PLAN HIDROLÓGICO DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR

MEMORIA - ANEJO 14

RIESGOS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO Y ADAPTACIÓN

Ciclo de planificación hidrológica 2022 - 2027

Confederación Hidrográfica del Júcar

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL JÚCAR, O. A.

Junio de 2021

ÍNDICE

1. Introducción 1
2. Base normativa 4
2.1. Reglamento de Planificación Hidrológica 4
2.2. Instrucción de Planificación Hidrológica 5
2.3. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 6
2.4. Ley de cambio climático y transición energética 8
3. Afección a los recursos hídricos y a los fenómenos extremos 11
3.1. Afección a los recursos hídricos 11
3.2. Impactos en los fenómenos extremos 25
3.2.1. Impacto en el régimen de sequías 25
3.2.2. Impacto en el régimen de inundaciones 30
4. Plan de adaptación al cambio climático 38
5. Avances en los modelos de riesgo para los ecosistemas 43
5.1. Pérdida de hábitat para especies de aguas frías 43
5.2. Riesgo de reducción del oxígeno disuelto en el agua 49
5.3. Riesgo de afección a macroinvertebrados 54
5.4. Otros estudios de afección del cambio climático a los ecosistemas 58
5.4.1. Tendencia a la expansión de especies invasoras 59
5.4.2. Riesgo de desertización asociado al cambio climático 62
6. Afección del cambio climático a la costa 65
7. Afección a los usos 72
8. Conclusiones 75
9. Referencias 79
Apéndice 1. Mapas de impacto potencial para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 en los tres periodos de impacto considerados 85
Apéndice 2. Mapas de riesgo para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 en los tres periodos de impacto considerados 93

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 CHJ 13

Tabla 2. Porcentajes de cambio de la escorrentía para cada UTS y trimestre 16

Tabla 3. Variación porcentual de las aportaciones en los puntos significativos de la red fluvial 18

Tabla 4. Porcentajes de cambio en la recarga por masa de agua subterránea y trimestre para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 20

Tabla 5. Recurso renovable en situación de cambio climático por masa de agua subterránea y variación con respecto al recurso en situación actual 24

Tabla 6. Impactos sobre los ecosistemas y sobre los usos a tener en cuenta en el PACC 41

Tabla 7. Combinación de los mapas de impacto y vulnerabilidad para la definición del riesgo 47

Tabla 8. Grado de Impacto debido a la afección en los macroinvertebrados 56

Tabla 9. Subida media del nivel del mar según los distintos escenarios estudiados de afección a la costa 68

Tabla 10. Afección del cambio climático sobre las demandas y la producción hidroeléctrica 72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de las emisiones de CO_2 según las RCP 12

Figura 2. Evolución de la variación de la precipitación en la CHJ como promedio de las 6 proyecciones climáticas 13

Figura 3. Variación porcentual de la ETP en la CHJ como promedio de las 6 proyecciones climáticas 14

Figura 4. Variación porcentual en la red fluvial por efecto del cambio climático en el primer trimestre del año natural según las RCP4.5 y 8.5 y puntos significativos de aportación para los modelos de gestión 17

Figura 5. Variación en la recarga y en el recurso disponible de las masas de agua subterráneas por efecto del cambio climático 25

Figura 6. Concepto y definición de sequía (CEH, 2017) 26

Figura 7. Variación en el periodo de retorno de las sequías de dos años según las proyecciones del escenario RCP4.5 27

Figura 8. Variación en el periodo de retorno de las sequías de cinco años según las proyecciones del escenario RCP4.5 27

Figura 9. Variación en el periodo de retorno de las sequías de dos años según las proyecciones del escenario RCP8.5 28

Figura 10. Variación en el periodo de retorno de las sequías de cinco años según las proyecciones del escenario RCP8.5 28

Figura 11. Valoración cualitativa total del efecto del cambio climático en el riesgo de inundación para T10 en un escenario RCP 4.5 a nivel de subcuencas en la DHJ 31

Figura 12. Valoración cualitativa total del efecto del cambio climático en el riesgo de inundación para T100 en un escenario RCP 4.5 a nivel de subcuencas en la DHJ 32

Figura 13. Valoración cualitativa total del efecto del cambio climático en el riesgo de inundación para T500 en un escenario RCP 4.5 a nivel de subcuencas en la DHJ 32

Figura 14. Valoración cualitativa total del efecto del cambio climático en el riesgo de inundación para T10 en un escenario RCP 8.5 a nivel de subcuencas en la DHJ 33

Figura 15. Valoración cualitativa total del efecto del cambio climático en el riesgo de inundación para T100 en un escenario RCP 8.5 a nivel de subcuencas en la DHJ 33

Figura 16. Valoración cualitativa total del efecto del cambio climático en el riesgo de inundación para T500 en un escenario RCP 8.5 a nivel de subcuencas en la DHJ 34

Figura 17. Cambio en las precipitaciones extremas respecto al PC (1975-2005) en las diferentes CCHH (MTE, 2018) 35

Figura 18. Vista panorámica del parque La Marjal de Alicante y simulación de su funcionamiento como vaso de retención de pluviales (Fuente: Fundación Aquae, 2018 y Ayuntamiento de Alicante[2]) 36

Figura 19. Marco conceptual para la evaluación de riesgos asociados al cambio climático (IPCC, 2014) 39

Figura 20. Metodología propuesta para la definición del riesgo asociado al cambio climático 41

Figura 21. 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). 44

Figura 22. Mapa de Exposición potencial, elaborado en base al límite termal de 21.8 ºC (izquierda) y Adaptación de la Presencia de la Trucha Común a las masas de agua superficiales (Atlas y Libro Rojo de los Peces, MMA, 2001) (derecha), en el ámbito de la demarcación. 45

Figura 23. Mapas del impacto potencial a corto plazo (PI1) según ambas sendas de emisiones (RCP4.5 y RCP8.5) 46

Figura 24. Mapa de vulnerabilidad 47

Figura 25. Mapas del riesgo a corto plazo (PI1) según ambas sendas de emisiones (RCP4.5 y RCP8.5) 48

Figura 26. Distribución de la concentración de oxígeno disuelto en agua calculada, en función de la temperatura y la altitud, y observada (mg/l) 50

Figura 27. 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 ... 50

Figura 28. Mapa del impacto potencial a corto plazo (PI1) sobre el oxígeno disuelto (RCP4.5 y RCP8.5) 51

Figura 29. Mapa del riesgo a corto plazo (PI1) debido a la reducción del oxígeno disuelto (RCP4.5 y RCP8.5) 52

Figura 30. Estado actual del indicador O_2 53

Figura 31. Metodología de simulación de la calidad del agua en situación futura afectada por el CC 54

Figura 32. Porcentaje de individuos por familia que experimentan un cambio como resultado de incrementos en la temperatura del agua (método del Óptimo Robusto) (CEH, 2012) 55

Figura 33. Mapa de peligro: Incremento esperado de la temperatura del agua a corto plazo (PI1) para el escenario de emisiones CP4.5 56

Figura 34. Mapa del impacto potencial a corto plazo (PI1) sobre los macroinvertebrados según la senda de emisiones relativamente optimista (RCP4.5) y la más pesimista (RCP8.5)..... 57

Figura 35. Mapa del riesgo a corto plazo (PI1) para los macroinvertebrados según la senda de emisiones relativamente optimista (RCP4.5) y más pesimista (RCP8.5). 58

Figura 36. Probabilidad de pesencia potencial y presencia actual (en negro) en los ámbitos de Júcar y Segura (FIC-UPM, 2020) 60

Figura 37. Mapas de presencia potencial futura en España en los escenarios de cambio climático modelizados (Zambrano, J., 2021)..... 61

Figura 38. 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). 63

Figura 39. Superficie inundada en humedales según los escenarios climáticos estudiados 68

Figura 40. Estimación de la superficie en riesgo de situarse bajo el nivel del mar en el P.N. de l'Albufera bajo diversas hipótesis de cambio climático 69

Figura 41. Mapas del impacto potencial en las especies de aguas frías a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5) 85

Figura 42. Mapas del impacto potencial en las especies de aguas frías a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5) 85

Figura 43. Mapas del impacto potencial en las especies de aguas frías a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5) 86

Figura 44. Mapas del impacto potencial en el oxígeno disuelto a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5) 87

Figura 45. Mapas del impacto potencial en el oxígeno disuelto a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5) 87

Figura 46. Mapas del impacto potencial en el oxígeno disuelto a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5) 88

Figura 47. Mapas del impacto potencial en los macroinvertebrados a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)..... 89

Figura 48. Mapas del impacto potencial en los macroinvertebrados a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5) 89

Figura 49. Mapas del impacto potencial en los macroinvertebrados a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)..... 90

Figura 50. Mapas del riesgo sobre las especies de aguas frías a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5) 93

Figura 51. Mapas del riesgo sobre las especies de aguas frías a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5) 94

Figura 52. Mapas del riesgo sobre las especies de aguas frías a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5) 94

Figura 53. Mapas del riesgo de reducción del oxígeno disuelto a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5) 95

Figura 54. Mapas del riesgo de reducción del oxígeno disuelto a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5) 95

Figura 55. Mapas del riesgo de reducción del oxígeno disuelto a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5) 96

Figura 56. Mapas del riesgo de afección en los macroinvertebrados a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)..... 97

Figura 57. Mapas del riesgo de afección en los macroinvertebrados a medio y plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5) 97

Figura 58. Mapas del riesgo de afección en los macroinvertebrados a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)..... 98

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

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

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

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

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

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 DHJ por dos motivos principales. Por un lado, el balance actual entre recursos disponibles y demandas ya es ajustado, considerando además los requerimientos ambientales, que son una restricción al sistema y que aún están en proceso de implantación y mejora 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 sistemas económicos

- Conclusiones

El capítulo de normativa describe, no solo los artículos relevantes en relación al 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 al 5º informe del IPCC (IPCC, 2014) y las conclusiones del estudio del CEDEX (CEH, 2017) sobre el efecto de dichas proyecciones en los recursos hídricos, junto con la evolución previsible de los fenómenos extremos.

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 plan.

Posteriormente se presenta el enfoque empleado para la elaboración del futuro plan de adaptación al cambio climático y sus avances preliminares en 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 anejo 6.

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

2. Base normativa

El marco normativo en relación al 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 en relación a la posible reducción de recursos únicamente, y hubo que esperar a la reciente Ley 7/2021, de 20 de mayo, 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, 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 a 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 en 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 al seguimiento de los caudales ecológicos que se reproduce a continuación:

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

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

a) *Mejora del conocimiento sobre el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y de las especies objetivas identificadas.*

b) *Mejora del conocimiento de la relación de los caudales ecológicos con el mantenimiento y estructura de los ecosistemas terrestres asociados.*

c) *Previsiones del efecto del cambio climático sobre los ecosistemas acuáticos.*

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

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

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

2.3. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático

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

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

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

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

1. Ampliación y actualización del conocimiento sobre los impactos del cambio climático en la gestión del agua y los recursos hídricos. Responsables: OECC y DGA en colaboración con AEMET.

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

Una de las herramientas operativas desarrolladas en el marco del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático es el Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático, PIMA Adapta[1]. 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.

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

2.4. Ley de cambio climático y transición energética

En paralelo al plan de adaptación anteriormente expuesto se ha aprobado recientemente la nueva Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética (LCCTE). Esta Ley, cuyo objetivo final es la descarbonización de la economía española, su transición a un modelo circular mediante el uso racional y solidario de los recursos y la promoción de un modelo de desarrollo sostenible adaptado a los impactos previsibles del cambio climático, hace expresa referencia a la planificación hidrológica, concretamente su artículo 19, dentro del Título V. Dicho título V está enfocado a las medidas de adaptación para hacer frente al cambio climático, con el objetivo de reducir la exposición y la vulnerabilidad de los sistemas económicos, sociales y ambientales, mejorando su resiliencia.

La ley establece además que el PNACC es el instrumento básico para promover la acción coordinada y coherente frente a los efectos del cambio climático, como hemos visto en el apartado anterior, pero a su vez, contempla la integración de los riesgos derivados del cambio climático en la planificación y gestión de las diferentes políticas sectoriales, en concreto, en la planificación hidrológica. A continuación, se reproduce integro el artículo 19 que por su particular interés:

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 de la entrada en vigor de esta Ley.

3. La planificación y la gestión, en coherencia con las demás políticas, deberá 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 citados, la planificación y gestión hidrológica deberá:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

En el presente anejo se abordará, en la medida de lo posible, los avances en estas líneas de trabajo en el ámbito de la CHJ, en buena medida enmarcadas dentro del Plan de Adaptación en desarrollo. En futuras actualizaciones y en el propio plan de adaptación se tendrán en cuenta las conclusiones y recomendaciones de la Estrategia del Agua para la Transición Ecológica, una vez se elabore y apruebe. Cabe destacar que en su contenido jugará un papel muy importante la restauración ambiental como herramienta fundamental para la lucha contra el cambio climático por su importante contribución a la mejora de la resiliencia de los sistemas naturales.

3. Afección a los recursos hídricos y a los fenómenos extremos

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 al impacto del cambio climático sobre las variables hidrológicas para el conjunto de España: *"Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y Sequías en España (2015-2017)"* (CEH,2017).

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

3.1. Afección a los recursos hídricos

El estudio referenciado 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/m^2. 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.

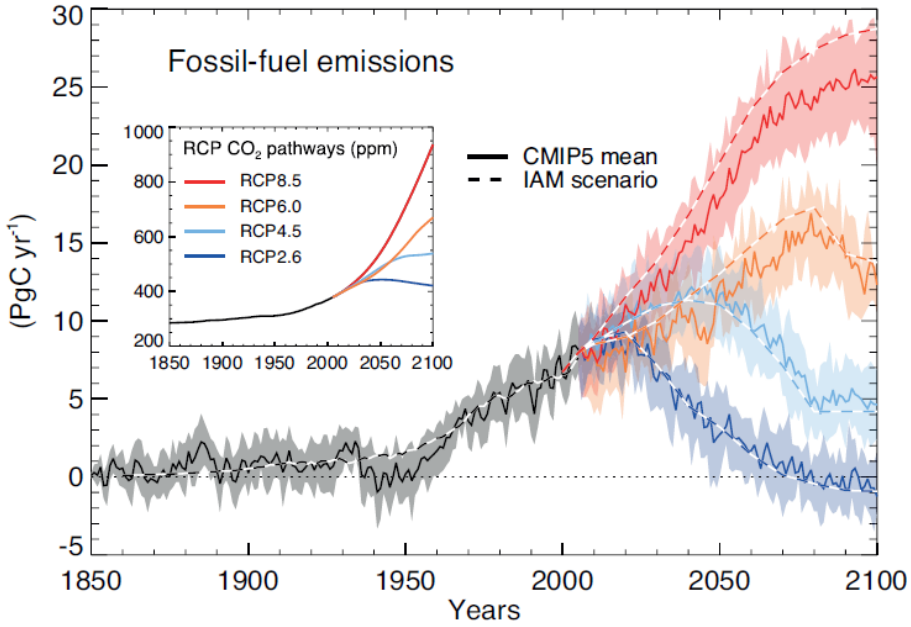

Figura 1. Evolución de las emisiones de CO_2 según las RCP

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 del Júcar.

		Med RCP4.5	Med RCP8.5
Precipitación	PI1 (2010-2040)	-1%	-4%
	PI2 (2040-2070)	-3%	-7%
	PI3 (2070-2100)	-6%	-11%
Evapotranspiración potencial	PI1 (2010-2040)	3%	4%
	PI2 (2040-2070)	7%	10%
	PI3 (2070-2100)	8%	16%
Evapotranspiración real	PI1 (2010-2040)	0%	-3%
	PI2 (2040-2070)	-2%	-5%
	PI3 (2070-2100)	-4%	-8%
Humedad en el suelo	PI1 (2010-2040)	-1%	-1%
	PI2 (2040-2070)	-2%	-2%
	PI3 (2070-2100)	-2%	-4%
Recarga	PI1 (2010-2040)	-4%	-11%
	PI2 (2040-2070)	-12%	-24%
	PI3 (2070-2100)	-20%	-34%
Escorrentía	PI1 (2010-2040)	-4%	-11%
	PI2 (2040-2070)	-12%	-24%
	PI3 (2070-2100)	-21%	-36%

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

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 CHJ que en otras zonas de España.

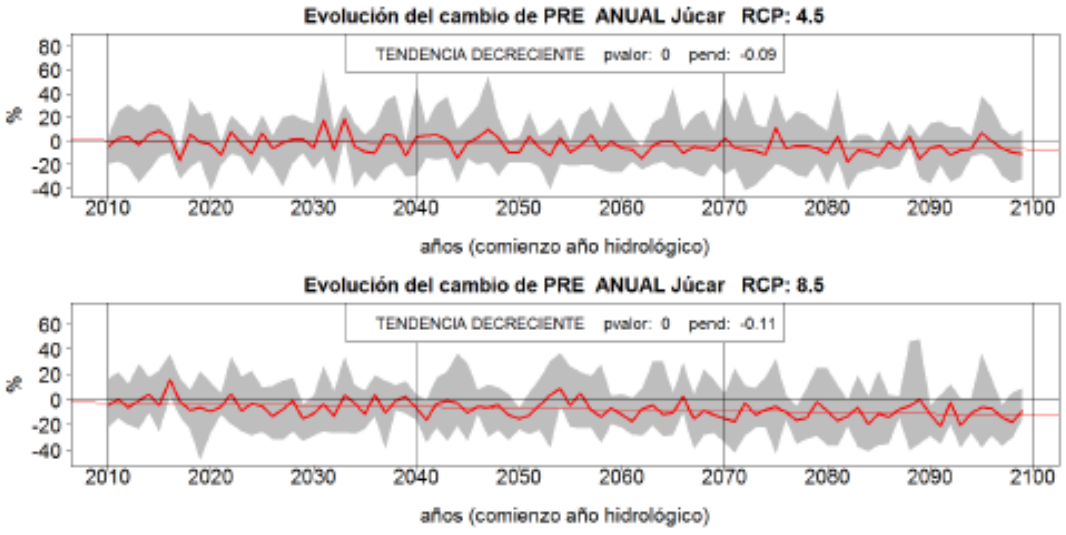

Figura 2. Evolución de la variación de la precipitación en la CHJ como promedio de las 6 proyecciones climáticas

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

En el ámbito del Júcar la nieve no supone un importante reservorio de recursos, salvo interanualmente, por lo que no se ha analizado en profundidad en relación al cambio climático. Solo comentar su posible disminución en la cabecera de Turia y Mijares y su consecuente efecto en los caudales fluyentes en los meses de primavera, por efecto del deshielo, cuya posible afección deberá tenerse en cuenta en la definición del régimen de caudales ecológicos mínimos en el futuro.

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).

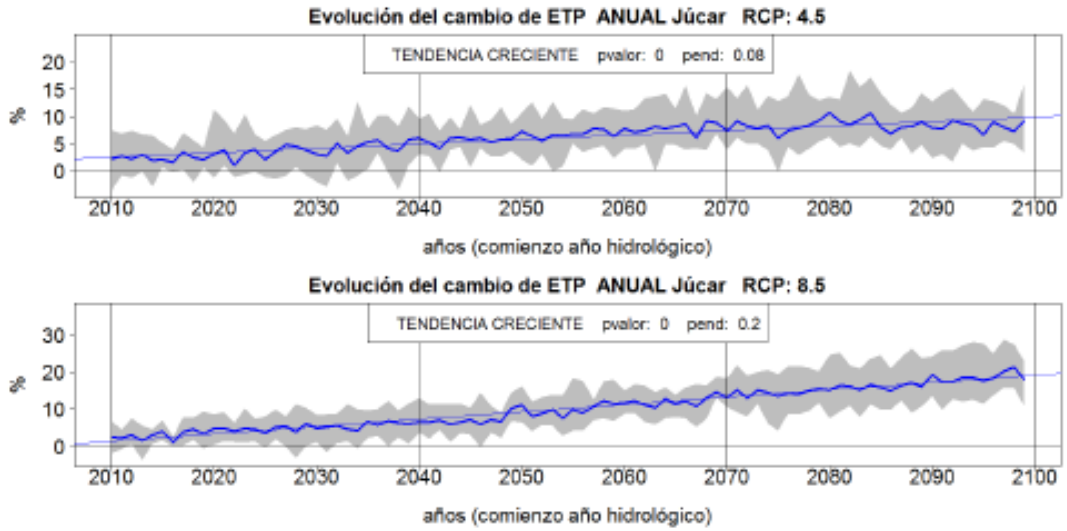

Figura 3. Variación porcentual de la ETP en la CHJ como promedio de las 6 proyecciones climáticas

La ETR, no obstante, presenta una tendencia decreciente 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 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 CHJ, como en otras zonas del SE peninsular, ésta 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 -4% en el PI1 del escenario RCP4.5 y un -34% 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.

Finalmente, la variación de la escorrentía presenta valores de variación muy similares a la recarga, entre un -4% en el PI1 y RCP4.5 y un -36% en el PI3 y RCP8.5. Las principales variaciones en valores absolutos se dan en las cabeceras de la cuenca, lo que previsiblemente tendrá repercusiones en los embalses más estratégicos para la gestión de los sistemas.

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. Como respuesta el CEDEX ha elaborado dos notas sobre la afección a la escorrentía (CEH, 2020) y al impacto en la recarga de las masas de agua subterránea (CEH, 2021a). A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el ámbito del Júcar en base a la información facilitada.

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 recogidas en la primera de estas notas (CEH, 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, es decir, 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. Estos criterios se aplicarán tanto a la variación de la escorrentía como a la variación de la recarga subterránea.

Con respecto a la escorrentía, en cuanto a la desagregación temporal y espacial, se ha hecho por trimestres y para las unidades territoriales de sequía definidas en el PES (CHJ, 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 UTS	Nombre UTS	Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	jul-Sep	Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	jul-Sep
UTS 1	Cenia - Maestrazgo	3%	17%	5%	-3%	-7%	-18%	-12%	-12%
UTS 2	Mijares - Plana de Castellón	3%	7%	2%	-1%	-5%	-13%	-11%	-8%
UTS 3	Palancia - Los Valles	5%	11%	2%	-1%	-10%	-19%	-20%	-18%
UTS 4A	Alto Turia	-9%	-3%	-5%	-7%	-16%	-11%	-14%	-13%
UTS 4B	Bajo Turia	1%	7%	-2%	-3%	-12%	-20%	-21%	-19%
UTS 5A	Magro	1%	3%	-8%	-8%	-13%	-22%	-26%	-24%
UTS 5B	Alto Júcar	-15%	-7%	-8%	-10%	-22%	-11%	-16%	-18%
UTS 5C	Medio Júcar	-8%	-8%	-6%	-8%	-19%	-18%	-21%	-21%
UTS 5D	Bajo Júcar	9%	-9%	-8%	-8%	-7%	-31%	-30%	-26%
UTS 6	Serpis	12%	-15%	-8%	-6%	-8%	-33%	-28%	-22%
UTS 7	Marina Alta	6%	-17%	-11%	-8%	-11%	-32%	-29%	-25%
UTS 8	Marina Baja	9%	-18%	-10%	-6%	-15%	-36%	-29%	-23%
UTS 9	Vinalopó - Alacantí	5%	-11%	-7%	-11%	-16%	-34%	-28%	-28%

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 demarcación del Júcar 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.

