LCCTE), para tener un enfoque legal más amplio sobre cómo afrontarlo.

Es por esto, que en el presente apartado se expone, no solo los artículos de referencia en esta normativa sino también los marcos políticos que han llevado a su desarrollo o que marcarán su evolución futura.

## 2.1. Reglamento de Planificación Hidrológica

El Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH), aprobado mediante el Real Decreto 907/2007, del 6 de julio, modificado por el Real Decreto 1159/2021, de 28 de diciembre, 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 Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH) y del texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA).

La IPH por su parte incluye un cierto desarrollo a los artículos del RPH con relación al 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, en relación con el seguimiento de los caudales ecológicos que se reproduce a continuación:

*3.4.7. Seguimiento del régimen de caudales*

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 Adapta*. Este plan, que comenzó en 2015 para apoyar la consecución de los objetivos del PNACC, utiliza 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 presenta anejo se dará cuanta del avance en cada una de las líneas de acción comentadas. Cabe destacar que muchos 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, y muchas de las medidas que se apuntan para dar respuesta a la adaptación también están siendo realizadas gracias a este plan.

## 2.4. Ley de Cambio Climático y Transición Energética

En paralelo al Plan de Adaptación antes expuesto, recientemente se ha aprobado mediante publicación en BOE nº 121 de 21 de mayo de 2021, *Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energétic*a (LCCTE). 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.*

# 3. AFECCIÓN A LOS RECURSOS HÍDRICOS Y A LAS SEQUÍAS

Los efectos del cambio climático sobre las variables hidrometeorológicas afectan, no solo a la cuantía de dichas variables, sino también a su distribución territorial 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 con el 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).

A continuación se presentan los resultados de dicho estudio con especial atención a las variables en el ámbito de la DHS.

## 3.1. Afección a los Recursos Hídricos

El referido estudio 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 $CO_2$ 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 $CO_2$ 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 $CO_2$ a lo largo del siglo XXI para cada una de las RCP consideradas.

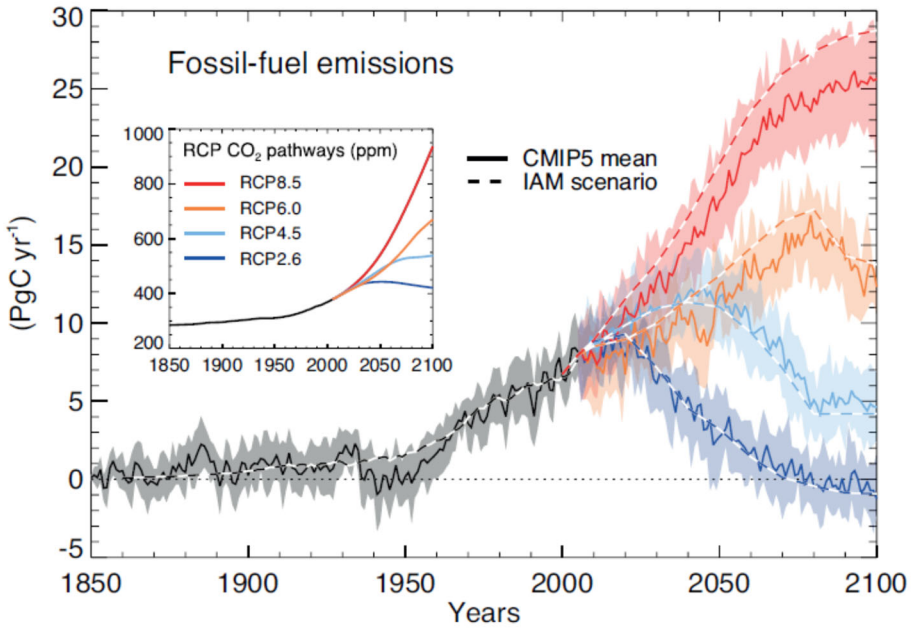



Figura 1. Evolución de las emisiones de $CO_2$ según las RCP

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 RRHH 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 de la DHS.

| | | Med RCP4.5 | Med RCP8.5 |
|---|---|---|---|
| Precipitación | PI1 (2010-2040) | -2% | -5% |
| | PI2 (2040-2070) | -4% | -10% |
| | PI3 (2070-2100) | -8% | -14% |
| Evapotranspiración potencial | PI1 (2010-2040) | 3% | 4% |
| | PI2 (2040-2070) | 6% | 9% |
| | PI3 (2070-2100) | 8% | 15% |

| | | Med RCP4.5 | Med RCP8.5 |
|---|---|---|---|
| Evapotranspiración real | PI1 (2010-2040) | -2% | -5% |
| | PI2 (2040-2070) | -4% | -9% |
| | PI3 (2070-2100) | -6% | -11% |
| Humedad en el suelo | PI1 (2010-2040) | 0% | -1% |
| | PI2 (2040-2070) | -1% | -1% |
| | PI3 (2070-2100) | -1% | -2% |
| Recarga | PI1 (2010-2040) | -7% | -10% |
| | PI2 (2040-2070) | -12% | -23% |
| | PI3 (2070-2100) | -20% | -36% |
| Escorrentía | PI1 (2010-2040) | -7% | -9% |
| | PI2 (2040-2070) | -11% | -23% |
| | PI3 (2070-2100) | -20% | -38% |

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

A grandes rasgos se observa una reducción de la precipitación media anual, mayor en el caso de la proyección RCP8.5 que en la proyección RCP4.5, y decreciente a medida que avance el siglo. Este resultado, como ya se ha comentado, presenta una alta incertidumbre dado que, todas las proyecciones presentan un sesgo con un patrón E-O, infravalorando la precipitación hacia el este. Además, aunque todas las proyecciones presentan una tendencia decreciente en la precipitación a lo largo del siglo, solo en una de las seis proyecciones del RCP4.5 (y en cuatro del RCP8.5) esta tendencia es estadísticamente significativa. 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, más si cabe en la DHS que en otras zonas de España.

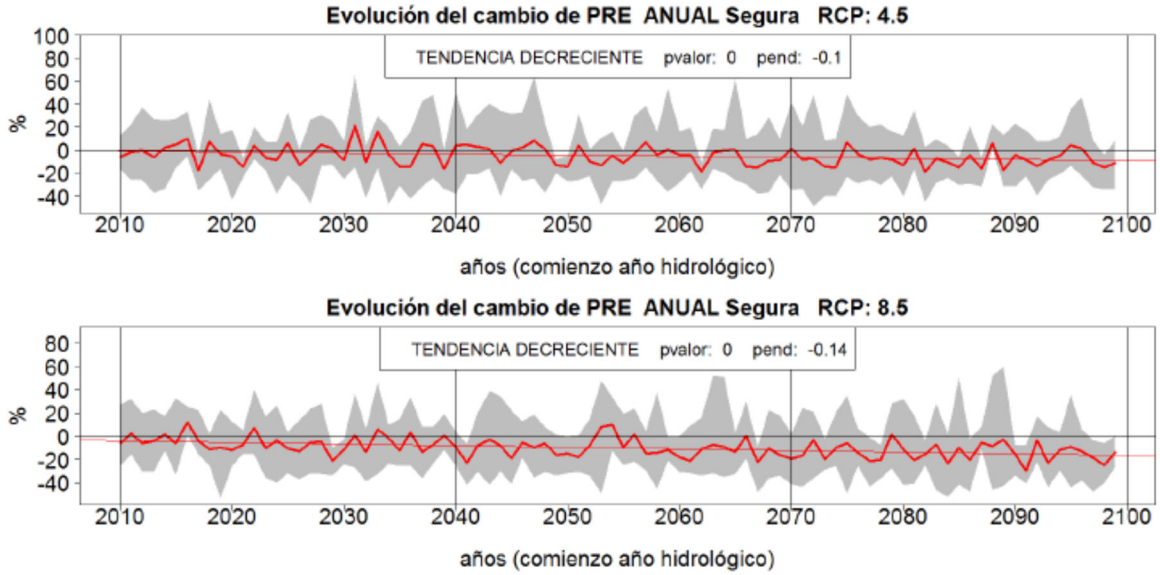



**Figura 2. Evolución de la variación de la precipitación en la DHS como promedio de las proyecciones climáticas**

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.

En el ámbito del Segura la nieve no supone un importante reservorio de recursos, salvo interanualmente, por lo que no se ha analizado en profundidad en relación con el cambio climático.

Por su parte, en el caso de la evapotranspiración potencial (ETP), su variación responde a la variación de temperaturas. La ETP sube en todos los periodos según todas las proyecciones. Esta subida es inferior al 10% en el PI1 y va siendo mayor conforme avanza el siglo XXI.

Las proyecciones del RCP8.5 dan mayores subidas de ETP que las respectivas del RCP4.5. El incremento es, en general, mayor en las zonas interiores que en las zonas costeras. Destacan los incrementos que se dan en general en las zonas de cabecera, lo que va a implicar un aumento de la evapotranspiración real (ETR) allí donde hay más disponibilidad de agua y, por lo tanto, una previsible reducción de RRHH en esas zonas.

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

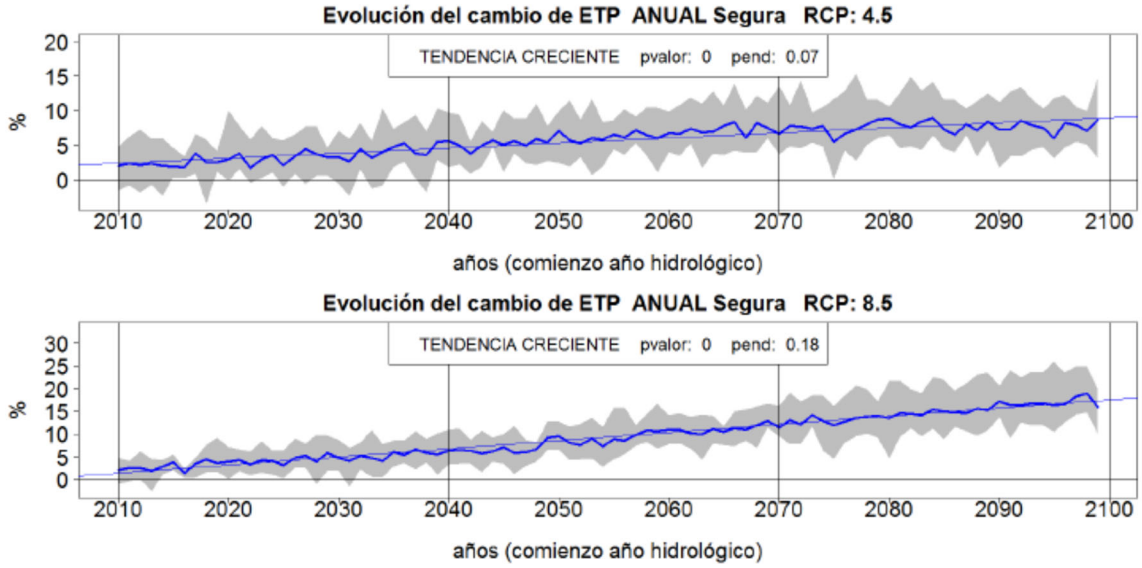



**Figura 3. Variación porcentual de la ETP en la DHS como promedio de las proyecciones climáticas**

La ETR, no obstante, presenta una tendencia creciente significativa para todas las proyecciones en ambos escenarios de emisiones RCP. Tiene más peso la reducción de la precipitación y por lo tanto la disponibilidad de agua, que el aumento de la ETP. De hecho, la reducción de la precipitación tiene mucha influencia en el resto de las variables del ciclo hidrológico, más que la temperatura, dado que al haber menor recurso disponible no solo se reduce la ETR sino también la humedad en el suelo, la recarga y la escorrentía.

La reducción de la humedad en el suelo sigue un patrón similar a la ETR ya que el modelo lo simula como un reservorio de agua cuyo destino final es la evaporación, aunque de forma diferida.

En el caso de la DHS, como en otras zonas del SE peninsular, esta pérdida progresiva de humedad no parece muy acusada porque el suelo ya presenta humedades muy bajas durante el periodo no impactado (PC), no obstante, debido al frágil equilibrio actual este cambio sin duda supondrá un importante impacto tanto para los ecosistemas asociados como para la agricultura.

La variación en la recarga, por su parte, varía entre un -7% en el PI1 del escenario RCP4.5 y un -36% en el PI3, RCP8.5. A grandes rasgos los cambios en la recarga siguen pautas simulares 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.

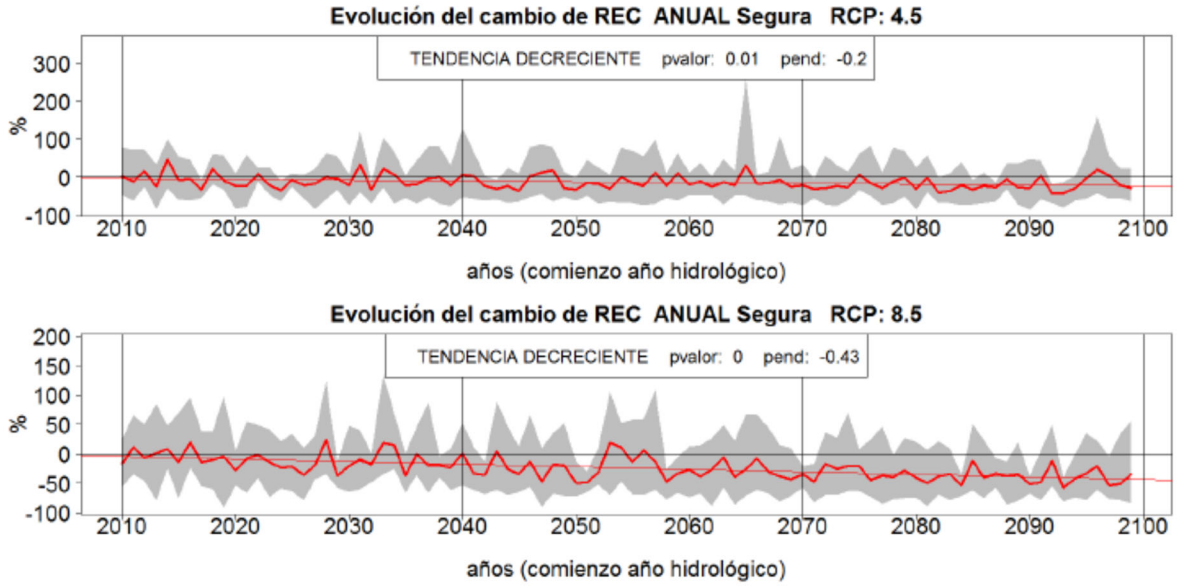



**Figura 4. Variación porcentual de la recarga en la DHS como promedio de las proyecciones climáticas**

Finalmente, la variación de la escorrentía presenta valores de variación muy similares a la recarga, entre un -7% en el PI1 y RCP4.5 y un -38% en el PI3 y RCP8.5. Las principales variaciones en valores absolutos se dan en la cabecera de la cuenca, lo que previsiblemente tendrá repercusiones en los embalses más estratégicos para la gestión de los sistemas.

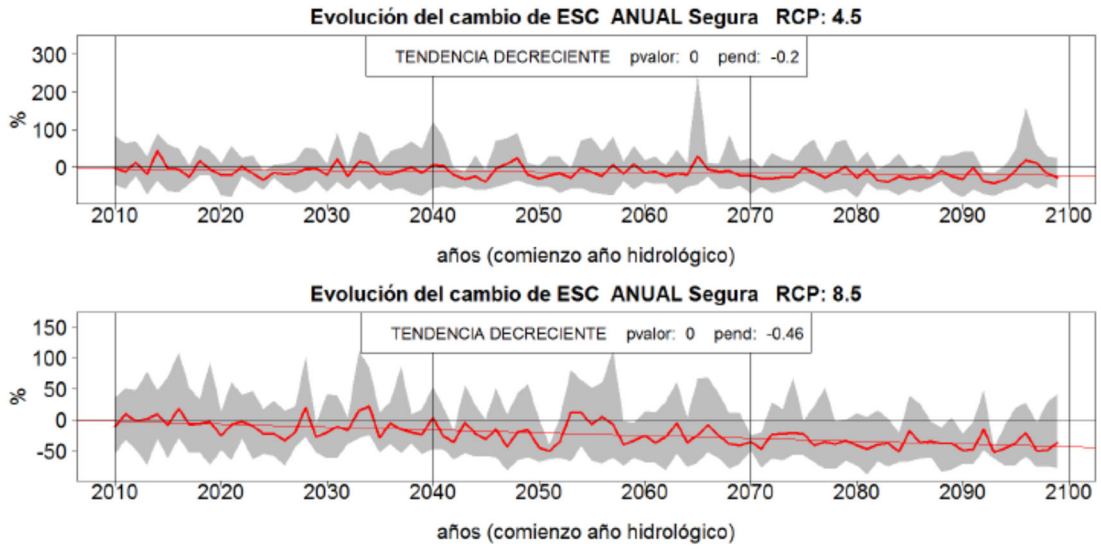



**Figura 5. Variación porcentual de la escorrentía en la DHS como promedio de las proyecciones climáticas**

Los cambios en la recarga y en la escorrentía son indicativos de la variación en la disponibilidad de recursos subterráneos y superficiales respectivamente, y servirán de base para la definición del escenario futuro de cambio climático a efectos de 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 escorrentía 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 al escenario 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 (2040/41-2017/18, 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, a propuesta del CEDEX, se propone emplear el promedio de los dos primeros PI para aproximar al horizonte 2039 y aplicar estos porcentajes sobre la serie 1940/41 a 2005/06, considerándose que a partir de dicho año la serie ya está afectada por el cambio en el clima. Así, el efecto 80 se interpreta como un periodo seco de origen natural y no como un efecto del cambio climático.

En cuanto a la desagregación temporal y espacial, se ha hecho por trimestres y para las unidades territoriales de sequía definidas en el PES (DHS, 2018). Simultáneamente, 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. Se presentan a continuación los resultados obtenidos:

| | | RCP4.5 | | | | RCP8.5 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Código UTE | Nombre UTE | Oct-Dic | Ene-Mar | Abr-Jun | Jul-Sep | Oct-Dic | Ene-Mar | Abr-Jun | jul- Sep |
| UTE I | Sistema principal | -5% | -12% | -7% | -11% | -16% | -29% | -24% | -26% |
| UTE II | Cabecera | -14% | -5% | -8% | -10% | -20% | -9% | -17% | -17% |
| UTE III | Ríos margen izquierda | -10% | -10% | -8% | -11% | -22% | -22% | -21% | -23% |
| UTE IV | Ríos margen derecha | -2% | -6% | -3% | -10% | -10% | -24% | -23% | -24% |

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

Como se puede ver en el cuadro anterior, en el caso de la DHS existe una gran 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 (ver tabla 1), en el escenario RCP4.5 hay un aumento generalizado durante el primer trimestre del año hidrológico en casi todas las UTS, e incluso, en la zona norte de la demarcación el balance anual sería positivo, es decir, se produciría un aumento de la escorrentía. Sin embargo, en el escenario RCP8.5 la reducción es generalizada en todos los trimestres y ámbitos geográficos alcanzándose valores muy altos, por debajo del -30%, en la zona sureste de la demarcación.

Igualmente, a propuesta del CEH, se han calculado los porcentajes de cambio de la aportación trimestral en cada celda de la red fluvial, lo cual será muy útil para la modelización de la gestión en el escenario de cambio climático, ya que permite obtener para cada punto de aportación en la red la reducción que se ha producido en cada trimestre.

Para la obtención de estos mapas, al igual que con la escorrentía, se ha promediado la variación porcentual de los periodos de impacto 1 y 2 respecto al periodo de control, y a continuación se han promediado las 6 proyecciones para cada RCP. En la imagen siguiente se muestra la reducción en la red fluvial para el trimestre donde hay más variación (enero a marzo), tanto geográfica como en los dos escenarios de emisiones simulados, y los puntos de aportación empleados en los modelos de gestión. En el cuadro se muestran los valores obtenidos para cada uno de esos puntos en cada trimestre.

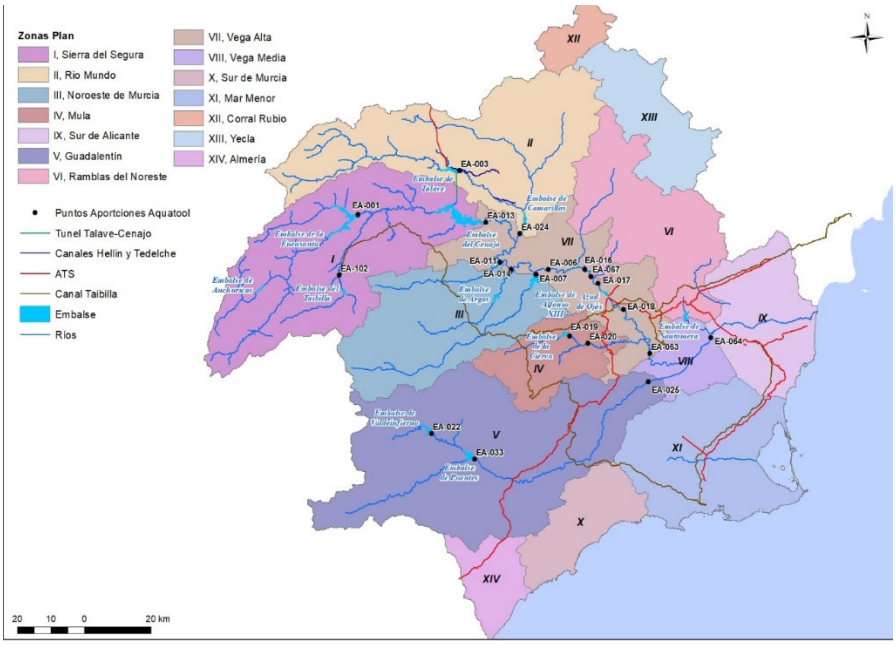



**Figura 6. Ubicación de los puntos significativos considerados**

| | | | RCP4.5 | | | | RCP8.5 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Río | Río | Punto de aportación | Oct-Dic | Ene-Mar | Abr-Jun | jul-Sep | Oct-Dic | Ene-Mar | Abr-Jun | jul-Sep |
| EA-001 | Río Segura | Embalse de la Fuensanta (aguas abajo) | -15% | -4% | -8% | -10% | -21% | -7% | -17% | -17% |
| EA-003 | Río Mundo tras embalse de Talave | Embalse de Talave (aguas abajo) | -13% | -5% | -8% | -9% | -19% | -9% | -16% | -18% |
| EA-006 | Río Segura | Almadenes | -13% | -5% | -8% | -9% | -19% | -9% | -16% | -17% |
| EA-007 | Río Quípar tras embalse de Alfonso XIII | Alfonso XIII (aguas abajo) | -2% | -5% | -4% | -10% | -11% | -23% | -23% | -24% |
| EA-011 | Río Moratalla | La Esperanza | -3% | -5% | -4% | -8% | -13% | -20% | -18% | -21% |
| EA-013 | Río Segura | Embalse de Cenajo (aguas abajo) | -14% | -5% | -8% | -9% | -20% | -8% | -16% | -17% |
| EA-014 | Río Argos | Argos | -5% | -7% | -5% | -9% | -15% | -20% | -20% | -22% |
| EA-016 | Río Segura | Cieza | -13% | -5% | -8% | -9% | -19% | -9% | -17% | -17% |
| EA-017 | Río Segura | Abarán | -13% | -5% | -8% | -9% | -19% | -9% | -17% | -17% |
| EA-018 | Río Segura | Archena | -13% | -5% | -8% | -9% | -19% | -9% | -17% | -17% |
| EA-019 | Río Mula | La Cierva (aguas abajo) | 15% | -6% | -3% | -9% | 3% | -33% | -33% | -33% |
| EA-020 | Río Mula | Baños de Mula | 7% | -8% | 0% | -10% | -6% | -35% | -32% | -31% |
| EA-022 | Río Luchena tras embalse de Valdeinfierno | Embalse de Valdeinfierno (aguas abajo) | 7% | -3% | 9% | -8% | 12% | -28% | -29% | -31% |
| EA-024 | Río Mundo tras embalse de Camarillas | Embalse de Camarillas (desagüe total) | -12% | -5% | -7% | -9% | -19% | -10% | -16% | -18% |
| EA-025 | Río Guadalentín | Paso de Los Carros | 2% | -8% | 1% | -12% | -28% | -33% | -32% | -4% |

| | | | RCP4.5 | | | | RCP8.5 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Río | Río | Punto de aportación | Oct-Dic | Ene-Mar | Abr-Jun | jul-Sep | Oct-Dic | Ene-Mar | Abr-Jun | jul-Sep |
| EA-030 | Río Segura | Guardamar (desembocadura) | -12% | -6% | -8% | -10% | -19% | -10% | -17% | -18% |
| EA-033 | Río Guadalentín tras embalse de Puentes | Embalse de Puentes (aguas abajo) | 5% | -5% | 5% | -11% | 1% | -28% | -27% | -30% |
| EA-063 | Río Segura | Contraparada | -13% | -5% | -8% | -9% | -19% | -10% | -17% | -18% |
| EA-064 | Río Segura | Beniel | -12% | -6% | -8% | -10% | -19% | -10% | -17% | -18% |
| EA-067 | Río Segura | El Menjú | -13% | -5% | -8% | -9% | -19% | -9% | -17% | -17% |
| EA-102 | Río Taibilla | Taibilla (aportaciones azud de derivación) | -9% | -9% | -8% | -9% | -16% | -14% | -15% | -16% |