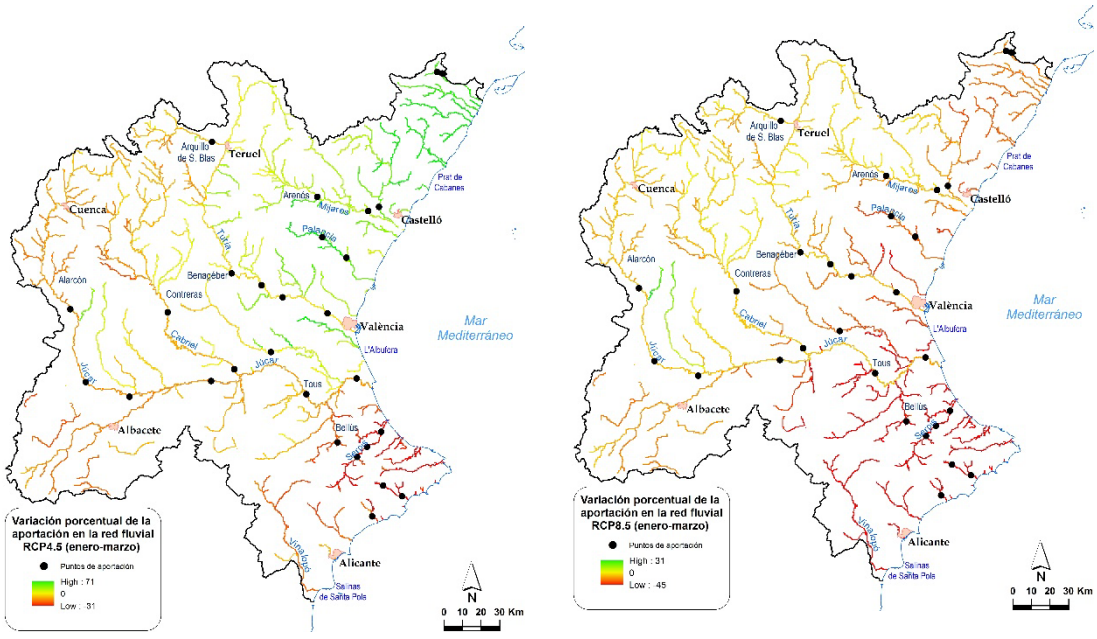

Figura 4. Variación porcentual en la red fluvial por efecto del cambio climático en el primer trimestre del año natural según las RCP4.5 y 8.5 y puntos significativos de aportación para los modelos de gestión

		RCP4.5				RCP8.5			
Sistema de explotación	Punto de aportación	Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	jul-Sep	Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	jul-Sep
Cenia-Maestrazgo	Ulldecona	0%	13%	5%	-3%	-11%	-16%	-11%	-12%
Cenia-Maestrazgo	Az. San Pedro	0%	13%	5%	-3%	-11%	-16%	-11%	-12%
Mijares-Plana de Castellón	Arenos	1%	4%	0%	0%	-6%	-10%	-10%	-6%
Mijares-Plana de Castellón	Sichar	2%	5%	1%	0%	-5%	-11%	-10%	-6%
Mijares-Plana de Castellón	Mª Cristina	4%	11%	2%	-1%	-2%	-15%	-11%	-8%
Palancia-Los Valles	Regajo	8%	17%	3%	0%	-7%	-18%	-21%	-17%
Palancia-Los Valles	Algar	5%	13%	2%	0%	-9%	-18%	-20%	-17%
Turia	Arquillo	-13%	-5%	-7%	-9%	-19%	-10%	-14%	-17%
Turia	Benageber	-9%	-3%	-4%	-6%	-15%	-10%	-13%	-12%

Sistema de explotación	Punto de aportación	RCP4.5				RCP8.5			
		Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	jul-Sep	Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	jul-Sep
Turia	Loriguilla	-8%	-2%	-4%	-6%	-15%	-10%	-13%	-13%
Turia	Manises	-8%	-2%	-4%	-6%	-15%	-11%	-14%	-13%
Júcar	Alarcón	-16%	-8%	-8%	-10%	-22%	-11%	-16%	-18%
Júcar	Madrigueras	-16%	-8%	-8%	-10%	-22%	-11%	-16%	-18%
Júcar	Los Frailes	-16%	-8%	-8%	-10%	-22%	-11%	-16%	-18%
Júcar	Molinar	-16%	-8%	-8%	-10%	-22%	-11%	-16%	-18%
Júcar	Contreras	-13%	-6%	-7%	-9%	-20%	-10%	-15%	-17%
Júcar	Cofrentes	-13%	-6%	-7%	-9%	-20%	-10%	-15%	-17%
Júcar	Tous	-14%	-7%	-8%	-10%	-21%	-11%	-16%	-18%
Júcar	Bellús	7%	-12%	-8%	-6%	-8%	-31%	-29%	-23%
Júcar	Forata	-3%	0%	-5%	-7%	-16%	-18%	-23%	-22%
Júcar	Sueca	-12%	-7%	-8%	-10%	-20%	-13%	-17%	-19%
Serpis	Encantada	4%	-13%	-12%	-9%	-14%	-34%	-30%	-25%
Serpis	Beniarrés	7%	-15%	-10%	-7%	-13%	-36%	-30%	-24%
Serpis	Villalonga	7%	-15%	-10%	-7%	-13%	-36%	-30%	-24%
Serpis	Bernisa	7%	-15%	-10%	-7%	-12%	-35%	-30%	-23%
Marina Baja	Amadorio	9%	-14%	-8%	-10%	-12%	-35%	-23%	-20%
Marina Baja	Guadalest	10%	-18%	-11%	-6%	-13%	-35%	-29%	-22%
Marina Baja	Bolulla-Algar	10%	-18%	-11%	-5%	-13%	-35%	-29%	-21%

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

Por último, para la simulación en los modelos de gestión del escenario 4, serie a largo plazo afectada por el CC (2039), no parece razonable considerar un escenario en el que aumenten las aportaciones, como ocurre en el escenario RCP4.5, por lo que 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.

Por su parte, en relación a la variación de la recarga subterránea para el horizonte 2039 desagregado por masa de agua subterránea, el CEDEX ha estimado los porcentajes de cambio en la recarga como promedio de los PI1 y 2, con respecto al PC (1961-2000) para los mismos cuatro trimestres: octubre a diciembre, enero a marzo, abril a junio, julio a septiembre. Entendiendo que estos porcentajes de reducción son representativos de una serie afectada respecto a una no afectada se aplicarán sobre la serie 1980/81 - 2005/06, equivalente a la serie corta no afectada por el cambio climático.

Cabe destacar la alta incertidumbre de estos resultados debido no solo a la propia incertidumbre en los escenarios climáticos sino también por la forma simplificada en que SIMPA modela la fase subterránea del ciclo hidrológico. Se muestran a continuación los resultados obtenidos en el ámbito del Júcar.

Código Masa	Nombre Masa	RCP4.5				RCP8.5			
		Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	jul-Sep	Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	jul-Sep
080-101	Hoya de Alfambra	-7%	7%	-1%	2%	-10%	-11%	-9%	10%
080-102	Javalambre Occidental	-9%	3%	-3%	0%	-14%	-11%	-10%	3%
080-103	Javalambre Oriental	-6%	16%	-1%	1%	-14%	-15%	-7%	5%

		RCP4.5				RCP8.5			
Código Masa	Nombre Masa	Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	jul-Sep	Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	jul-Sep
080-104	Mosqueruela	0%	10%	-2%	-2%	-7%	-12%	-6%	0%
080-105A	La Tenalla	-7%	14%	2%	-10%	-17%	-15%	-9%	-12%
080-105B	El Turmell	-6%	13%	0%	-7%	-16%	-19%	-8%	-8%
080-106	Plana de Cenia	-5%	46%	4%	-19%	-5%	-31%	0%	-5%
080-107	Plana de Vinaròs	-1%	30%	11%	-14%	-12%	-33%	-10%	-10%
080-110	Plana de Oropesa - Torreblanca	12%	23%	8%	-6%	13%	-27%	-6%	-9%
080-111	Lucena - l'Alcora	-1%	12%	1%	-1%	-8%	-14%	-4%	0%
080-112	Hoya de Teruel	-7%	8%	-3%	3%	-11%	-6%	-13%	6%
080-113	Arquillo	-7%	5%	-3%	5%	-8%	-12%	-13%	12%
080-114	Gea de Albarracín	-15%	0%	-7%	-9%	-16%	-11%	-18%	-13%
080-115	Montes Universales	-15%	-6%	-15%	-28%	-22%	-10%	-25%	-31%
080-116	Triásico de Boniches	-11%	-5%	-15%	-27%	-16%	-7%	-23%	-29%
080-117	Jurásico de Uña	-16%	-7%	-16%	-38%	-23%	-10%	-25%	-40%
080-118	Cretácico de Cuenca Norte	-19%	-11%	-18%	-40%	-26%	-15%	-29%	-45%
080-119	Terciario de Alarcón	-21%	-12%	-17%		-25%	-16%	-32%	
080-120	Cretácico de Cuenca Sur	-21%	-12%	-19%		-25%	-17%	-36%	
080-121	Jurásico de Cardenete	-17%	-11%	-19%	-22%	-21%	-17%	-33%	-22%
080-122	Vallanca	-11%	-4%	-13%	-19%	-17%	-9%	-25%	-20%
080-124	Sierra del Toro	0%	14%	-6%	-12%	-11%	-20%	-20%	-16%
080-125	Jérica	9%	19%	-8%	0%	-2%	-23%	-21%	-2%
080-126	Onda - Espadán	-1%	8%	-3%	-2%	-8%	-22%	-10%	-6%
080-127	Plana de Castelló	-1%	2%	0%	-7%	-6%	-23%	-11%	-15%
080-128	Plana de Sagunto	3%	-1%	10%	-13%	-3%	-22%	-10%	-13%
080-130A	Azuébar-Vall d'Uixó	-8%	-6%	0%	3%	-3%	-37%	-12%	-14%
080-130B	Segorbe-Quart	6%	17%	-2%	-10%	-1%	-27%	-22%	-17%
080-130C	Cornacó-Estivella	-6%	5%	-4%	0%	-13%	-25%	-17%	-11%
080-131	Llíria - Casinos	-1%	9%	-4%	-4%	-12%	-25%	-20%	-12%
080-132A	Anticlinal de Chelva	-3%	12%	-16%	-4%	-11%	-17%	-24%	-9%
080-132B	Medio Turia	-9%	7%	-11%	-3%	-14%	-17%	-18%	-9%
080-132C	La Contienda de Chiva	-14%	8%	-17%	21%	-13%	-28%	-26%	16%
080-133	Requena - Utiel	-5%	3%	-6%		-13%	-17%	-29%	
080-134A	Ranera	-9%	-1%	-13%	-18%	-19%	-13%	-26%	-18%
080-134B	Contreras	-19%	-12%	-28%		-26%	-24%	-50%	0%
080-134C	Camporrobles	-25%	-11%	-26%		-28%	-24%	-53%	
080-136A	Lezuza	-25%	-19%	-15%		-17%	-27%	-41%	
080-136B	El Jardín	-21%	-14%	-19%		-24%	-21%	-38%	
080-137	Arco de Alcaraz	-16%	-13%	-21%		-16%	-22%	-36%	
080-139	Cabrillas - Malacara	-6%	8%	-12%	1%	-9%	-20%	-30%	-5%
080-140A	Pedralba	-6%	14%	-5%	12%	-7%	-28%	-15%	5%
080-140B	Mesozoicos de Cheste	-4%	11%	-7%	-1%	-5%	-26%	-19%	-7%
080-140C	Terciarios de Chiva-Montserrat	2%	6%	-12%	-2%	-1%	-26%	-24%	-6%
080-142	Plana de València Sur	7%	-8%	-11%	4%	7%	-38%	-31%	-3%
080-143	La Contienda de Picassent	17%	-1%	-17%	1%	15%	-39%	-34%	-6%
080-144A	Martés-Quencall	-6%	1%	-17%	9%	-13%	-25%	-30%	0%
080-144B	Alfaris-La Escala	-1%	0%	-26%	8%	-15%	-30%	-25%	-8%
080-144C	Las Pedrizas	8%	-12%	-21%	8%	8%	-33%	-35%	9%
080-145	Caroch Norte	-4%	-11%	-10%	2%	-9%	-30%	-29%	-4%
080-146	Almansa	7%	7%	-3%		-16%	-26%	-21%	
080-147	Caroch Sur	12%	-13%	-10%	-2%	0%	-38%	-25%	-13%
080-148	Hoya de Xàtiva	0%	-18%	-12%	21%	-6%	-41%	-26%	12%
080-149	Sierra de las Agujas	5%	-17%	-11%	-4%	-2%	-34%	-26%	-15%
080-150	Barx	6%	-14%	-1%	2%	-6%	-30%	-20%	-12%
080-151	Plana de Xeraco	-9%	-20%	-17%	59%	-6%	-43%	-44%	31%
080-152	Plana de Gandia	1%	-25%	-11%	18%	-4%	-35%	-28%	5%
080-153	Marchuquera - Falconera	5%	-20%	-6%	16%	-4%	-33%	-25%	0%
080-154	Sierra de Ador	4%	-20%	-6%	15%	-5%	-32%	-23%	2%
080-159	Rocín	9%	-8%	-4%	-18%	-9%	-34%	-20%	-22%
080-160	Villena - Beneixama	-4%	-11%	-12%		-15%	-43%	-30%	
080-161	Volcadores - Albaida	6%	-17%	-11%	7%	-11%	-39%	-27%	-7%
080-162	Almirante Mustalla	3%	-19%	-5%	17%	-4%	-34%	-22%	3%

		RCP4.5				RCP8.5			
Código Masa	Nombre Masa	Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	jul-Sep	Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	jul-Sep
080-163	Oliva - Pego	-3%	-24%	-14%	30%	6%	-43%	-28%	9%
080-164	Ondara - Dénia	-4%	-22%	-7%	20%	0%	-38%	-23%	1%
080-165	Montgó	-1%	-18%	-4%	13%	-4%	-30%	-15%	-6%
080-166A	Pedreguer	2%	-18%	-3%	3%	-2%	-31%	-21%	-16%
080-166B	Gorgos	8%	-19%	-9%	28%	-4%	-35%	-33%	-3%
080-167	Alfaro - Segaria	5%	-19%	-4%	12%	-1%	-37%	-23%	-5%
080-168	Mediodía	8%	-19%	-6%	27%	-2%	-36%	-28%	0%
080-169	Muro de Alcoy	4%	-16%	-9%	-6%	-12%	-37%	-24%	-16%
080-176A	Barrancones	3%	-18%	-8%	-3%	-14%	-38%	-26%	-22%
080-176B	Carrasqueta	1%	-7%	-2%	-13%	-17%	-33%	-20%	-20%
080-177	Sierra Aitana	-1%	-19%	-6%	9%	-14%	-33%	-21%	-3%
080-178	Serrella - Aixortà - Algar	1%	-19%	-7%	15%	-12%	-34%	-26%	-11%
080-179	Depresión de Benissa	-2%	-20%	-5%	6%	-11%	-34%	-24%	-15%
080-180	Xàbia	-5%	-21%	-4%	-5%	-8%	-34%	-14%	-20%
080-181	Serral - Salinas	-5%	-2%	-9%	-17%	-19%	-26%	-17%	-17%
080-183A	Orxeta - Relleu	-1%	-13%	-3%	-10%	-15%	-34%	-14%	-15%
080-183B	Busot	3%	-6%	-2%	-12%	-16%	-32%	-15%	-19%
080-184	Sant Joan - Benidorm	5%	-14%	-5%	2%	-14%	-36%	-25%	-12%
080-185	Agost - Monnegre	18%	-1%	-5%		-16%	-36%	-22%	
080-186	Sierra del Cid	2%	-11%	0%	-20%	-17%	-34%	-15%	-19%
080-191	Maestrazgo Occidental	-2%	13%	-5%	-4%	-11%	-22%	-7%	-6%
080-192	Maestrazgo Oriental	1%	19%	-2%	-5%	-7%	-25%	-4%	-9%
080-193	Alpuente superior	-7%	4%	-8%	-13%	-14%	-11%	-18%	-15%
080-194	Alpuente inferior	-7%	5%	-10%	-11%	-15%	-15%	-26%	-14%
080-195	Plana de València Norte	2%	-5%	0%	-7%	-8%	-28%	-15%	-16%
080-196	Sierra Grossa	9%	-20%	-14%	14%	-4%	-39%	-30%	9%
080-200	Mancha Oriental	-11%	-14%	-16%		-14%	-24%	-38%	
080-202	Pinar de Camús	2%	-15%	-12%	0%	-14%	-38%	-25%	-17%
080-203	Cabranta	-1%	-18%	-8%	-6%	-14%	-35%	-20%	-21%
080-204	Terciarios de Onil	-6%	-9%	-8%	-12%	-18%	-32%	-21%	-27%
080-206	Peñarrubia	-9%	-5%	-5%		-18%	-37%	-23%	
080-207	Hoya de Castalla	4%	-6%	-4%	-6%	-12%	-37%	-25%	
080-208	Argüeña - Maigmó	-4%	-7%	-3%	-24%	-17%	-35%	-21%	-32%
080-209	Quibas	8%	-6%	-5%		-20%	-34%	-21%	
080-210	Sierra de Argallet	15%	-11%	2%		-9%	-36%	-18%	
080-211	Bajo Vinalopó	3%	-12%	-4%		-13%	-35%	-22%	

Tabla 4. Porcentajes de cambio en la recarga por masa de agua subterránea y trimestre para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5

En algunos casos, cuando la recarga trimestral en el periodo de control es muy baja, el porcentaje de cambio puede salir muy extremo. Hay que tener en cuenta que cambios muy grandes en % pueden suponer en realidad variaciones muy pequeñas en volumen (incluso cercanas a 0 mm/mes). Para evitar este efecto se ha puesto un umbral en 0,1 mm/mes, y en aquellos casos por debajo de este valor no se dan porcentajes de cambio. Como se puede ver en el cuadro anterior generalmente ocurre en el trimestre estival en masas de tamaño medio o pequeño.

Para calcular la variación que esta reducción de la recarga supone en el recurso renovable, según lo expuesto en el anejo 2, se han aplicado estos porcentajes a la recarga mensual obtenida con el modelo Patrical.

Adicionalmente, una variación de la recarga afectará sin duda a las transferencias laterales entre masas de agua, a las salidas y pérdidas de ríos y en general a todos los términos del balance. Como se ha explicado con mayor detalle en el anejo 2, para la obtención del recurso renovable, y en el anejo 5, para la estimación de las restricciones

ambientales, se ha diseñado una simulación llamada “Régimen Alterado Ambiental” (RAA) en base al nivel máximo de explotación compatible con la sostenibilidad de los acuíferos y el mantenimiento de los requerimientos ambientales de ríos, humedales y las salidas al mar. De acuerdo con los valores de los flujos obtenidos en esta simulación se ha calculado el recurso renovable en situación actual. En consecuencia, para obtener la afección del cambio climático sobre los recursos subterráneos, se ha modelado, en base a este RAA, la afección que el cambio en la recarga debido al cambio climático tendrá sobre otras componentes del balance.

Como ya se ha expuesto en párrafos anteriores, la variación de la recarga se ha calculado sobre la serie 1980/81-2005/06, dado que de acuerdo con las recomendaciones del CEDEX se puede considerar que a partir de este momento las series ya están alteradas por el cambio climático. Igualmente se ha calculado el recurso disponible en base a la reducción de la recarga en el escenario de emisiones RCP8.5, escenario futuro más desfavorable.

Los retornos, aunque están condicionados a los usos futuros, se han mantenido constantes.

En base a esta variación el recurso renovable en condiciones de cambio climático y su variación con respecto al recurso renovable en situación actual es la siguiente.

Código Masa	Nombre Masa	Var. Recarga	Rec. Lluvia	Pérd. de río	Entradas laterales	Salidas laterales	Retorno Total	REC. RENOV.	Var. del RR en CC
080-101	Hoya de Alfambra	*-2,32%*	15,18	15,86	0,00	20,89	0,62	**10,77**	*-12,93%*
080-102	Javalambre Occidental	*-13,38%*	29,93	2,00	26,40	32,96	0,04	**25,39**	*-12,84%*
080-103	Javalambre Oriental	*-13,60%*	28,69	2,73	48,70	1,94	0,31	**78,49**	*-5,31%*
080-104	Mosqueruela	*-6,73%*	59,95	8,84	0,00	66,87	0,22	**2,14**	*-70,52%*
080-105A	La Tenalla	*-7,67%*	28,01	0,23	4,03	0,00	0,00	**32,28**	*-6,24%*
080-105B	El Turmell	*-8,36%*	25,50	4,22	0,00	24,29	0,02	**5,44**	*-23,92%*
080-106	Plana de Cenia	*5,24%*	16,17	12,70	23,30	35,15	7,79	**24,80**	*-3,61%*
080-107	Plana de Vinaròs	*-4,85%*	8,74	6,78	39,28	0,00	6,88	**61,68**	*0,55%*
080-110	Plana de Oropesa - Torreblanca	*9,16%*	5,16	1,25	23,18	0,08	3,97	**33,48**	*2,14%*
080-111	Lucena - l'Alcora	*-6,55%*	55,54	12,96	39,20	37,57	1,51	**71,63**	*-5,25%*
080-112	Hoya de Teruel	*-7,53%*	15,38	0,67	10,44	0,63	0,96	**26,82**	*-6,09%*
080-113	Arquillo	*-6,14%*	2,25	4,66	7,08	10,44	0,01	**3,56**	*-6,56%*
080-114	Gea de Albarracín	*-14,17%*	3,36	5,93	0,00	6,76	0,02	**2,56**	*-31,91%*
080-115	Montes Universales	*-19,03%*	108,60	5,69	0,00	0,00	0,11	**114,41**	*-18,04%*
080-116	Triásico de Boniches	*-14,20%*	12,13	0,51	0,00	0,00	0,13	**12,77**	*-13,54%*
080-117	Jurásico de Uña	*-16,06%*	77,73	4,09	0,00	0,00	0,05	**81,87**	*-13,95%*
080-118	Cretácico de Cuenca Norte	*-21,98%*	72,69	6,12	0,00	0,00	0,85	**79,66**	*-19,13%*

Código Masa	Nombre Masa	Var. Recarga	Rec. Lluvia	Pérd. de río	Entradas laterales	Salidas laterales	Retorno Total	REC. RENOV.	Var. del RR en CC
080-119	Terciario de Alarcón	*-25,34%*	44,27	23,00	0,00	26,88	0,90	**41,28**	*-23,94%*
080-120	Cretácico de Cuenca Sur	*-27,08%*	36,91	2,74	0,00	9,63	0,19	**30,21**	*-31,12%*
080-121	Jurásico de Cardenete	*-24,28%*	7,51	0,36	0,00	0,00	0,11	**7,97**	*-21,32%*
080-122	Vallanca	*-19,95%*	22,76	0,63	0,00	0,00	0,21	**23,60**	*-19,48%*
080-124	Sierra del Toro	*-19,84%*	14,50	1,13	0,00	12,48	0,00	**3,16**	*-50,55%*
080-125	Jérica	*-8,10%*	15,60	3,08	11,60	0,00	1,14	**31,42**	*-5,05%*
080-126	Onda - Espadán	*-11,65%*	25,30	2,32	0,00	5,77	2,12	**23,98**	*-9,51%*
080-127	Plana de Castelló	*-7,84%*	33,18	17,09	42,41	0,00	43,48	**136,16**	*-2,49%*
080-128	Plana de Sagunto	*-6,96%*	7,78	9,78	3,75	0,00	14,06	**35,37**	*-1,17%*
080-130A	Azuébar-Vall d'Uixó	*-14,89%*	4,15	0,56	0,00	0,37	2,98	**7,32**	*-8,50%*
080-130B	Segorbe-Quart	*-3,47%*	6,89	6,74	0,00	1,65	5,04	**17,01**	*-2,24%*
080-130C	Cornacó-Estivella	*-10,12%*	13,72	2,24	0,00	11,46	4,21	**8,70**	*-15,04%*
080-131	Llíria - Casinos	*-12,23%*	39,05	20,18	9,70	30,85	34,09	**72,18**	*-7,79%*
080-132A	Anticlinal de Chelva	*-17,73%*	2,41	1,03	0,00	2,98	0,40	**0,86**	*-46,25%*
080-132B	Medio Turia	*-12,51%*	41,28	13,50	2,98	0,00	3,94	**61,71**	*-8,41%*
080-132C	La Contienda de Chiva	*-23,73%*	2,43	0,01	0,00	0,00	0,00	**2,43**	*-23,82%*
080-133	Requena - Utiel	*-18,07%*	30,48	3,55	0,00	0,00	5,41	**39,45**	*-15,11%*
080-134A	Ranera	*-15,35%*	6,53	0,03	9,68	0,00	0,12	**16,36**	*-8,14%*
080-134B	Contreras	*-22,57%*	5,24	4,29	0,00	6,77	0,09	**2,84**	*-23,86%*
080-134C	Camporrobles	*-28,63%*	3,09	0,75	0,00	2,91	0,05	**0,99**	*-55,00%*
080-135	Hoces del Cabriel	*-18,88%*	12,76	2,85	0,00	0,00	2,26	**17,87**	*-16,42%*
080-136A	Lezuza	*-39,74%*	5,82	0,72	0,89	5,08	0,55	**2,90**	*-57,79%*
080-136B	El Jardín	*-36,78%*	16,30	10,35	0,00	20,42	1,54	**7,78**	*-52,44%*
080-137	Arco de Alcaraz	*-26,17%*	18,18	0,31	0,00	0,00	0,43	**18,92**	*-25,42%*
080-139	Cabrillas - Malacara	*-16,67%*	14,51	2,93	0,00	17,59	0,27	**0,12**	*-95,45%*
080-140A	Pedralba	*-3,68%*	1,30	0,00	7,51	0,00	3,26	**12,08**	*1,34%*
080-140B	Mesozoicos de Cheste	*-5,52%*	5,05	1,25	6,96	7,14	5,04	**11,14**	*-3,47%*
080-140C	Terciarios de Chiva-Montserrat	*-10,38%*	18,88	2,49	17,59	16,70	15,69	**37,94**	*-5,17%*
080-142	Plana de València Sur	*-6,62%*	35,37	33,08	58,12	4,64	137,58	**259,51**	*-1,68%*
080-143	La Contienda de Picassent	*0,82%*	4,30	0,00	0,00	0,00	1,48	**5,79**	*0,17%*
080-144A	Martés-Quencall	*-19,07%*	14,74	2,61	0,00	13,28	0,19	**4,27**	*-45,61%*
080-144B	Alfaris-La Escala	*-20,72%*	2,55	0,08	4,72	0,00	1,17	**8,53**	*-2,18%*
080-144C	Las Pedrizas	*-8,47%*	9,64	0,32	37,50	29,26	7,90	**26,10**	*-1,69%*
080-145	Caroch Norte	*-20,97%*	37,12	35,19	0,00	57,75	1,90	**16,46**	*-42,14%*
080-146	Almansa	*-14,51%*	4,84	1,57	3,50	0,00	5,13	**15,05**	*-6,35%*
080-147	Caroch Sur	*-25,82%*	47,98	8,69	0,00	10,47	7,16	**53,36**	*-22,19%*
080-148	Hoya de Xàtiva	*-22,80%*	5,38	0,37	10,47	0,00	5,54	**21,76**	*-9,03%*

Código Masa	Nombre Masa	Var. Recarga	Rec. Lluvia	Pérd. de río	Entradas laterales	Salidas laterales	Retorno Total	REC. RENOV.	Var. del RR en CC
080-149	Sierra de las Agujas	*-15,06%*	35,95	2,71	14,24	0,00	19,10	**72,00**	*-7,81%*
080-150	Barx	*-15,45%*	14,39	1,52	8,01	14,55	2,18	**11,54**	*-13,69%*
080-151	Plana de Xeraco	*-13,07%*	7,89	1,60	9,23	0,00	10,67	**29,40**	*-11,37%*
080-152	Plana de Gandia	*-16,93%*	8,80	5,19	16,40	0,00	3,10	**33,48**	*-5,64%*
080-153	Marchuquera - Falconera	*-18,97%*	15,49	1,82	5,20	3,74	3,80	**22,56**	*-9,18%*
080-154	Sierra de Ador	*-18,17%*	4,76	3,30	13,65	13,74	1,25	**9,21**	*-12,54%*
080-159	Rocín	*40,48%*	0,69	0,01	1,94	0,00	0,02	**2,65**	*8,16%*
080-160	Villena - Beneixama	*-32,96%*	7,19	4,61	0,09	1,59	2,27	**12,57**	*-30,36%*
080-161	Volcadores - Albaida	*-27,16%*	12,03	1,22	0,90	0,09	0,66	**14,71**	*-20,83%*
080-162	Almirante Mustalla	*-19,58%*	30,02	6,66	8,92	22,17	2,99	**26,43**	*-11,01%*
080-163	Oliva - Pego	*-15,29%*	8,12	1,13	9,61	1,52	4,70	**22,04**	*-19,85%*
080-164	Ondara - Dénia	*-18,79%*	14,82	1,09	0,00	0,00	4,52	**20,42**	*-13,14%*
080-165	Montgó	*-16,61%*	3,46	0,02	0,00	0,00	0,01	**3,49**	*-16,31%*
080-166A	Pedreguer	*-18,31%*	7,51	0,31	0,00	0,00	0,38	**8,20**	*-15,98%*
080-166B	Gorgos	*-23,62%*	8,14	0,51	0,00	0,00	0,31	**8,96**	*-20,21%*
080-167	Alfaro - Segaria	*-21,07%*	25,09	0,96	0,00	8,24	1,93	**19,74**	*-20,18%*
080-168	Mediodía	*-21,94%*	8,23	0,32	0,00	0,00	0,16	**8,70**	*-19,67%*
080-169	Muro de Alcoy	*-22,32%*	1,99	0,30	0,00	0,00	0,43	**2,72**	*-11,97%*
080-173	Jumilla - Villena	*-20,38%*	0,83	0,00	3,87	0,00	0,58	**5,29**	*-3,64%*
080-176A	Barrancones	*-27,61%*	8,09	1,44	0,11	7,60	0,30	**2,34**	*-56,67%*
080-176B	Carrasqueta	*-33,58%*	1,40	0,07	0,73	1,35	0,20	**1,05**	*-43,24%*
080-177	Sierra Aitana	*-27,29%*	14,18	0,96	0,00	9,58	0,47	**6,03**	*-48,28%*
080-178	Serrella - Aixortà - Algar	*-25,25%*	14,52	1,21	9,60	0,00	0,63	**25,95**	*-15,61%*
080-179	Depresión de Benissa	*-23,10%*	32,53	2,80	0,00	0,92	0,68	**35,09**	*-21,00%*
080-180	Xàbia	*-19,41%*	0,89	0,13	0,92	0,00	0,22	**2,15**	*-16,34%*
080-181	Serral - Salinas	*-26,77%*	1,13	0,01	0,29	0,00	0,55	**1,97**	*-19,26%*
080-183A	Orxeta - Relleu	*-33,95%*	1,70	1,03	0,00	3,24	0,51	**0,00**	*-100,00%*
080-183B	Busot	*-23,97%*	2,20	0,06	0,76	0,00	0,27	**3,28**	*-19,21%*
080-184	Sant Joan - Benidorm	*-19,05%*	6,70	0,80	10,08	0,00	3,33	**20,92**	*-6,61%*
080-185	Agost - Monnegre	*-24,88%*	1,54	1,23	2,81	5,19	0,32	**0,71**	*-57,49%*
080-186	Sierra del Cid	*-31,59%*	2,03	0,06	0,10	2,33	1,22	**1,07**	*-47,80%*
080-189	Sierra de Crevillente	*-17,74%*	0,96	0,01	1,71	0,00	0,25	**2,93**	*-2,33%*
080-191	Maestrazgo Occidental	*-7,67%*	60,33	10,68	41,24	87,95	0,29	**24,58**	*-16,20%*
080-192	Maestrazgo Oriental	*-2,42%*	85,79	12,81	83,24	48,04	3,93	**137,72**	*-1,18%*
080-193	Alpuente superior	*-19,38%*	14,87	0,76	0,00	5,92	0,13	**9,83**	*-25,70%*
080-194	Alpuente inferior	*-17,25%*	18,00	2,78	6,80	0,00	0,16	**27,74**	*-11,32%*
080-195	Plana de València Norte	*-13,41%*	23,68	4,61	40,23	0,00	51,96	**120,47**	*-3,33%*

Código Masa	Nombre Masa	Var. Recarga	Rec. Lluvia	Pérd. de río	Entradas laterales	Salidas laterales	Retorno Total	REC. RENOV.	Var. del RR en CC
080-196	Sierra Grossa	*-23,07%*	42,33	8,73	18,75	26,86	8,29	**51,25**	*-19,47%*
080-197	Sierra de la Oliva	*-20,68%*	3,11	0,10	0,81	1,94	0,37	**2,46**	*-25,90%*
080-198	Cuchillo - Moratilla	*-21,33%*	0,37	0,07	0,20	0,00	0,23	**0,87**	*-8,42%*
080-200	Mancha Oriental	*-25,01%*	130,86	48,78	92,27	3,84	71,19	**339,24**	*-12,77%*
080-202	Pinar de Camús	*-26,31%*	6,15	0,08	1,54	0,01	0,14	**7,90**	*-29,46%*
080-203	Cabranta	*-26,58%*	4,79	0,24	0,05	1,55	0,00	**3,52**	*-15,38%*
080-204	Terciarios de Onil	*-31,37%*	0,78	0,00	0,07	0,05	0,01	**0,81**	*-30,17%*
080-205	Sierra Lácera	*-21,15%*	0,31	0,00	1,23	0,00	0,01	**1,54**	*-3,75%*
080-206	Peñarrubia	*-28,14%*	1,58	0,00	0,01	0,00	0,06	**1,65**	*-27,31%*
080-207	Hoya de Castalla	*-33,08%*	2,90	0,44	0,00	0,00	1,05	**4,40**	*-22,40%*
080-208	Argüeña - Maigmó	*-41,11%*	1,44	0,01	0,00	0,10	0,12	**1,46**	*-41,13%*
080-209	Quibas	*-25,37%*	2,11	0,35	0,00	1,00	0,44	**1,91**	*-31,05%*
080-210	Sierra de Argallet	*-17,83%*	0,59	0,00	1,40	1,14	0,02	**0,87**	*-20,91%*
080-211	Bajo Vinalopó	*-17,26%*	15,50	8,88	5,19	0,00	15,20	**44,77**	*-7,79%*

Tabla 5. Recurso renovable en situación de cambio climático por masa de agua subterránea y variación con respecto al recurso en situación actual

En términos generales hay una reducción de la recarga de 393 hm^3 en todo el ámbito de la demarcación, que en términos porcentuales supone una reducción del 17%. Algunas masas de agua presentan sin embargo incrementos como es el caso de Rocín, Plana de Cenia, Plana de Oropesa-Torreblanca y La Contienda de Picassent. El recurso debido a las pérdidas en río se reduce 5,5 hm^3 y el balance salidas-entradas se reduce en 1,7 hm^3, no obstante, la variación en estas componentes que a nivel global es pequeña puede tener mucha importancia a nivel de masa de agua y, de hecho, supone en algunos casos un cambio significativo con respecto a la variación de la recarga, reduciendo o aumentando el recurso renovable, tal y como puede verse en la siguiente figura.

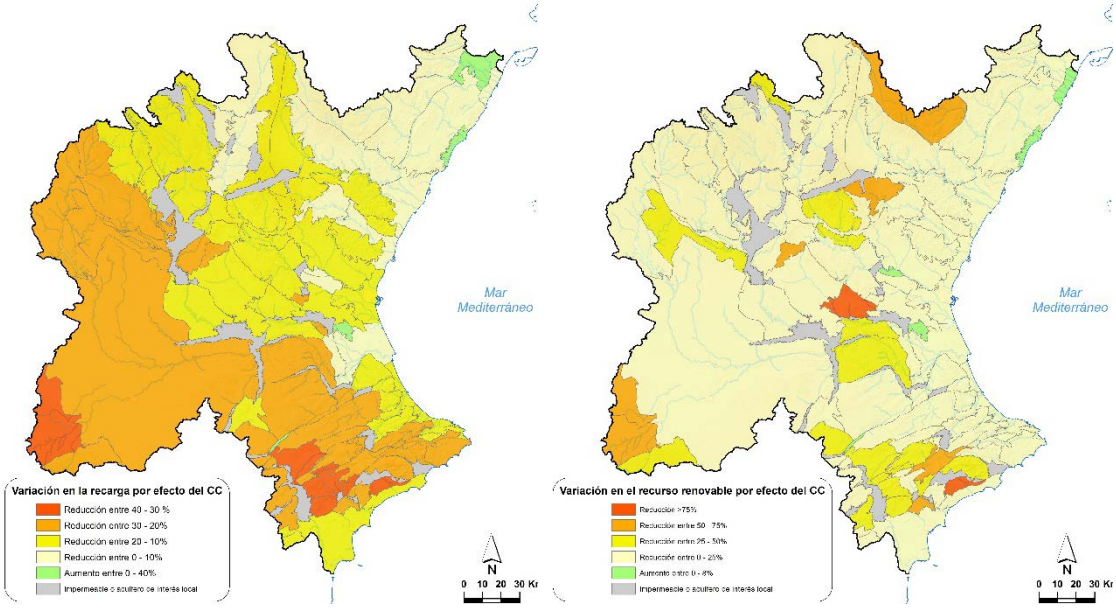

Figura 5. Variación en la recarga y en el recurso disponible de las masas de agua subterráneas por efecto del cambio climático

Como se puede ver, los flujos entre masas y su conexión con las aguas superficiales equilibran la reducción de la recarga, muy acusada en algunas masas.

En definitiva, el recurso renovable subterráneo en el ámbito de la CHJ, en condiciones de cambio climático, es de 2.971 hm^3, un 12% menor al recurso renovable subterráneo en situación actual que asciende a 3.367 hm^3 con la distribución representada en las figuras anteriores.

3.2. Impactos en los fenómenos extremos

3.2.1. Impacto 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).

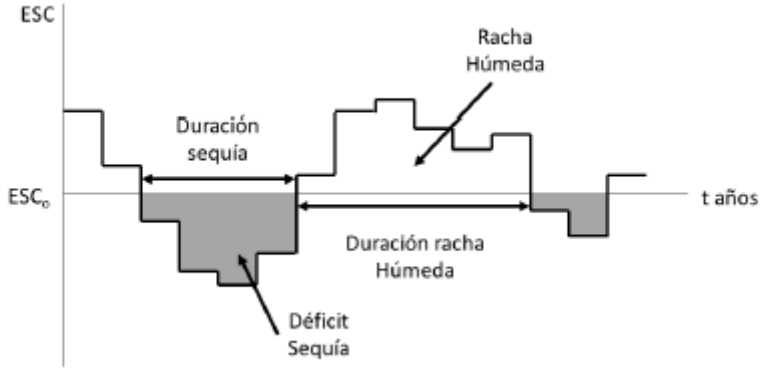

Figura 6. Concepto y definición de sequía (CEH, 2017)

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 CHJ, 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 una 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.

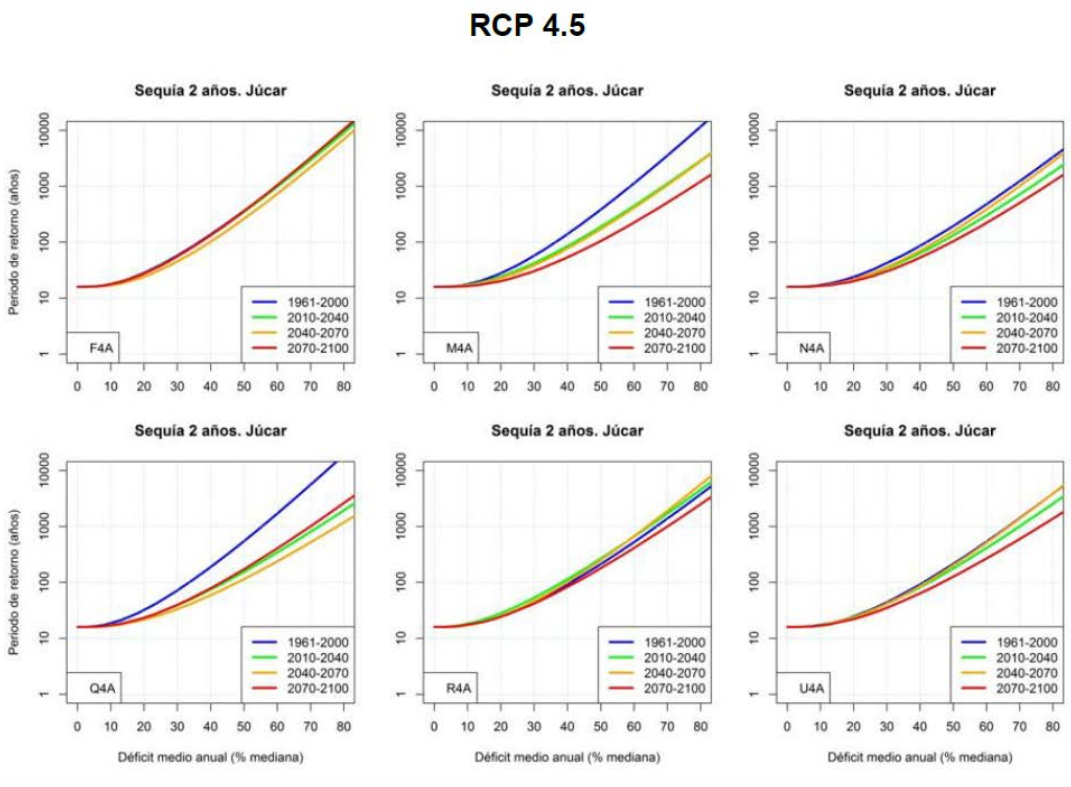

Figura 7. Variación en el periodo de retorno de las sequías de dos años según las proyecciones del escenario RCP4.5

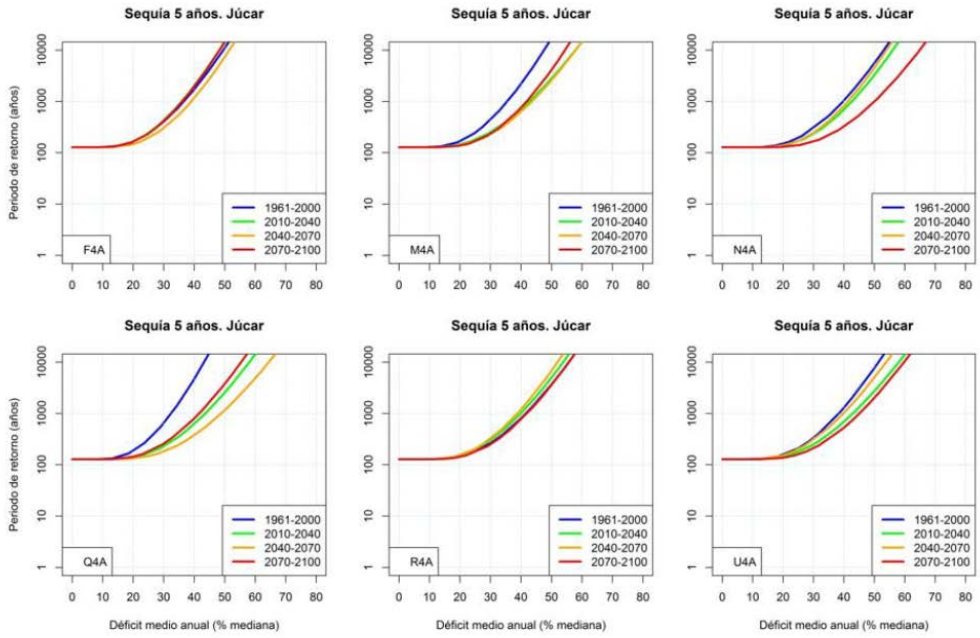

Figura 8. Variación en el periodo de retorno de las sequías de cinco años según las proyecciones del escenario RCP4.5

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.

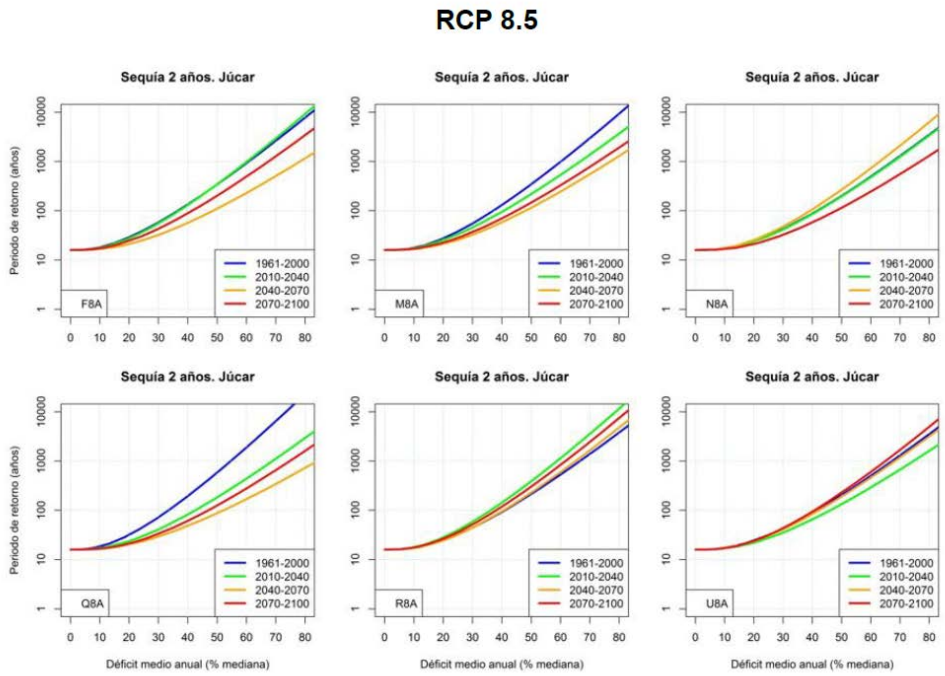

Figura 9. Variación en el periodo de retorno de las sequías de dos años según las proyecciones del escenario RCP8.5

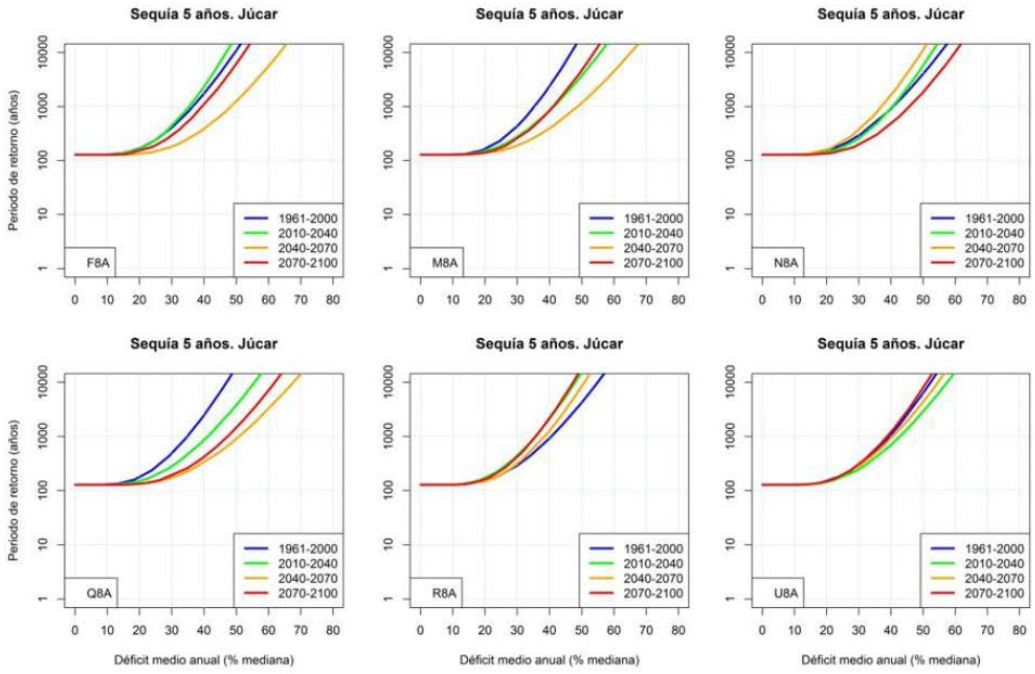

Figura 10. Variación en el periodo de retorno de las sequías de cinco años según las proyecciones del escenario RCP8.5

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 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 DHJ 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, entendidas como la reducción de la precipitación, sí parece razonable pensar que las sequías que se den en el futuro serán más intensas dado que la evapotranspiración será mayor.

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

En conclusión, a la vista de la incertidumbre en las predicciones y a la probabilidad de sufrir un empeoramiento en relación al estrés hídrico en la agricultura y en lo que a recursos disponibles se refiere, las medidas que se recojan en futuras revisiones del 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.

3.2.2. Impacto en el régimen de inundaciones

En primer lugar, hay que distinguir los tipos de inundaciones existentes (Sanz, M.J. y Galán, E., 2020):

- Inundaciones costeras:
    - Por aumento del nivel del mar o el oleaje durante tormentas o temporales, que se abordará brevemente en el apartado 6 de este documento.
- inundaciones continentales:
    - Por precipitación copiosa y persistente.
    - Por precipitación intensa en cuencas pequeñas que genera crecidas repentinas, muy habituales en cuencas mediterráneas.
    - Precipitación intensa principalmente en zonas urbanas con poco drenaje.
    - Debido al deshielo rápido o por precipitación caída sobre zonas con acumulaciones importantes de nieve.
    - Por el aumento del nivel freático de las aguas subterráneas.

La primera de las variables se abordará de forma tangencial en el apartado 6 correspondiente a la afección del cambio climático en la costa.

Por su parte, en cuanto a las inundaciones continentales, este análisis ha sido abordado en el marco de revisión de los PGRI, a partir de los resultados de informe del CEDEX “impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España” (CEH, 2021b). En este estudio se analizan las precipitaciones máximas anuales en distintos intervalos temporales, iguales o inferiores al día, a partir de las últimas simulaciones del modelo climático regional EURO-CORDEX. En concreto, se han analizado los cambios en la precipitación máxima diaria acumulada en la red hidrográfica básica para los tres periodos de retorno que indica la Directiva (10, 100 y 500 años) según los dos principales escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, los RCP 4.5 y 8.5.