**Tabla 3. Variación porcentual de las aportaciones en los puntos significativos de la red fluvial**

En lo referente a las aguas subterráneas, el CEDEX ha emitido una nota en la que se evalúa el impacto del cambio climático en la recarga en la mayoría de las masas de aguas subterráneas de la demarcación, obteniéndose la siguiente variación anual de la recarga:

| Código MASB | Masa de agua subterránea | Variación anual de la recarga | |
|---|---|---|---|
| | | RCP45 | RCP85 |
| ES070MSBT000000003 | ALCADOZO | -11 | -19 |
| ES070MSBT000000004 | BOQUERÓN | -3 | -19 |
| ES070MSBT000000006 | PINO | 1 | -18 |
| ES070MSBT000000010 | PLIEGUES JURÁSICOS DEL MUNDO | -10 | -17 |
| ES070MSBT000000014 | CALAR DEL MUNDO | -9 | -14 |
| ES070MSBT000000015 | SEGURA-MADERA-TUS | -10 | -16 |
| ES070MSBT000000016 | FUENTE SEGURA-FUENSANTA | -12 | -18 |
| ES070MSBT000000017 | ACUÍFEROS INFERIORES DE LA SIERRA DEL SEGURA | -11 | -16 |
| ES070MSBT000000018 | MACHADA | -13 | -19 |
| ES070MSBT000000019 | TAIBILLA | -12 | -22 |
| ES070MSBT000000020 | ANTICLINAL DE SOCOVOS | -5 | -16 |
| ES070MSBT000000021 | EL MOLAR | -2 | -23 |
| ES070MSBT000000024 | LACERA | -8 | -22 |
| ES070MSBT000000025 | ASCOY-SOPALMO | -7 | -23 |
| ES070MSBT000000026 | EL CANTAL-VIÑA PI | -7 | -28 |
| ES070MSBT000000027 | SERRAL-SALINAS | -9 | -24 |
| ES070MSBT000000028 | BAÑOS DE FORTUNA | -7 | -25 |
| ES070MSBT000000029 | QUIBAS | -8 | -25 |
| ES070MSBT000000030 | SIERRA DEL ARGALLET | -6 | -29 |
| ES070MSBT000000031 | SIERRA DE CREVILLENTE | -2 | -29 |
| ES070MSBT000000032 | CARAVACA | -7 | -19 |
| ES070MSBT000000033 | BAJO QUÍPAR | -5 | -20 |
| ES070MSBT000000034 | ORO-RICOTE | -11 | -25 |
| ES070MSBT000000036 | VEGA MEDIA Y BAJA DEL SEGURA | -9 | -23 |
| ES070MSBT000000037 | SIERRA DE LA ZARZA | 3 | -21 |

| Código MASB | Masa de agua subterránea | Variación anual de la recarga | |
|---|---|---|---|
| | | RCP45 | RCP85 |
| ES070MSBT000000039 | BULLAS | -7 | -26 |
| ES070MSBT000000040 | SIERRA ESPUÑA | -9 | -27 |
| ES070MSBT000000041 | VEGA ALTA DEL SEGURA | -11 | -24 |
| ES070MSBT000000042 | TERCIARIO DE TORREVIEJA | -12 | -25 |
| ES070MSBT000000043 | VALDEINFIERNO | -6 | -22 |
| ES070MSBT000000044 | VELEZ BLANCO-MARIA | -6 | -17 |
| ES070MSBT000000045 | DETRÍTICO DE CHIRIVEL-MALÁGUIDE | -6 | -19 |
| ES070MSBT000000046 | PUENTES | -7 | -25 |
| ES070MSBT000000047 | TRIÁSICO MALÁGUIDE DE SIERRA ESPUÑA | -13 | -30 |
| ES070MSBT000000048 | SANTA-YÉCHAR | -13 | -26 |
| ES070MSBT000000049 | ALEDO | -4 | -32 |
| ES070MSBT000000050 | BAJO GUADALENTÍN | -6 | -26 |
| ES070MSBT000000051 | CRESTA DEL GALLO | -14 | -28 |
| ES070MSBT000000052 | CAMPO DE CARTAGENA | -10 | -28 |
| ES070MSBT000000053 | CABO ROIG | -11 | -23 |
| ES070MSBT000000055 | TRIÁSICO DE CARRASCOY | -11 | -30 |
| ES070MSBT000000056 | SIERRA DE LAS ESTANCIAS | -10 | -17 |
| ES070MSBT000000058 | MAZARRÓN | -9 | -17 |
| ES070MSBT000000059 | ENMEDIO-CABEZO DE JARA | -8 | -16 |
| ES070MSBT000000062 | SIERRA DE ALMAGRO | -7 | -29 |
| ES070MSBT000000063 | SIERRA DE CARTAGENA | -15 | -32 |

**Tabla 4. Variación porcentual de la recarga en las masas de aguas subterráneas de la demarcación**

Para la simulación en los modelos de gestión en el horizonte 2039 se emplearán los porcentajes correspondientes a la RCP8.5 aplicados a la serie 1940/41 hasta el año 2005/06 porque, como ya se explicado, se considera que los valores posteriores ya están afectados por el cambio climático. De esta manera la reducción de aportaciones ocurrida en la serie corta con respecto a la serie larga (efecto 80) no está causada por el cambio climático, sino que se considera un periodo seco de origen natural, de modo que el planteamiento propuesto está del lado de la seguridad al verse la serie futura afectada por dos fenómenos reductores.

Adicionalmente se ha de considerar la disminución de la recarga en los acuíferos costeros no drenantes al río Segura, correspondientes a las masas de aguas subterráneas Terciario de Torrevieja, Cabo Roig, Campo de Cartagena, Sierra de Cartagena, Triásico de las Victorias, Triásico de Carrascoy, Mazarrón y Águilas, que para el horizonte 2039 se considerará igual a la indicada en la tabla anterior.

En horizontes intermedios entre el año 2021 y el 2039 se aplica para ambos tipos de recursos una variación lineal de los mismos a efectos de considerar la progresiva reducción de recursos. Los valores obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

| | HORIZONTE 2021 | | HORIZONTE 2039 | |
|---|---|---|---|---|
| | SERIE CORTA 1980/91-2017-2018 | SERIE HISTÓRICA 1940/41-2017-2018 | SERIE CORTA 1980/91-2017-2018 | SERIE HISTÓRICA 1940/41-2017-2018 |
| Aportaciones régimen natural río Segura | 764 | 829 | 688 | 721 |
| Recarga de lluvia en acuíferos no drenantes al río Segura(1) | 66 | 66 | 48 | 48 |

Tabla 5. Variación de recursos naturales en la demarcación debido al cambio climático

## 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 periodo 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).

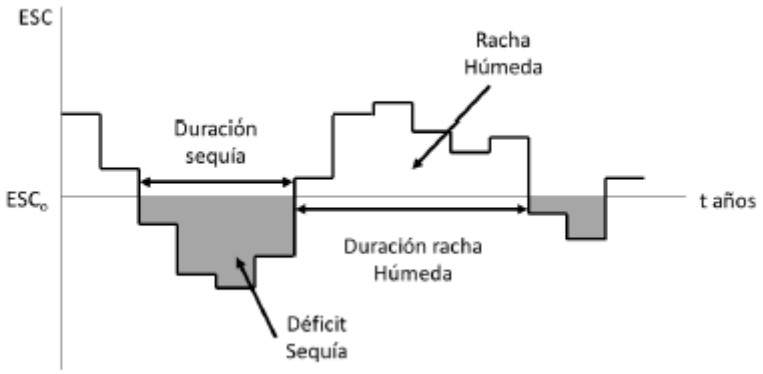



Figura 7. Concepto y definición de sequía (CEH, 2017)

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 DHS, 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.

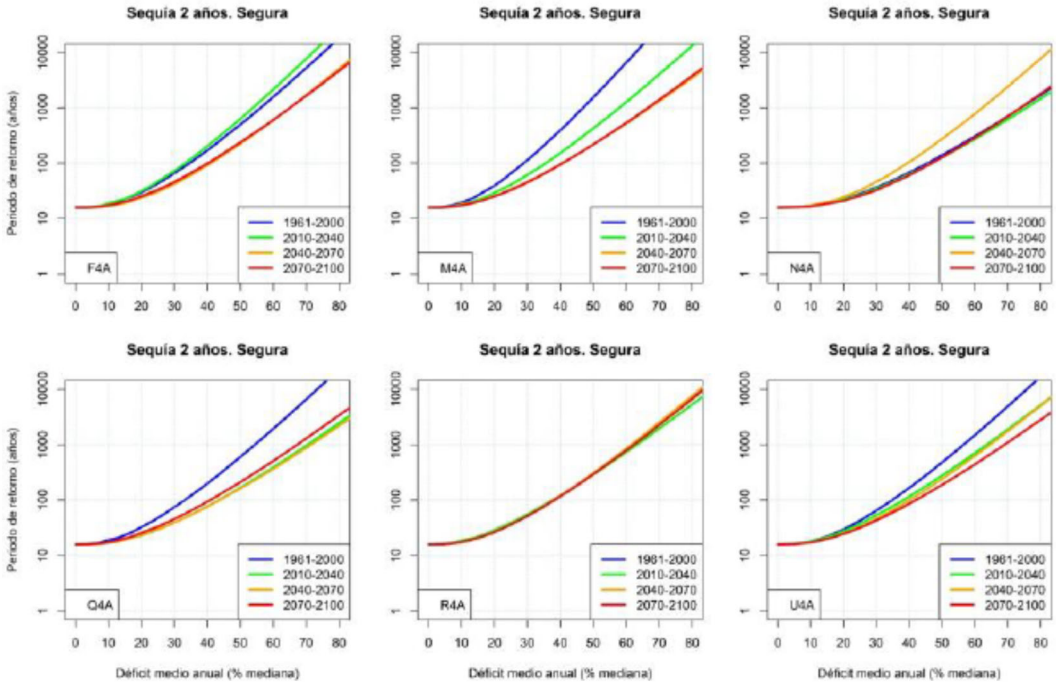



**Figura 8. Variación en el periodo de retorno de las sequías de dos años según las proyecciones del escenario RCP4.5**

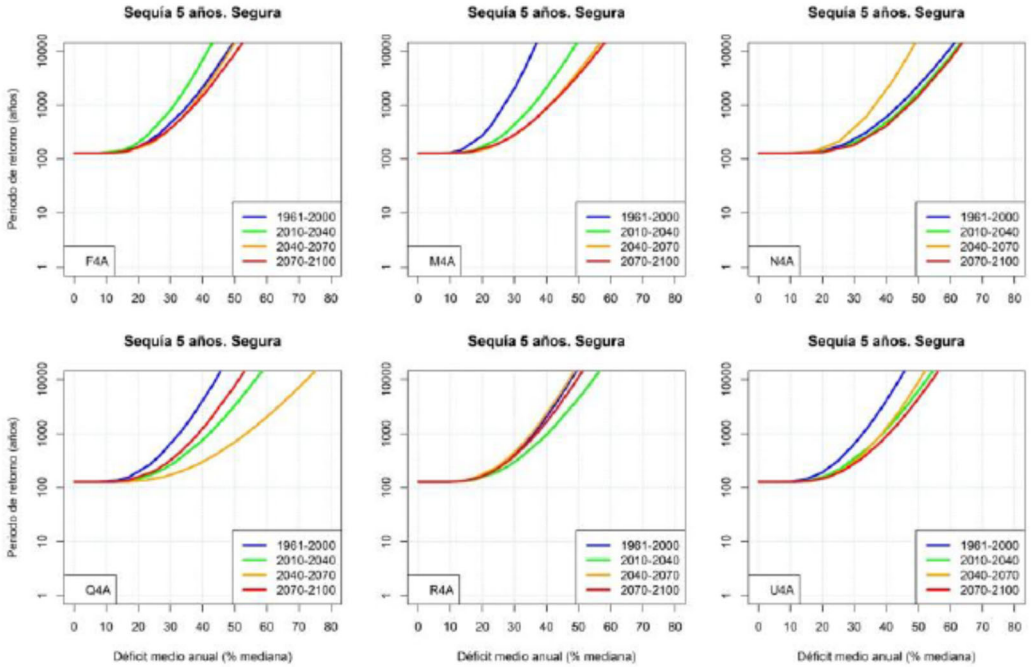



**Figura 9. Variación en el periodo de retorno de las sequías de cinco años según las proyecciones del escenario RCP4.5**

En términos generales se observa un aumento en la frecuencia (o una disminución del periodo de retorno) en las sequías de 2 y 5 años de duración en casi todas las proyecciones, a medida

que avance el siglo XXI o, dicho de otra manera, para un mismo periodo de retorno, las sequías serán más intensas ya que presentarán déficits mayores. Esto ocurre en 4 de los 6 modelos empleados para el RCP4.5.

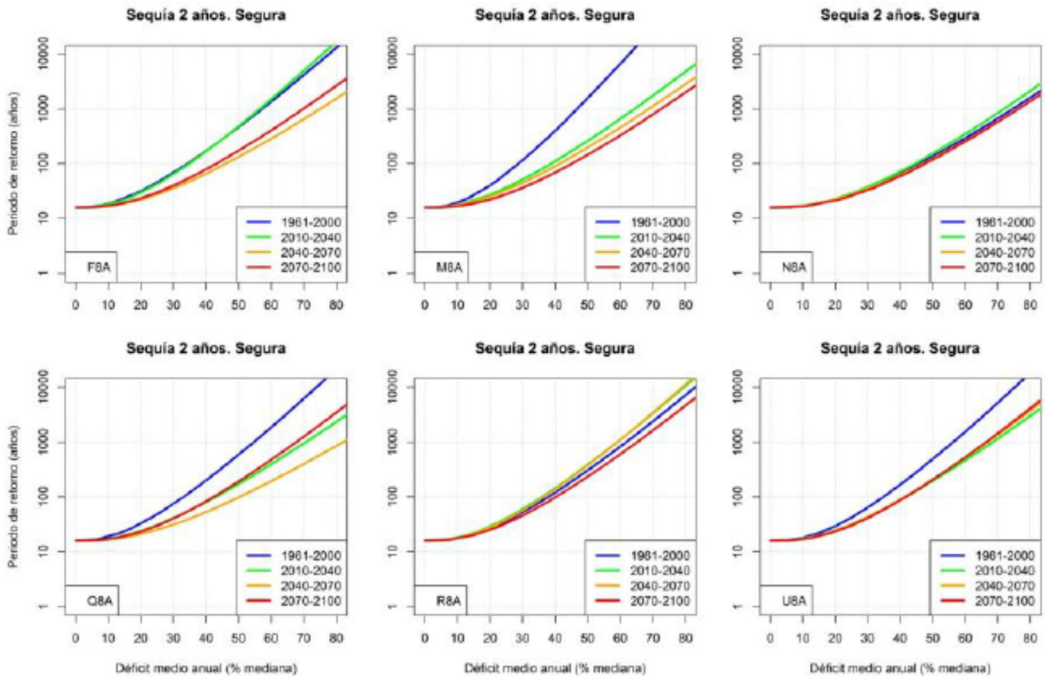



**Figura 10. Variación en el periodo de retorno de las sequías de dos años según las proyecciones del escenario RCP8.5**

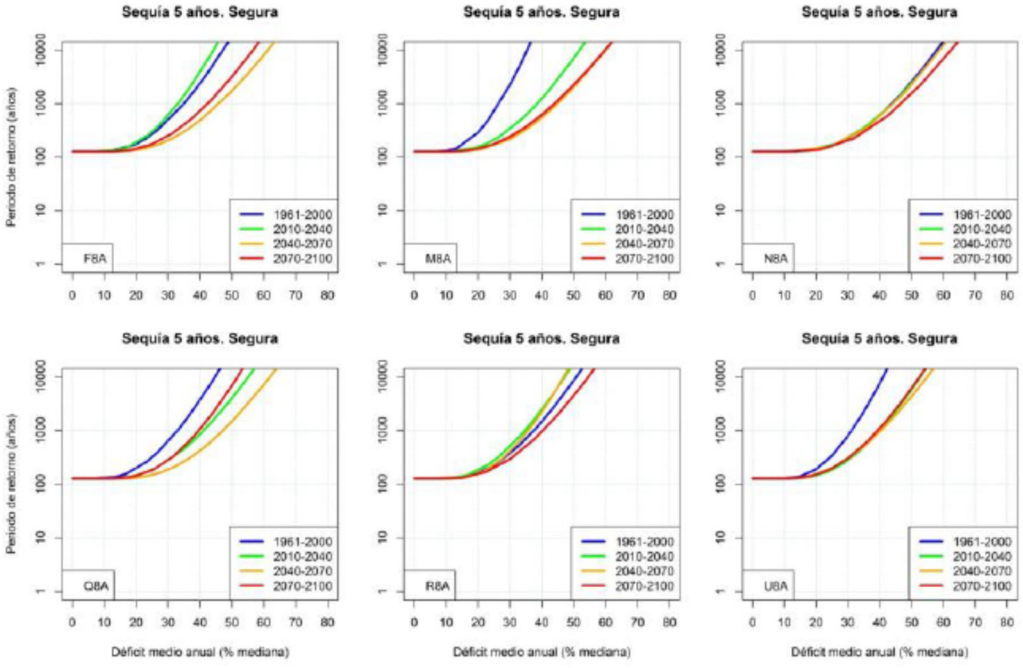



**Figura 11. Variación en el periodo de retorno de las sequías de cinco años según las proyecciones del escenario RCP8.5**

Las mismas conclusiones de observan en el escenario RCP8.5, y también la misma incertidumbre, o incluso más, dado que algunas modelizaciones muestran una disminución en la incidencia de la sequía.

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 la temperatura…).

Hay que tener en cuenta que el clima mediterráneo ya es un clima propenso a los fenómenos extremos por lo que, a la vista de la incertidumbre en los resultados, no puede concluirse categóricamente una mayor incidencia de las sequías.

Conclusión similar se obtiene de la investigación sobre el efecto del cambio climático en las sequías y evaluación del ciclo hidrológico para la agricultura (FIC, 2019a), al menos en parte dado que, si se analiza la evolución del indicador de sequías SPI, que tiene en cuenta exclusivamente la lluvia, en el ámbito de la DHS apenas se dan variaciones en su balance hídrico a lo largo del siglo XXI. No obstante, los resultados obtenidos para el indicador SPEI, que tiene en cuenta no solo la precipitación sino también la evapotranspiración, ponen de manifiesto una clara tendencia a situaciones de estrés hídrico en la agricultura.

Es decir, si bien no se puede afirmar de forma concluyente un aumento en la incidencia de la sequía, 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 medidas hasta ahora reservadas a periodos de sequía (incremento de desalinización, 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 el PES 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 próxima revisión del Plan de Gestión del Riesgo por Sequía se deberá tener en cuenta, más si cabe, el carácter impredecible de estas situaciones y cómo afrontarlas con unos recursos en disminución.

# 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 de Cambio Climático y Transición Energética (actualmente aprobada por Consejo de Ministros), también recoge en el artículo 17 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 al siguiente esquema:

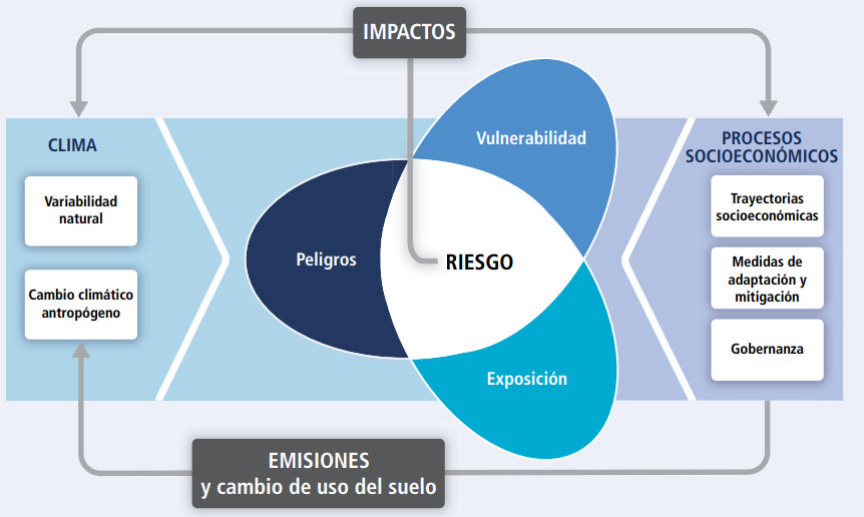



**Figura 12. Marco conceptual para la evaluación de riesgos asociados al cambio climático (GTII, 2014)**

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 17 de la futura LCCTE incluirá, en la medida de lo posible, las siguientes variables:

| | | |
|---|---|---|
| Masas de agua superficial | SW1 Alteración de hábitats: especies piscícolas (y otras) asociadas a determinados rangos térmicos | → ECB |
| | SW2 Descenso O2 afección 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 |
| | 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) | |
| 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 | |

**Tabla 6. Impactos sobre los ecosistemas y sobre los usos a tener en cuenta en el PACC**

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:

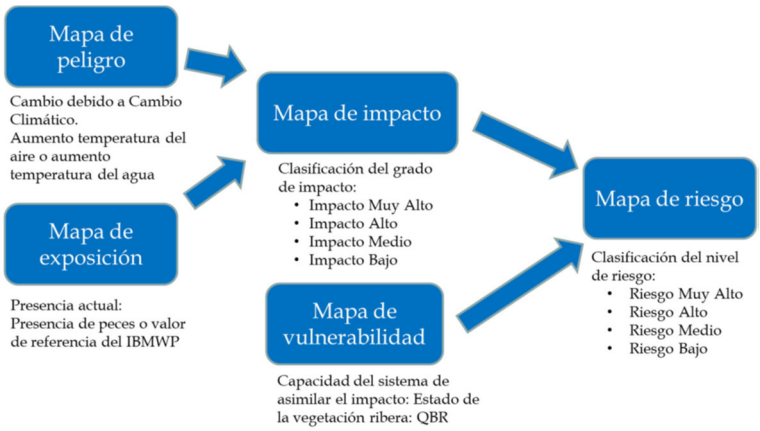



**Figura 13. Metodología propuesta para la definición del riesgo asociado al cambio climático**

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 anexos que complementan el presente anejo.

# 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 7. 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 riego 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 las 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 18.7ºC dado que es el límite superior que determina

el rango óptimo de la especie (Santiago, 2017). La barrera termal se ha establecido en 21,8ºC (Wehrly & Wang, 2007), como límite máximo de temperatura media del agua.

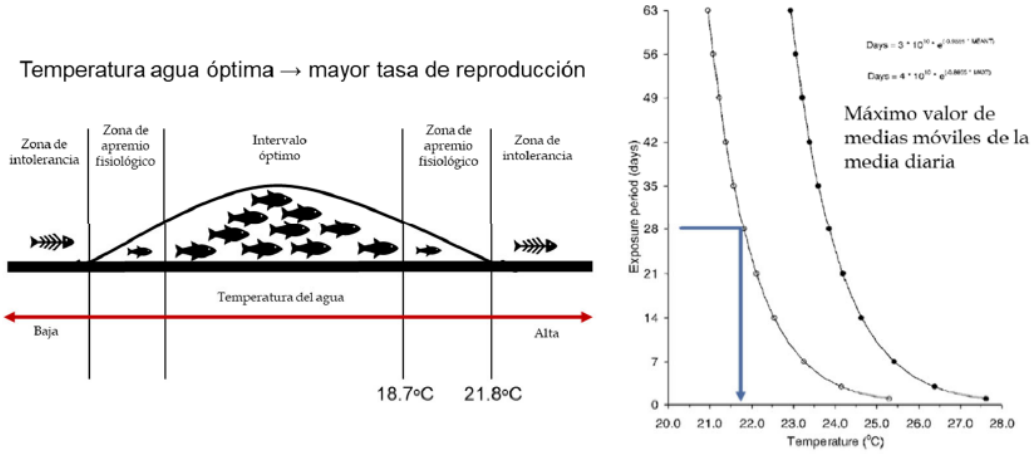



**Figura 14. Definición de la zona de apremio y de la barrera termal de la Trucha Común y límites máximos de exposición en días en función de la temperatura media diaria (Wehrly & Wang, 2007).**

Como se puede ver en la figura anterior (derecha), de forma puntual la especie tolera temperaturas en el agua de hasta 25ºC, pero si hablamos de una temperatura sostenida a lo largo de todo un mes este límite baja a los 21,8ºC 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, teniendo en cuenta que solo se ha estudiado el efecto de la temperatura y ningún otro factor de influencia: temporalidad, barreras, calidad del agua o del hábitat,…

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

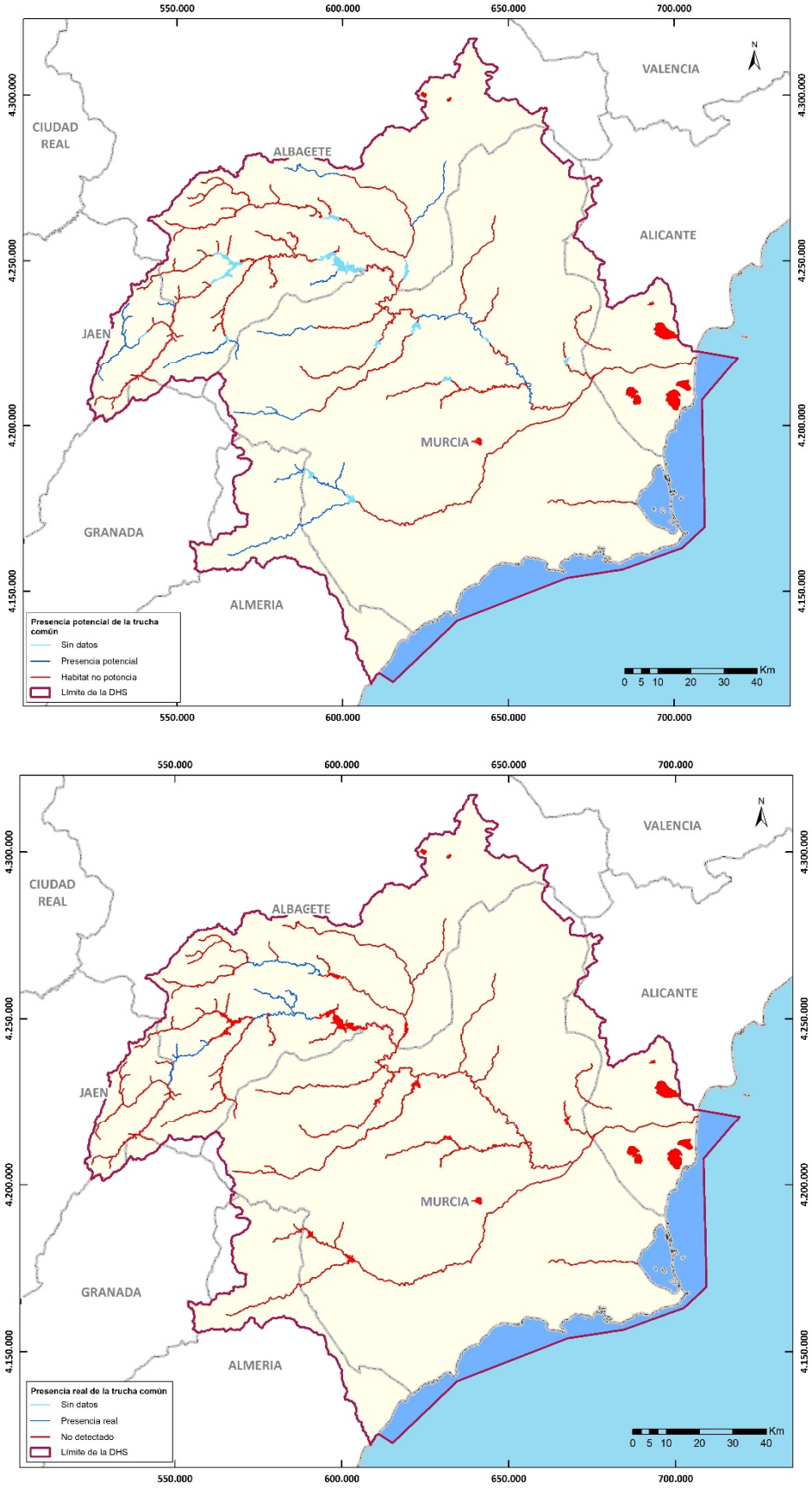



**Figura 15. Mapas de Exposición potencial, elaborado en base al límite termal de 21.8ºC (arriba), y Adaptación de la Presencia de la Trucha Común a las masas de agua superficiales (Atlas y Libro Rojo de los Peces, MMA, 2001) (abajo), en el ámbito de la demarcación.**

El incremento medio de temperatura del agua en agosto debido al cambio climático se estima entre 1,0 y 1,4º C en el corto plazo, 2010-2040, entre 1,9 y 2,6º C en el medio plazo, 2040-2070, y entre 2,4 y 4,2º 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 4.5 y 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 los 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 actual de forma prioritaria. El resto de los mapas de impacto pueden consultarse en el anexo 1.