En primer lugar, del contraste de estas variables (principalmente lluvia máxima diaria, convectiva y horaria) entre los resultados del modelo y los datos reales del periodo de control, para determinar si los modelos climáticos son representativos, se concluye lo siguiente: si bien los modelos a nivel nacional presentan una buena representatividad, en el este peninsular y la región mediterránea la precipitación presenta una cierta subestimación, dado que los modelos no reproducen de forma afinada la precipitación convectiva. En consecuencia, cabe destacar que el análisis del efecto del cambio climático en esta zona presenta una incertidumbre alta.

A partir de esta información, que se puede consultar para mayor detalle en la propia revisión del PGRI, se ha analizado la potencial influencia del cambio climático sobre dos componentes determinantes en la variación y frecuencia de las leyes de caudales: la meteorológica y la de usos del suelo. La posible influencia del cambio climático sobre el

riesgo de inundación a través de una componente meteorológica y otra de uso del suelo se ha formulado como sigue:

$$Valor_{cambio\ climático} = Valor_{com.meteorológica} + Valor_{comp.uso\ del\ suelo}$$

La componente meteorológica parte de los resultados obtenidos en el estudio del CEDEX de referencia, en el caso del Júcar únicamente en la generación de crecidas. Por su parte, en cuanto a la componente de uso del suelo, se han tenido en cuenta cuatro factores: los cambios en los usos del suelo, la erosión, la incidencia de los incendios y la superficie impermeabilizada. El factor al que se ha asignado mayor relevancia en la generación de crecidas, dentro de la componente de usos de suelo, es la presencia de superficie impermeabilizada y se le ha dado un peso del 50%, ya que influye en la mayor generación de escorrentía y velocidad del agua y reduce la infiltración natural. También se considera de relevancia el factor de la erosión, a la que se le ha dado un 30%, pues incrementa el arrastre de sedimentos y la velocidad del flujo, lo que se traduce en un aumento de la peligrosidad de la inundación.

Los mapas resultantes, por periodo de retorno (10, 100 y 500 años) se muestran en las siguientes figuras:

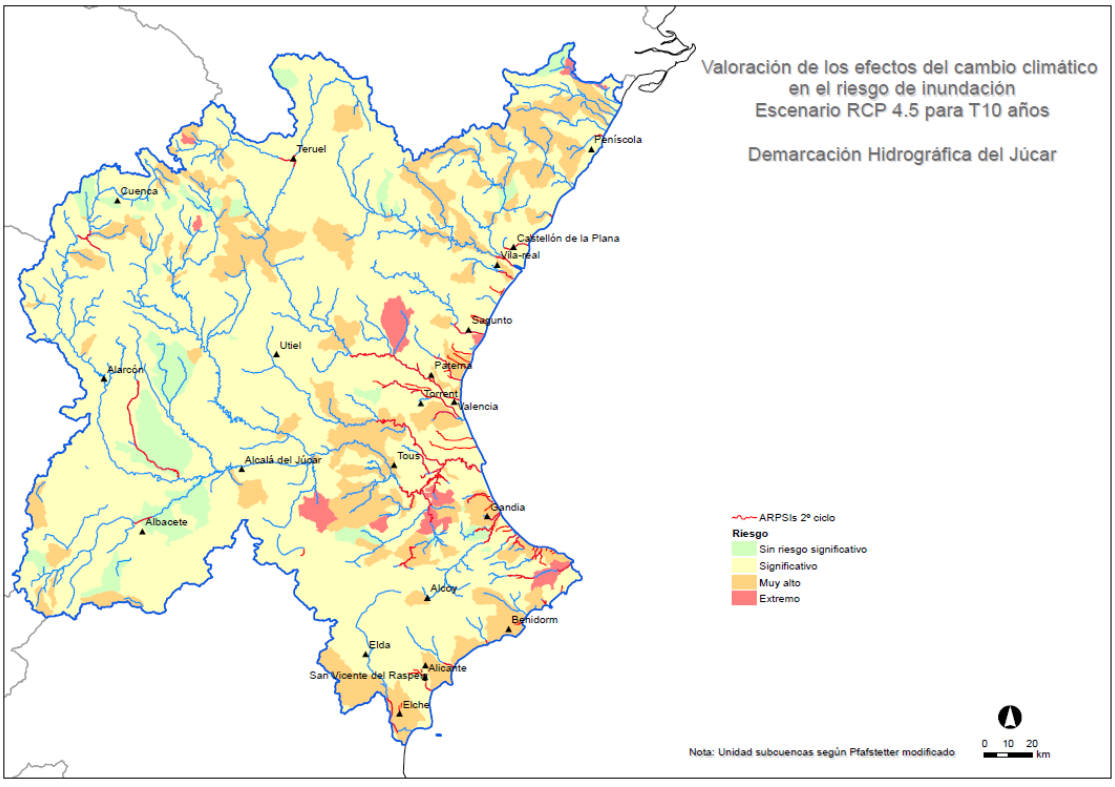

Figura 11. Valoración cualitativa total del efecto del cambio climático en el riesgo de inundación para T10 en un escenario RCP 4.5 a nivel de subcuencas en la DHJ

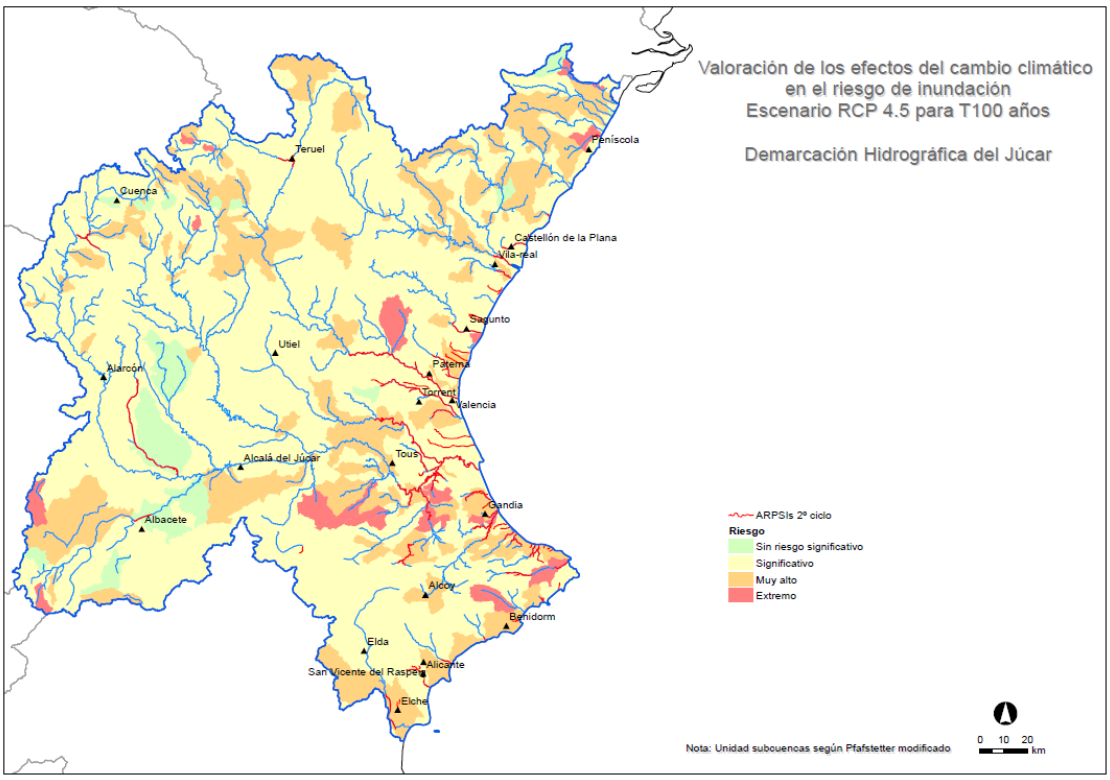

Figura 12. Valoración cualitativa total del efecto del cambio climático en el riesgo de inundación para T100 en un escenario RCP 4.5 a nivel de subcuencas en la DHJ

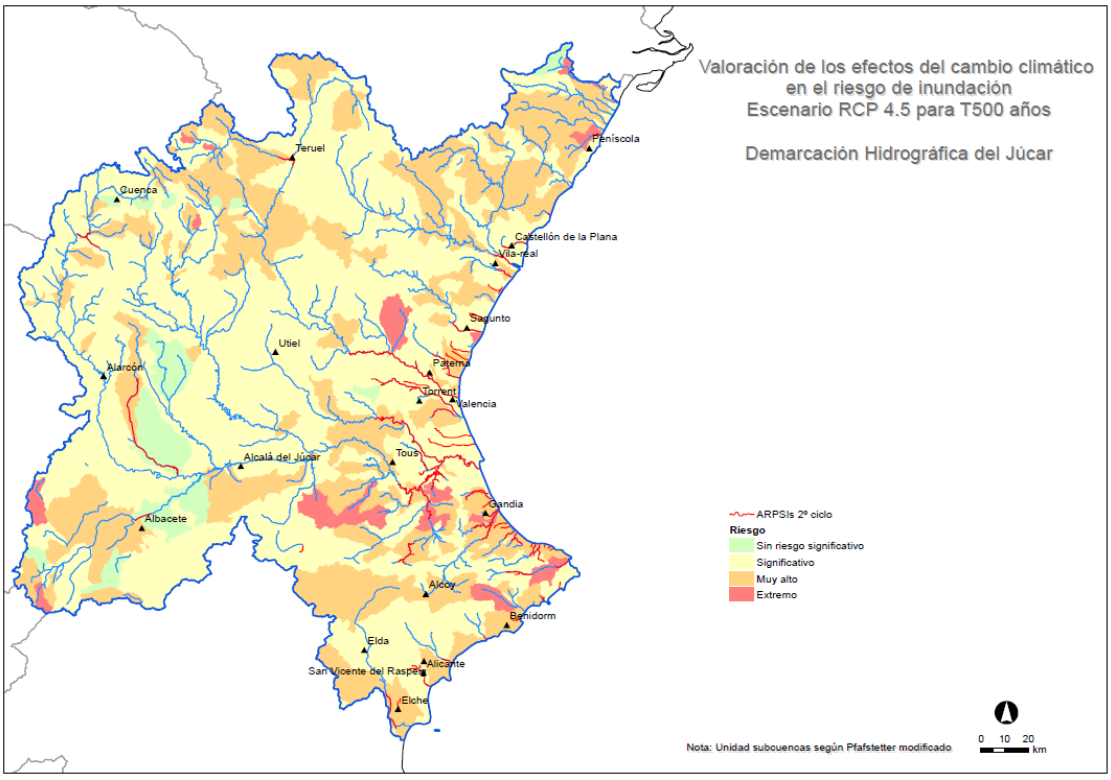

Figura 13. Valoración cualitativa total del efecto del cambio climático en el riesgo de inundación para T500 en un escenario RCP 4.5 a nivel de subcuencas en la DHJ

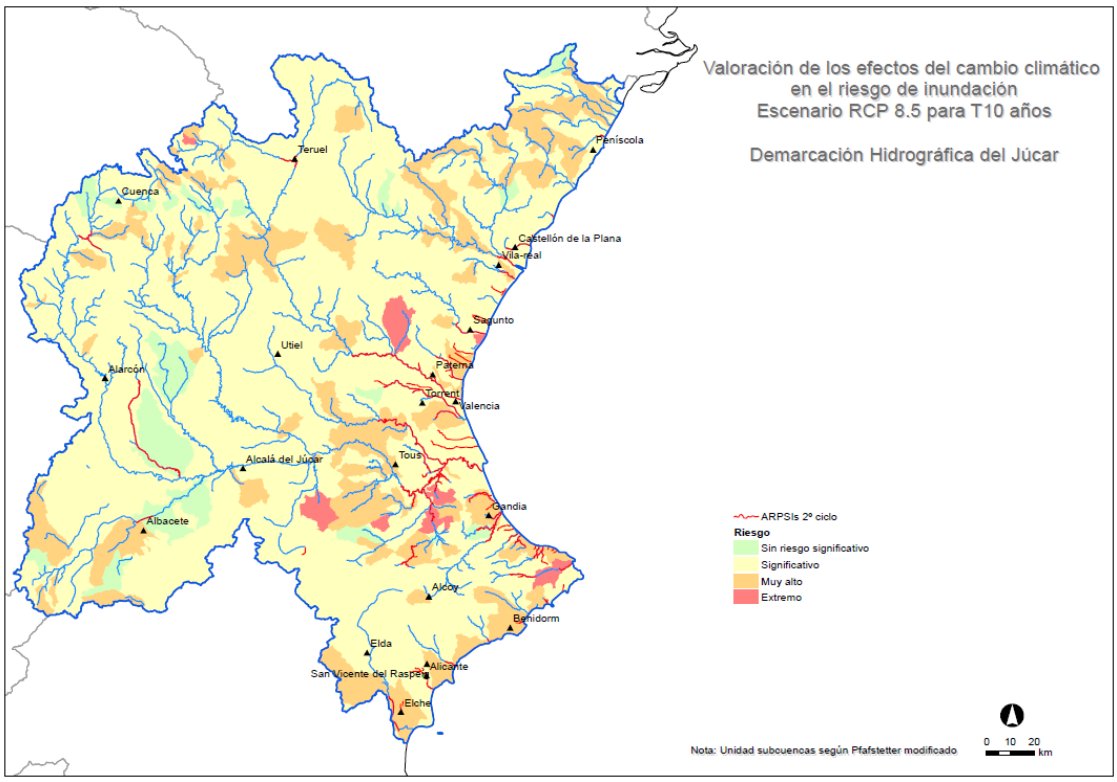

Figura 14. Valoración cualitativa total del efecto del cambio climático en el riesgo de inundación para T10 en un escenario RCP 8.5 a nivel de subcuencas en la DHJ

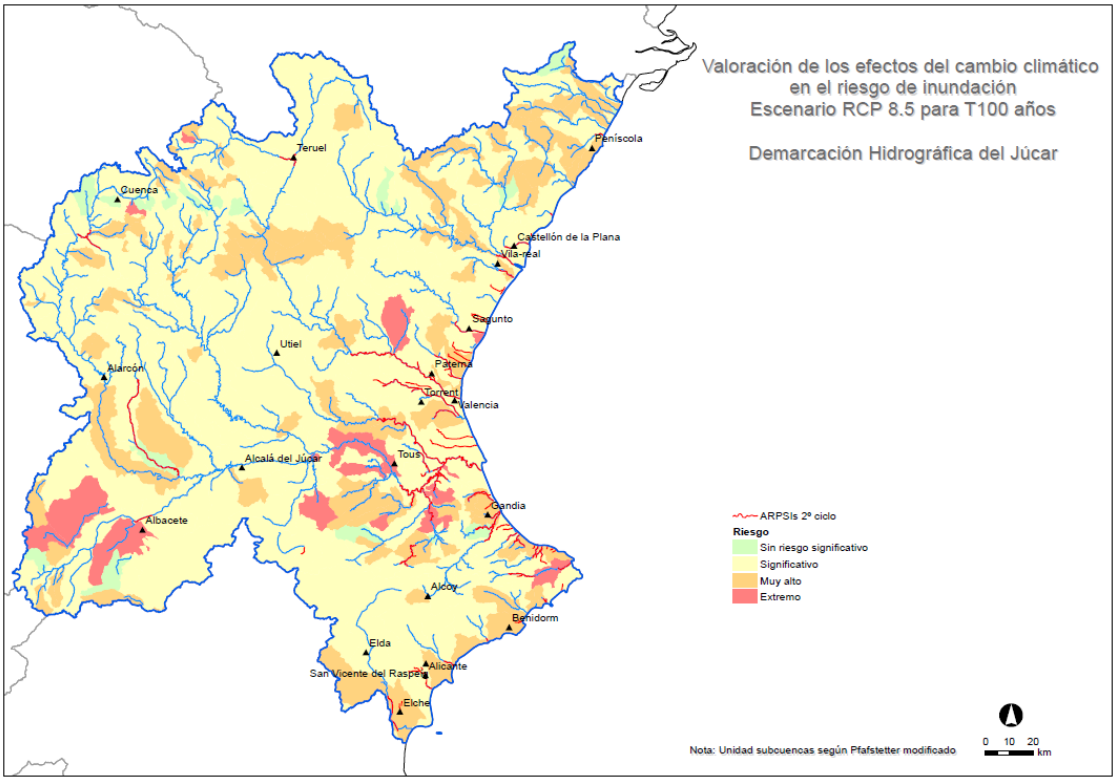

Figura 15. Valoración cualitativa total del efecto del cambio climático en el riesgo de inundación para T100 en un escenario RCP 8.5 a nivel de subcuencas en la DHJ

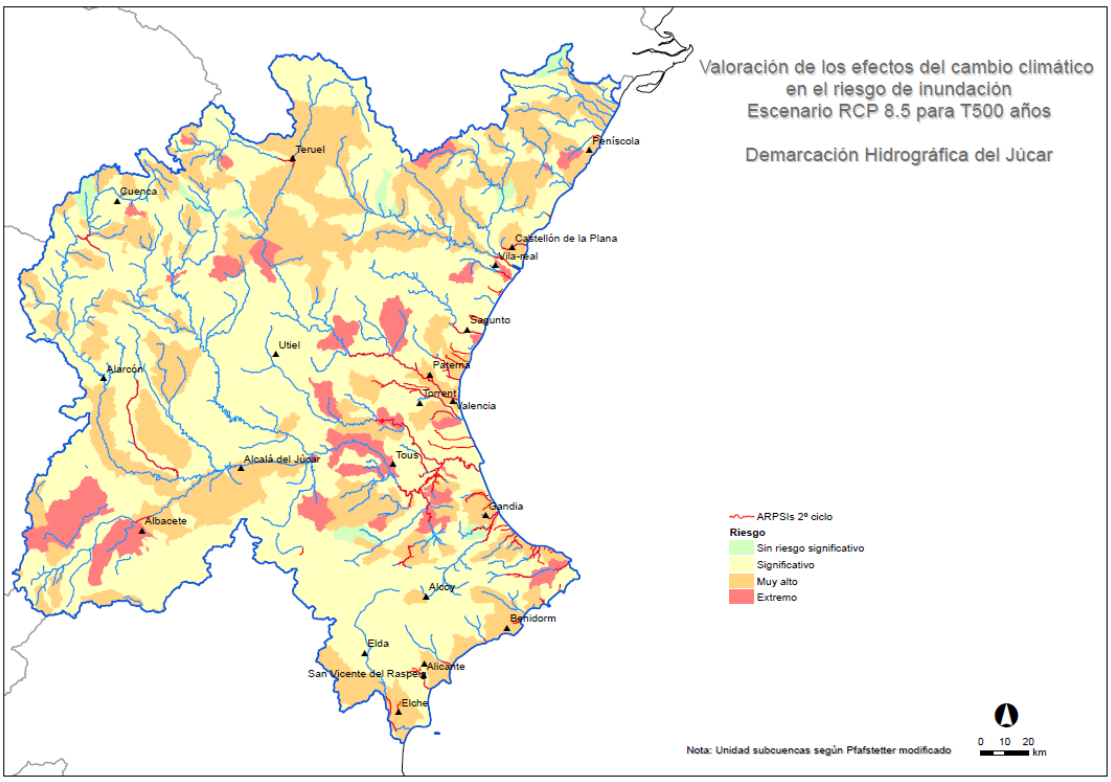

Figura 16. Valoración cualitativa total del efecto del cambio climático en el riesgo de inundación para T500 en un escenario RCP 8.5 a nivel de subcuencas en la DHJ

De forma general, en el caso de estudio de la DHJ, se puede afirmar que las zonas que presentan un incremento probable altamente significativo en la valoración cualitativa total corresponden con las subcuencas localizadas al este de la Demarcación, pertenecientes a los tributarios que confluyen con el Júcar en su curso bajo. No obstante, cabe mencionar en este mismo nivel de incremento, pero al oeste de la Demarcación (próximas a Albacete), las subcuencas aisladas de los ríos de Lezuza y la Estacadilla, que alcanzan estos niveles de influencia debido a su importancia en la componente meteorológica.

Como se ha comentado al inicio de este apartado, el estudio de CEDEX subestima la incidencia de los fenómenos convectivos, tan frecuentes en la zona costera de la demarcación. Con el fin de analizar su evolución futura, otro enfoque aplicado se basa en analizar los cambios observados en los últimos años. En este sentido, según el documento del MITERD “Inundaciones y Cambio Climático” (MTE, 2018) en base al estudio de los cambios observados en las precipitaciones máximas diarias durante los últimos 50-60 años se concluye que, a pesar de las incertidumbres, en el caso de las precipitaciones extremas de un periodo de retorno de 20 años si se puede afirmar que se observa un aumento de la incidencia en el Levante español en la mayor parte del año. Por su parte, las proyecciones obtenidas por AEMET a partir de datos de precipitación regionalizados muestran una disminución de los días de lluvia pero un aumento de su intensidad (MTE, 2018).

Este cambio en los fenómenos extremos por lluvia intensa, cuantificados en el Júcar entre un 6 y un 11% con respecto al periodo de control, son menores a los cambios previstos en otras cuencas hidrográficas tal y como se puede ver en el gráfico siguiente. Esto puede deberse al carácter torrencial actual de los fenómenos extremos en este ámbito, ya de por sí muy acusados.

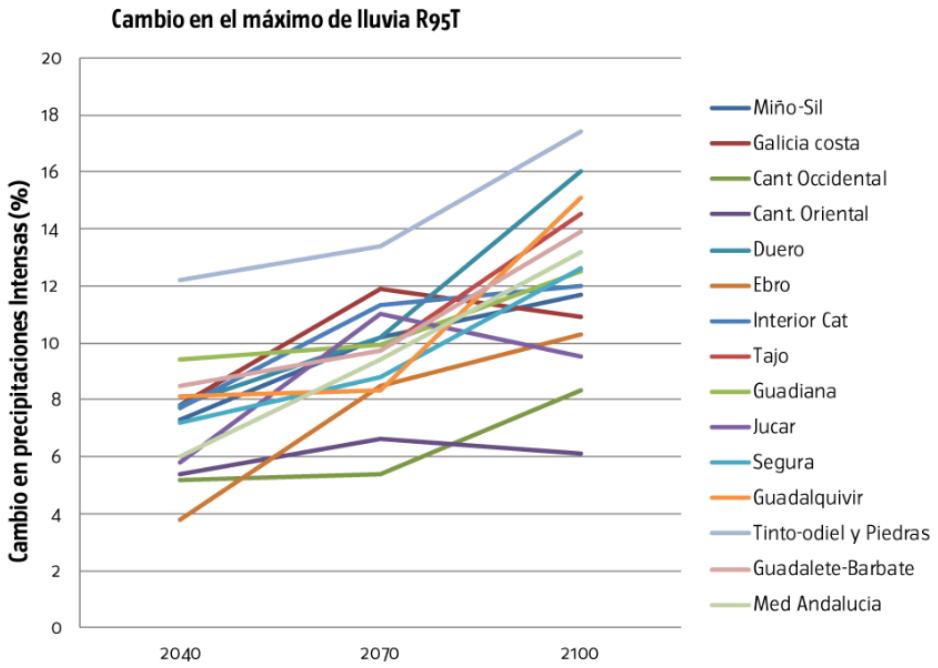

Figura 17. Cambio en las precipitaciones extremas respecto al PC (1975-2005) en las diferentes CCHH (MTE, 2018)

Este análisis coincide con las conclusiones del libro publicado recientemente: Cambio climático en el Mediterráneo. Procesos, riesgos y políticas, elaborado por varios autores y editado por los catedráticos de análisis geográfico Joan Romero y Jorge Olcina (Romero, J. y Olcina, J., 2021), según el cual el calentamiento del propio mar Mediterráneo, por encima del calentamiento detectado en la temperatura del aire y cuantificado en 1,3º C desde 1980, supone un factor de riesgo ante situaciones de inestabilidad asociadas a fenómenos de gota fría y lluvias torrenciales de carácter convectivo. De hecho, las series climáticas registradas en la costa mediterránea, desde Girona a Málaga, muestran una mayor relevancia de este tipo de fenómenos. Además, se observa que las precipitaciones de intensidad horaria no se limitan al otoño, sino que se presentan en cualquier estación del año. Finalmente se observa la pérdida de relevancia de la precipitación primaveral frente a las lluvias de otoño, fenómeno especialmente significativo en el sistema Ibérico, donde nacen los ríos Júcar y Turia.

Este análisis no contradice, por otra parte, la tendencia observada en los modelos de predicción hacia una importante reducción de las lluvias medias en el ámbito del Júcar, sino todo lo contrario dado que viene apoyado por otro fenómeno que se viene observando, que es el desplazamiento de las lluvias de las zonas de cabecera a la costa. Es decir, aunque en términos generales las precipitaciones se reducirán, su patrón

estacional tiende a una concentración en otoño, a un incremento en las precipitaciones en la costa y a un mayor riesgo a la torrencialidad de las mismas.

Como hemos visto, no se puede desligar el fenómeno de las inundaciones con los usos del suelo. Los riesgos asociados a las inundaciones más destacados son aquellos donde la pérdida de vidas humanas está en juego. En este sentido habrá que poner atención a las zonas urbanas. Este aumento en la torrencialidad, unido a la importancia del urbanismo sobre los efectos en las inundaciones de estos fenómenos extremos, supondrá un importante reto principalmente en la planificación urbana de las ciudades litorales, que puede requerir de la adaptación de los sistemas de captación y conducción de pluviales, la construcción de depósitos de retención, la construcción de espacios públicos inundables basados en sistemas de drenaje urbano sostenible y la mejora de los sistemas de alerta a la población (Fundación Aquae, 2018).

En muchas ciudades costeras del ámbito de la CHJ ya existen depósitos de retención de pluviales. Además, también existen algunos ejemplos de sistemas de drenaje urbanos sostenibles, destaca como ejemplo el parque inundable La Marjal de Alicante, que proporciona un espacio lúdico y además reduce los riesgos de inundaciones de forma local dado que en caso de fuertes lluvias sirve como vaso de retención de aguas pluviales pudiendo almacenar hasta 45.000 m^3 de agua[2].

Figura 18. Vista panorámica del parque La Marjal de Alicante y simulación de su funcionamiento como vaso de retención de pluviales (Fuente: Fundación Aquae, 2018 y Ayuntamiento de Alicante[2])

[2] https://www.alicante.es/es/equipamientos/parque-marjal

Adicionalmente, a nivel de cuenca, las medidas ya recogidas en los actuales PGRI y que deberán revisarse para incluir aquellas zonas donde se incremente el riesgo de inundaciones, estarán encaminadas en términos generales a:

- La mejora del flujo de agua en los cauces a su paso por zonas urbanas, mediante dragados, construcción de canales o incluso la construcción de compuertas.
- La gestión adecuada de presas que reduzca el caudal pico de la avenida y permite su laminación.
- El mantenimiento, en la medida de lo posible, de las llanuras de inundación naturales de los ríos y humedales.
- El manejo adecuado del suelo que permita una adecuada capacidad de infiltración en la cuenca.

Por último, cabe destacar que el MITECO publicó en 2019 varios documentos que pueden servir de ayuda para la reducción del riesgo de inundaciones en el ámbito urbano y agrícola:

- Guía para la reducción de la vulnerabilidad de los edificios frente a las inundaciones.
- Evaluación de la resiliencia de los núcleos urbanos frente al riesgo de inundaciones. Redes, sistemas urbanos y otras infraestructuras.
- Guías de adaptación al riesgo de inundación: explotaciones agrícolas y ganaderas.

4. Plan de adaptación al cambio climático

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

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

Con el objetivo de dar cumplimiento a este artículo y sobre todo de reducir así la vulnerabilidad frente al cambio climático, el IIAMA-UPV (Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València) está elaborando el proyecto "Medidas para la adaptación de la gestión del agua y la planificación hidrológica al cambio climático. Aplicación en la Demarcación Hidrográfica del Júcar". Este proyecto, que cuenta con financiación de la Fundación Biodiversidad del MITERD y el apoyo de la OECC, 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 por tanto 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.

Así, 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:

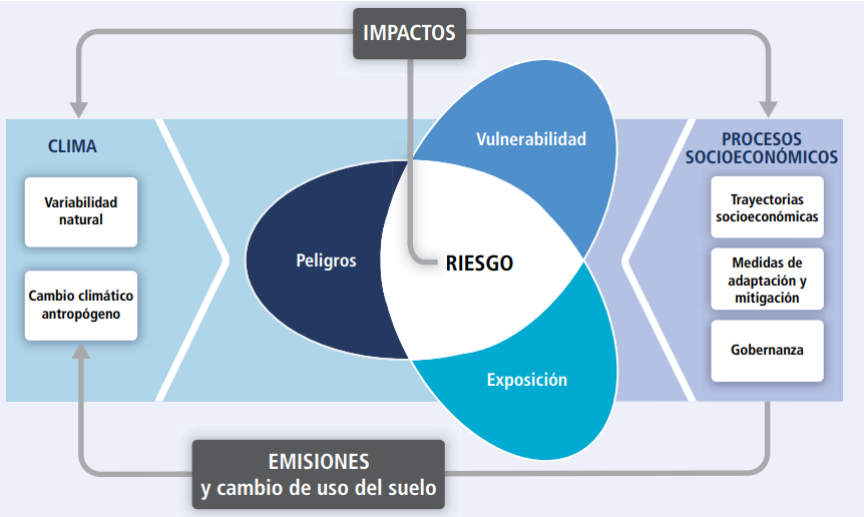

Figura 19. Marco conceptual para la evaluación de riesgos asociados al cambio climático (IPCC, 2014)

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 (IPCC, 2018), que se expresan a continuación:

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

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

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

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

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

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

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

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

El análisis de riesgos que deberá incluirse en el futuro plan de adaptación, atendiendo al contenido del artículo 19 de la 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)	

ECB = Elementos de calidad biológica
Q/FQ = Condiciones químicas y fisicoquímicas
HMF = Condiciones hidromorfológicas

Masas de agua subterránea	GW1 Incremento de la concentración de contaminantes (NO3)	→ QUI
	GW2 Cuña salina aguas subterráneas	→ QUI
	GW3 Balance aguas subterráneas	→ CUA
	GW4 Cambio del estado de las masas de agua subterráneas (DMA)	

QUI = Químico
CUA = Cuantitativo

Abastecimiento urbano	AU1 Aumento demanda agua	
	AU2 Pérdida garantía urbana	
	AU3 Descenso en la calidad del agua bruta	
	AU4 Aumento de vertidos por aliviaderos en episodios de lluvias (entrada EDAR)	
	AU5 Colapso de colectores	
	AU6 Desbordamiento de cauces	

Regadíos y usos agrarios	AG1	Aumento estrés hídrico en cultivos de secano
	AG2	Aumento demanda agua en cultivos de regadío
	AG3	Pérdida garantía regadío
	AG4	Cambio hábitat cultivos
	AG5	Aumento malas hierbas
	AG6	Eventos extremos
Producción de energía hidroeléctrica	EH1	Reducción caudal disponible natural
Acuicultura	AC1	Cambios en temperatura, oxígeno disuelto y caudal (afección hábitat de las especies)
Usos recreativos	RE1	Aumento de la concentración de contaminantes

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:

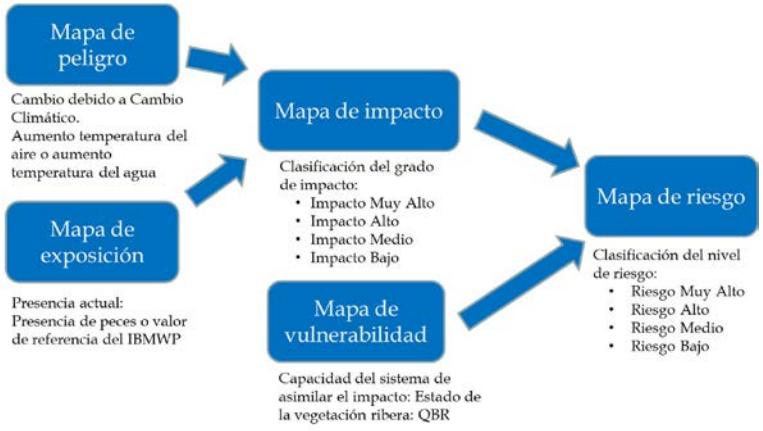

Figura 20. Metodología propuesta para la definición del riesgo asociado al cambio climático

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 periodo de impacto correspondiente al corto plazo (2010-2040), dando prioridad además a aquellas afectadas en el escenario de emisiones más optimista de los dos estudiados (RCP4.5), son las más prioritarias para la aplicación de medidas de adaptación. En consecuencia, en los apartados siguientes se muestran los resultados exclusivamente para el escenario a corto plazo, sin menoscabo del análisis completo que se presenta en los apéndices 1 y 2.

5. Avances en los modelos de riesgo para los ecosistemas

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

En el marco de la elaboración del plan de adaptación al cambio climático expuesto en el punto anterior se ha abordado el análisis de riesgos frente al cambio climático de forma independiente a esos otros riesgos debidos a las diferentes presiones expuestas en el anejo 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 estar sometidas a presiones en la actualidad supone un factor de vulnerabilidad adicional. Por dar un ejemplo, una masa con bajos valores de oxígeno disuelto por efecto de un vertido orgánico será más vulnerable a la reducción de O_2 por el aumento de temperaturas previsible como consecuencia del cambio climático.

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

5.1. Pérdida de hábitat para especies de aguas frías

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

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

- La temperatura que determina la zona de apremio de la especie: temperatura en la que la especie se ve significativamente afectada.

- El límite termal de la especie: valor de temperatura en 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 18.7 ºC dado que es el límite superior que determina el rango óptimo de la especie (Santiago, 2017). La barrera termal se ha establecido en 21,8 ºC (Wehrly & Wang, 2007), como límite máximo de temperatura media del agua.

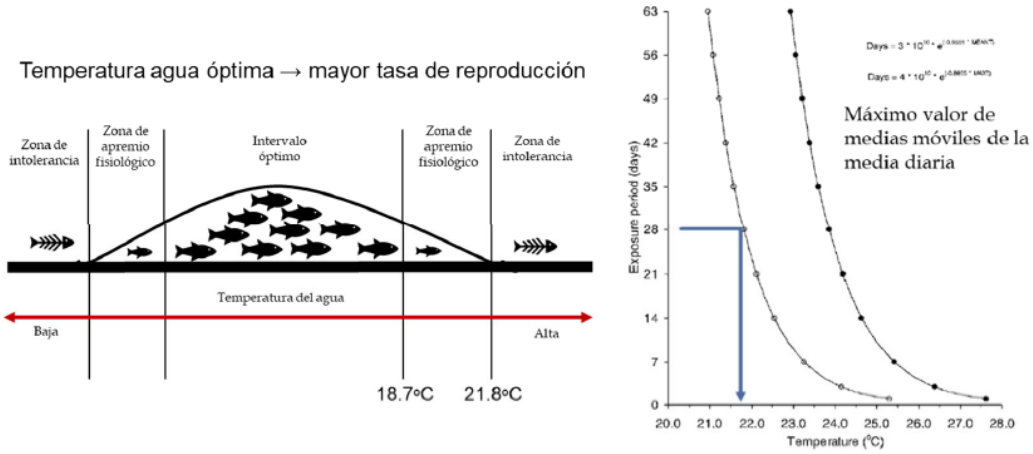

Figura 21. Definición de la zona de apremio y de la barrera termal de la Trucha Común y límites máximos de exposición en días en función de la temperatura media diaria (Wehrly & Wang, 2007).

Como se puede ver en la figura anterior (derecha), de forma puntual la especie puede aguantar temperaturas en el agua de hasta 25 ºC, pero si hablamos d una temperatura sostenida a lo largo de todo un mes este límite baja a los 21,8 ºC 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,…

Destaca sin embargo algunos tramos donde las formulas lineales para la estimación de la temperatura del agua a partir de la temperatura del aire requerirían de una mejor calibración, como son la desembocadura del Mijares y todo el tramo medio y bajo del Turia, que como veremos en este y en apartados siguientes no presentan un buen ajuste

entre la situación real y la potencial. Ya en la siguiente figura puede verse como ambos tramos, de acuerdo con el modelo lineal aparecen como aptas para la vida piscícola en la actualidad, en contraposición al resto de tramos bajos de los ríos cuyas condiciones son similares. En consecuencia, el análisis de riesgos e impactos potenciales reflejado en apartados anteriores presenta una alta incertidumbre en ambos casos.

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

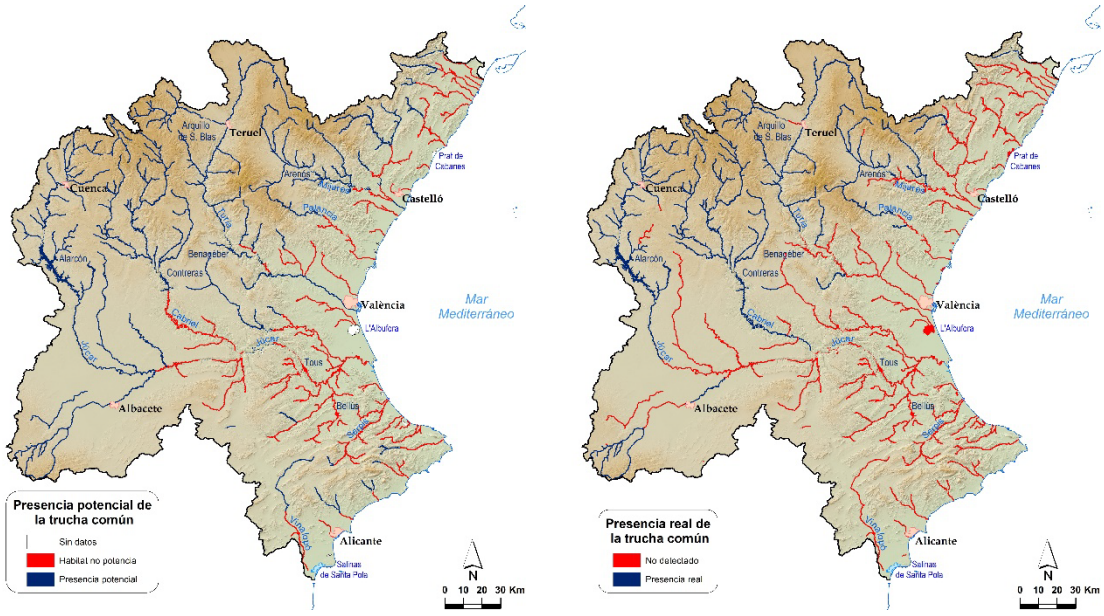

Figura 22. Mapa de Exposición potencial, elaborado en base al límite termal de 21.8 ºC (izquierda) y Adaptación de la Presencia de la Trucha Común a las masas de agua superficiales (Atlas y Libro Rojo de los Peces, MMA, 2001) (derecha), en el ámbito de la demarcación.

El incremento medio de temperatura del agua en agosto debido al cambio climático se estima entre 1,0 y 1,3º C en el corto plazo, 2010-2040, entre 1,8 y 2,4º C en el medio plazo, 2040-2070, y entre 2,2 y 3,9º 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 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 mapas de impacto pueden consultarse en el apéndice 1.

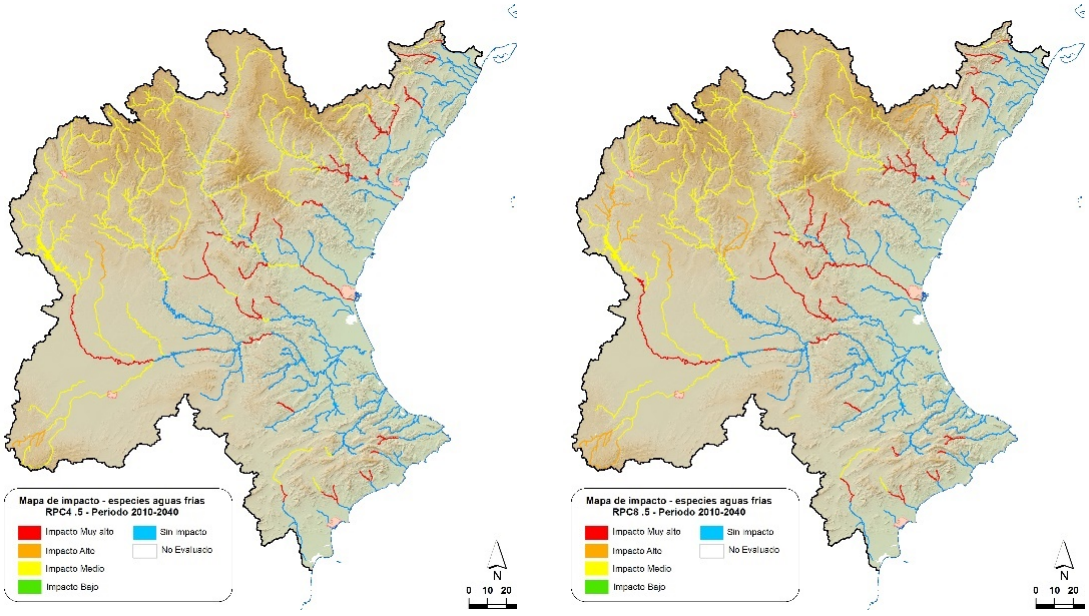

Figura 23. Mapas del impacto potencial a corto plazo (PI1) según ambas sendas de emisiones (RCP4.5 y RCP8.5)

Se puede observar que las masas afectadas en ambos escenarios de emisiones al corto plazo son similares. Por lo tanto, limitándonos a las que tienen un impacto potencial mayor en el escenario optimista, vemos que son los tramos medios los más afectados por el aumento de temperatura en lo que se refiere al hábitat potencial de las especies de aguas frías. De las 341 masas evaluadas, 64 masas, o un 19% 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. El pasado año 2019 el MITERD aprobó un nuevo protocolo de caracterización hidromorfológica de las masas de agua que establece un nuevo indicador para evaluar la calidad de la vegetación de ribera. No obstante, dado que este

nuevo indicador requiere trabajo de campo intensivo por el momento 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 24. Mapa de vulnerabilidad

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

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

		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 mapas de riesgo para los periodos de impacto dos y tres, en ambas sendas de emisiones se pueden consultar en el apéndice 2.

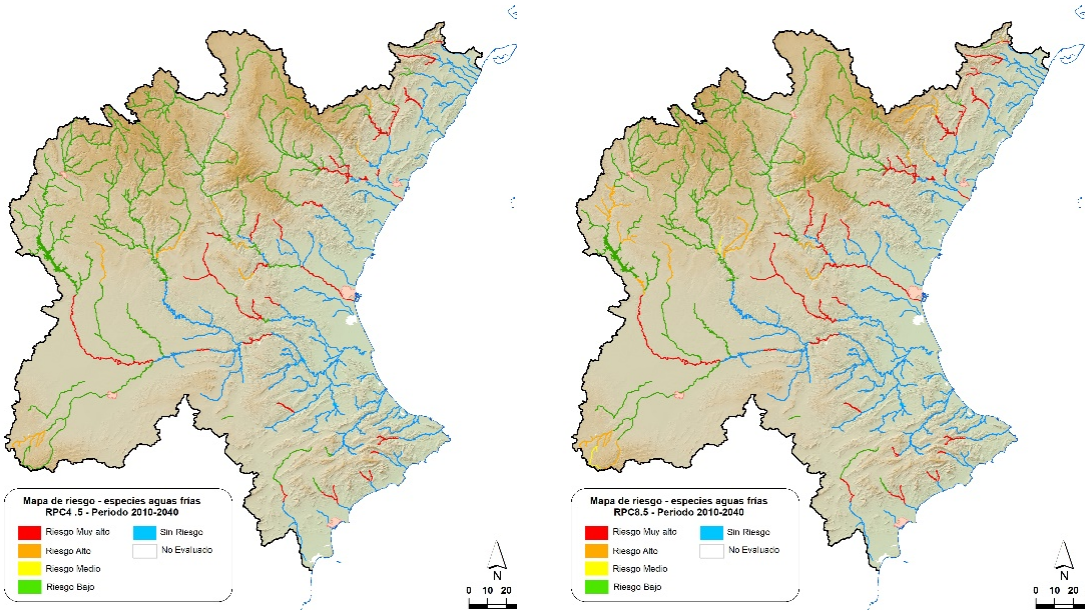

Figura 25. Mapas del riesgo a corto plazo (PI1) según ambas sendas de emisiones (RCP4.5 y RCP8.5)

Como se aprecia en la figura anterior las masas más propensas a sufrir riesgo para las especies piscícolas de aguas frías son las cabeceras de los ríos más cortos: Cenia, Amadorio, Guadalest y algunos tramos medios de los ríos más largos, donde el aumento de cota ya no compensa la subida de temperaturas esperable por efecto del CC.

Algunos de los tramos más significativos, por la presencia real de trucha en la actualidad, son el tramo medio del Júcar, aguas abajo del embalse de Alarcón, el río Reatillo en el Turia, el río Madre en la cabecera del Magro, el Palancia aguas abajo del azud de la acequia de Sagunto, el río Villahermosa en el Mijares y el Cenia aguas abajo del embalse de Ulldecona.

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, 2018b), junto con los propios factores de vulnerabilidad considerados en el plan de adaptación, los factores de mayor influencia en la temperatura del agua y que pueden verse alterados mediante la aplicación de medidas son:

- La vegetación riparia: dado que la sombra directa reduce la temperatura del agua.
- La vegetación de la cuenca vertiente: dado que favorece la infiltración y por tanto la escorrentía subterránea que origina un régimen más frío en verano, en aquellas masas con una fuerte componente hidrogeológica en su alimentación, permitiendo además un microclima más fresco en el área de influencia del río.

- La disponibilidad de caudales adecuados, principalmente en épocas de estiaje, que permiten reducir el calentamiento del agua.
- La adaptación del funcionamiento de embalses: favoreciendo los desembalses hipolimnéticos de fondo frente a los de coronación, que pueden originar una alteración térmica por calentamiento que puede ser crítica en época estival.
- La mejora de la morfología del cauce: reduciendo los tramos dragados y evitando las canalizaciones que favorecen con frecuencia una mayor insolación y reducen la conectividad con el subálveo y por tanto permiten el calentamiento de las aguas.

5.2. Riesgo de reducción del oxígeno disuelto en el agua

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

La temperatura del agua afecta directamente al contenido de oxígeno presente. En el presente apartado se analiza el efecto de dicho aumento de temperatura en el contenido de 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 CHJ.

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 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.

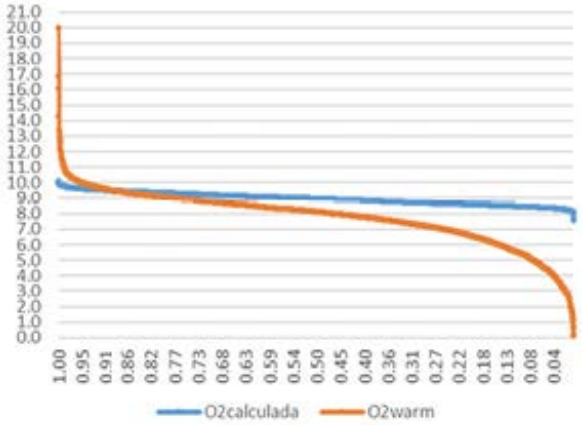

Figura 26. Distribución de la concentración de oxígeno disuelto en agua calculada, en función de la temperatura y la altitud, y observada (mg/l)

Las concentraciones así calculadas en el ámbito de la DHJ se sitúan entre los 8,2 y los 9,2 mgO_2/l, localizándose las mayores concentraciones en los tramos altos de los ríos Júcar, Cabriel, Turia y Mijares, como se puede observar en la siguiente figura.

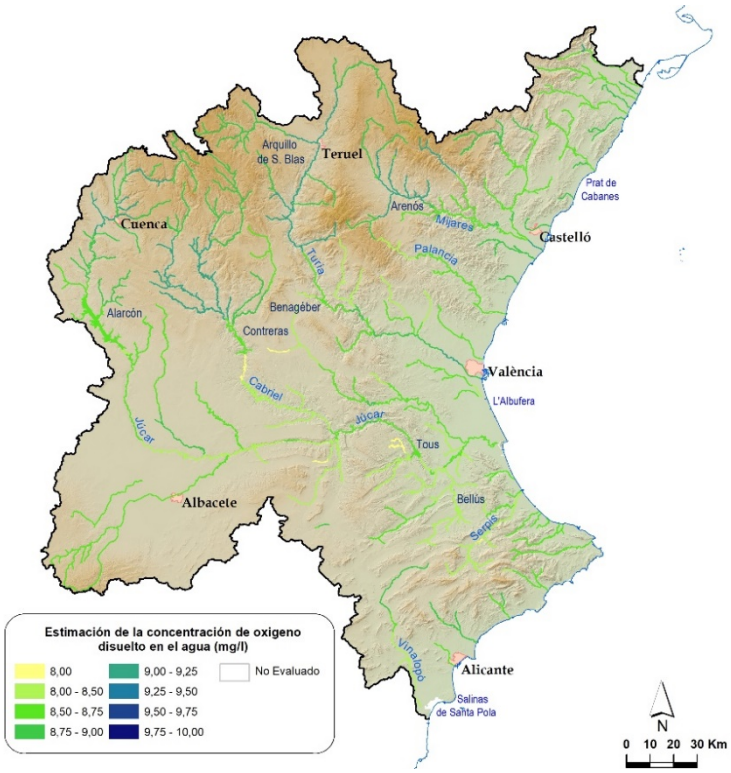

Figura 27. Estimación de la concentración de oxígeno disuelto en el agua (mgO_2/l) calculada en función de la temperatura y la altitud en el mes de agosto

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 0,13 y 0,25 mg/l. 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 (los mapas de impacto a medio y largo plazo en el apéndice 1). 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.