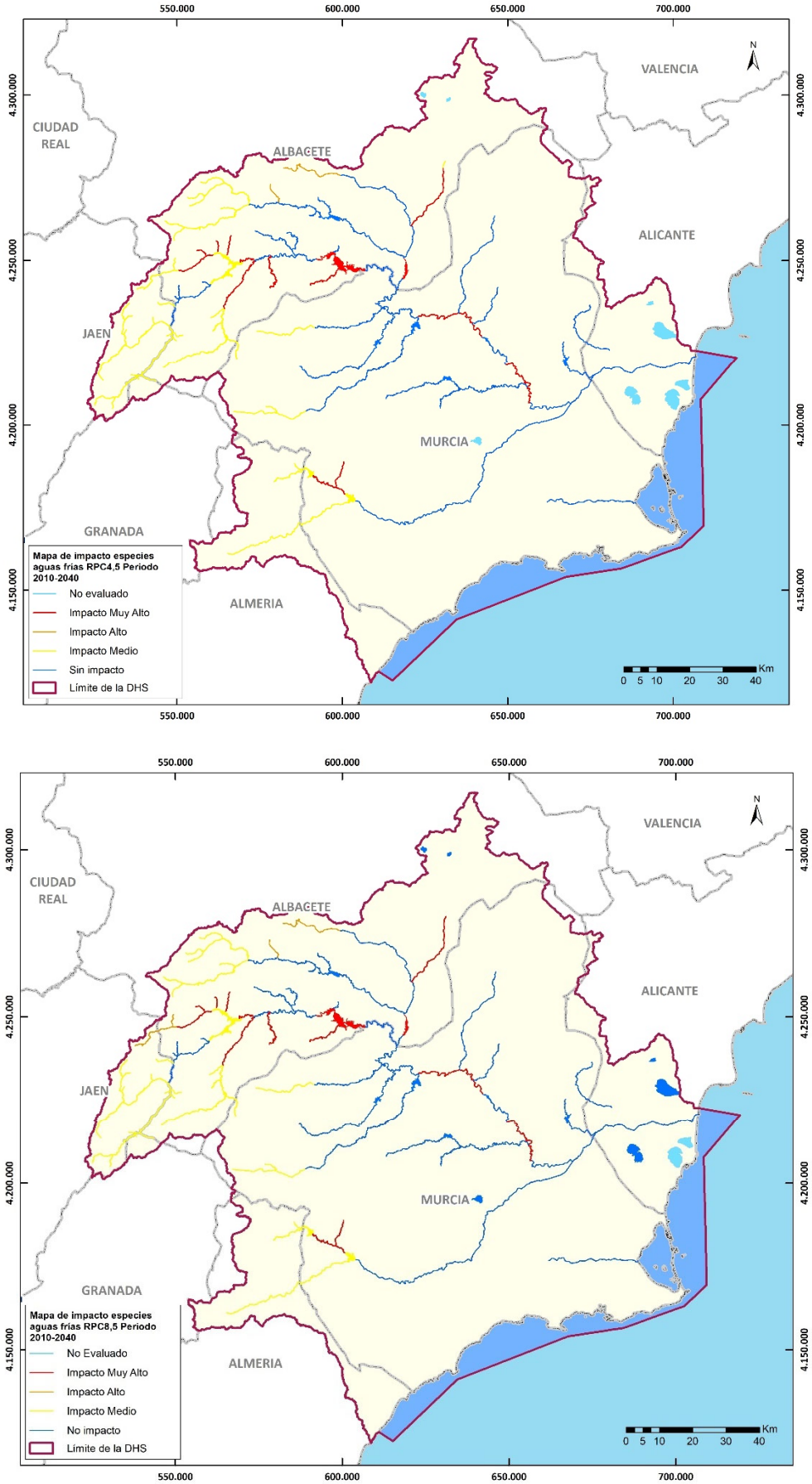



**Figura 16. Mapas del impacto potencial a corto plazo (PI1) según ambas sendas de emisiones (RCP4.5 y RCP8.5)**

Se puede observar que las masas afectadas en ambos escenarios de emisiones al corto plazo son similares, salvo en el río Tus aguas arriba del Balneario de Tus y en el embalse de Bayco. Por lo tanto, limitándonos a las que tienen un impacto potencial mayor en el escenario optimista, vemos que son generalmente los tramos altos los más afectados por el aumento de temperatura en lo que se refiere al hábitat potencial de las especies de aguas frías. También algunas masas de los tramos medios se ven afectadas. De las 90 masas evaluadas, 16 masas, o un 18% del total, presentan impacto potencial alto o muy 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. En el 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 solo se han evaluado un 13% 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 esté nuevo indicador a medida que su uso se haga más extensivo.




Figura 17. Mapa de vulnerabilidad

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

Tabla 7. Combinación de los mapas de impacto y vulnerabilidad para la definición del riesgo

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

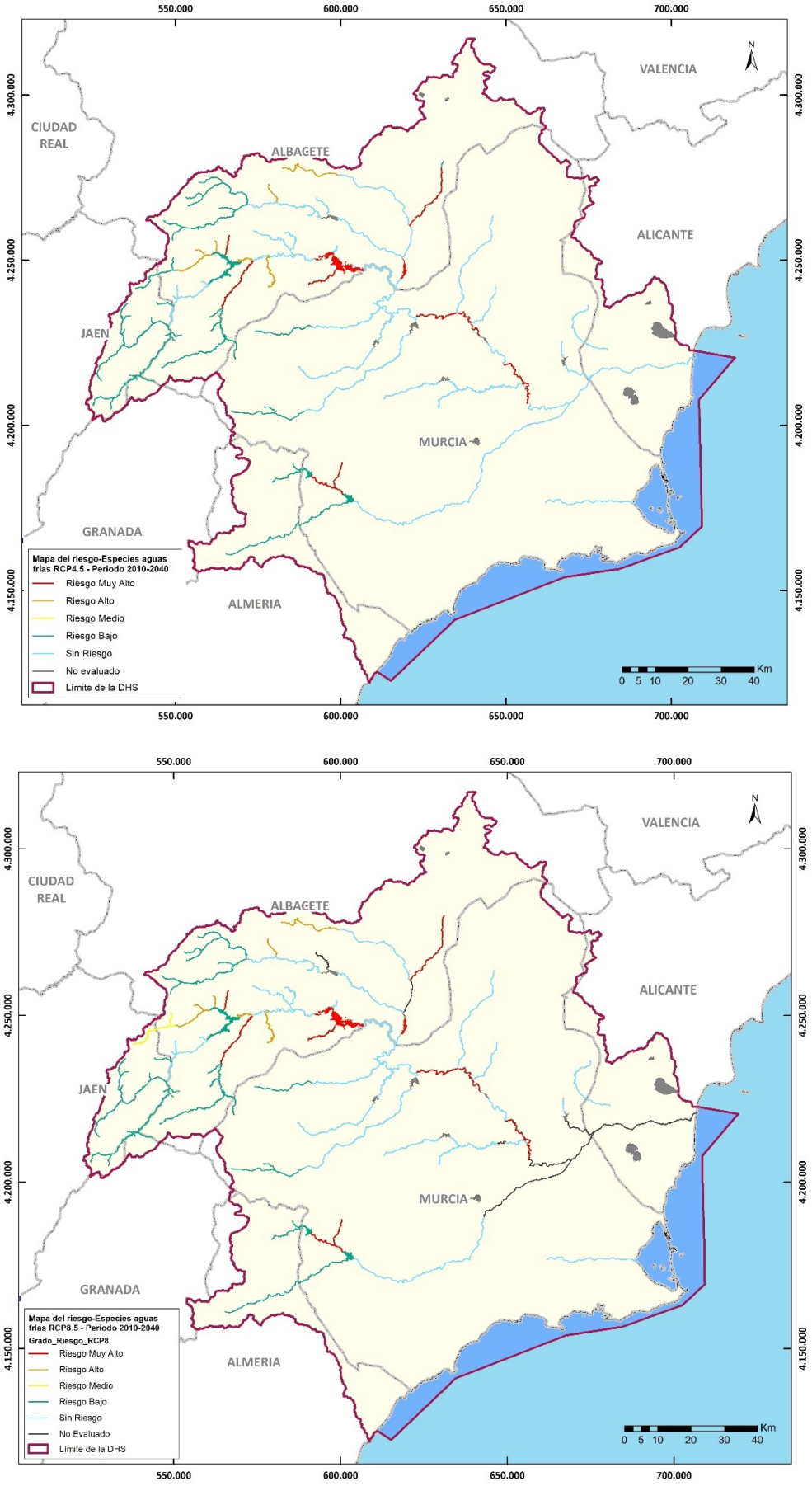



**Figura 18. Mapas del riesgo a corto plazo (PI1) según ambas sendas de emisiones (RCP4.5 y RCP8.5)**

Como se aprecia en la figura anterior las masas más propensas a sufrir riesgo para las especies piscícolas de aguas frías son varias masas que se encuentran en la Sierra del Segura. También algunos tramos altos del río Mundo, así como Turrilla, Luchena, y el tramo medio del río Segura, donde el aumento de cota ya no compensa la subida de temperaturas esperable por el efecto del cambio climático.

Algunos tramos más significativos, por la presencia real de trucha en la actualidad, son el río Mundo desde cabecera hasta el embalse del Talave y la cabecera del río Segura hasta el embalse del Cenajo.

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 fisicoquímico 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 $O_2$, 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). El contenido así estimado se ha contrastado con datos reales medidos en las redes de control de calidad oficiales de la CHS.

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

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

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 $O_2$ serán masas influenciadas por algún tipo de presión, y que no es objeto de este anejo hacer un análisis combinado de las 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.

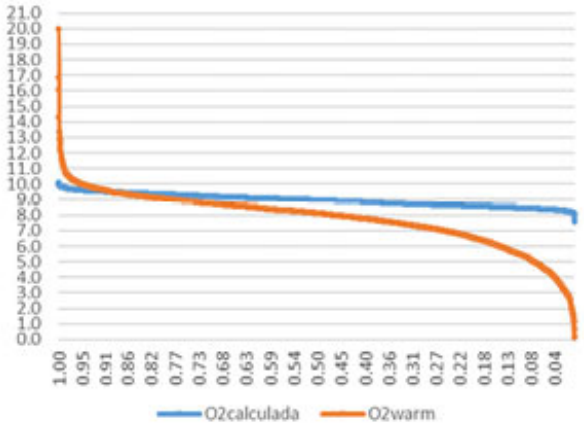



**Figura 19. Distribución de la concentración de oxígeno disuelto en agua calculada, en función de la temperatura y la altitud, y observada (mg/l)**

Las concentraciones así calculadas en el ámbito de la DHS se sitúan entre los 8,2 y los 9,2 mg$O_2$/l,

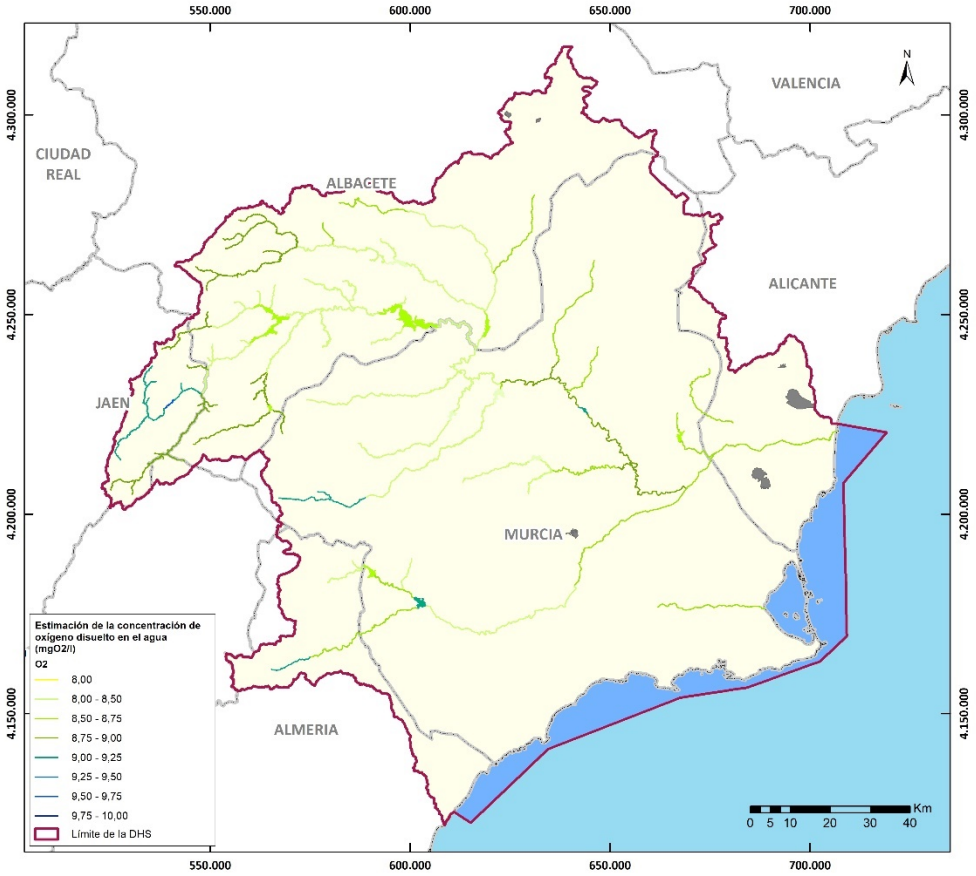



**Figura 20. Estimación de la concentración de oxígeno disuelto en el agua ($mgO_2/l$) calculada en función de la temperatura y la altitud en el mes de agosto**

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 $O_2$ necesarios para la vida de diversos organismos acuáticos, a efectos del presente estudio, se ha considerado que un contenido por encima de 9 mg $O_2$/l es un contenido alto en $O_2$ y un valor entre 9 y 5,5 mg $O_2$/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 $O_2$ entre 0,12 y 0,23 mg/l en el escenario RCP4.5 y entre 0,16 y 0,30 mg/l en el RCP8.5. En primer lugar, cabe destacar que estas reducciones en ningún caso producen bajadas del contenido en $O_2$ 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 $O_2$ que pasan a un contenido medio tienen un impacto potencial alto, mientras que aquellas que se mantienen en el mismo rango de contenido de $O_2$ 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 de tipo río 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.

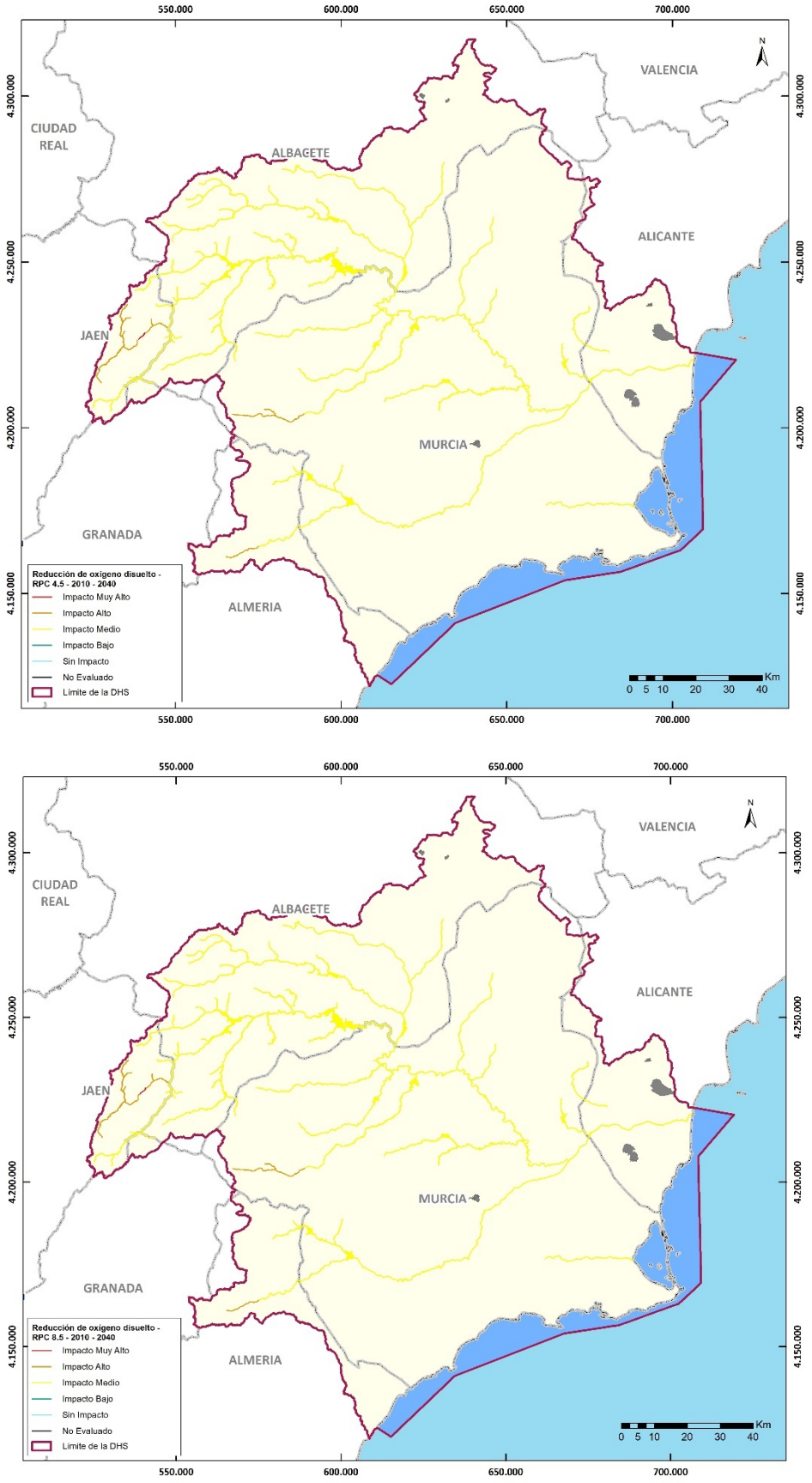



**Figura 21. Mapas del impacto potencial a corto plazo (PI1) sobre el oxígeno disuelto (RCP4.5 y RCP8.5)**

Además, en este caso en ambos escenarios de emisiones las masas afectadas son las mismas. En términos generales, los mayores impactos se sitúan en el tramo alto del río Segura, desde la cabecera hasta su confluencia con el río Zumeta. También presentan impacto alto la cabecera del río Quípar, en la rambla Tarragoya y el barranco Junquera y la cabecera del río Guadalentín, en la rambla Chirivel. El resto de las masas evaluadas presentan impacto de grado medio.

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).

En este caso, en 2 masas de las 5 que presentan impacto potencial alto, éste se ve mitigado por la calidad actual de su bosque de ribera.

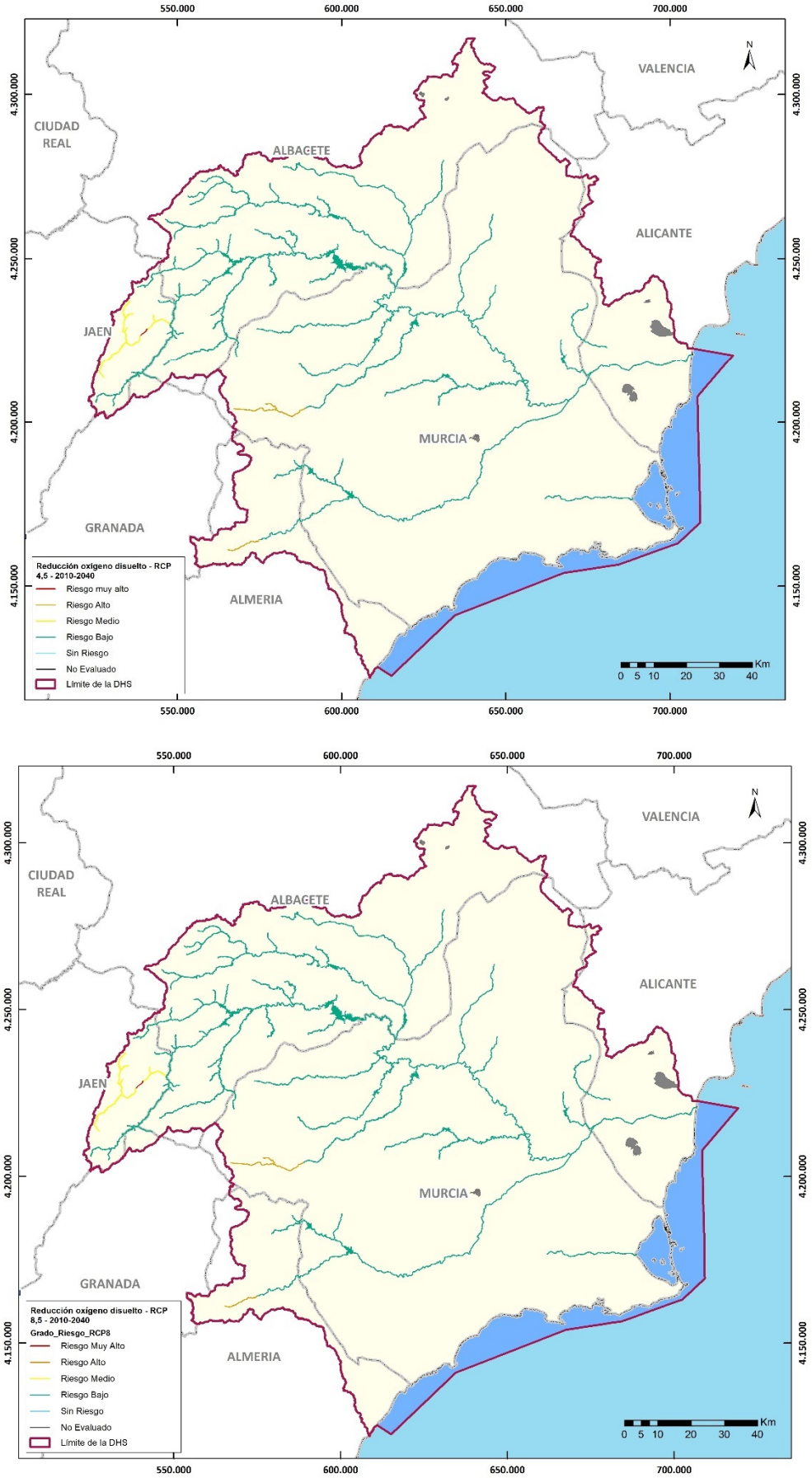



**Figura 22. Mapas del riesgo a corto plazo (PI1) debido a la reducción del oxígeno disuelto (RCP4.5 y RCP8.5)**

De este modo, casi la totalidad de las masas evaluadas presentan riesgo bajo asociado a este impacto.

En concreto presentan riesgo alto la cabecera del río Quípar, rambla de Chirivel y el embalse de Anchuricas. Sin embargo, el impacto potencial en la cabecera del río Segura disminuye a causa de la buena calidad del bosque de ribera, por lo tanto, este tramo presenta un grado bajo riesgo.

Hay que 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. Se presenta en la figura siguiente aquellas masas donde el contenido de $O_2$ ya se encuentra en valores por debajo de 5 mg/l en la actualidad.




**Figura 23. Estado actual del indicador $O_2$**

## 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).

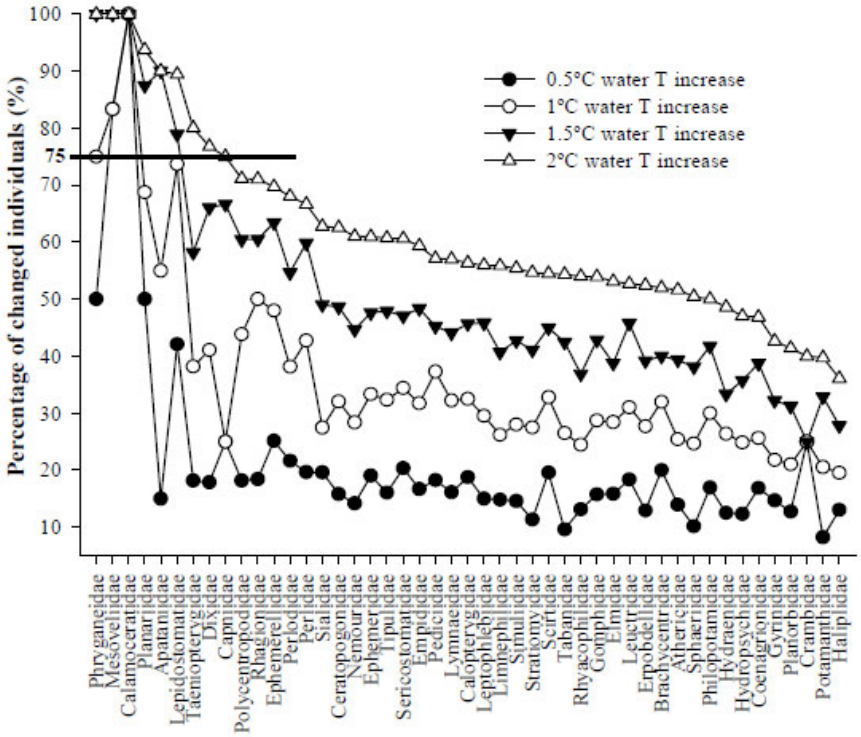



**Figura 24. Porcentaje de individuos por familia que experimentan un cambio como resultado de incrementos en la temperatura del agua (método del Óptimo Robusto) (CEH, 2012)**

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 DHS, según los resultados obtenidos en el escenario RCP4.5 se predice que la temperatura media del agua puede incrementarse alrededor de 0,8°C en la mayoría de las masas de agua, especialmente en los cursos medios y bajos de la demarcación. Por el contrario, en los tramos altos se prevé un aumento de temperatura menor de 0,7°C. Asimismo, llama la atención el tramo medio del río Segura, desde la confluencia con el río Quípar hasta Reguerón, donde el aumento de temperatura está por debajo de 0,5°C.

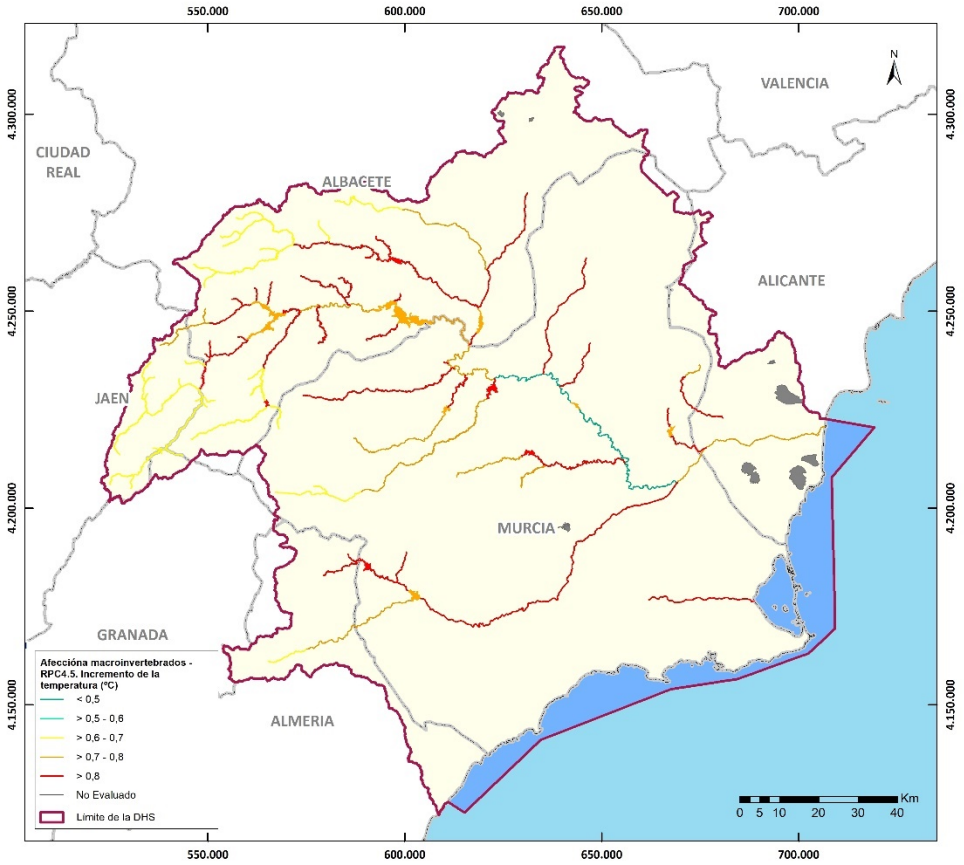



**Figura 25. Mapa de peligro: Incremento esperado de la temperatura del agua a corto plazo (PI1) para el escenario de emisiones CP4.5.**

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.

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

**Tabla 8. Grado de Impacto debido a la afección en los macroinvertebrados**

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. Con esta metodología, se observa que si se considera la senda de emisiones relativamente optimista (RCP4.5), a corto plazo (PI1), todas las masas se ven impactadas, aunque solamente en un tramo se observa un impacto alto, en el río Segura aguas arriba del embalse de Fuensanta, después de su confluencia con el río Zumeta. Sin embargo, este resultado se restringe a este escenario y el corto plazo. Si

se considera el escenario de emisiones más pesimista (RCP8.5) los cursos medios y bajos de los ríos de la demarcación pasarían a sufrir impactos más severos.

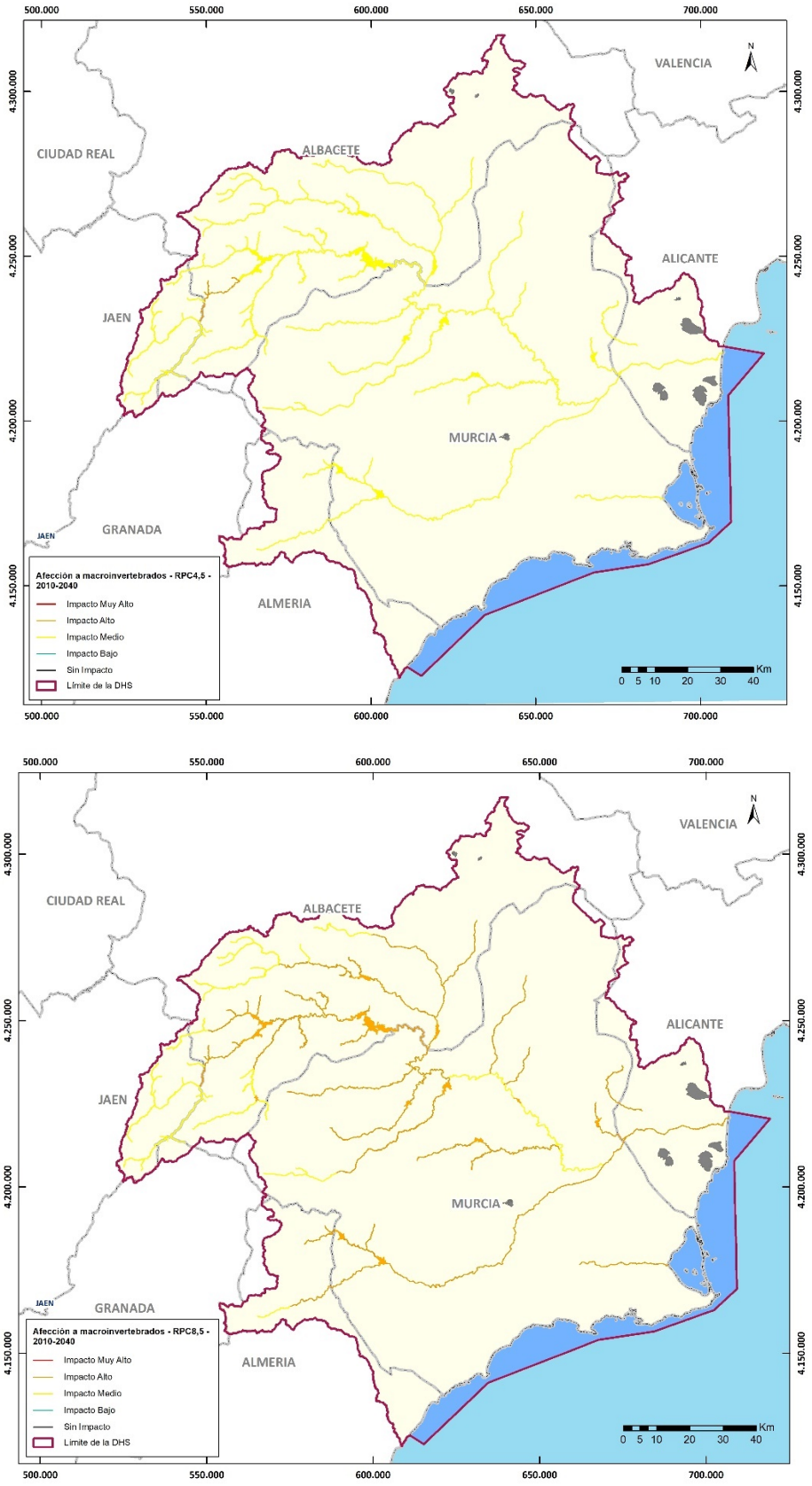



**Figura 26. Mapas del impacto potencial a corto plazo (PI1) sobre los macroinvertebrados según la senda de emisiones relativamente optimista (RCP4.5) y la más pesimista (RCP8.5).**

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 los 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. Se observa de nuevo como en las evaluaciones más favorables, a corto plazo el riesgo es bajo para todas las masas de la demarcación, salvo en el tramo mencionado anteriormente del río Segura, aguas arriba del embalse de Fuensanta, después de su confluencia con el río Zumeta, donde el riesgo es medio. En cambio, si se consideran los escenarios de emisiones más pesimistas, existe un riesgo alto de forma generalizada en los cursos medios y bajos de los ríos. La excepción sería el tramo medio del río Segura, debido a que el incremento esperado en la temperatura del agua es más limitado.

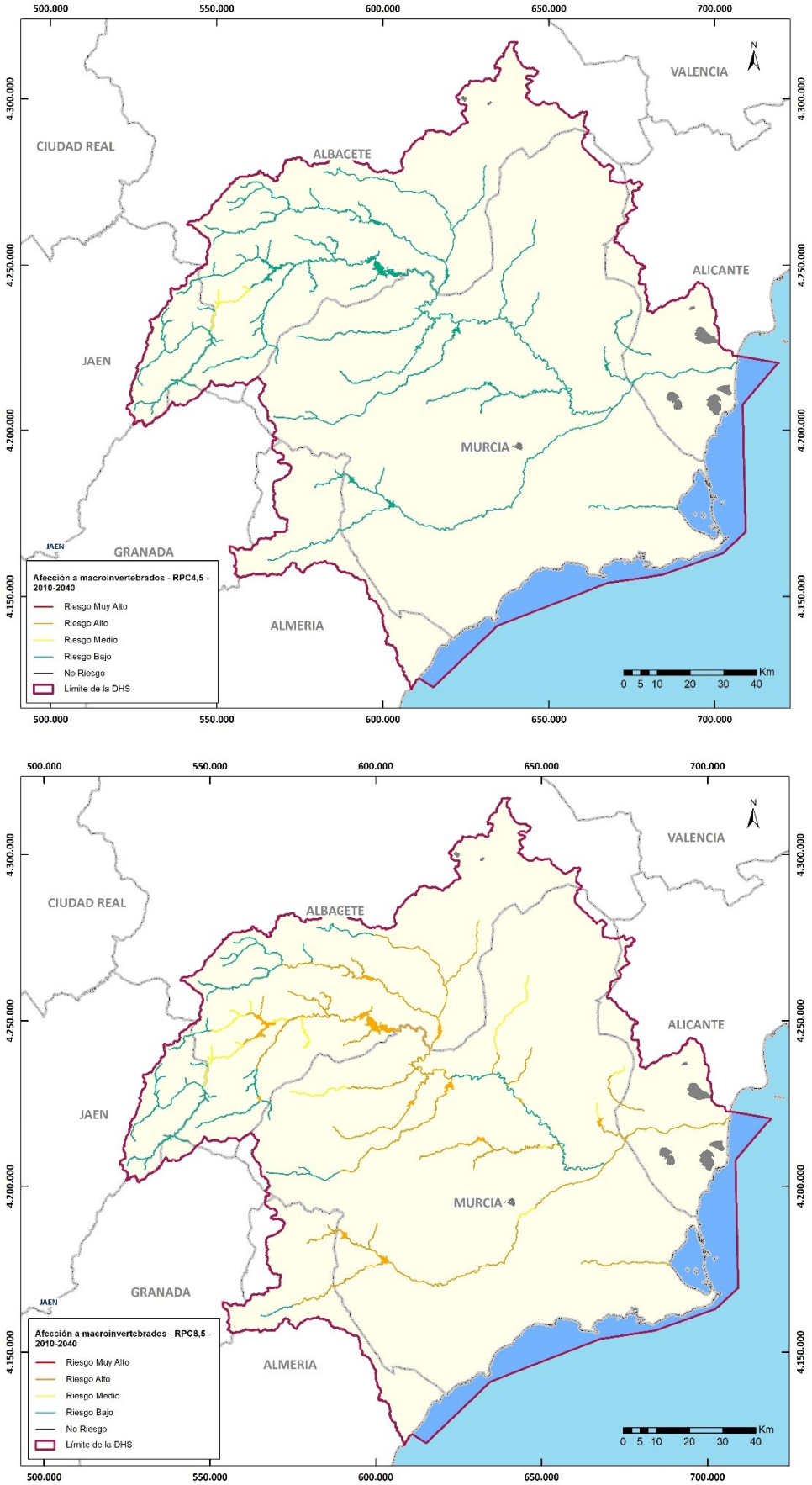



**Figura 27. Mapas del riesgo a corto plazo (PI1) para los macroinvertebrados según la senda de emisiones relativamente optimista (RCP4.5) y más pesimista (RCP8.5).**

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

Además de los trabajos expuestos en apartados anteriores, e incluidos en el plan de adaptación al cambio climático en el ámbito de la DHS en desarrollo, existen múltiples trabajos científicos que analizan cómo afectará el cambio climático a los diferentes ecosistemas.

Se nombran a continuación algunos trabajos y estudios por su afección particular en el ámbito de la DHS.

### 5.4.1. Tendencia a la expansión de especies invasoras

Dada la presión que ejercen las plantas invasoras en el ámbito de la demarcación, destaca el trabajo desarrollado por la Fundación para la investigación del clima (FIC) y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) para el MITERD, Escenarios futuros de índices bioclimáticos en España y aplicación al estudio de especies invasoras (SPAINCLIM) (FIC-UPM, 2020).

Como hemos visto en el apartado 4, a la hora de abordar la idoneidad del hábitat para una especie, la principal dificultad radica en la disponibilidad de valores de referencia o límites de tolerancia para las variables climáticas que condicionan la presencia de una determinada especie.

Precisamente, este proyecto analiza y selecciona las variables climáticas que condicionan la distribución de las especies (índices bioclimáticos) en el caso concreto de las especies invasoras.

Las especies analizadas por su relevancia para el conjunto del territorio español son *Arundo donax*, *Caccharis halimifolia, Carpobrotus acinaciformis* y *Opuntia ficus-indica*. En el presente documento nos centraremos específicamente en el *Arundo donax* (caña común) por su relevancia como especie invasora en las riberas de los ríos en el ámbito de la demarcación.

Esta investigación en concreto, como parte del proyecto SPAINCLIM, se ha estudiado mediante el TFG Modelización del hábitat potencial actual y futuro de la caña (*Arundo donax L.*) en las cuencas hidrográficas del Júcar y del Segura (J.Zambrano, 2021).

En primer lugar, se definen, mediante modelización, las variables climáticas y no climáticas que condicionan la presencia de la caña común y esta presencia potencial se calibra con la presencia observada. Por similitud con la terminología empleada en el plan de adaptación estaríamos hablando de la generación de los mapas de exposición potencial y su calibración con los mapas de exposición real.

De esta modelización se han seleccionado cinco variables explicativas o índices bioclimáticos si bien se concluye que el principal factor de afección para el *Arundo donax* es la temperatura media del trimestre más frío del año. En la siguiente imagen se muestra la presencia potencial frente a la presencia real (en negro) en los ámbitos de Júcar y Segura.

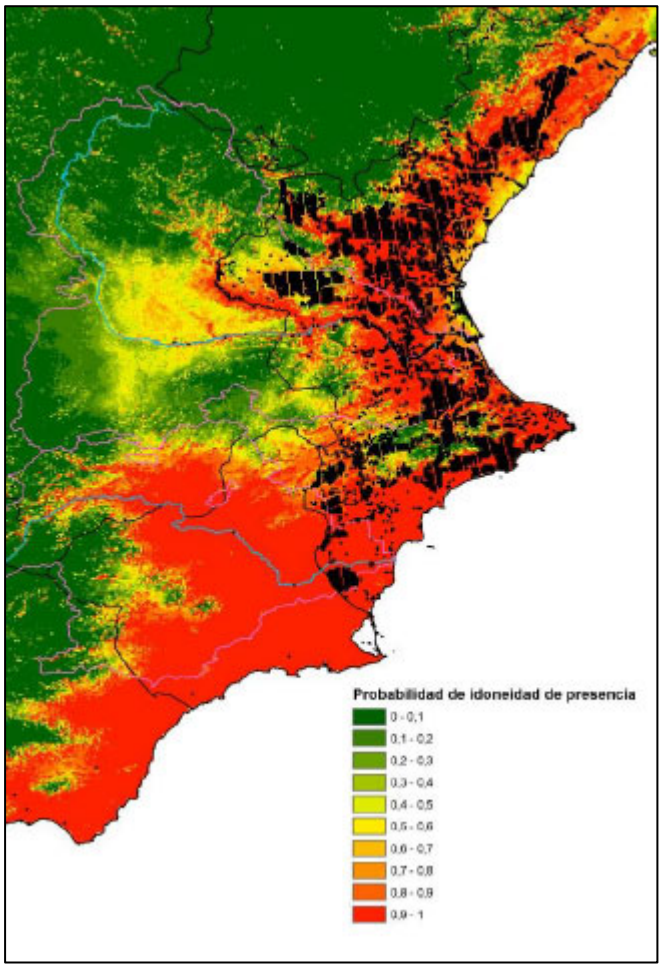



**Figura 28. Probabilidad de presencia potencial y presencia actual (en negro) en los ámbitos de Júcar y Segura (FIC-UPM, 2020)**

En la figura anterior se puede observar cómo, salvo en las zonas de cabecera del Segura, Mundo y Taibilla, el resto del ámbito de la demarcación pasa a ser zona apta para la expansión del *Arundo donax*.

A continuación, de manera similar a como se ha abordado en el plan de adaptación, se estudia el efecto de las distintas proyecciones climáticas futuras en la variable de mayor influencia y en consecuencia sobre la distribución potencial de la caña. En concreto se han estudiado los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 en los períodos 2041-2060 y 2061-2080. Sería lo que llamamos el mapa de impacto potencial.

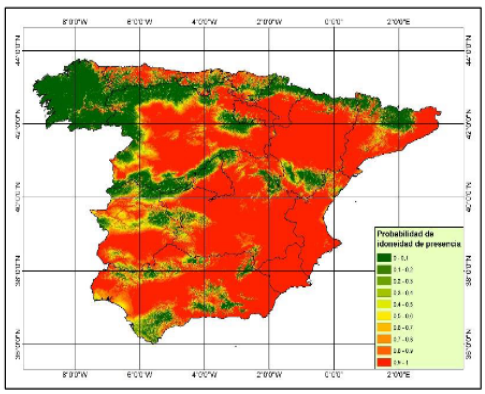


*Ilustración 18: Mapa de idoneidad de presencia de Arundo donax en 2041-2060 según el escenario RCP 4.5 en la zona de estudio.* Fuente: elaboración propia.

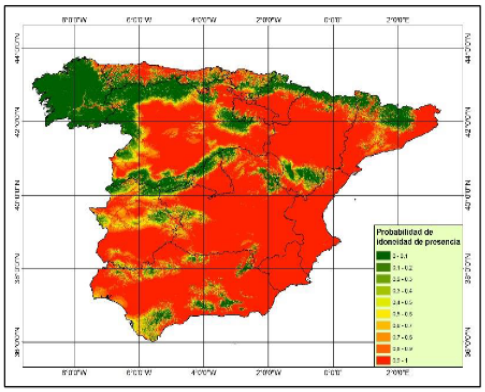


*Ilustración 19: Mapa de idoneidad de presencia de Arundo donax en 2061-2080 según el escenario RCP 4.5 en la zona de estudio.* Fuente: elaboración propia.

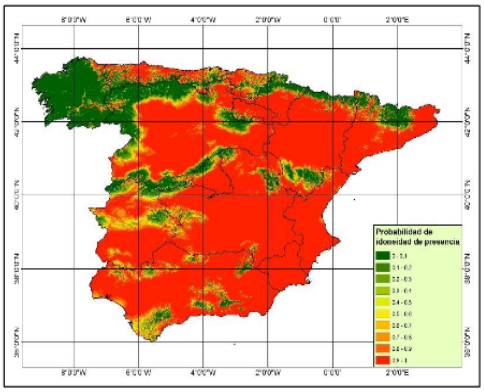


*Ilustración 20:Mapa de idoneidad de presencia de Arundo donax en 2041-2060 según el escenario RCP 8.5 en la zona de estudio.* Fuente: elaboración propia.

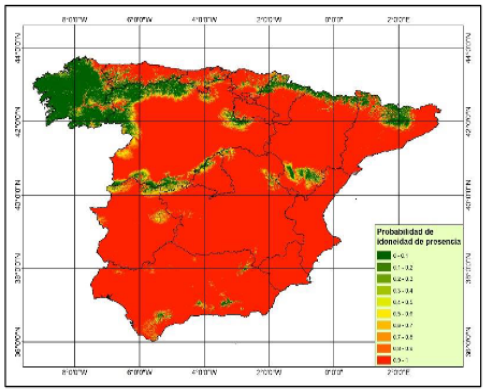


*Ilustración 21: Mapa de idoneidad de presencia de Arundo donax en 2061-2080 según el escenario RCP 8.5 en la zona de estudio.* Fuente: elaboración propia.

**Figura 29. Mapas de presencia potencial futura en España en los escenarios de cambio climático modelizados (J. Zambrano, 2021)**

De la comparación del mapa de presencia potencial actual y el mapa de impacto potencial debido al cambio climático, se concluye que las zonas con mayor probabilidad de verse afectadas por la expansión del *Arundo donax* son el tramo medio y bajo del Segura, a su paso por las provincias de Murcia y Alicante y los tramos medios y altos de prácticamente todos los ríos de la demarcación, a excepción de aquellos tramos de alta montaña donde el aumento de la temperatura invernal no llega a alcanzar la temperatura crítica para la especie.

Queda pendiente en este análisis establecer en qué variables se puede actuar para reducir esa expansión potencial en el futuro (lo que llamamos variables de vulnerabilidad), y por lo tanto con qué medidas incluidas en el programa de medidas se puede evitar su expansión. En este sentido, otra de las conclusiones del estudio es la escasa documentación existente respecto a otros aspectos de la biología de la caña, como puede ser la respuesta a la intensidad lumínica. No se sabe a ciencia cierta si la presencia de sombras es limitante para su desarrollo o no lo es.

A pesar de esto, sí que apunta a la necesidad de gestión de los usos del suelo en las zonas próximas a todos los cursos de agua de dichas cuencas. La progresiva implantación de más componentes del régimen de caudales ecológicos, junto a actuaciones en cauce y márgenes por parte del organismo de cuenca, es de esperar que fomenten condiciones de ribera más cercanas

al potencial natural, donde otras especies autóctonas puedan competir con la caña con mayores garantías.

En este sentido cabe recordar que la actual estrategia desarrollada en la CHS para la erradicación del *Arundo* se basa en la convicción de que una vegetación de ribera adecuada y en buen estado supone una competencia para la caña que limita su expansión y desarrollo, y por lo tanto esta seguirá siendo la estrategia frente al riesgo añadido que supone el cambio climático. Actualmente se están desarrollando en la DHS importantes avances en la lucha contra *Arundo donax* mediante sombreamiento con geotextiles para debilitar su rizoma, acompañado de plantaciones de especies típicas del bosque de ribera.

### 5.4.2. Riesgo de desertización asociado al cambio climático

Otro de los estudios desarrollados por FIC aborda la amenaza de la erosión por efecto del aumento del riesgo de incendios (FIC, 2018a).

Existe un vínculo estrecho entre el uso del suelo y los recursos hídricos, aumentando la infiltración en los suelos que disponen de una adecuada cubierta vegetal frente a los que no, frenando a su vez la escorrentía y por tanto los riesgos derivados de una crecida.

Además, como ya hemos visto, el mantenimiento de flujos base adecuados tiene un efecto positivo frente al previsible calentamiento de las aguas por intercambio con la atmosférica, dado que las aguas subterráneas están más frías y pueden compensar el incremento de temperatura debido al cambio climático.

En este sentido, el estudio parte de la relación existente entre incendios forestales y clima: el clima condiciona la vegetación de una región susceptible de servir de combustible y además determinadas variables meteorológicas favorecen los incendios: temperatura, humedad relativa, viento y precipitación.

En términos generales el cambio climático conllevará condiciones meteorológicas más desfavorables, que facilitarán la ignición y la propagación. Además, salvo que se adapten medidas eficaces de adaptación, los bosques serán más xerófilos favoreciendo igualmente la problemática de los incendios.