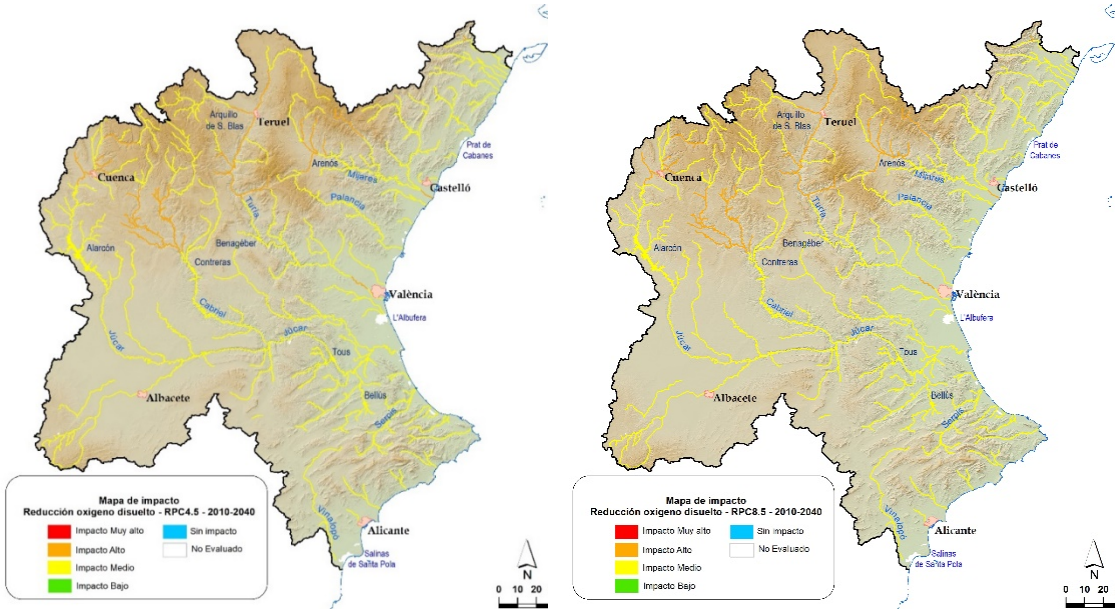

Figura 28. Mapa del impacto potencial a corto plazo (PI1) sobre el oxígeno disuelto (RCP4.5 y RCP8.5)

Además, en este caso en ambos escenarios de emisiones las masas afectadas son prácticamente las mismas, salvo en el tramo medio-alto del Mijares, a la altura del embalse de Arenós. En términos generales, las masas de cabecera de los ríos de la demarcación presentan impacto medio. Sin embargo, los mayores impactos se sitúan en las masas a continuación de estas, aún en los tramos altos de los ríos Mijares, Turia, Cabriel y Júcar. En los tramos medios y bajos, apenas la desembocadura del río Mijares y el tramo del río Turia entre el arroyo de la Granolera y el nuevo cauce presentan también impactos altos. Aunque, como ya hemos apuntado antes, existe una alta incertidumbre sobre la validez de los valores en ambos tramos.

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).

Se considera un riesgo bajo si el oxígeno se mantiene en el mismo rango y el QBR es bueno mientras que se considera alto si pasan de contenido de oxígeno alto a medio y el QBR presenta mal estado. En el caso de cambio de rango, si el QBR es bueno se ha considerado riesgo medio (con concentraciones de O_2 siempre por encima del límite de 5 mg/l). Se considera un riesgo bajo si el oxígeno se mantiene en el mismo rango y el QBR es bueno mientras que se considera alto si pasan de contenido de oxígeno alto a medio y el QBR presenta mal estado. En el caso de cambio de rango, si el QBR es bueno se ha considerado riesgo medio (con concentraciones de O_2 siempre por encima del límite de 5 mg/l). En este caso, sin embargo, en apenas 6 masas de las 42 que presentan impacto potencial alto, éste se ve mitigado por la calidad actual de su bosque de ribera.

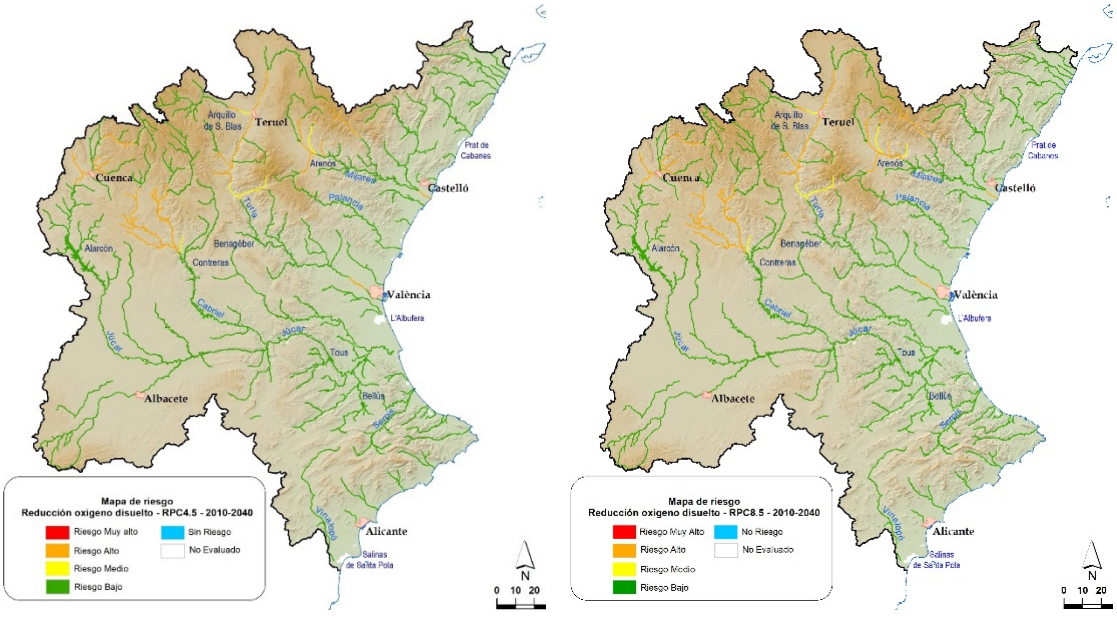

Figura 29. Mapa del riesgo a corto plazo (PI1) debido a la reducción del oxígeno disuelto (RCP4.5 y RCP8.5)

De este modo, la distribución de las masas en riesgo es similar a las masas con potencialidad de impacto y por tanto se concentran en los tramos altos de los principales ríos con la excepción de las masas de cabecera. Se debe resaltar de nuevo que ninguna masa presenta riesgos considerados muy altos.

En concreto presentan riesgo alto el tramo aguas arriba del embalse de Arenós en el río Mijares (e incluso el embalse en el escenario RCP8.5), los ríos Alfambra, Guadalaviar y el Turia hasta el río Arcos, los ríos Guadazaón y Cabriel aguas arriba del embalse del Bujioso y el río Júcar aguas abajo de la laguna de Uña y en el entorno de la ciudad de Cuenca. En los tramos bajos, presentan impacto alto la desembocadura del río Mijares y el tramo del Rio Turia entre el arroyo de la Granolera y el nuevo cauce.

Cabe destacar finalmente, que para valorar el verdadero impacto del cambio climático en la reducción del contenido de O_2 habría que tener en cuenta el efecto combinado de las presiones actuales en el contenido de O_2 y el efecto del cambio climático, que sin duda 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.

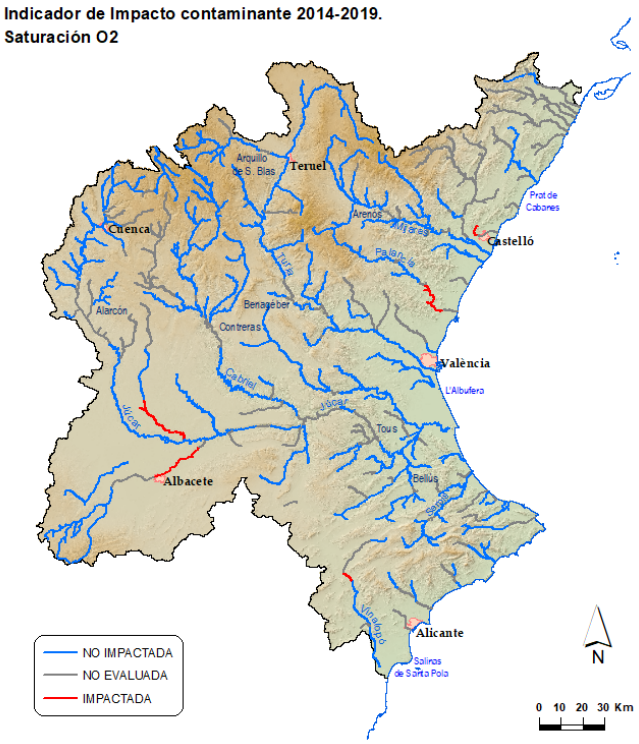

Figura 30. Estado actual del indicador O_2

Como muestra del análisis combinado de los potenciales efectos de las presiones actuales (vertidos y contaminación difusa principalmente) y el cambio climático, sobre las masas de agua se puede consultar el artículo Efecto del cambio climático en la calidad del agua de la Cuenca del Júcar (Suárez-Almiñana et al., 2021). Este estudio analiza el efecto del cambio climático sobre la calidad del agua a partir de la estimación

de las aportaciones hidrológicas futuras, afectadas por el cambio climático, y la influencia de la variación de la temperatura en el comportamiento de los contaminantes en la cuenca del río Júcar mediante el modelo RREA (ver anejo 7). El esquema empleado es el siguiente:

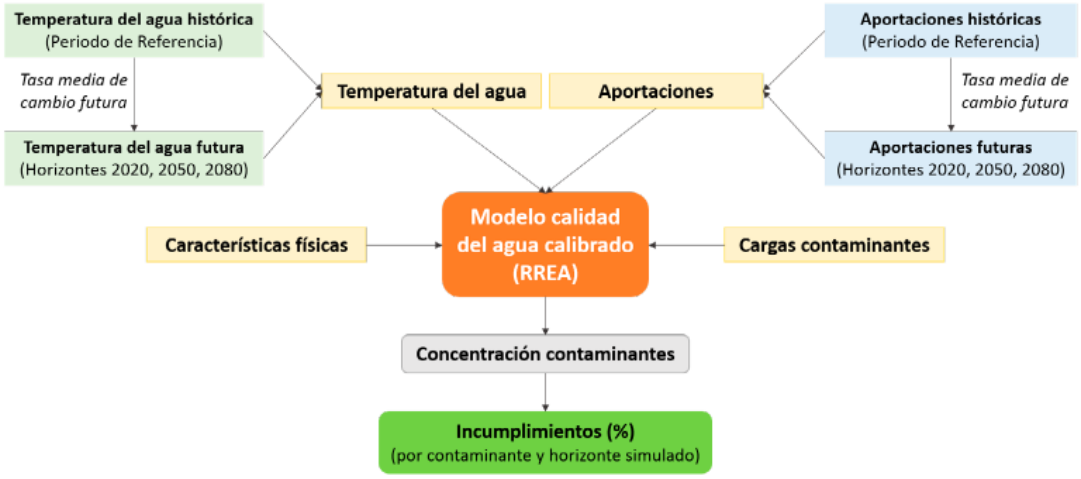

Figura 31. Metodología de simulación de la calidad del agua en situación futura afectada por el CC

Las conclusiones son que, en aquellas masas afectadas en la actualidad se podrían experimentar afecciones más graves en el futuro y un empeoramiento en las que no están afectadas en la actualidad, a pesar de que el aumento de la temperatura supondría una mayor degradación de algunos contaminantes y podría compensar en parte la reducción de caudales circulantes. En este sentido, contaminantes como los nitratos, que apenas presentan degradación en aguas superficiales, serán en los que haya que poner el foco principalmente en el futuro.

Por último, cabe destacar que otro efecto no tenido en cuenta en este estudio es el de las medidas encaminadas al alcance de objetivos ambientales que contrarrestarán también los efectos de las presiones actuales, evitando un empeoramiento futuro por efecto del CC.

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, en este caso la temperatura media anual (CEH, 2012).

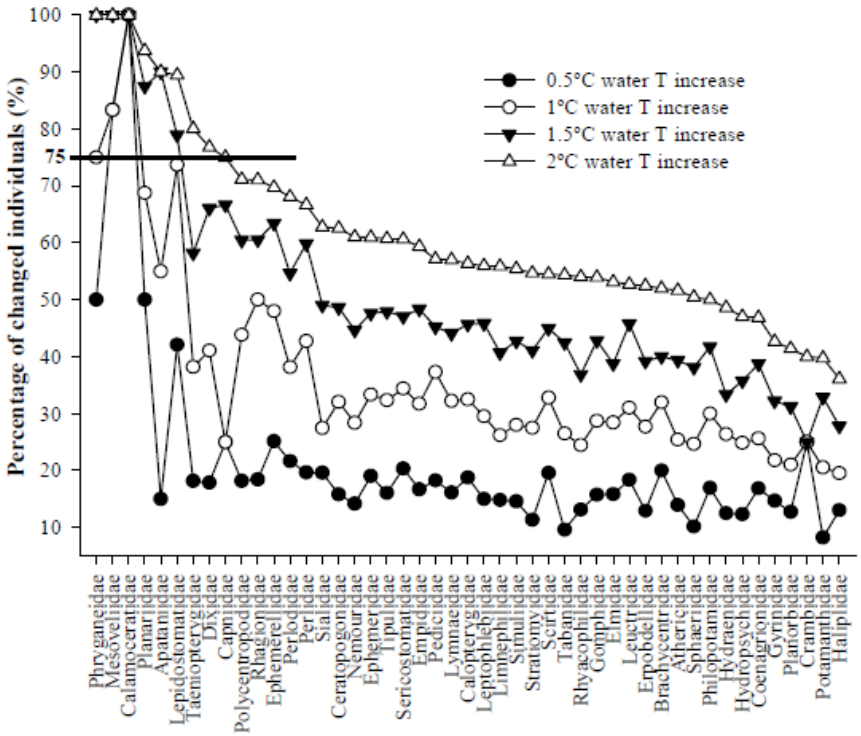

Figura 32. Porcentaje de individuos por familia que experimentan un cambio como resultado de incrementos en la temperatura del agua (método del Óptimo Robusto) (CEH, 2012)

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:

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

En la DHJ, según los resultados obtenidos en el escenario RCP4.5 se predice que la temperatura media del agua puede incrementarse en 0,7°C en todos los cursos medios y bajos de la demarcación, y por encima de 0,8°C en el tramo medio del Júcar aguas abajo del embalse de Alarcón. La excepción a esta afirmación se observa en el tramo del río Turia desde la confluencia del rio Sot hasta el nuevo cauce, donde el aumento de temperatura previsto es menos de 0,5°C, aunque, como ya hemos apuntado antes, este tramo junto con la desembocadura del Mijares, presenta mucha incertidumbre en las estimaciones del cambio de temperatura.

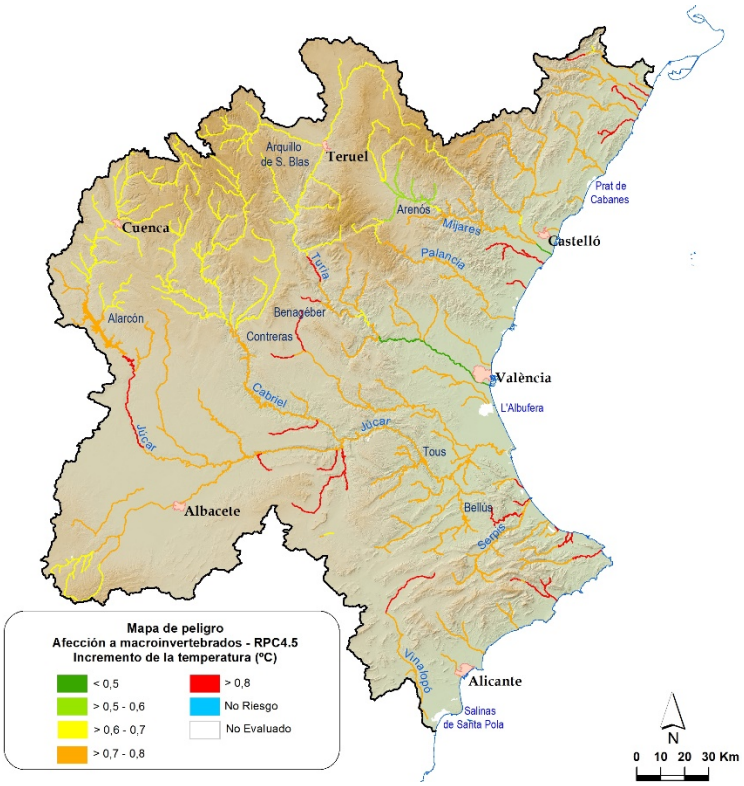

Figura 33. Mapa de peligro: Incremento esperado de la temperatura del agua a corto plazo (PI1) para el escenario de emisiones CP4.5.

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 (dado que no se tienen en cuenta las presiones actuales), 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 en ningún caso se observan impactos altos o muy altos. Sin embargo, este resultado se restringe a este escenario y el corto plazo. Si se considera el escenario de emisiones más pesimista (RCP8.5) los cursos medios y bajos de los ríos de la demarcación pasarían a sufrir impactos más severos.

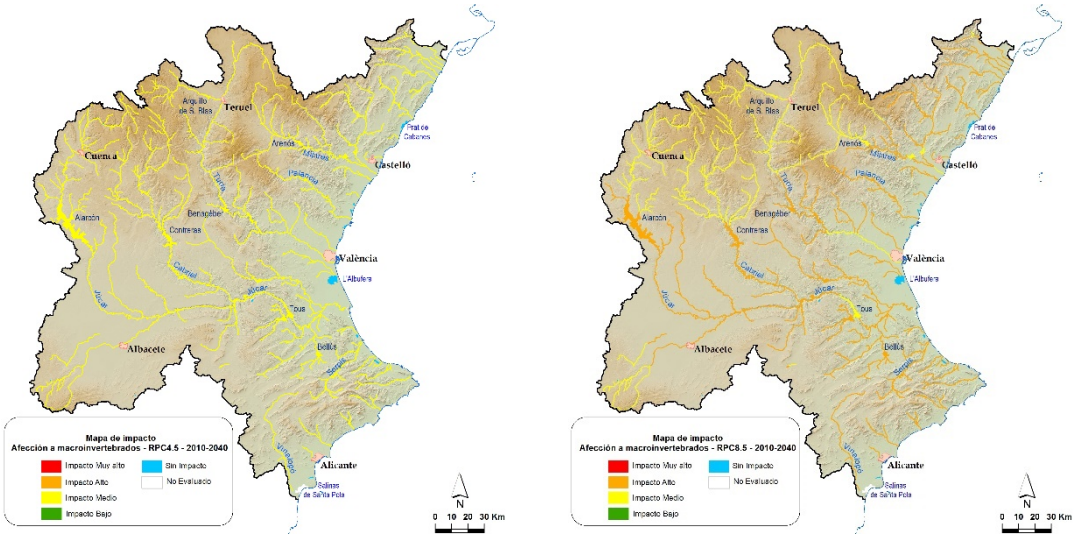

Figura 34. Mapa del impacto potencial a corto plazo (PI1) sobre los macroinvertebrados según la senda de emisiones relativamente optimista (RCP4.5) y la más pesimista (RCP8.5).

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

Los mapas del riesgo para los macroinvertebrados para el primer periodo de impacto en las sendas de emisiones RCP4.5 y RCP8.5, como cruce del impacto y la vulnerabilidad, se muestran en la figura siguiente. El resto de mapas de riesgo asociados a este indicador, para los periodos de impacto dos y tres, para ambas sendas de emisiones, RCP4.5 y RCP8.5, se pueden consultar en el apéndice 2 del presente documento. Se observa de nuevo como en las evaluaciones más favorables, a corto plazo el riesgo es bajo para todas las masas de la demarcación. 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 de nuevo el tramo del río Turia a partir de la confluencia del río Sot, debido al limitado incremento esperado en la temperatura del agua, aunque con las reservas ya expuestas en puntos anteriores sobre la fiabilidad de la estimación del incremento de temperatura.

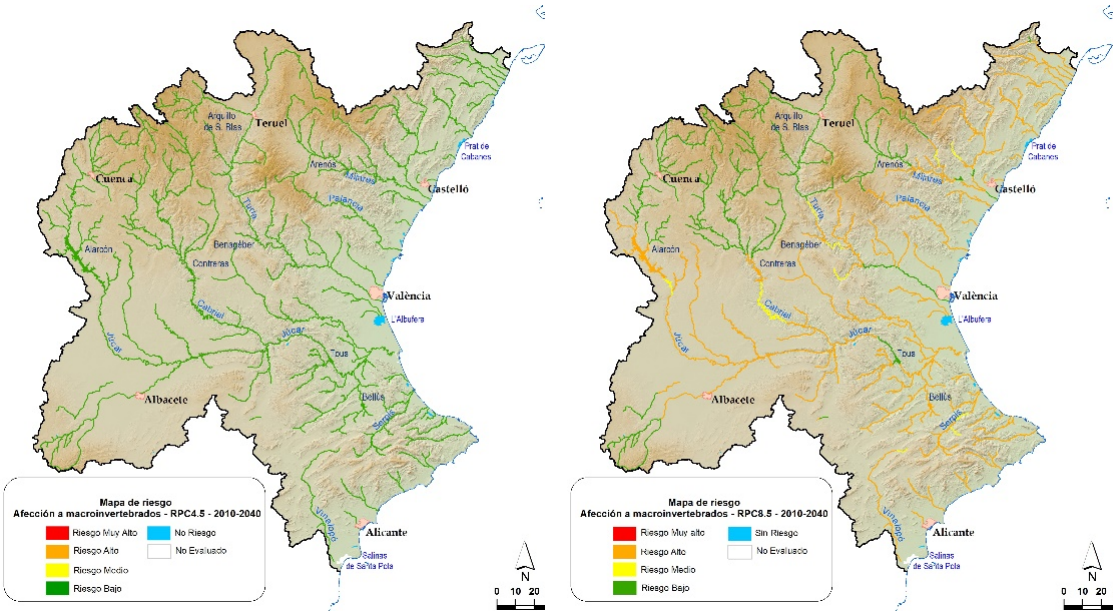

Figura 35. Mapa del riesgo a corto plazo (PI1) para los macroinvertebrados según la senda de emisiones relativamente optimista (RCP4.5) y más pesimista (RCP8.5).

En el caso del riesgo para los macroinvertebrados, dado el carácter generalizado de los riesgos, además de actuar sobre la vegetación de ribera y otros factores que permitan disminuir la temperatura del agua, como hemos visto en los apartados anteriores, si este efecto se constata y se demuestra irreversible podría ser más adecuado afrontarlo revisando las condiciones de referencia que determinan el estado de las masas de agua. Para ello será de gran utilidad el análisis de la información de las redes de vigilancia en masas inalteradas para observas si ha habido cambios en los años recientes, especialmente desde 2005/06 cuando, según las recomendaciones del CEDEX (CEH, 2020), el efecto del cambio climatico ya es patente en las series hidroclimáticas.

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 del Júcar en desarrollo, existen múltiples trabajos científicos que analizan cómo afectará el cambio climático a los diferentes ecosistemas.

Se nombran a continuación algunos trabajos por su afección particular en el ámbito del Júcar.

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 (Zambrano, J. 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.