Dado que, además, los incendios junto con las lluvias torrenciales son los causantes de la erosión del suelo, se ha evaluado la evolución de la erosión en base a un indicador (IRE) formulado a partir de los índices de lluvia y de incendios estudiados.

Como conclusión del estudio, los resultados muestran que la temperatura sufrirá un incremento notable en sus valores para el año 2050, de hasta 2ºC que podría llegar a 4ºC en verano. El viento no es esperable que sufra cambios en su velocidad media, mientras que la humedad y la precipitación verán disminuidas ligeramente sus valores medios en escala anual para el año 2050.

Acorde con la futura evolución de las variables meteorológicas, el índice de incendios (FWI) proyectado hasta el año 2050 bajo escenarios RCP 4.5 y 8.5 se incrementa de manera muy notable en las zonas costeras de la región, especialmente en la Región de Murcia y la provincia de Alicante, viendo también extendido su área de riesgo hacia el interior de las cuencas. Por el

contrario, los índices de precipitación (n y CI) no sufrirán cambios significativos durante el periodo de estudio debido a la gran incertidumbre obtenida en los resultados. Como resultante de esto, los valores finales proyectados del indicador de erosión (IRE) están muy ligados a los resultados del FWI. Por ello, el área susceptible de sufrir de erosión intensa en el futuro se incrementará notablemente a la casi totalidad de la Comunidad Valenciana, Región de Murcia y partes de Castilla la Mancha, según se puede ver en la figura adjunta.

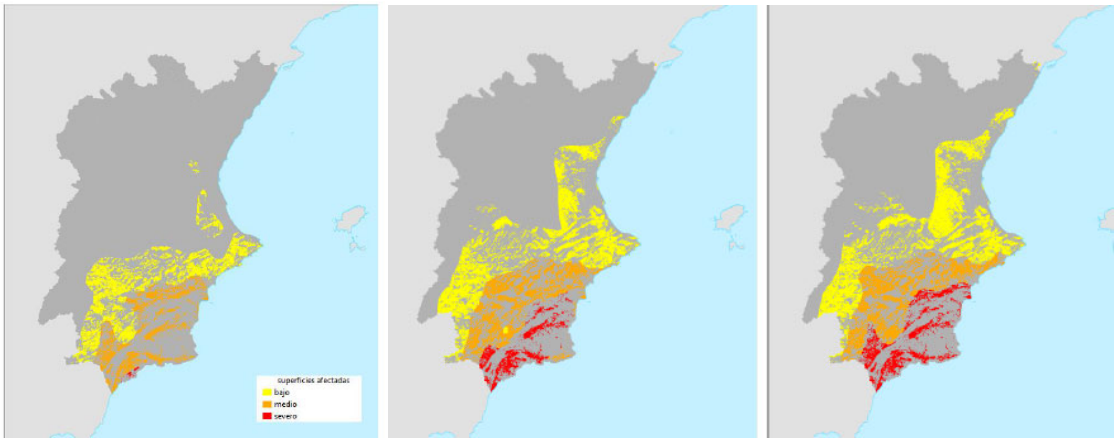



**Figura 30. Comparativa entre el índice de erosión en situación actual y futura (bajo los escenarios RCP4.5 y 8.5 en el año 2050) en los ámbitos de las demarcaciones de Júcar y Segura (FIC, 2018a).**

Los factores particulares de la demarcación que la hacen más vulnerable a los procesos erosivos son los siguientes:

- las zonas boscosas son las más vulnerables al avance de un incendio, y estas superficies naturales suponen en torno al 45% de la superficie total la cuenca.
- Además, estas áreas se ubican principalmente en zonas montañosas que son las más vulnerables a la erosión por su pendiente.
- Tras un incendio la degradación de la cobertura vegetal incrementa el riesgo potencial de pérdida de suelo.

Los procesos erosivos generados como consecuencia de un incendio tienen consecuencias inmediatas en el ciclo hidrológico: reduciendo la infiltración, aumentando la escorrentía y también la carga sólida transportada.

A este respecto, si bien no se dispone de información concreta sobre la evolución de las inundaciones independientemente de la evolución de su intensidad y frecuencia lo que sí parece claro es que el aumento del riesgo de desertización aumentará el riesgo de torrencialidad de estos fenómenos y los sedimentos que arrastren.

En consecuencia, aunque no es competencia específica de la planificación hidrológica la mejora y la protección de las cubiertas naturales en las cuencas vertientes, se ha querido recoger en este anejo la previsible evolución del aumento del riesgo de incendios en condiciones de cambio climático, dado que indudablemente la política de gestión que se adopte sobre estos espacios tendrá efectos en los recursos disponibles, en el riesgo asociado a las inundaciones e incluso, en el mantenimiento y durabilidad de los embalses.

# 6. AFECCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO A LA COSTA Y A HUMEDALES COSTEROS

El contenido de este apartado se basa en los siguientes documentos:

- El estudio de la afección del cambio climático en la costa española (C3E) desarrollado por la Universidad de Cantabria, y coordinado por la OECC, elaborado en el marco del PNACC (Losada, I.J et al., 2014). En él se caracteriza la costa española y se pretende cuantificar los cambios futuros en base a los distintos escenarios climáticos.
- La estrategia de adaptación al cambio climático de la costa española, elaborada por la DG de sostenibilidad de la costa y el mar, dando respuesta al mandato de la disposición adicional octava de la ley 2/2013 de protección y uso sostenible del litoral, que modifica la ley de costas de 1988 (MAGRAMA, 2016). Su objetivo es el aumento de la resiliencia para la adaptación a los cambios previstos en el estudio anterior.
- La Estrategia valenciana de cambio climático y energía 2030 (GV, 2019),
- Estrategia Regional de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático (CARM. 2020)
- Programa Andaluz de Adaptación al Cambio Climático (Junta de Andalucía, 2010).

La DHS dispone de una importante línea de costa, y por tanto su espacio litoral reviste una destacada importancia tanto a nivel ambiental como económico.

La estrategia de adaptación desarrollada en España para la costa se centra, principalmente, en el riesgo derivado del cambio climático, si bien, como ya se ha apuntado en este documento, las presiones actuales en general, y las de la costa en particular, por la acción antrópica tienen un peso importante en los distintos aspectos de influencia del cambio climático (la peligrosidad, exposición y vulnerabilidad). Con esto se indica que, aunque a priori el análisis trata de diferenciar el riesgo debido al cambio climático de otros riesgos ya identificados, no siempre ha sido posible.

En este sentido las zonas costeras de Almería, Murcia y sur de Alicante, mayoritariamente playas, se encuentran ya en la actualidad en regresión debido a la disminución de los sedimentos de los ríos (caso de aportaciones en Guardamar del Segura) y a la interrupción de la dinámica litoral por la construcción de infraestructuras portuarias (por ejemplo, el puerto de San Pedro del Pinatar). Es una costa altamente antropizada, muy vinculada al uso recreativo y turístico, si bien destaca en esta franja costera la presencia de zonas húmedas de gran importancia ambiental, como la laguna litoral del Mar Menor y sus humedales perimetrales. En la costa de Murcia, sin embargo, existe un paisaje litoral de calas y acantilados con un mayor grado de conservación, como son las zonas de Calblanque, entornos de Cabo Tiñoso y Cabo Cope, y límite entre la Región de Murcia y Almería.

La presión urbanística sobre estos espacios, además de estar causando ya una presión, constriñe la eventual respuesta natural a los impactos del cambio climático sobre el mar, impidiendo la adaptación de su forma y su extensión, como sería deseable.

Una vez caracterizada brevemente la zona terrestre de la costa se expone a continuación las características principales del mar que condicionarán sus riesgos ante el cambio climático.

El mar mediterráneo, al ser un mar semiconfinado de tamaño relativamente pequeño, no presenta apenas mareas y el oleaje medio también se caracteriza por su pequeña envergadura. En el fondo marino destaca la presencia de la Posidonia oceánica, uno de los ecosistemas de más valor ecológico en el mediterráneo, pero también muy sensible a los cambios y muy vulnerable a pequeños aumentos en su tasa de mortalidad.

Hay muchas zonas protegidas vinculadas a la línea de costa, los humedales, las zonas de baño, zonas de protección de especies acuáticas significativas desde el punto de vista económico, zonas de protección de hábitats o especies,…

En cuanto a los aspectos económicos, destaca la importancia del sector turístico vinculado a la costa, sector que tiene una alta dependencia de la buena conservación de las costas y sus aguas. Además, existen otras actividades económicas vinculadas a la costa, como la portuaria o la pesca que también pueden verse afectadas.

En cuanto a los riesgos vinculados al cambio climático, el IPCC concluye que los sistemas costeros son especialmente sensibles a tres factores, la variación del nivel del mar, el aumento de la temperatura oceánica y la acidificación del océano.

En cuanto a la cuantificación de dichos riesgos en la costa española, y en particular en la costa mediterránea, el informe C3E plantea 4 escenarios futuros. Dos de ellos están basados en los escenarios RCP 4.5 y 8.5, un tercero es un escenario muy pesimista, poco probable pero factible y, por último, el cuarto escenario extrapola la tendencia observada en el nivel del mar al horizonte 2040.

Bajo esta última hipótesis el estudio concluye que el nivel del mar podría subir entre 2 y 3 mm/año según la tendencia actual observada, aunque en el Mediterráneo la incertidumbre es muy alta. Por su parte, no parece que las variaciones en el oleaje en el Mediterráneo vayan a suponer un riesgo. De hecho, el estudio concluye que a pesar del aumento del nivel del mar previsto y en base a la información existente, los impactos relativos a inundación o erosión en zonas costeras no serán atribuibles exclusivamente al cambio climático pues ya están altamente afectadas por la acción del hombre.

En base al escenario tendencial, se cuantifica para el año 2040 un retroceso medio de las playas en la vertiente mediterránea de entre 1 y 2 m, basado exclusivamente en el aumento del nivel del mar y sin tener en cuenta el posible efecto de los fenómenos extremos. Hay que tener en cuenta que este escenario infravalora el impacto de las emisiones de gases de efecto invernadero sobre el aumento del nivel del mar, por lo que el aumento final podría ser mayor.

Los mayores efectos del cambio climático sobre el mar se centran por tanto en los cambios de la temperatura superficial del agua y la acidificación de los océanos, con el riesgo consecuente para la vida marina, los ecosistemas costeros e incluso la durabilidad de las estructuras de hormigón de muelles, espigones y diques.

El calentamiento del mar aumenta el riesgo de hipoxia y de eutrofización en zonas costeras debido a los vertidos, lo que podría significar el aumento de zonas sensibles a la contaminación por nutrientes.

No obstante, la mayor afección se vincula a la desaparición de superficie de praderas de *Posidonia oceanica*, que podría disminuir hasta un 10% de la densidad actual, y a la pérdida de humedales costeros.

Para los humedales costeros los resultados muestran una importante pérdida de superficie ante la subida del nivel del mar, sin embargo, los terrenos bajos de estos espacios, por su propia naturaleza, permiten migrar a los humedales gran cantidad de kilómetros tierra adentro, siendo capaces de inundar grandes llanuras costeras. Los problemas están asociados por tanto a aquellos que presentan un mayor grado de alteración o antropización.

En este sentido, en el ámbito de la DHS destaca el caso del Mar Menor, y la barra litoral que representa La Manga del Mar Menor. De hecho, la propia *Estrategia Regional de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático de la Región de Murcia* (CARM, 2020) establece que:

"*El departamento de cambio climático de la Administración Regional, en el marco del Plan de Impulso al Medio Ambiente PIMA ADAPTA COSTAS del Ministerio para la Transición Ecológica, con la financiación asignada por el Consejo de Ministros, está elaborando con el apoyo del Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria un diagnóstico de precisión sobre la vulnerabilidad y riesgo, y las posibles medidas de adaptación de todo el litoral de la Región de Murcia.*

*En los próximos dos años debemos estar en disposición de contar con:*

- *un Informe de alta resolución y visor cartográfico online de exposición, vulnerabilidad y riesgo, y medidas de adaptación de recursos naturales, instalaciones, usos del suelo y actividades vulnerables al cambio climático en la Costa frente al Cambio Climático.*
- *Un borrador de plan autonómico de adaptación al cambio climático de los terrenos de dominio público marítimo-terrestre adscritos a la Comunidad Autónoma y de las estructuras construidas sobre ellos.*
- *Un informe de vulnerabilidad y borrador de plan de adaptación al cambio climático de la Manga del Mar Menor.*
- *Acciones para la difusión y exposición del conocimiento generado sobre la vulnerabilidad de la Región de Murcia ante la subida del nivel del mar y las medidas de adaptación necesarias.*

*La Manga del Mar Menor es considerada una de las áreas vulnerables del litoral mediterráneo español a efectos del calentamiento global. El objetivo a corto plazo debe ser cuantificar la exposición, la vulnerabilidad y el riesgo así como proponer las medidas de adaptación y prevención frente al cambio climático. El Informe de vulnerabilidad y plan de adaptación al cambio climático de la Manga del Mar Menor debe comprender al menos los siguientes aspectos:*

- *Estudio de detalle de la vulnerabilidad frente a los efectos del cambio climático (vulnerabilidad del territorio, las actividades y espacio edificado y el suelo urbano sin edificar).*
- *Análisis de riesgo sobre bienes económicos, naturales y sociales. Evaluación económica de los costes de la inacción.*
- *Análisis de casos a nivel internacional. Estudio de casos extrapolables y de planes y experiencias de éxito.*
- *Prediseño de medidas de adaptación y prevención.*

*En definitiva, en el marco de esta Línea Estratégica de Actuación la meta a perseguir es* ***identificar las zonas costeras que en el futuro se verán afectadas por la subida del nivel medio del mar y sentar las bases para definir las actuaciones de adaptación*****"**

En el año 2010 se publicó el libro "*Cambio Climático en la Región de Murcia. Trabajos del Observatorio Regional del Cambio Climático*", que contenía información de interés en relación con la temperatura, las precipitaciones, la subida del nivel del mar y los efectos sobre la salud y sobre los ecosistemas.

Pasados cinco años desde la primera publicación de los trabajos del Observatorio, la Oficina de Impulso Socioeconómico del Medio Ambiente presenta una segunda obra que muestra la evolución que se ha producido en la generación de información y en las políticas para la mitigación y adaptación ante el cambio climático.

Esta nueva publicación se titula "*Cambio Climático en la Región de Murcia. Evaluación basada en indicadores. Trabajos del Observatorio Regional del Cambio Climático*", de la cual se extrae que

*"4. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SU AFECCIÓN A LAS PLAYAS DEL MAR MENOR*

*A escala Regional, la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente adjudicó en 2010 al Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria, la realización de un estudio sobre la problemática existente y las alternativas de actuación en una zona muy singular de la Región de Murcia: la laguna costera del Mar Menor, y particularmente, sobre la zona situada entre el puerto de San Pedro del Pinatar y Cabo de Palos, afectada por fenómenos de regresión costera y expuesta, por su singular naturaleza y geografía, a los impactos derivados del Cambio Climático.*

*Según los resultados del citado estudio, finalizado a finales de 2011, las playas de La Manga han sufrido importantes cambios en las últimas décadas, en primer lugar debido a la construcción de diversas estructuras, como: diques transversales, rompeolas, viales, escolleras y a la construcción de puertos. Estas intervenciones humanas han afectado a las playas a escala local, es decir, han afectado a las playas donde se han realizado las intervenciones, y colateralmente, a las playas adyacentes y cercanas. No obstante, este tipo de intervenciones han afectado poco a la dinámica global sedimentaria del Mar Menor, no perturbando de manera sustancial el balance de sedimento global que entra y sale en el Mar Menor. Las playas del Mar Menor han sufrido un retroceso general, debido a otros factores distintos a las actuaciones citadas anteriormente.*

*Tal y como se ha detallado anteriormente el equilibrio de las playas está constantemente cambiando debido a las intervenciones humanas y a otras series de factores. El comportamiento a largo plazo es distinto en las playas de la parte continental y en las playas de La Manga.*

*Las playas de la ribera continental comportan zonas de deposición y erosión puntuales debido a la construcción de diques o puertos, pero no se observan cambios generalizados en la morfología de la costa continental. El equilibrio natural ha cambiado debido a las intervenciones humanas, pero la forma de las playas se adapta a la configuración impuesta.*

*Las playas de La Manga, al contrario, sufren una erosión global de hasta 1m/año. Las intervenciones humanas son más dispersas que en la zona continental, y no tienen tantos*

*efectos. Se puede concluir, por tanto, que el equilibrio natural ha sido perturbado por unos factores exteriores*

*5. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS PLAYAS DE LA MANGA-REGIÓN DE MURCIA*

*La metodología empleada en el estudio de referencia se basó en un sistema híbrido, consistente en la extrapolación de las tendencias de largo plazo de las dinámicas marinas, es decir: oleaje y marea meteorológica (UC, 2004), al año 2050 y la proyección de ascenso de nivel medio del mar global para el escenario A1B del IPCC (2000), que resultó de 15 cm para el año 2050 (ascenso de 0.003 m/año). No obstante, si bien las conclusiones obtenidas en el estudio son válidas y muestran claramente las tendencias existentes de pérdida de playa y regresión, los datos deberían ser actualizados con los nuevos modelos propuestos en el último informe del IPPC.*

*El cambio climático afectaría principalmente a la zona de estudio debido al cambio de nivel global del mar. Se estima una subida de nivel para 2050 de 15 cm (IPCC, 2000.). El cambio de nivel del Mar exterior afecta principalmente a las playas interiores de La Manga debido al carácter somero de estas playas y a sus cercanías a las golas. Con la metodología utilizada, se estimó que una elevación de nivel global del Mar de 15 cm daría lugar a un retroceso de 4-5 m en las playas interiores de La Manga. El retroceso es debido a pérdidas de sedimento por perfil causado por el ajuste del perfil de playa a un nuevo equilibrio. Este retroceso se combina con el retroceso anual debido a la marea meteorológica.*

*Esta perdida por perfil afectará también, aunque en menor medida, a las playas de la zona continental del Mar Menor, y a las playas del Mar Mayor. Además de la perdida por perfil, el ascenso de nivel global del mar provocará una aceleración de la perdida de sedimento durante las tormentas en las playas del Mar Mayor*."

A falta de desarrollar dentro del marco de la *Estrategia Regional de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático de la Región de Murcia* (CARM, 2020) un informe actualizado de vulnerabilidad y borrador de plan de adaptación al cambio climático de la Manga del Mar Menor, otros estudios reafirman la vulnerabilidad de esta zona de costa frente al cambio climático, como es el caso de la publicación "*Evaluación del índice de vulnerabilidad costera en la Manga del Mar Menor (Murcia, España*)" (Daniel Ibarra Marinas; Gustavo A. Ballesteros Pelegrín; Jorge Sánchez Balibrea; Pedro García Moreno; Francisco Belmonte Serrato. Anales de Geografía de la Universidad Complutense ISSN: 0211-9803) de fecha diciembre 2020, cuyo resultado refleja que tramos de playas de arena y las estructuras artificiales presentan mayor vulnerabilidad a los riesgos climáticos que aquellos tramos rocosos, por lo que se considera necesario la adecuación de sistemas duna-playa con vegetación natural bien conservada que constituyan una barrera frente a la energía de los temporales, y de un modo más detallado "*Las zonas costeras con mayor vulnerabilidad ambiental, se sitúan en el Parque Regional y las zonas dunares. Las zonas con menor vulnerabilidad ambiental se sitúan en los puertos y en la zona de Cabo de Palos. La media es 16,36 y la mediana 18,52. Los datos estadísticos obtenidos muestran un valor mínimo de 3,38 y un máximo de 23,90. La cartografía muestran los resultados de las variables y del CVI*"

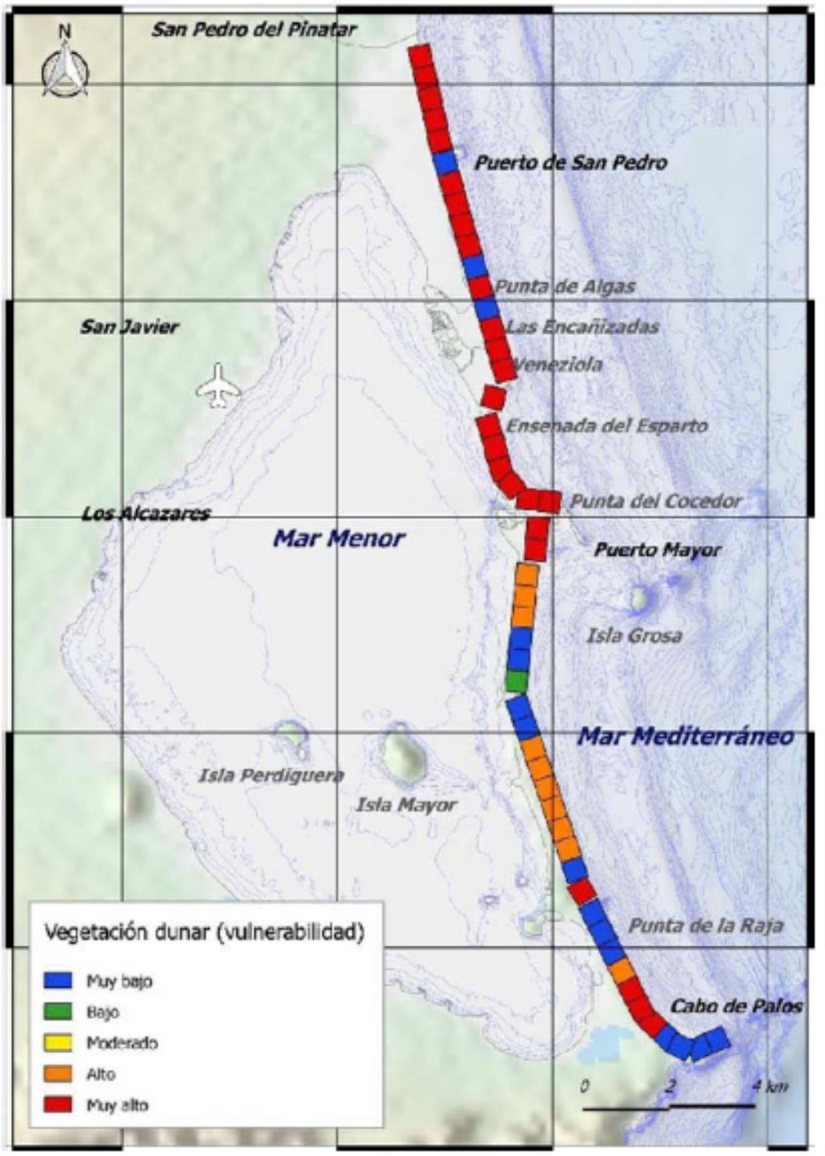



**Figura 31. Índice de Vulnerabilidad Costera y Ambiental aplicado a La Manga del Mar Menor (Fuente: *Evaluación del índice de vulnerabilidad costera en la Manga del Mar Menor (Murcia, España)*)**

No obstante, los efectos detallados sobre el ecosistema o la capacidad de asimilar esta presión deberán ser objeto de estudios más detallados.

En este contexto la estrategia de adaptación de la costa plantea una serie de objetivos que se agrupan en 6 bloques: diagnóstico, participación, concienciación y capacitación, medidas de adaptación, seguimiento e investigación.

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, …. 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.

Por su parte y en el ámbito de sus competencias, la Estrategia Regional de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático de la Región de Murcia (CARM, 2020), la Estrategia valenciana de cambio climático y energía 2030 (GV, 2019), y el Programa Andaluz de Adaptación al Cambio Climático (JA, 2010) establecen respectivamente para la costa las siguientes actuaciones, alineadas con el fomento de la resiliencia y la protección de la línea de costa:

Estrategia Regional de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático de la Región de Murcia

- Aplicar los escenarios futuros de subida del nivel del mar en la toma de decisiones urbanísticas en la costa e iniciar la adaptación de espacios urbanos e infraestructuras previsiblemente afectados.

Estrategia valenciana de cambio climático y energía 2030

- Identificar de los últimos suelos existentes en el espacio litoral que aún se encuentran vacantes con el objetivo de incluirlos en la Infraestructura Verde y evitar la ocupación de estos de acuerdo con las directrices del Plan de acción territorial de la infraestructura verde del litoral (CPTOPM, 2018).
- Asegurar que todos los suelos que se encuentren por debajo de un metro del nivel del mar permanezcan en estado rural o formen parte de la red primaria de zonas verdes del planeamiento municipal.
- Impulsar la coordinación con el Ministerio para las actuaciones referentes a la costa que afectan a la Comunitat Valenciana.
- Conservación de las praderas de *Posidonia*.
- Mantenimiento de cordones dunares como garantes de la estabilidad del frente costero y de las zonas húmedas colindantes.
- Desarrollar programas de paisaje litoral.

Programa Andaluz de Adaptación al Cambio Climático

- Elaboración de proyectos de investigación para la evaluación del impacto de la subida del nivel del mar, y para el análisis de los riesgos de inundaciones y avenidas y su influencia sobre la ordenación del territorio dentro de la línea de Investigación por sectores (inundaciones) en materia de adaptación

También es reseñable, al margen de las estrategias y programas antes apuntados, el desarrollo del proyecto Life *Salinas*, en TM de San Pedro del Pinatar (Murcia). Entre sus objetivos figura mejorar la conservación del hábitat prioritario 1510* y beneficiar otros 10 hábitats del Anexo I de la Directiva Hábitat mediante actuaciones para frenar la erosión del sistema dunar de la playa de La Llana con la instalación de captadores de arena en los primeros 500 metros de las dunas situadas a la entrada de la playa, así como el control de las especies vegetales exóticas-invasoras

de todo el espacio protegido, que afectan a los hábitats prioritarios 1510* y 2250* (*Agave americana, Carpobrotus acinaciformis, Eucaliptus camaldulensis, Nicotiana glauca* y *Myoporum acuminatum*), favoreciendo indirectamente a otros 12 hábitats del Anexo I de la Directiva Hábitat. Actualmente la erosión de la zona dunar de la playa de La Llana, especialmente en su primer tercio al sur del puerto de San Pedro del Pinatar, se debe precisamente a la construcción del dique sur del puerto, si bien el incremento de la frecuencia e intensidad de los temporales consecuencia del cambio climático potencia las tasas de erosión. Los resultados de las experiencias del proyecto Life mediante estabilización y maduración de la zona dunar (con eliminación de EEI, potenciación de especies autóctonas, y disposición de captadores de arena) y protección de la línea de costa frente a los temporales gracias a la disposición de arribazones de *Posidonia oceanica,* pueden servir como experiencia piloto extrapolable a otros puntos sensibles del litoral de la DHS.

La importancia de conservar y mejorar la resiliencia de la playa de La Llana radica no solamente en la mera conservación del frente litoral de cara a los diversos servicios ambientales que ofrece, sino que además conforma una barrera de separación con las salinas de San Pedro del Pinatar, que además de su valor productivo, constituye un importante humedal litoral (lugar RN2000 *ES0000175 Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar*) dentro del sistema de humedales periféricos del Mar Menor Este humedal, junto al resto de humedales periféricos del Mar Menor (lugar RN2000 *ES6200006 Espacios Abiertos e Islas del Mar Menor*), y La Manga, será unos de los grandes damnificados por los incrementos del nivel el mar, sumados a la presión antrópica directa y alteración de los flujos de sedimento y de la dinámica litoral. Otros lugares del espacio litoral que debido a su situación pueden verse afectados de un modo significativo y directo son las *Lagunas de Las Moreras* (humedal RAMSAR y RN2000 de código ES0000536) y las *Dunes de Guardamar* (código RN2000 ES5213025).

# 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, que es el cumplimiento de las garantías para los usos consuntivos y las pérdidas de producción en la producción hidroeléctrica. Estas estimaciones se han hecho en base los porcentajes de reducción expuestos en el apartado 3.1 del presente anejo.

Los resultados no son optimistas. Por el momento, y en caso de que finalmente no se apliquen políticas de reducción de emisiones o estas no sean suficientemente efectivas (RCP8.5), no se disponen de recursos suficientes para atender las asignaciones o demandas actuales comprometidas. En caso de que finalmente se materialice este escenario pesimista la solución puede pasar por una reducción de las demandas con menor prioridad según la ley de aguas.

Pero lamentablemente, y como hemos visto dentro del alcance del plan de adaptación, la reducción de los recursos o los riesgos asociados a los fenómenos extremos, no son el único peligro vinculado al cambio climático que acecha a las demandas.

Adicionalmente para el uso urbano se prevé un aumento de la demanda, sobre todo en verano, vinculada al incremento de la temperatura.

Los primeros estudios realizados en este sentido (CEH, 2012) concluyen que el incremento de consumo doméstico para el corto plazo (2011-2040) y medio plazo (2041-2070) se cuantifica entre un 2 y un 3%, mientras que en el largo plazo podría llegar hasta el 6%. Además, si tenemos en cuenta el incremento de consumo para el riego de parques y jardines, el incremento variaría entre el 3-5% en el corto-medio plazo y hasta el 9% en el largo plazo.

Haciendo una analogía con situaciones que ya se dan en la actualidad, se podría comparar con el consumo durante una ola de calor. Aunque las olas de calor ya son habituales en España, según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), se prevé que las temperaturas extremas en tierra aumenten más que la temperatura media global: el aumento de las temperaturas de los días de calor extremo, en las latitudes medias se prevé en hasta aproximadamente 3 °C con un calentamiento global de 1,5 °C y hasta aproximadamente 4 °C con un calentamiento global de 2 °C (IPCC, 2019).

Según datos del departamento de Seguridad Nacional , en España las altas temperaturas son el “riesgo natural” que más fallecimientos causa: 291 en lo que va de siglo, lo que supone el 28% del total de víctimas mortales debidas a desastres naturales.

En cuanto al consumo urbano, según datos facilitados por Hidraqua, el consumo en los principales municipios del sur de la Comunidad Valenciana se incrementó durante la ola de calor de 2019 cerca del 2% . Si además del aumento de la temperatura, ésta viene asociada con un periodo de escasas precipitaciones, el incremento de consumo estimado aumenta hasta entre un 7 y un 14% según estimaciones del Canal de Isabel II. Este aumento se debe no tanto al aumento de consumo del agua de boca, sino al incremento en la puesta de lavadoras, las duchas e el riego de parques y jardines.

En el caso del uso agrícola también se prevé un aumento de la demanda en el regadío y un aumento del estrés hídrico en el secano por aumento de la temperatura y la evaporación potencial, unido al cambio del régimen de precipitaciones.

De acuerdo con el estudio del CEDEX (CEH, 2012) los cultivos permanentes presentarán un incremento mayor que los cultivos anuales, que tenderán a adaptarse más a las condiciones climáticas, no observándose para ellos claros patrones de aumento de la demanda. Las cifras estimadas de aumento de la demanda para el conjunto de España, aunque con mucha incertidumbre, estarían entre -2 y 12% para los cultivos anuales y entre 4 y 27% para los cultivos permanentes a largo plazo.

Adicionalmente, aunque no se dispone de estudios que desarrollen el previsible impacto, el cambio climático puede llegar incluso a suponer un cambio de hábitat para determinados cultivos. De hecho, ya se observa el crecimiento de superficies dedicadas a cultivos hortícolas en zonas del interior, donde hasta hace poco las heladas no lo permitían. Este cambio en los mosaicos de cultivo puede influir en la demanda de agua agrícola.

A pesar de los aumentos de la demanda estimados, tanto en el caso de la demanda urbana como la agrícola, estos incrementos deberían ser asumibles con mejoras de la eficiencia y otras mejoras tecnológicas en el futuro.

# 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, ya en un frágil equilibrio y sometidos a un gran número de presiones, van a ver acentuada la presión que sufren por efecto del cambio climático.

Es de esperar que en la medida en que se desarrolle el Plan de adaptación al cambio climático coordinado por la CHS (cuyo principal objetivo es plantear estrategias encaminadas a reducir los riesgos de inundación en la comarca y a su vez salvaguardar el ecosistema del Mar Menor), se amplíe la evaluación a otras variables de modo que se puedan identificar mejor las zonas que presentan mayor riesgo, especialmente por lluvias torrenciales y arrastre de sedimentos, 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.

Dentro del plan PIMA Adapta 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.

En el caso concreto del indicador de la calidad de la vegetación de ribera, indicador en el que se ha basado la valoración de la vulnerabilidad de las variables estudiadas hasta el momento, por el momento se ha empleado el QBR, pero ha de tenerse en cuenta que es un indicador en desuso de acuerdo con el protocolo de caracterización hidromorfológica, por lo que se deberá sustituir por el nuevo indicador a medida que se disponga de datos suficientes y fiables, de manera que se asegure la coherencia de los trabajos en el ámbito de la planificación y las medidas de mejora propuesta.

# 9. REFERENCIAS


- 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.

- CHS, 2018. *Plan Especial de Sequía de la Demarcación Hidrográfica del Segura*. Confederación Hidrográfica del Segura. Mayo de 2018.

- CWAMP, 2010. Folleto informativo sobre oxígeno disuelto. Valores de oxígeno disuelto para la supervivencia de diversas especies acuáticas. California Water Boards. Marzo de 2010.

- 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.*

- *CARM, 2015. Cambio climático en la Región de Murcia. Evaluación basada en indicadores. Trabajos del Observatorio Regional del Cambio Climático.*

- *CARM, 2020. Estrategia de mitigación y adaptación al cambio climático.*

- *Evaluación del índice de vulnerabilidad costera en la Manga del Mar Menor (Murcia, España) https://revistas.ucm.es/index.php/AGUC/article/view/72979*

- *CPTOPM, 2018.* Plan de Acción Territorial de la Infraestructura Verde del Litoral. Conselleria de política territorial, obras públicas y movilidad. 2018. *http://politicaterritorial.gva.es/es/web/planificacion-territorial-e-infraestructura-verde/plan-de-accion-territorial-de-la-infraestructura-verde-del-litoral*

- *IPCC, 2019. Calentamiento global de 1,5ºC. 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.*
- J. Zambrano, 2021. *Modelización del hábitat potencial actual y futuro de la caña (Arundo donax L.) en las cuencas hidrográficas del Júcar y del Segura*
- 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.
- 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, 2019. *Ley de Cambio Climático y Transición Energética*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Versión aprobada por el Consejo de Ministros, de mayo de 2021.
- 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.
- Junta de Andalucía (2010). Plan Andaluz de Acción por el Clima. Programa de adaptación

# ANEXO 1 del ANEJO 13

# MAPAS DE IMPACTO POTENCIAL

**DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA**

## Mapas de impacto potencial sobre la pérdida de hábitat para especies de aguas frías

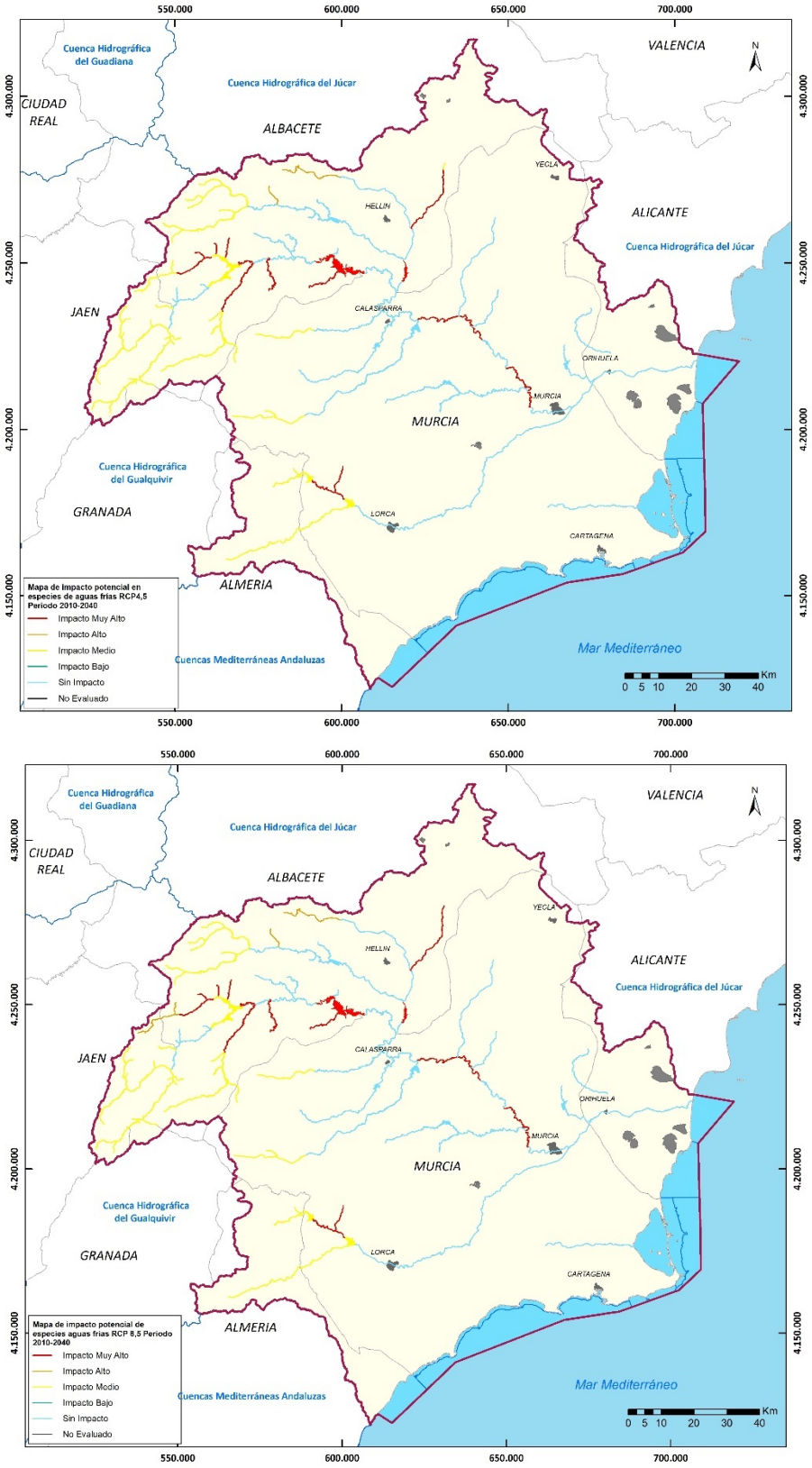



**Figura 32. Mapas del impacto potencial en las especies de aguas frías a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)**

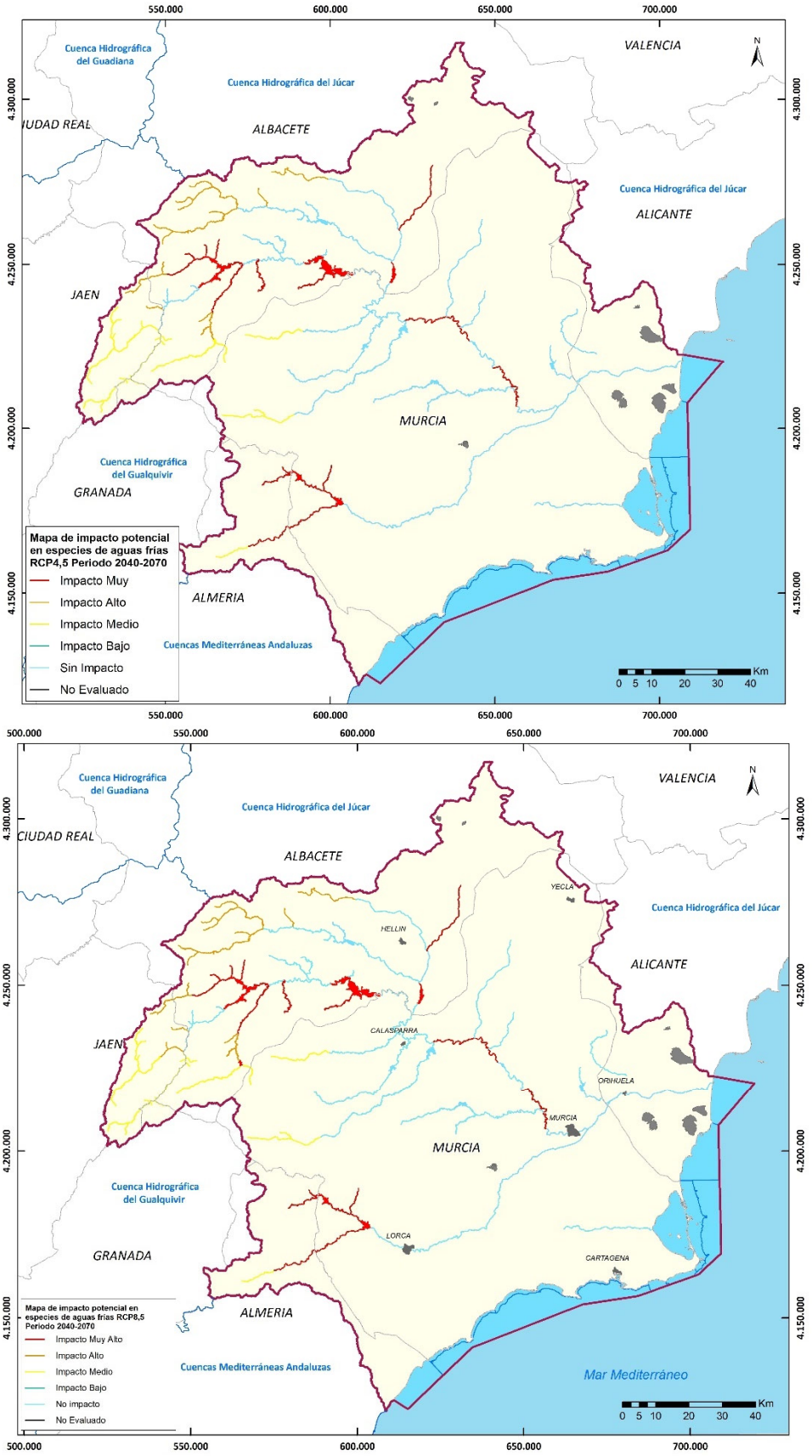



**Figura 33. Mapas del impacto potencial en las especies de aguas frías a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)**

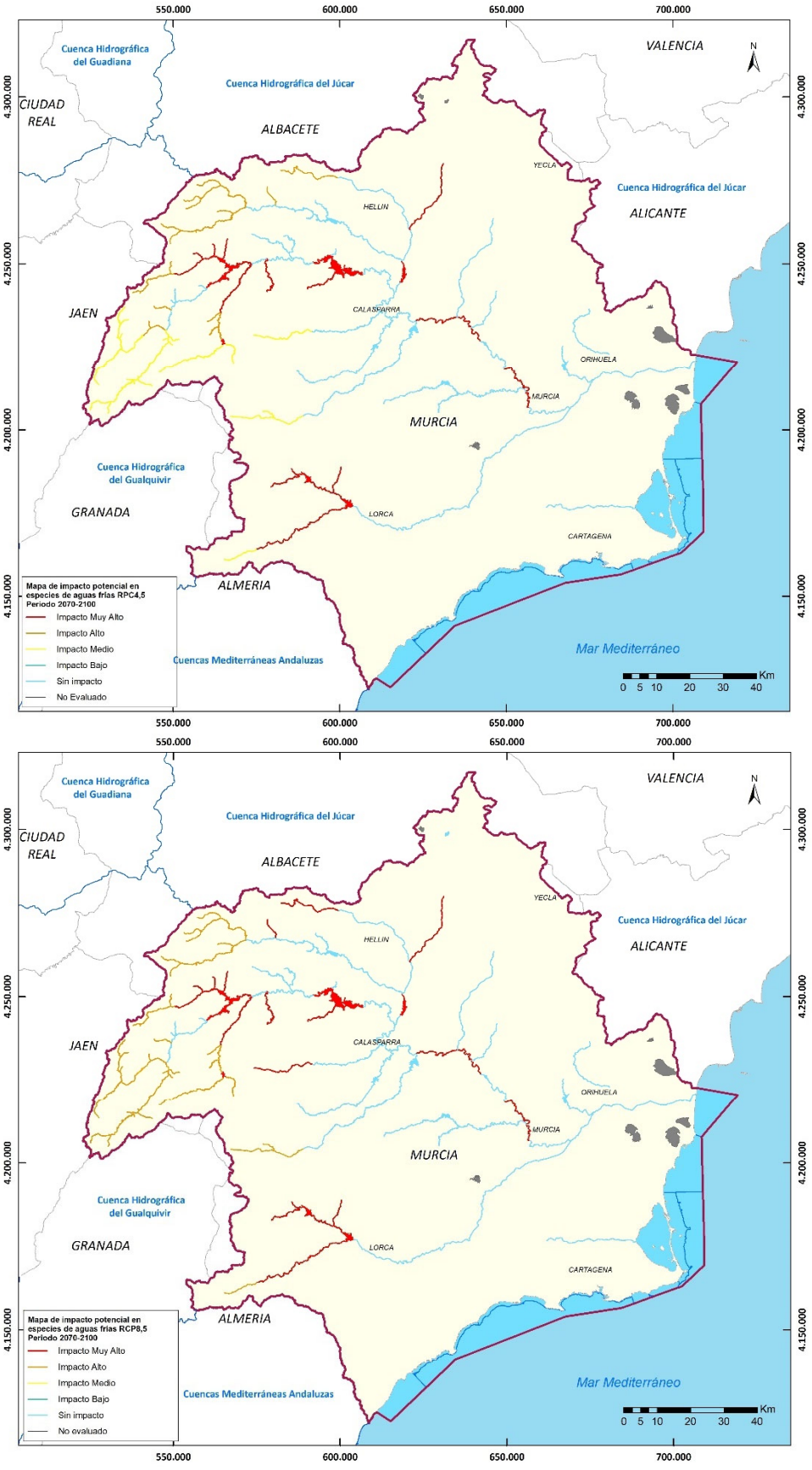



**Figura 34. Mapas del impacto potencial en las especies de aguas frías a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)**

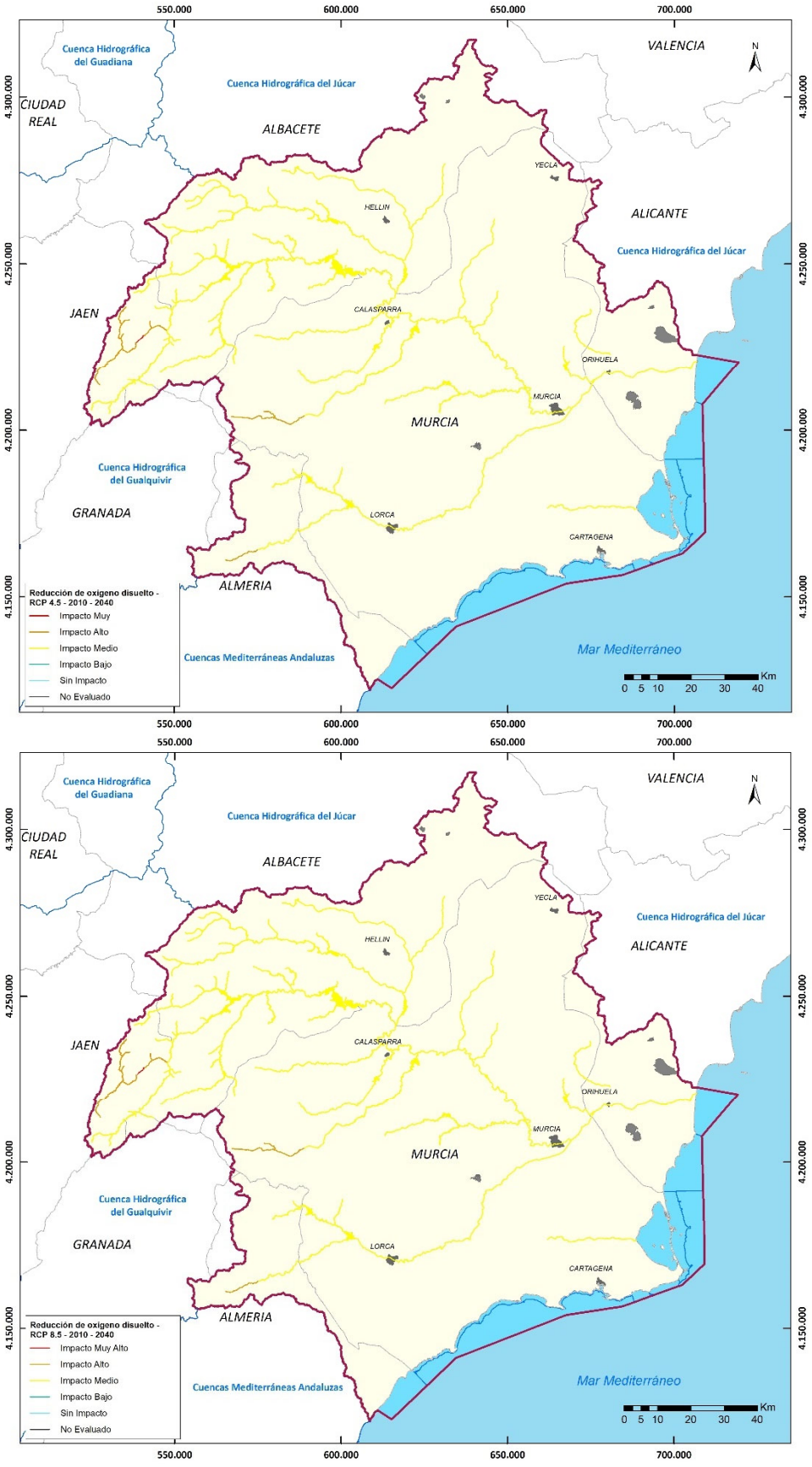



**Figura 35. Mapas del impacto potencial en el oxígeno disuelto a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)**

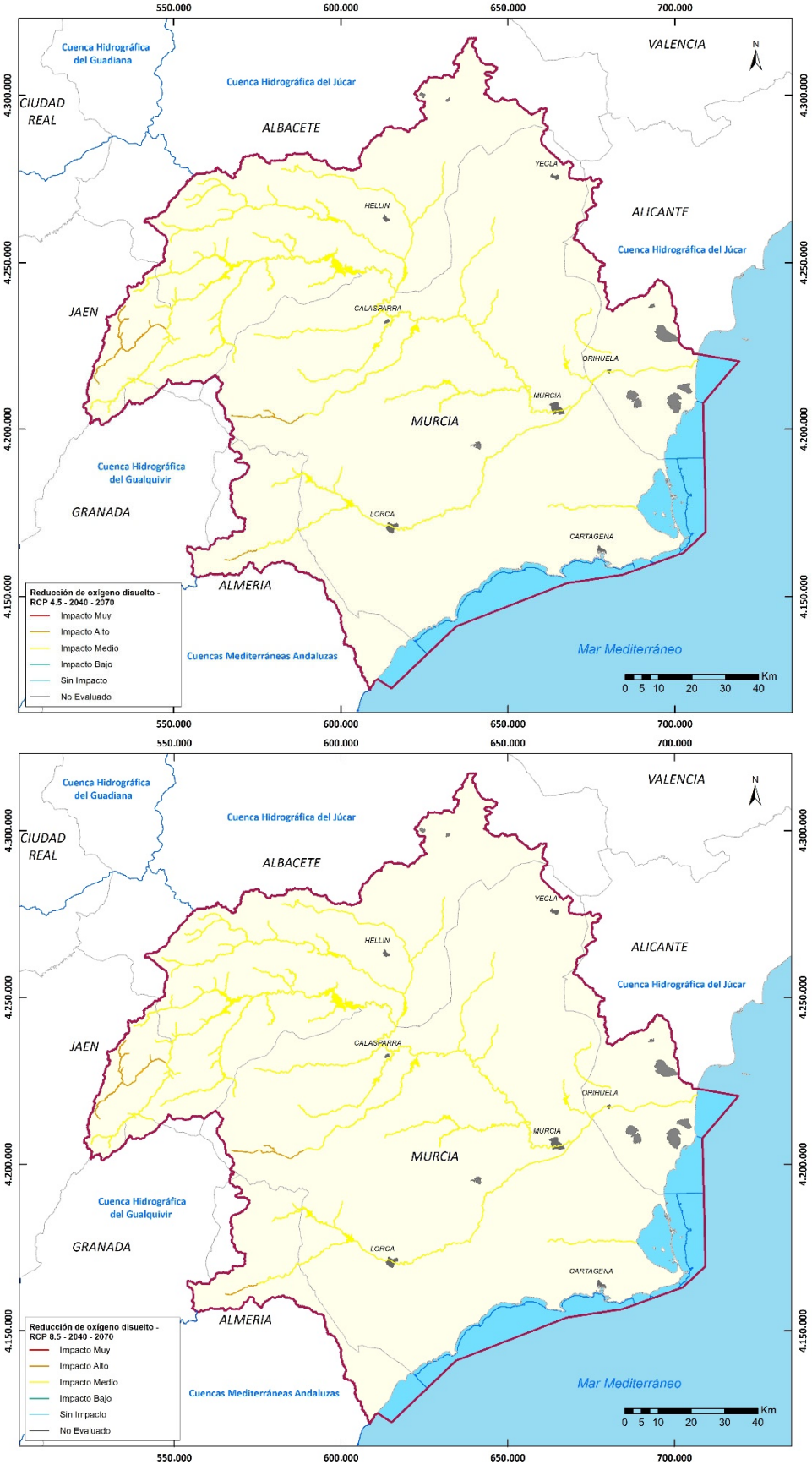



**Figura 36. Mapas del impacto potencial en el oxígeno disuelto a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)**