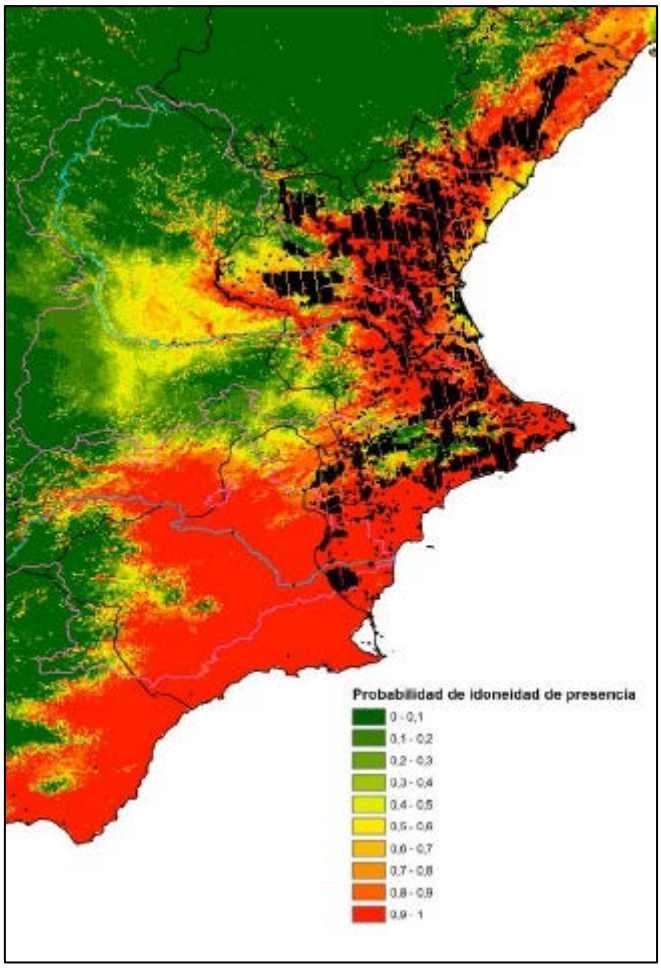

Figura 36. Probabilidad de pesencia potencial y presencia actual (en negro) en los ámbitos de Júcar y Segura (FIC-UPM, 2020)

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.

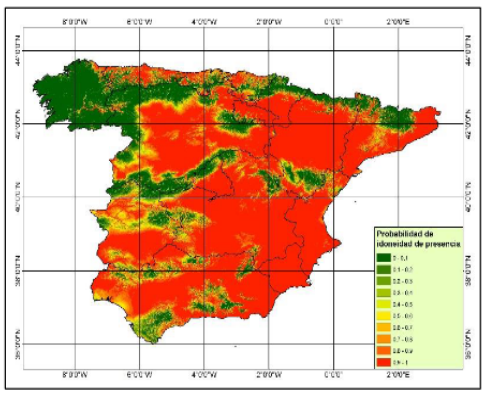

Ilustración 18: Mapa de idoneidad de presencia de Arundo donax en 2041-2060 según el escenario RCP 4.5 en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

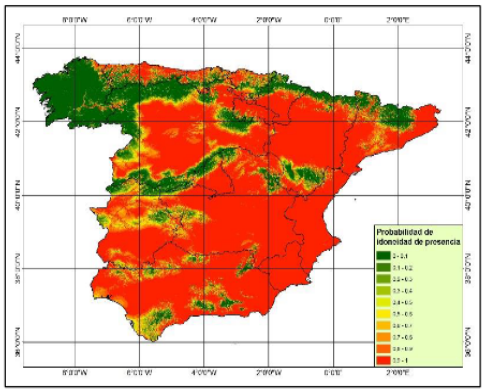

Ilustración 19: Mapa de idoneidad de presencia de Arundo donax en 2061-2080 según el escenario RCP 4.5 en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

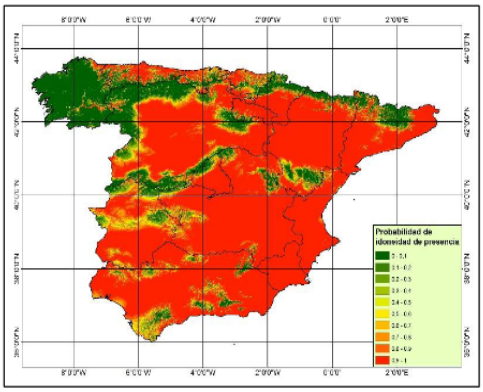

Ilustración 20:Mapa de idoneidad de presencia de Arundo donax en 2041-2060 según el escenario RCP 8.5 en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

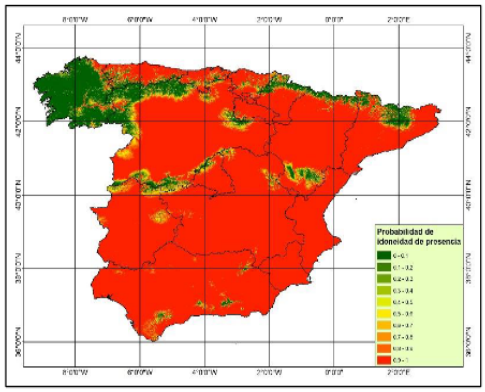

Ilustración 21: Mapa de idoneidad de presencia de Arundo donax en 2061-2080 según el escenario RCP 8.5 en la zona de estudio. Fuente: elaboración propia.

Figura 37. Mapas de presencia potencial futura en España en los escenarios de cambio climático modelizados (Zambrano, J., 2021)

En la figura anterior se puede observar cómo, salvo en las zonas de cabecera de Turia y Mijares, en la provincia de Teruel, y en la cabecera del Júcar, en Cuenca, el resto del ámbito de la demarcación pasa a ser zona apta para la expansión del *Arundo donax*.

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 del Júcar, a su paso por la provincia de Albacete y los tramos 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. Cabe destacar, no obstante, que de acuerdo al actual inventario de presiones (ver anejo 7) ya se ha detectado presencia de *Arundo donax* en los cursos de Júcar y Cabriel en las provincias de Cuenca y Albacete, aunque el proyecto expuesto no parece haber tenido en cuenta estos datos para la calibración.

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. Asimismo, con la progresiva implantación de más componentes del régimen de caudales ecológicos (mayor variación de caudales mínimo y máximo, extensión de los tramos con tasas de cambio establecidas o introducción progresiva de caudales generadores de avenidas) se espera que se favorezcan condiciones de ribera más cercanas al potencial natural, donde otras especies autóctonas puedan competir con la caña con mayores garantías.

En este sentido cabe señalar que la estrategia actual desarrollada en la CHJ 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.

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 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.

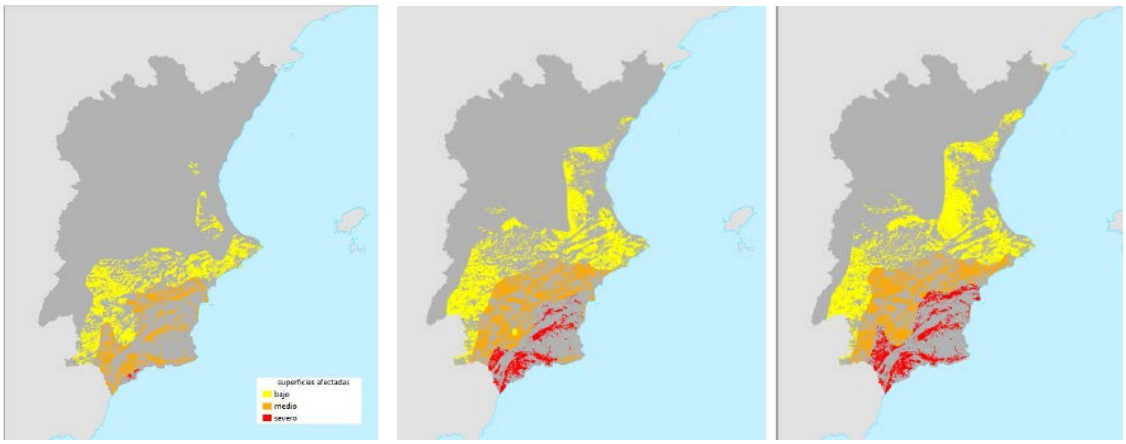

Figura 38. Comparativa entre el índice de erosión en situación actual y futura (bajo los escenarios RCP4.5 y 8.5 en el año 2050) en los ámbitos de las demarcaciones de Júcar y Segura (FIC, 2018a).

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.

Si a esto se une un mayor riesgo de sufrir fenómenos de gota fría y lluvias más extremas, el riesgo de torrencialidad de estos fenómenos y los sedimentos que arrastren se verán potenciados por la pérdida de vegetación.

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

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 evaluación del riesgo del cambio climático sobre los humedales costeros mediterráneos, aplicado a la Demarcación Hidrográfica del Júcar, elaborada en el marco de los trabajos llevados a cabo por el IIAMA-UPV para la elaboración del Plan de adaptación al cambio climático (Estrela-Segrelles, C. et al., 2021).
- La Estrategia valenciana de cambio climático y energía 2030 (GV, 2019).

La DHJ dispone de una línea de costa de más de 5.000 km (en una escala de 1:25.000) lo que da una idea de la importancia que tiene el litoral, tanto en su aspecto ambiental como en el 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 Castellón y Valencia, mayoritariamente playas, se encuentran ya en la actualidad en regresión debido a la disminución de los sedimentos de los ríos y a la interrupción de la dinámica litoral por la construcción de infraestructuras portuarias. Es una costa altamente antropizada, muy vinculada al uso recreativo y turístico, si bien destaca en esta franja costera la presencia de marjales y zonas húmedas de gran importancia ambiental, como l'Albufera de Valencia o el marjal de Pego-Oliva. En la costa norte de Alicante, sin embargo, existe un paisaje litoral de calas y acantilados con un mayor grado de conservación.

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.

En consecuencia, bajo cualquier otro escenario menos optimista, esto supondría mayores retrocesos en las playas del ámbito de la CHJ, superiores a los 1-2 m estimados en el estudio C3E, lo que junto a la falta de espacio para adaptarse debido a la actual presión urbanística de la línea costera podría suponer en algunos casos la pérdida de playas y su consecuente afección al turismo. Como veremos a continuación en el estudio de pérdida de humedales costeros por efecto del cambio climático, este posible retroceso no afectará previsiblemente a zonas habitadas, y por tanto no pondría en riesgo la vida de las personas ni sus bienes materiales, sin embargo, el efecto económico que pueda tener sobre el turismo requiere de estudios en mayor profundidad.

Para los humedales costeros, sin embargo, los resultados preliminares 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 relación a la pérdida de humedales costeros, en el marco del proyecto de plan de adaptación al cambio climático en el ámbito del Júcar (IIAMA-MITERD, en desarrollo) se ha estudiado el riesgo que la subida del nivel del mar puede suponer específicamente para el P.N. de l'Albufera, estando el lago caracterizado como masa de agua muy modificada y por tanto reconociendo su valor asociado al uso histórico que se ha dado a este humedal (Estrela-Segrelles, C. et al, 2021).

En realidad, se ha estudiado la afección de la subida del nivel del mar en general, pero la zona que resulta más afectada según el análisis en el ámbito del Júcar es este humedal. Se resumen a continuación brevemente este estudio.

En primer lugar, se han seleccionado 5 escenarios climáticos de estudio: tres de ellos basados en los escenarios del estudio C3E, a corto y largo plazo, considerando el valor medio estimado para la subida del mar y el percentil 95, y dos de ellos en base a escenarios extremos vinculados a altas emisiones. En base a la revisión de referencias realizada, se considera que el valor del percentil 50 estimado para el largo plazo está subestimado y se aconseja considerar para el largo plazo el valor de 0,79 m como representativo del aumento medio del nivel del mar.

Nombre del escenario	Fuente	ΔNMM (m)	Percentil	Hipótesis
CHJ_000	-	0		Escenario actual (1986–2005)
CHJ_016	**CMIP5 RCP4.5 y RCP8.5 (C3E-Cantabria, 2016)**	**0,15-0,16**	**50**	**Escenario a corto plazo (2026-2045)**
CHJ_058	CMIP5 - RCP8.5 (C3E-Cantabria, 2016)	0,58	50	Escenario a largo plazo (2081-2100)
CHJ_079	CMIP5 - RCP8.5 (C3E-Cantabria, 2016)	**0,79**	95	**Escenario a largo plazo (2081-2100)**
	RCP8.5 IPCC AR5/SROCC Thiéblemont et al., 2019		**50**	
CHJ_135	**Thiéblemont et al., 2019**	**1,35**	**95**	**Escenario extremo A**

Nombre del escenario	Fuente	ΔNMM (m)	Percentil	Hipótesis
				A largo plazo (2081-2100)
CHJ_192	**Thiéblemont et al., 2019**	**1,92**	**Extremo**	**Escenario extremo B Escenario más pesimista**

Tabla 9. Subida media del nivel del mar según los distintos escenarios estudiados de afección a la costa

Mediante análisis geográfico se han estudiado las zonas que quedarían bajo el nivel del mar en cada uno de estos escenarios (mapa de peligrosidad), siendo efectivamente los humedales las zonas más afectadas.

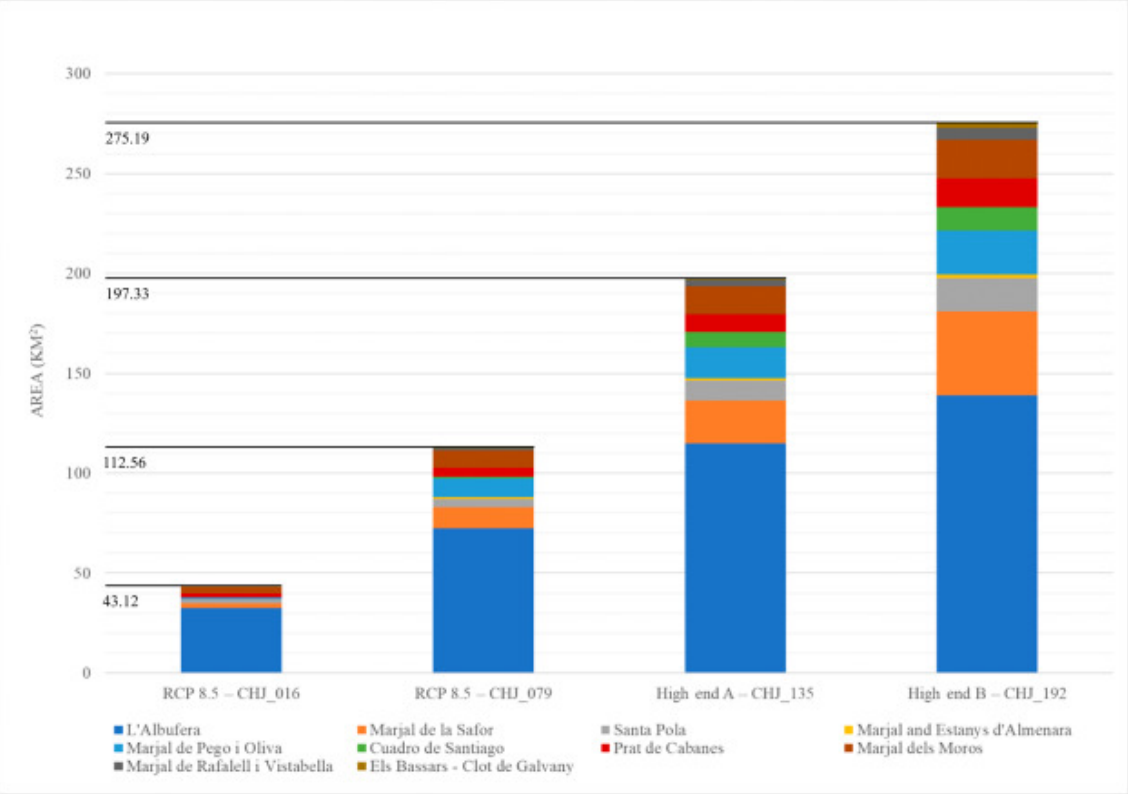

Figura 39. Superficie inundada en humedales según los escenarios climáticos estudiados

En base al uso del suelo del SIOSE (sistema de información sobre ocupación del suelo en España, www.siose.es) se ha establecido la exposición, considerándose las zonas urbanas las más expuestas.

Finalmente, el nivel de vulnerabilidad se establece en base a dos factores: a la capacidad para asimilar la subida del nivel del mar en función del uso del suelo igualmente y también en función del estado de las masas de agua subterráneas costeras, que pueden frenar el avance de la cuña salina.

El efecto que la subida del mar puede tener sobre el avance de la cuña salina no se ha estudiado con detalle por el momento.

De la combinación de información relativa a la exposición, la peligrosidad y la vulnerabilidad se concluye que los humedales costeros son la zona de mayor riesgo

frente al incremento del nivel del mar y dada su extensión, su cota sobre el nivel del mar y su grado de antropización, l'Albufera es la que más superficie puede llegar a perder.

Cabe señalar que l'Albufera de Valencia tiene en la situación actual una superficie por debajo del nivel del mar en torno a 5 km^2. Esta superficie se mantiene artificialmente desecada o inundada con agua dulce para el cultivo del arroz gracias al complejo sistema de bombeo y de compuertas que existe en el parque natural.

Según los escenarios analizados la superficie bajo el nivel del mar podría aumentar hasta los 32 km^2 en el corto plazo y los 73 km^2 en el largo plazo. Según los escenarios extremos superaría los 100 km^2, pero como se ha comentado estos escenarios son poco previsible.

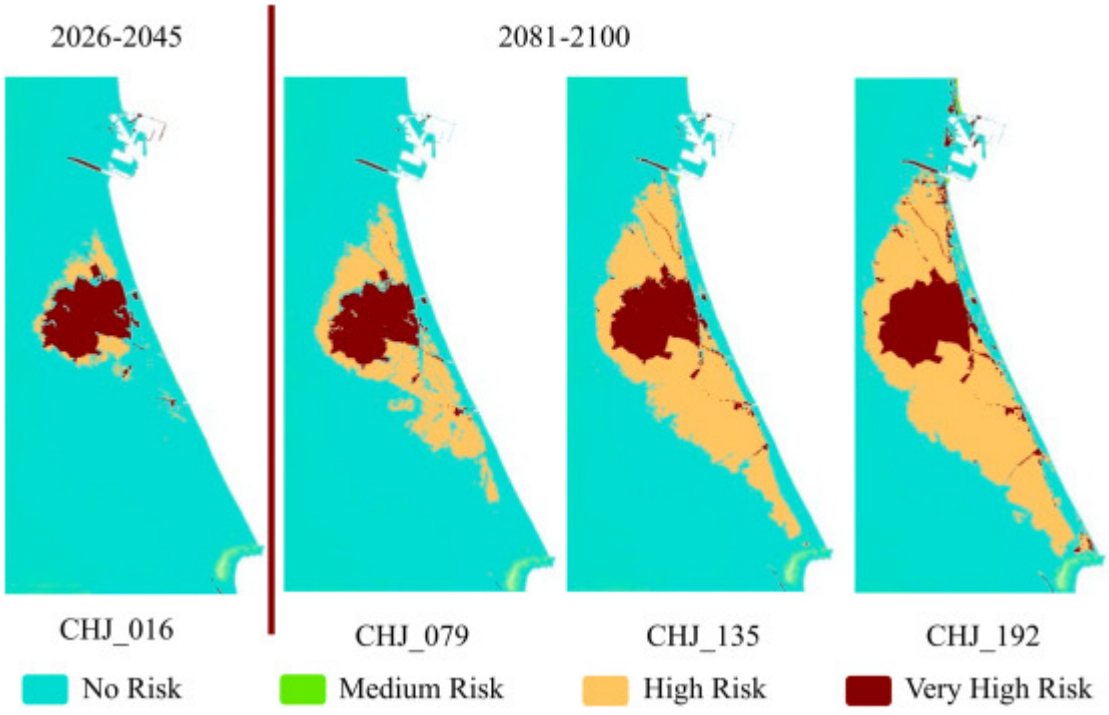

Figura 40. Estimación de la superficie en riesgo de situarse bajo el nivel del mar en el P.N. de l'Albufera bajo diversas hipótesis de cambio climático

Para impedir la entrada de agua marina en el lago y marjal debido a la subida del nivel del mar, se plantea en el estudio la necesidad de un cambio en la gestión de los niveles del lago, que actualmente está establecido en 28 cm sobre el nivel del mar durante los meses de mayo a octubre y 43 cm de noviembre a enero, y el resto del año entre 23 y 28 cm sobre el nivel del mar. Para evitar la salinización por la subida del nivel del mar prevista, será necesario un mayor nivel en el lago del actual y, por lo tanto, un mayor volumen. Esto, a su vez, condicionará la tasa de renovación del lago, que depende de los aportes que recibe y del volumen almacenado. Esta tasa de renovación es clave para el control de la eutrofización y la calidad del lago en general y en último término condiciona la biodiversidad del ecosistema, por lo que, a mayor volumen, para mantener la tasa de renovación actual será necesario un mayor volumen de aportes.

Finalmente, en dicho estudio se proponen como medidas de adaptación, el establecimiento de un sistema de drenaje que evite la inundación de terrenos agrícolas con agua con altas concentraciones de salinidad y la introducción de variedades de arroz más tolerantes a la salinidad del suelo, así como un manejo efectivo de las compuertas que regulan la entrada y salida de agua de mar al humedal.

Dicho sistema de drenaje provocará un aumento considerable en los costos de extracción de agua del arrozal, y adicionalmente, para evitar el avance de la cuña salina, podrá ser necesario el aumento de los aportes externos de agua dulce, el cambio en la gestión de niveles del lago, la recarga de los acuíferos e incluso la promoción de cambios en el uso del suelo para establecer usos menos vulnerables o reducir la vulnerabilidad de los usos actuales.

No obstante, los riesgos sobre el ecosistema o la capacidad de asimilar esta presión deberán ser objeto de estudios más detallados. Aunque, como ya se ha expuesto en este apartado, existe consenso en que las playas y los ecosistemas dunares bien conservados resultan una barrera eficaz contra la penetración del mar superficialmente y protegen los usos más vulnerables incluso en los peores escenarios.

Finalmente, una vez comentados los riesgos del aumento del nivel del mar en la línea de costa, cabe señalar que los mayores efectos del cambio climático en el mar en sí mismo se centrarían 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 hay que olvidar, como hemos visto en el apartado de inundaciones, que el mayor calentamiento del mar con respecto al aire también supone un factor de riesgo frente a las inundaciones dado que aumenta la inestabilidad atmosférica asociada a fenómenos de gota fría y lluvias torrenciales (Romero, J. y Olcina, J., 2021).

No obstante, la mayor afección de este aumento de temperatura se vincula a la desaparición de superficie de praderas de *Posidonia oceánica*, que podría disminuir hasta un 10% de la densidad actual.

En este contexto la estrategia de adaptación de la costa (MAGRAMA, 2016) plantea una serie de objetivos que se agrupan en 6 bloques: diagnóstico, participación, concienciación y capacitación, medidas de adaptación, seguimiento e investigación.

En relación a 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 valenciana de cambio climático y energía 2030 (GV, 2019), establece para la costa las siguientes actuaciones, alineadas con el fomento de la resiliencia y la protección de la línea de costa:

- 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 los mismos 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 dela estabilidad del frente costero y de las zonas húmedas colindantes.
- Desarrollar programas de paisaje litoral.

7. Afección a los usos

En el anejo 6 del presente plan se ha estimado los efectos que la reducción en los recursos hídricos que se espera como consecuencia del cambio climático tendrá sobre la atención a las demandas. Estas estimaciones se han hecho en base a los porcentajes de reducción del recurso correspondientes al escenario de emisiones más desfavorable (RCP8.5), expuestos en el apartado 3.1 del presente anejo.

Se muestra en la tabla siguiente, por sistema de explotación, el déficit estimado, el número de demandas que incumplen los criterios de garantía así como el porcentaje de disminución en la producción de energía hidroeléctrica obtenidos comparando los resultados en el escenario 4 (escenario de cambio climático) respecto a la hipótesis de asignaciones totales del escenario 2, en los que se tiene en cuenta los cambios en las series de aportaciones y un pequeño incremento en la demanda urbana cuyo efecto es despreciable.

En lo que respecta al déficit en los sistemas, se observa que la disminución de aportaciones ocasiona la aparición de un déficit en la Demarcación de más de 400 hm^3/año del que tres cuartas partes provienen del sistema Júcar.

Además, se produciría incumplimientos en los criterios de garantía en 20 unidades de demanda agrícola lo que supone que una sexta parte de las unidades de demanda agrícola definidas no estarían correctamente atendidas. Debido a su prioridad, no se produce incumplimientos en los criterios de garantía de ninguna demanda urbana y de igual manera la demanda para la refrigeración de la CN Confrentes también está garantizada incluso en condiciones de cambio climático.

En cuanto a la energía hidroeléctrica producida, se estima una disminución entre las dos hipótesis analizadas de un 20%, especialmente en los sistemas Turia y Júcar.

Sistema de explotación	Déficit (hm3/año)	Número de unidades de demanda que incumplen los criterios de garantía	% de disminución de la energía hidroeléctrica producida (GWh/año)
Cenia-Maestrazgo	1,2	2	-10,2%
Mijares-Plana de Castellón	29,7	0	-10,4%
Palancia-Los Valles	4,7	1	-
Turia	52,4	3	-22,1%
Júcar	329,2	8	-22,0%
Serpis	3,6	1	-
Marina Alta	9,3	0	-
Marina Baja	1,6	5	-
Vinalopó-Alacantí	9,4	0	-
Total	441,3	20	-20,6%

Tabla 10. Afección del cambio climático sobre las demandas y la producción hidroeléctrica

Para encontrar información de mayor detalle sobre cada uno de los sistemas se puede consultar el anejo 6.