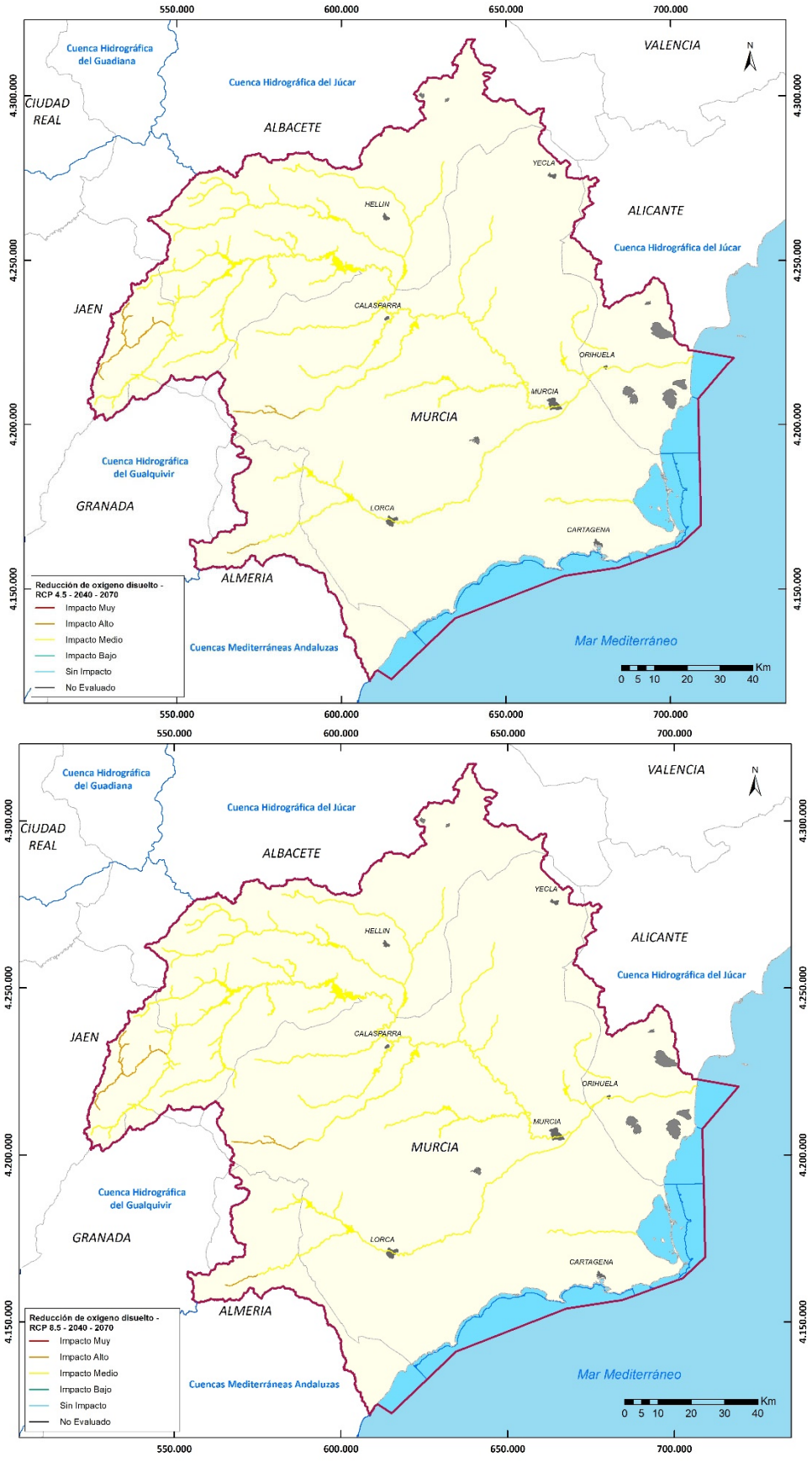



**Figura 37. Mapas del impacto potencial en el oxígeno disuelto a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)**

## Mapas de impacto potencial en los macroinvertebrados

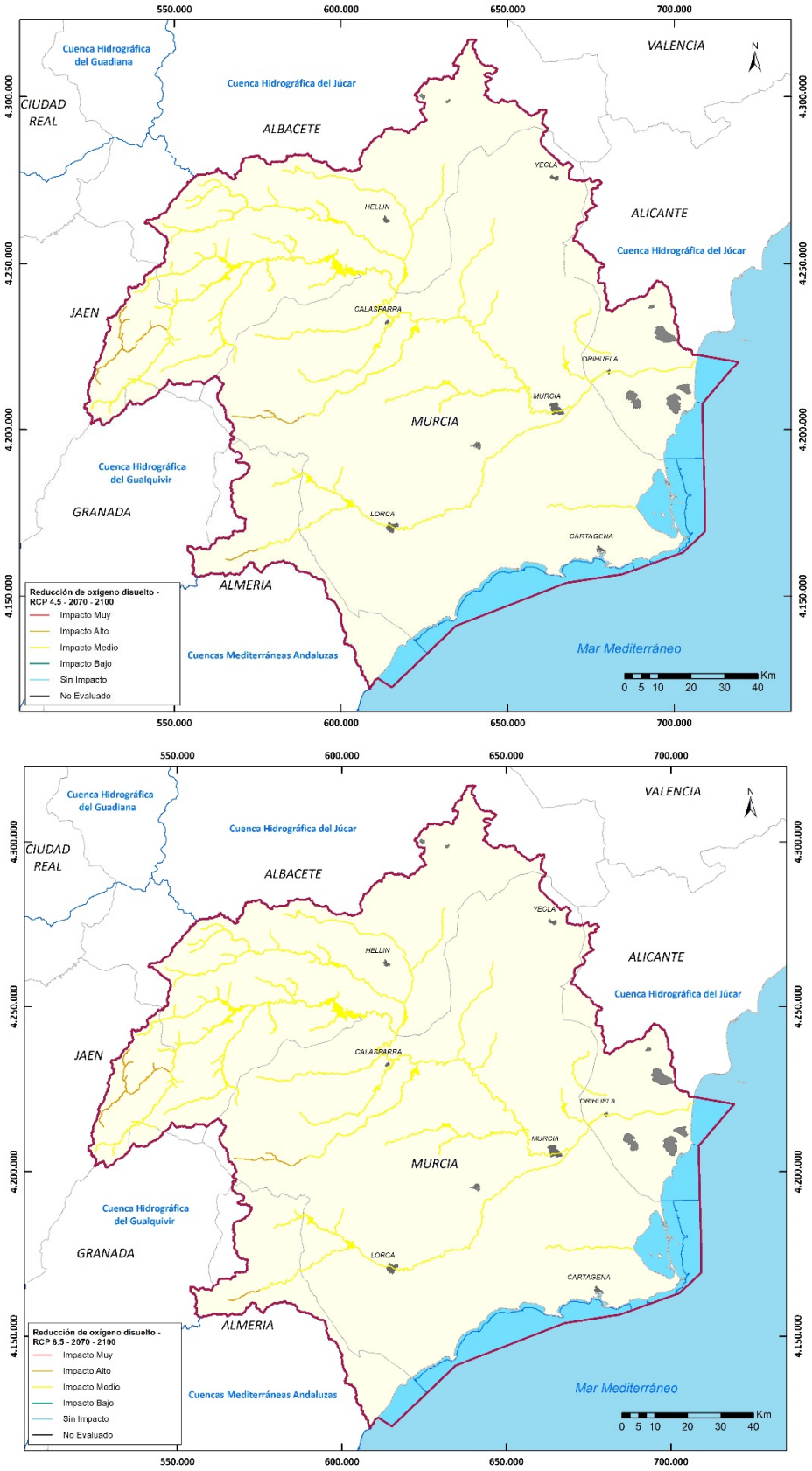



**Figura 38. Mapas del impacto potencial en los macroinvertebrados a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)**

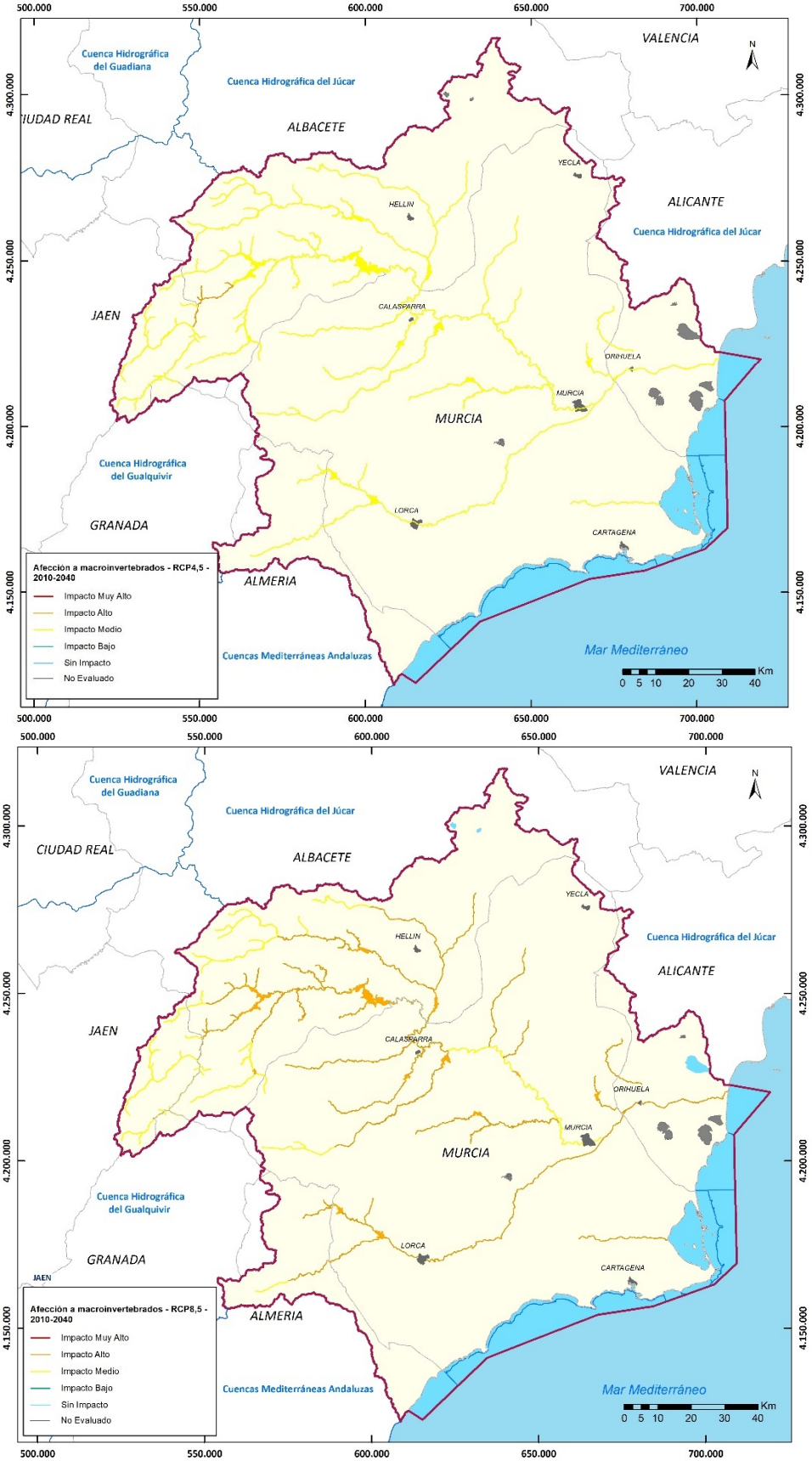



**Figura 39. Mapas del impacto potencial en los macroinvertebrados a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)**

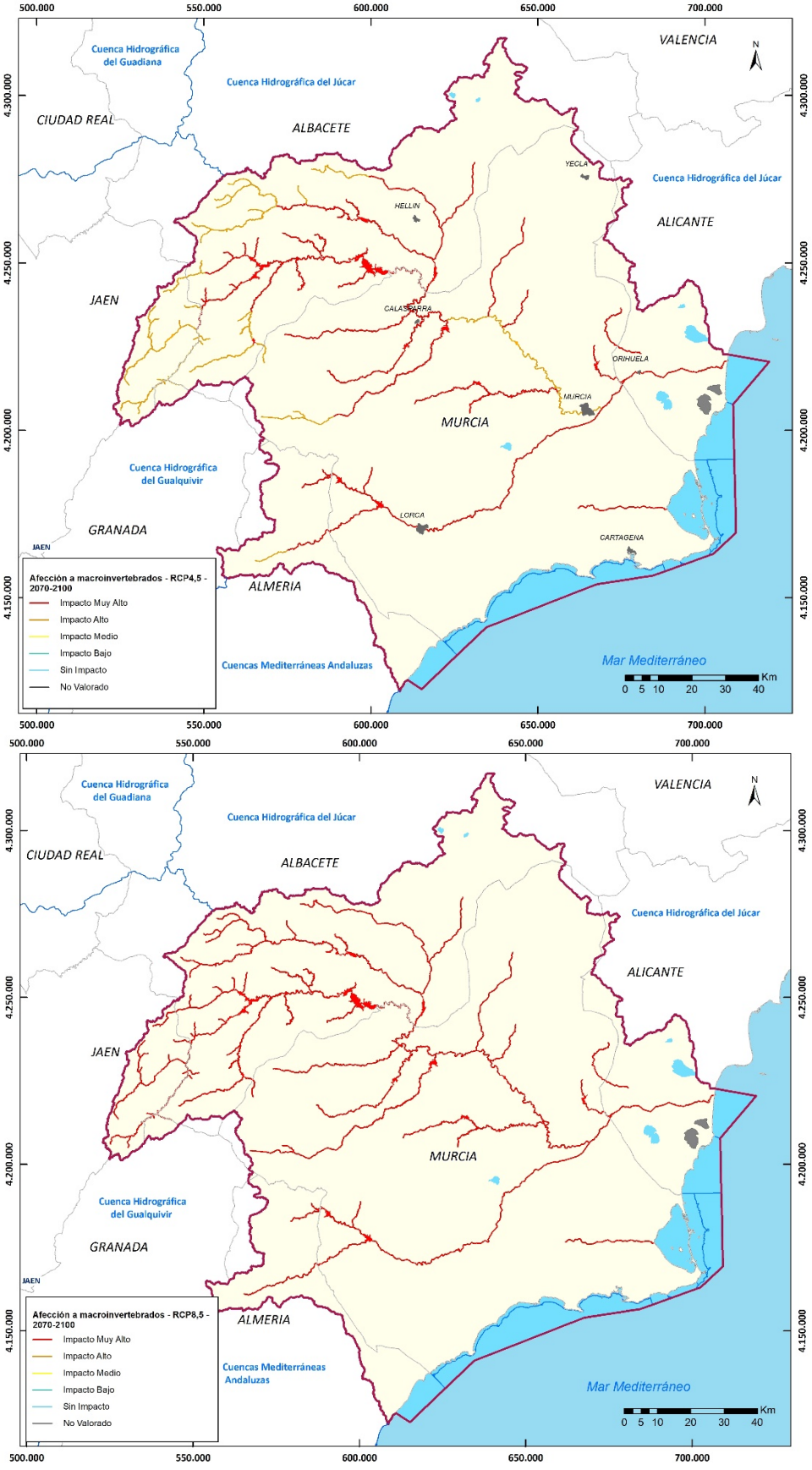



**Figura 40. Mapas del impacto potencial en los macroinvertebrados a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)**

# ANEXO 2 del ANEJO 13

# MAPAS DE RIESGO PARA LOS ESCENARIOS DE EMISIONES RCP4.5 Y RCP8.5 EN LOS TRES PERIODOS DE IMPACTO CONSIDERADOS

**DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SEGURA**

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

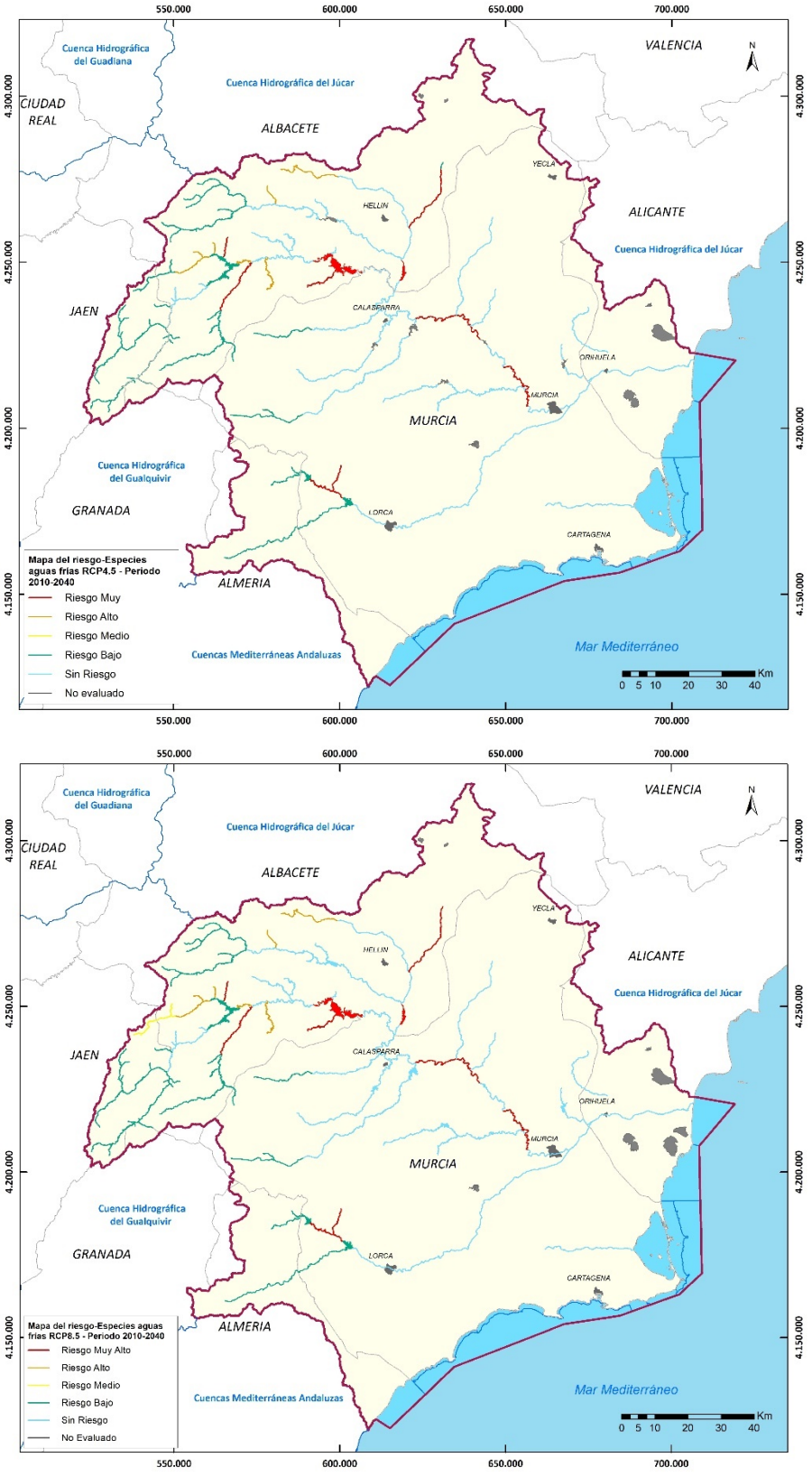



**Figura 41. Mapas del riesgo sobre las especies de aguas frías a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)**

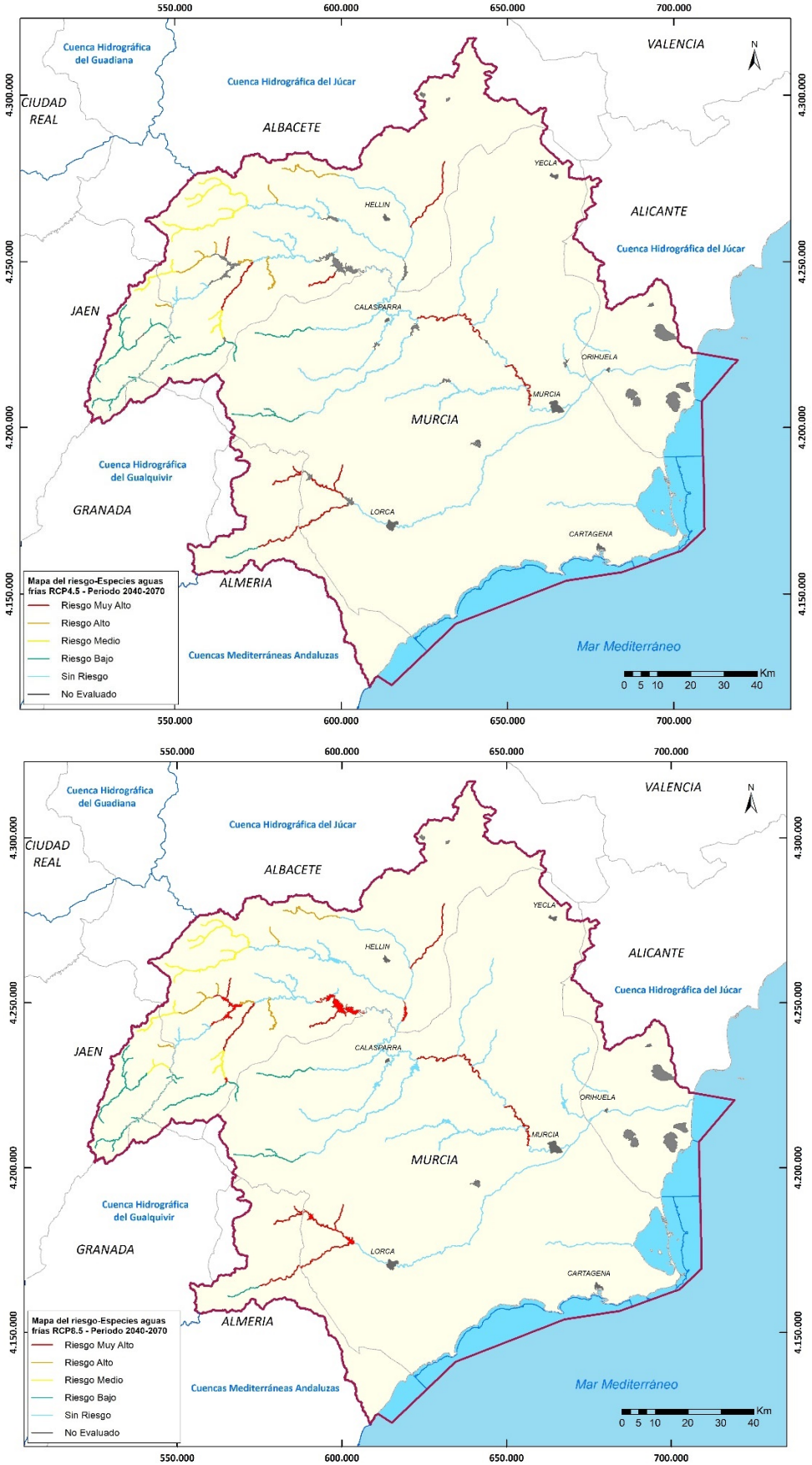



**Figura 42. Mapas del riesgo sobre las especies de aguas frías a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)**

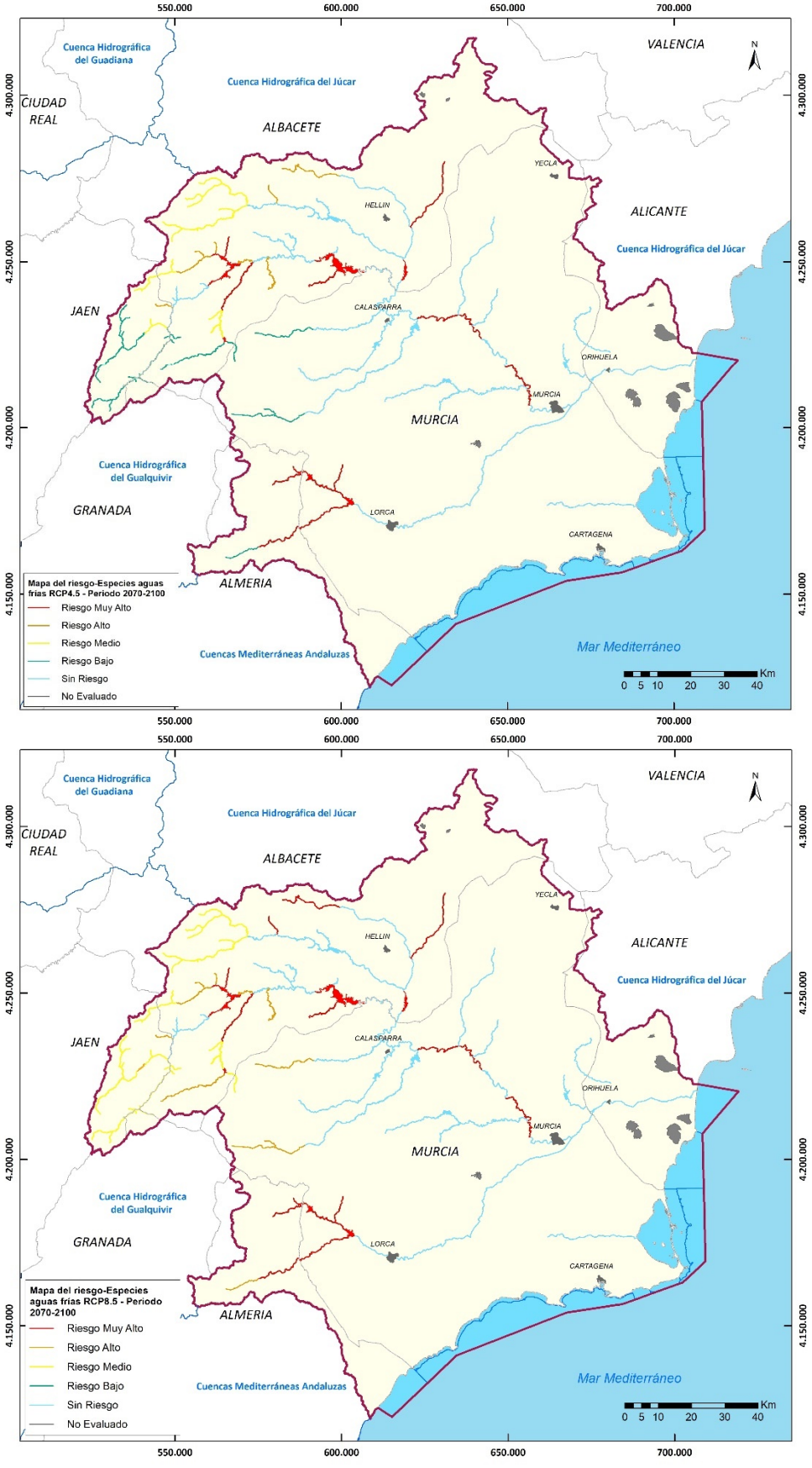



**Figura 43. Mapas del riesgo sobre las especies de aguas frías a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)**

## Mapas de riesgo de reducción de oxígeno disuelto

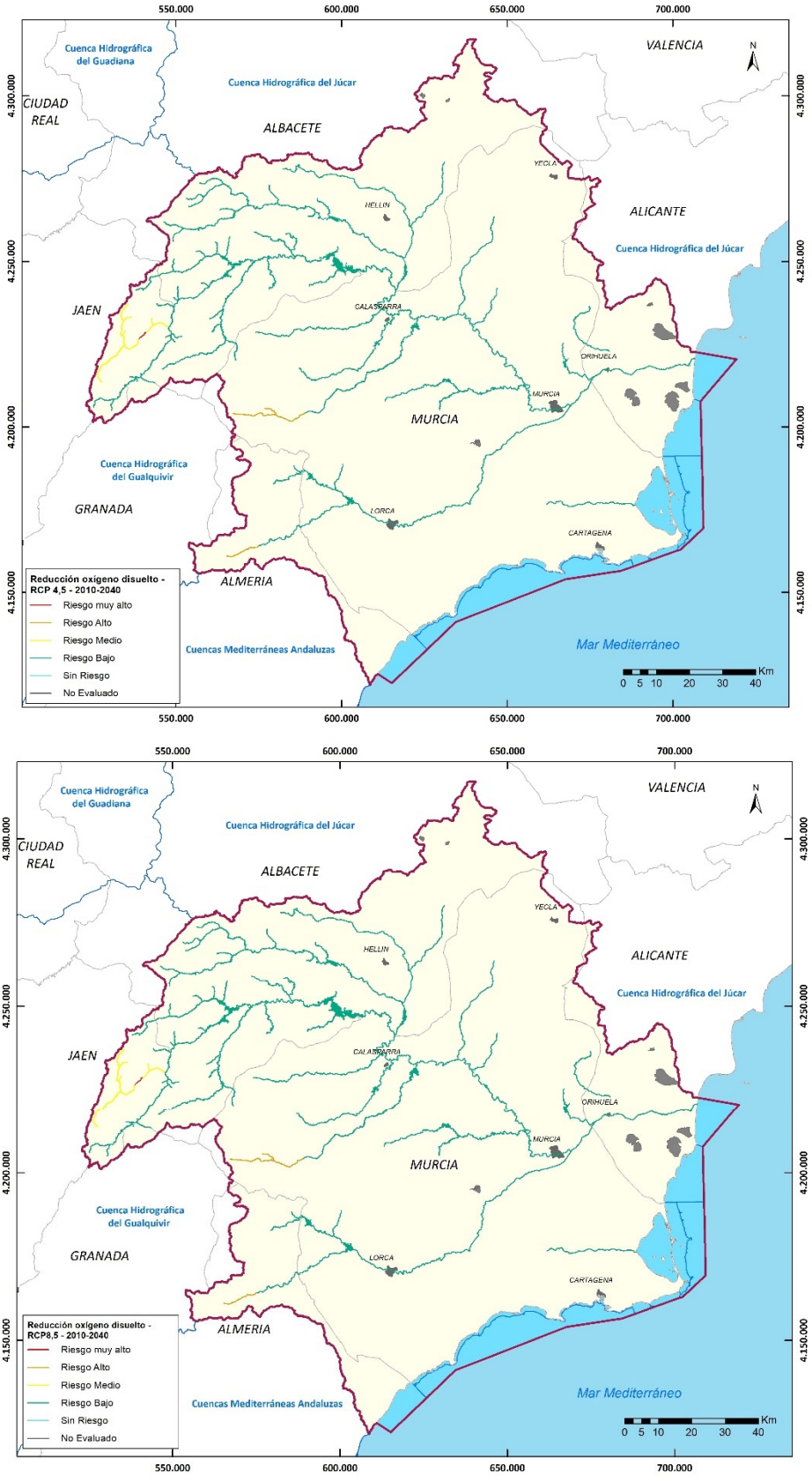



**Figura 44. Mapas del riesgo de reducción del oxígeno disuelto a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)**

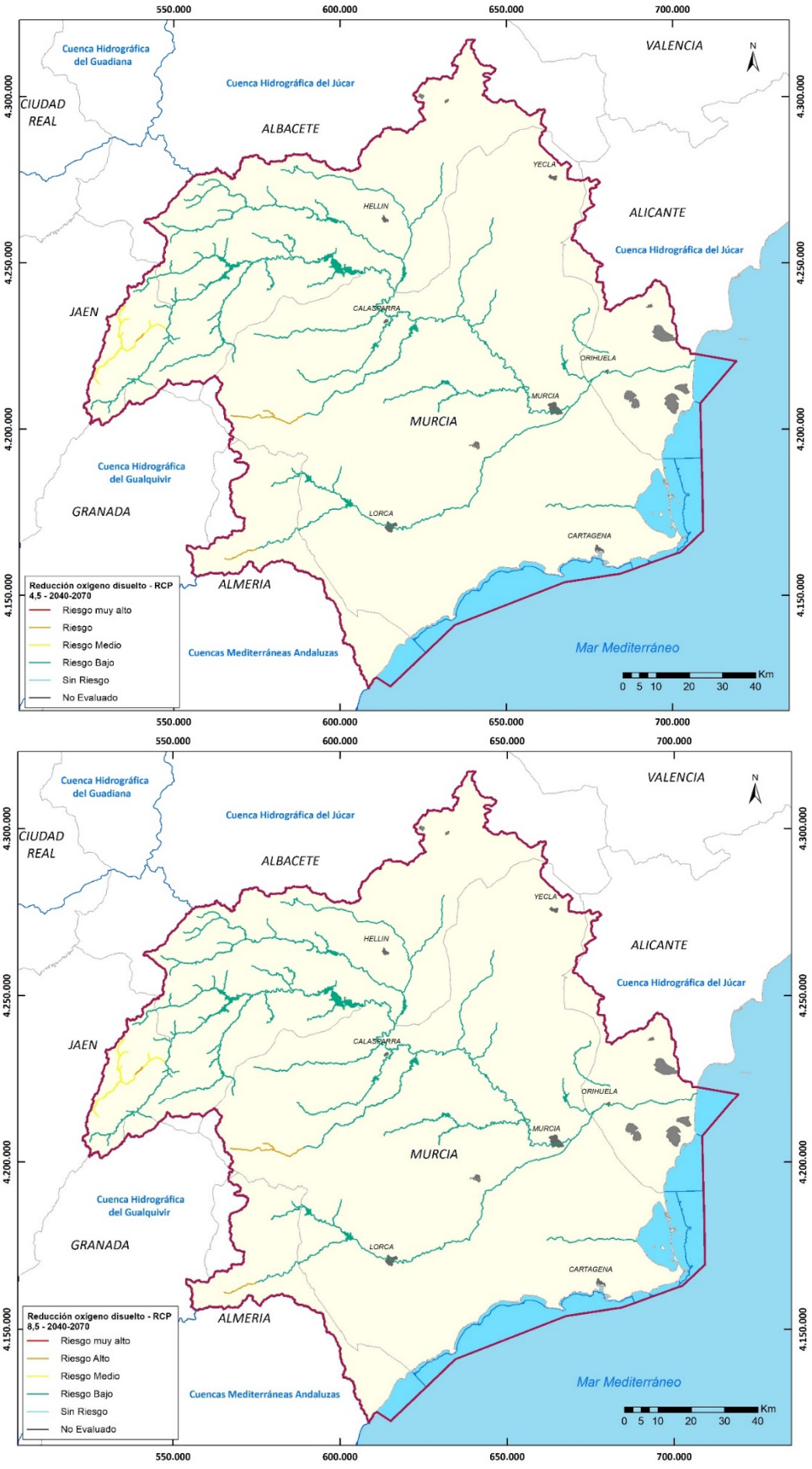



**Figura 45. Mapas del riesgo de reducción del oxígeno disuelto a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)**

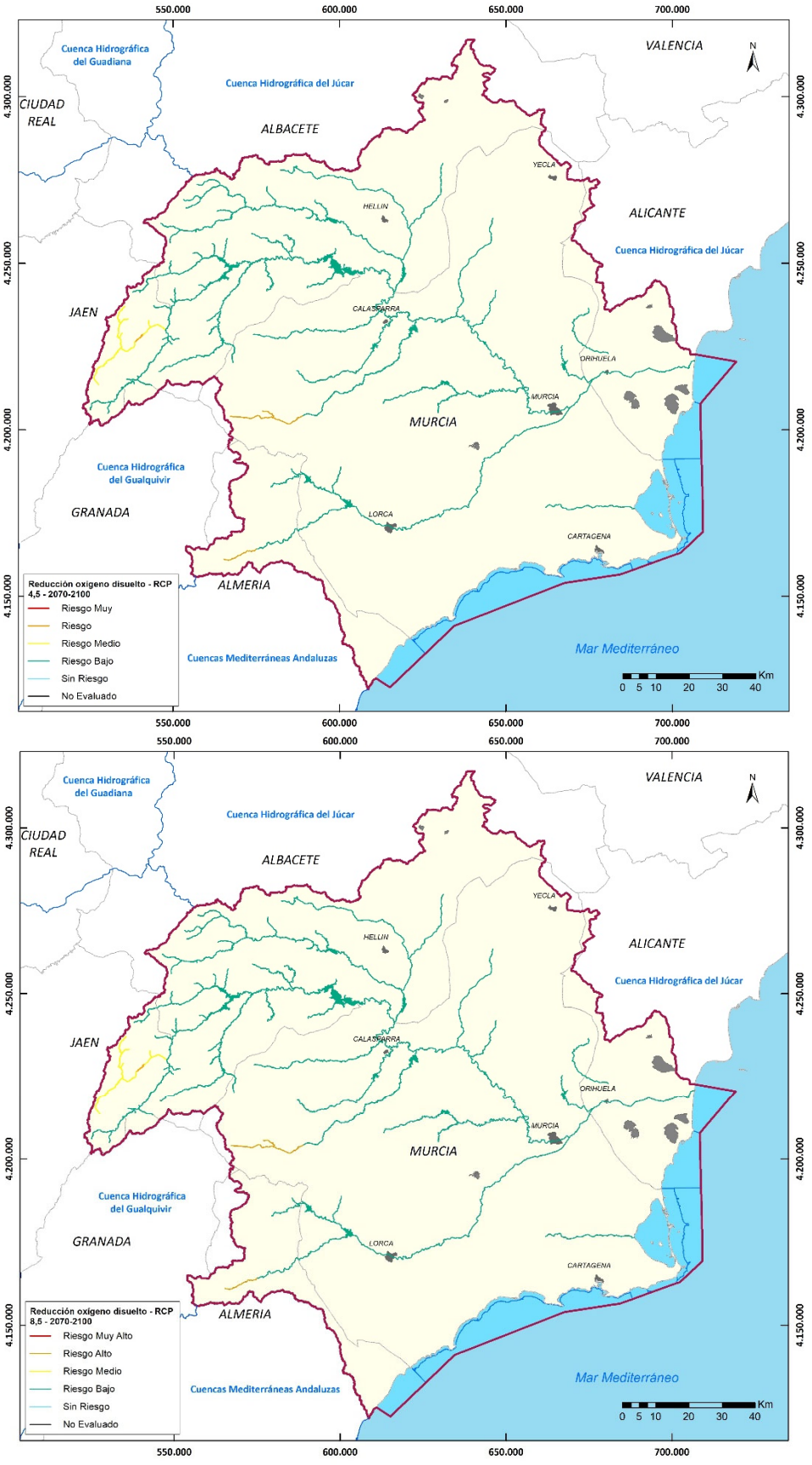



**Figura 46. Mapas del riesgo de reducción del oxígeno disuelto a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)**

## Mapas de riesgo de afección en los macroinvertebrados

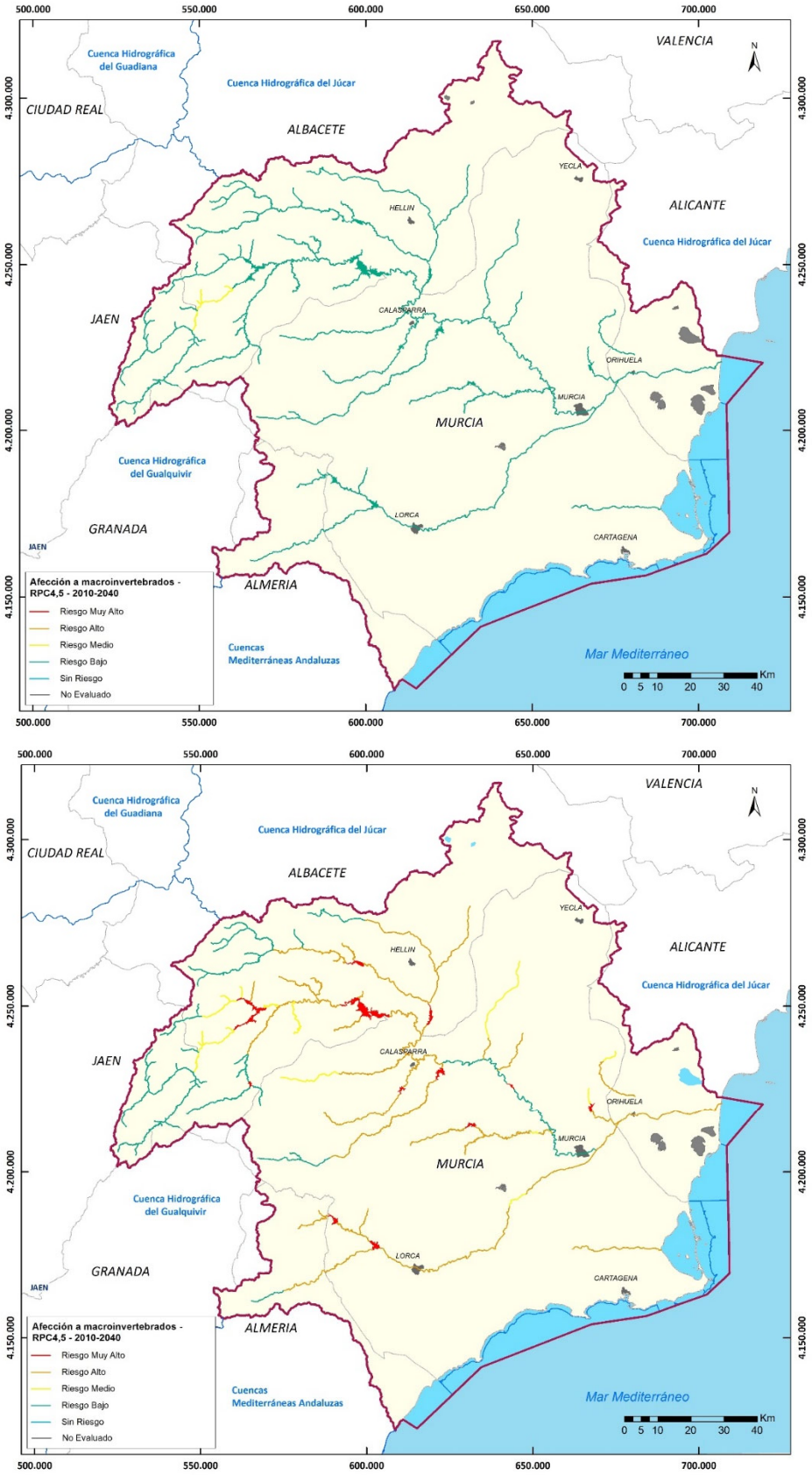



**Figura 47. Mapas del riesgo de afección en los macroinvertebrados a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)**

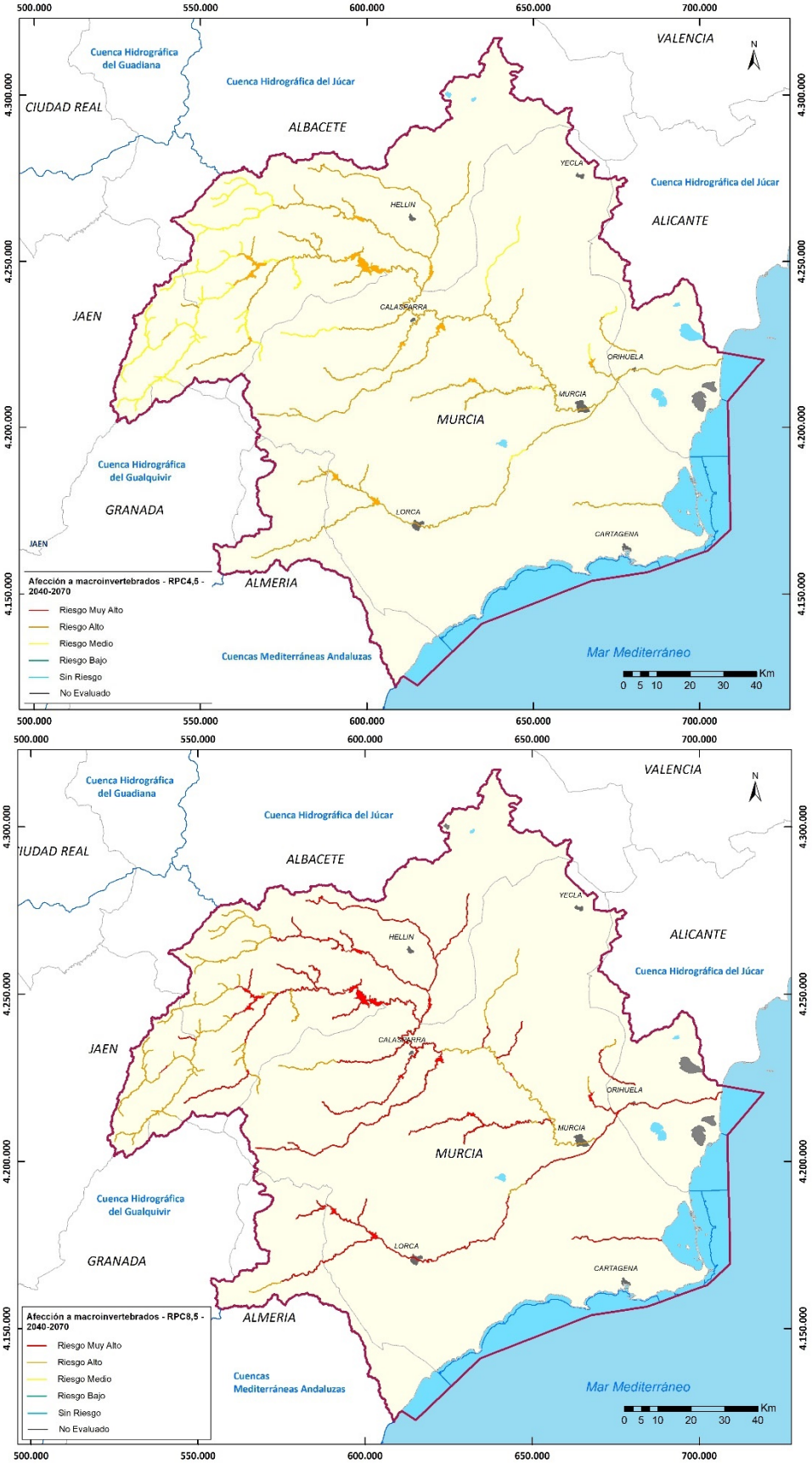



**Figura 48. Mapas del riesgo de afección en los macroinvertebrados a medio y plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)**

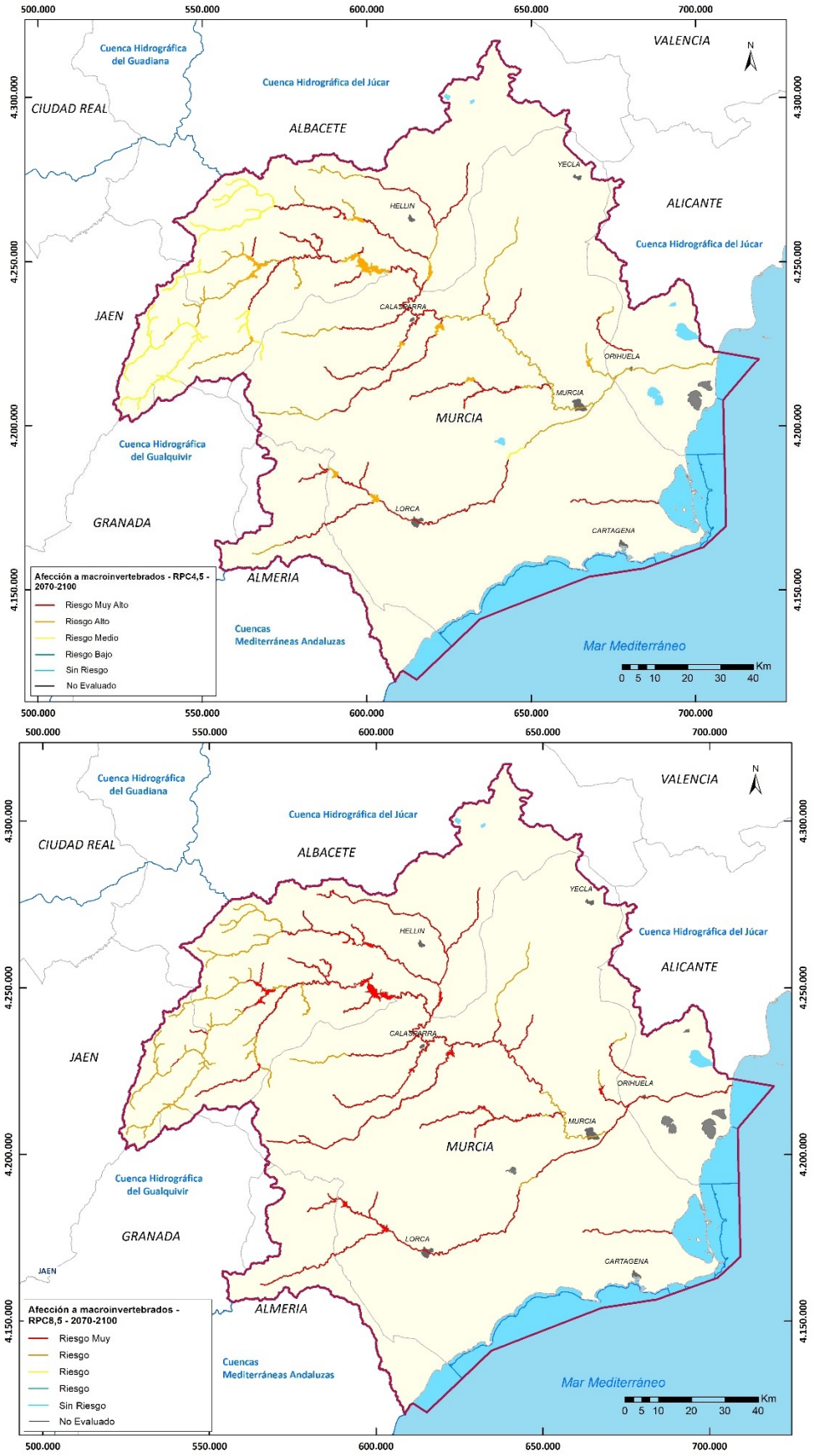



**Figura 49. Mapas del riesgo de afección en los macroinvertebrados a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)**