Estas reducciones, de confirmarse el escenario climático más pesimista, van a requerir importantes medidas de adaptación, pero como hemos visto dentro del alcance del plan de adaptación, la pérdida de garantías y de producción hidroeléctrica, no son el único peligro vinculado al cambio climático que puede afectar 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 estaría 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[3], 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 de 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%[4]. 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%[5] 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 y 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 vinculado principalmente al aumento de la

[3] https://www.dsn.gob.es/es/actualidad/sala-prensa/olas-calor-consecuencias-del-cambio-clim%C3%A1tico-desaf%C3%ADos-para-seguridad

[4] https://www.elagoradiario.com/agua/asi-afecta-la-ola-de-calor-al-consumo-de-agua/

[5] https://www.canaldeisabelsegunda.es

temperatura y la evaporación potencial, pero también a los cambios en la distribución espacial y temporal de la lluvia.

De acuerdo con el estudio del CEDEX al que hemos hecho referencia antes (CEH, 2012) los cultivos permanentes presentarán un incremento de demanda 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 al respecto en el ámbito del Júcar, el cambio climático puede llegar incluso a suponer un cambio de hábitat para determinados cultivos. El aumento de la temperatura media provoca cambios fenológicos de adelanto de la primavera y retraso del otoño. Debido a la prolongación de las temperaturas estivales, la floración se adelanta y las cosechas se hacen más tempranas. Además el riesgo de heladas durante el otoño e invierno disminuye. Se espera que esto provoque un cambio de distribución de los cultivos a medio y largo plazo, ya que algunas zonas dejarán de ser óptimas y otras pasarán a ser aptas (Sanz, M.J. y Galán, E., 2020). De hecho, ya se observa el crecimiento de superficies dedicadas a cultivos hortícolas en la provincia de Albacete, donde hasta hace poco las heladas no lo permitían, y el incremento de cultivos tropicales en la provincia de Alicante.

El viñedo, también importante en algunas zonas de la demarcación, podría verse afectado igualmente por el aumento de temperaturas, obteniéndose uvas con mayor contenido en azúcares y por tanto mayor grado alcohólico y menor calidad. En el cítrico, por su parte, los cambios fenológicos provocados por la variación de la temperatura pueden suponer un solapamiento de las cosechas de las distintas variedades y esto a su vez podría afectar a los precios percibidos por los agricultores y una mayor competencia con producciones de otros países (Sanz, M.J. y Galán, E., 2020).

A su vez, los más que probables cambios en los mosaicos de cultivo, a medio y largo plazo, también contribuirán a modificar las demandas de agua.

Por último, además de la incertidumbre asociada a los efectos del cambio climático sobre la agricultura cabe señalar la incertidumbre inherente al propio sector agrícola por la alta influencia de otros factores: aumento del precio de insumos, precios de los productos en el mercado, ayudas, precios de los seguros, evolución de los patógenos, despoblación de las zonas rurales, envejecimiento de los agricultores, …

Como conclusión, en un escenario futuro de incertidumbre sobre la evolución de las demandas lo que sin duda contribuirá a mejorar las garantías son medidas encaminadas a la mejora de la eficiencia de las redes, tanto urbanas como agrícolas, el empleo de recursos no convencionales y la promoción de otras mejoras tecnológicas (adaptación de cultivos con variedades más resistentes, control de regadíos,…).

8. Conclusiones

A lo largo de este anejo se ha tratado de avanzar en la cuantificación de impactos como consecuencia del cambio climático en los recursos hídricos y en aquellos aspectos más relacionados con su gestión: 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 del cambio climático sobre la temperatura, la lluvia y todas las componentes del ciclo hidrológico. Así se ha presentado la disminución esperada en el recurso superficial y subterráneo y los cambios en la incidencia de los fenómenos extremos: sequías e inundaciones.

En base a estos cambios sobre las variables hidroclimáticas se han presentado los avancen de los trabajos realizados en el marco del plan de adaptación, principalmente la afección a los ecosistemas fluviales por efecto del cambio en la temperatura del agua (especies piscícolas, macroinvertebrados y O_2 disuelto). Adicionalmente se han señalado otros aspectos donde el plan de adaptación deberá incidir como son los procesos de desertificación en las cuencas vertientes y la evolución de las especies invasoras.

Se han presentado los efectos esperados sobre la costa Mediterránea y como el aumento del nivel del mar puede afectar a los humedales costeros, sobre todo a l'Albufera, nuestro humedal más emblemático.

Finalmente, se han presentado los resultados del anejo 6 sobre la atención de las demandas en situación de CC, tanto en déficit y cumplimiento de garantías de los usos agrícola y urbana, como de pérdidas de producción hidroeléctrica y garantía en la refrigeración de la Central Nuclear de Cofrentes. Adicionalmente, en relación a los usos, se han apuntado a otros factores que pueden influir en el aumento de la demanda en un escenario de cambio climático, principalmente en el caso de las demandas agrícola y urbana.

En primer lugar, en base al análisis de riesgos realizado, destaca la necesidad de seguir avanzando en la mejora del conocimiento en muchos de los aspectos presentados, sobre todo en relación a la reducción de las incertidumbres. No obstante, cuando hablamos de cambio climático hay que asumir que cualquier análisis de riesgos va a llevar siempre implícita una cierta incertidumbre.

En concreto, uno de los aspectos destacados a lo largo del presente documento donde es necesario mejorar para poder avanzar en la cuantificación de riesgos y brechas a salvar en el escenario futuro en condiciones de cambio climático, es la relación entre los factores climáticos y las variables a analizar, relación que no siempre está cuantificada. Es decir, para poder analizar cómo va a evolucionar una especie o un contaminante primero es necesario cuantificar qué factor es el más influyente en su evolución, tal y como se ha hecho con los peces o el Arundo en relación a la temperatura.

De igual manera es necesario una mejora en el análisis de los factores de vulnerabilidad claves, como en caso del sombreado sobre la temperatura del agua, que además servirá para mejorar el diseño de las medidas de adaptación más adecuadas.

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, y además de que la disponibilidad de datos actual es limitada, dado que se restringe a un 60% de las masas evaluadas en este trabajo, 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. En este sentido, una medida de relevante desde el punto de vista de la adaptación al cambio climático sería la extensión en la evaluación de este índice.

Como primera conclusión sobre el análisis de riesgos de las diferentes variables presentadas 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.

En este contexto el objetivo del plan de adaptación debe ir encaminado a mejorar el análisis de riesgo, definir las zonas prioritarias de actuación y diseñar las medidas de adaptación necesarias, con la finalidad de reducir los impactos sobre el medio ambiente, la economía y la sociedad.

Cualquier plan de adaptación debe estar desarrollado para el corto, medio y largo plazo y para ser eficaz debe incluir medidas estructurales, operacionales, normativas, económicas y educativas[6]. Es importante además, dada la transversalidad del problema, realizarse en un contexto de cooperación intersectorial.

De acuerdo con el proyecto de divulgación sobre adaptación al cambio climático desarrollado por Ecoavantis[6], con el apoyo de la Fundación Biodiversidad, los principios básicos que han de regir el desarrollo de cualquier plan de adaptación al cambio climático serán:

- Evitar acciones adaptativas que incrementen la generación de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Proteger a todos los colectivos expuestos a los riesgos, prestando mayor atención a aquellos más vulnerables.
- Contar con mecanismos para anticiparse a situaciones de crisis siempre que sea posible.

[6] https://www.adaptecca.es/dossier-interactivo-de-adaptacion-al-cambio-climatico-0

- Promover medidas de adaptación que, además, ofrezcan otros beneficios sociales y ambientales.
- Preservar el patrimonio natural reduciendo la extracción de recursos naturales y la generación de residuos.
- Disminuir la dependencia de recursos naturales para incrementar la resiliencia de nuestra sociedad.
- Impulsar la participación colectiva de gobiernos, municipios, empresas y ciudadanos en la definición y desarrollo de las medidas de adaptación.

En esta línea de trabajo, y según lo que se ha ido mostrando a lo largo de este documento, el plan de adaptación deberá incluir medidas de adaptación encaminadas a:

- La restauración fluvial.
- Un régimen adecuado de caudales ecológicos.
- La reforestación de las cuencas vertientes.
- El empleo de infraestructuras verdes para la mejora de la gestión del riesgo de inundaciones.
- La restauración de dunas y humedales costeros.
- La mejora de la eficiencia en los usos.
- El fomento del uso de recursos no convencionales para la atención de demandas.
- El empleo de variedades de cultivo menos demandantes, más resistentes y adaptadas al cambio climático.
- La contratación de seguros, incluso en el regadío, para hacer frente a los desastres climáticos.
- El fomento de las energías renovables y de la eficiencia energética.

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 ya 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, medidas que ya están en marcha.

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, que aunque no está incluido directamente en el programa de medidas del plan de cuenca es totalmente compatible con el mismo y redundará en sus objetivos.

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.

9. Referencias

- Álvarez-Rodríguez, J; Sánchez, A.; Quintas, L., 2005. *SIMPA, a GRASS based tool for Hydrological Studies.* International Journal of Geoinformatics, 1 (1). Association for Geoinformation Technology. Proceedings of the FOSS/GRASS Users conference, Bangkok, Tailandia, 12-14 September 2004.
- 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-ex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0672:FIN:ES:PDF
- 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. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Diciembre de 2012.
- 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. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Madrid, julio de 2017.
- CEH, 2020. *Incorporación del cambio climático en los planes hidrológico del tercer ciclo*. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Nota, 26 de octubre de 2020.
- CEH, 2021a*. Impacto del cambio climático en la recarga de las masas de agua subterránea en España*. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. Nota, 9 de marzo de 2021.
- CEH, 2021b. *Impacto del cambio climático en las precipitaciones máximas en España*. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX. 2021.
- CHJ, 2018. *Plan Especial de Sequía de la Demarcación Hidrográfica del Júcar*. Confederación Hidrográfica del Júcar. Mayo de 2018.
- CPTOPM, 2018. *Plan de Acción Territorial de la Infraestructura Verde del Litoral. Consellería 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*
- CWAMP, 2010. *Folleto informativo sobre oxígeno disuelto. Valores de oxígeno disuelto para la supervivencia de diversas especies acuáticas.* California Water Boards. Marzo de 2010.
- Estrela y Quintas, 1996. Sistema Integrado de Modelización Precipitación-Aportación (SIMPA), CEDEX-Ministerio de Fomento, 1996.

- Estrela-Segrelles, C., Gómez-Martinez, G. y Pérez-Martín, MA., 2021. *Risk assessment of climate change impacts on Mediterranean coastal wetlands. Application in Júcar River Basin District (Spain).* Science of the Total Environment. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148032
- FIC, 2018a. *Anticipando el clima para defender las unidades hidrográficas*. Fundación para la investigación del Clima. 2018.
- FIC, 2018b. *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.*
- Fundación Aquae, 2018. *Aquae Papers nº 8. Resiliencia en el ciclo urbano del Agua. Extremos pluviométricos y adaptación al Cambio Climático en el ámbito Mediterráneo. Diversos autores.* Junio de 2018.
- GV, 2019. *Estrategia Valenciana de Cambio Climático y Energía 2030.* Generalitat Valenciana- Versión de mayo de 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.*
- IPCC, 2018*. Anexo I: Glosario [Matthews J.B.R. (ed.)].* En: *Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 ºC con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza* [Masson-Delmotte V., P. Zhai, H.-O. Portner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Pean, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)].
- 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.*
- Julien, P., 2018. *Stream Restoration. In River Mechanics (pp. 348-378)*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781316107072.014
- 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.

- MAGRAMA, 2016. *Estrategia de adaptación al cambio climático de la costa española.* Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Diciembre de 2016.
- MTE, 2018. *Inundaciones y Cambio Climático. Estudios y experiencias a nivel europeo en el primer ciclo de la Directiva de Inundaciones.* Ministerio para la Transición Ecológica.
- MITERD, 2020. *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático.* Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/plan-nacional-adaptacion-cambio-climatico/default.aspx
- MMA, 2001. *Atlas y Libro Rojo de los Peces Continentales de España. Museo Nacional de Ciencias Naturales.* Ministerio de Medio Ambiente
- Munné, A.; Solà, C. y Prat, N., 1998. *QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera.* Tecnología del Agua, 175: 20-37.
- Munné, A.; Prat, N.; Solá, C.; Bonada, N. y Rieradevall, M., 2003. *A simple field method forassessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index.* Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 13: 147–163.
- 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.
- Santiago, 2017. *Viabilidad de las poblaciones de trucha (salmo trutta) del centro de la península ibérica: el reto del cambio climático*
- Romero, J. y Olcina, J. (editores), vv.aa., 2021. *Cambio climático en el Mediterráneo. Procesos, riesgos y políticas.*
- Sanz, M.J. y Galán, E., 2020. *Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.*
- Suárez-Almiñana, S., Paredes-Arquiola, J., Andreu, J., Solera, A. 2021. *Climate change effect on water quality in the Júcar River Basin. Ingeniería del agua, 25(2), 75-95. https://doi.org/10.4995/Ia.2021.14644*
- Wehrly & Wang, 2007. *Field-Based Estimates of Thermal Tolerance Limits for Trout: Incorporating Exposure Time and Temperature Fluctuation*
- Zambrano, J. 2021. *Modelización del hábitat potencial actual y futuro de la caña (Arundo donax L.) en las cuencas hidrográficas del Júcar y del Segura*

ANEJO 14 – APÉNDICE 1
MAPAS DE IMPACTO POTENCIAL

DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR

Apéndice 1. Mapas de impacto potencial para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 en los tres periodos de impacto considerados

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

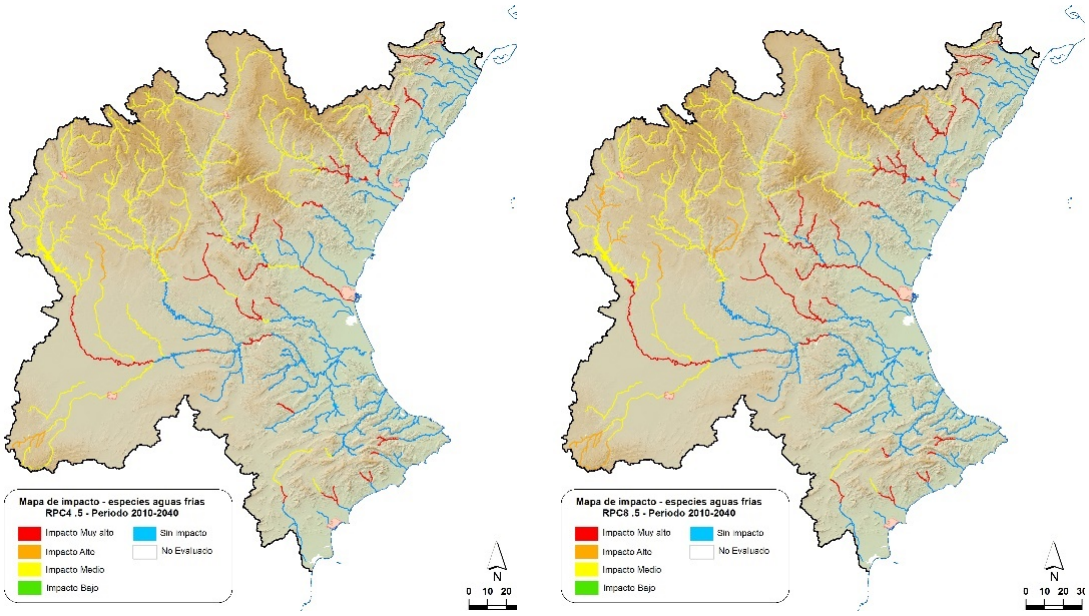

Figura 41. Mapas del impacto potencial en las especies de aguas frías a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)

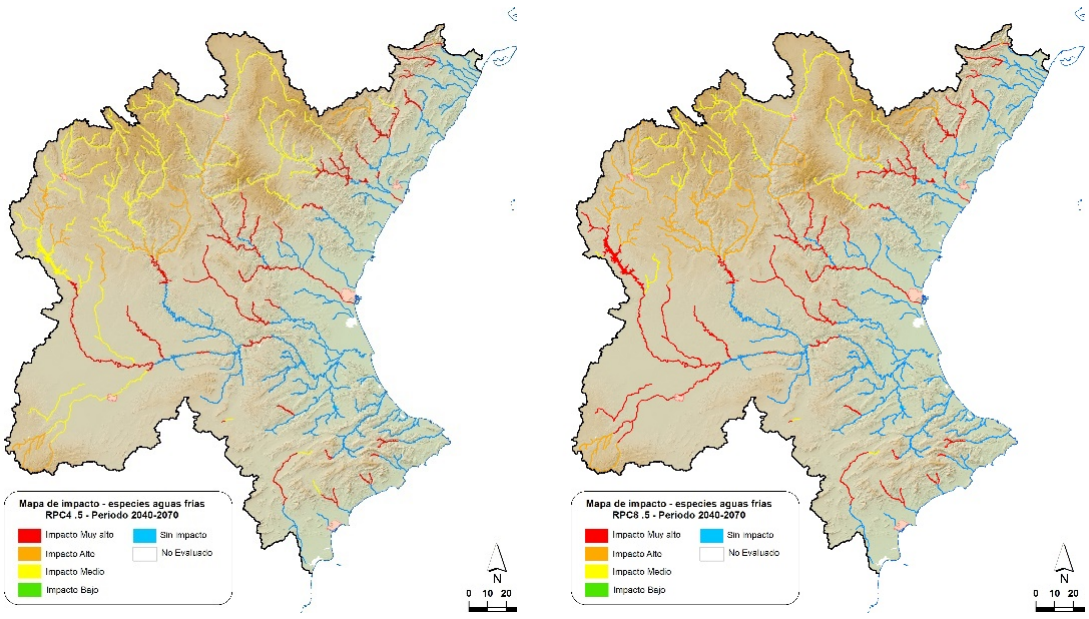

Figura 42. Mapas del impacto potencial en las especies de aguas frías a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)

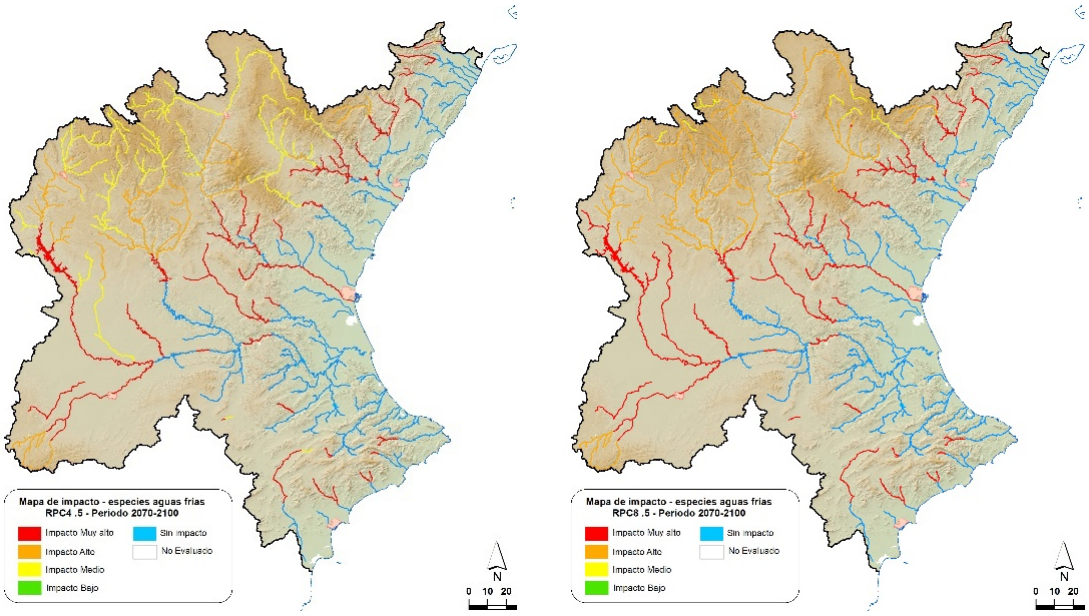

Figura 43. Mapas del impacto potencial en las especies de aguas frías a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)

- Mapas de impacto potencial en el oxígeno disuelto

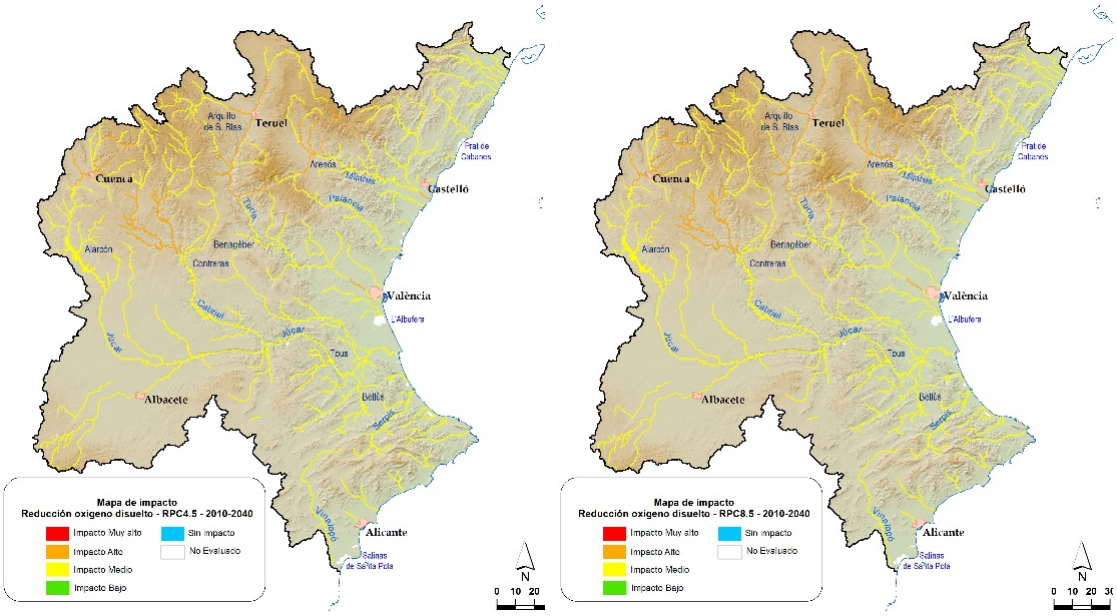

Figura 44. Mapas del impacto potencial en el oxígeno disuelto a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)

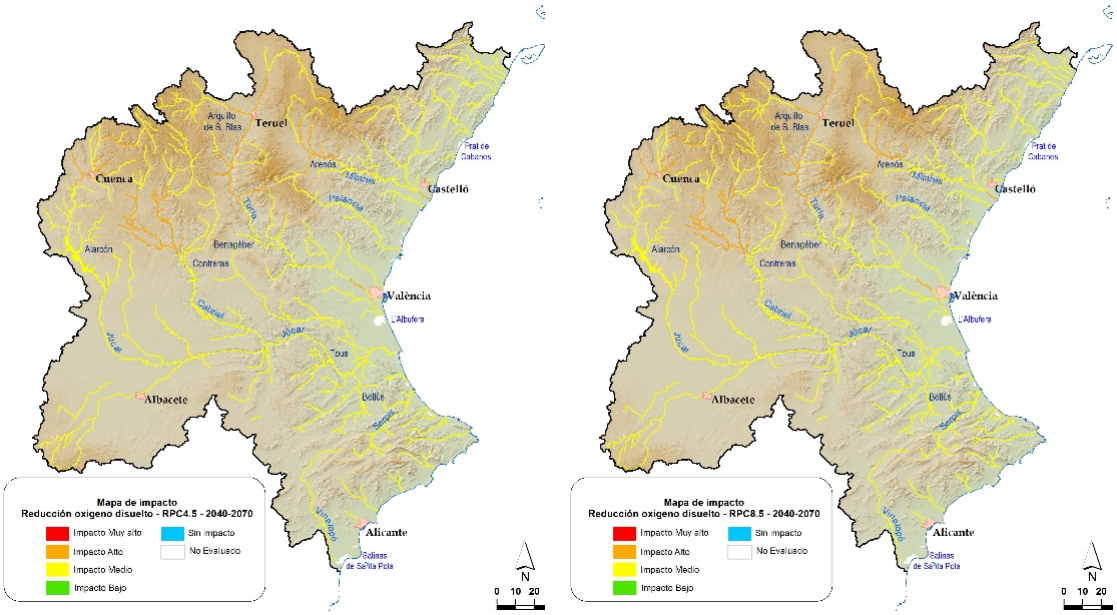

Figura 45. Mapas del impacto potencial en el oxígeno disuelto a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)

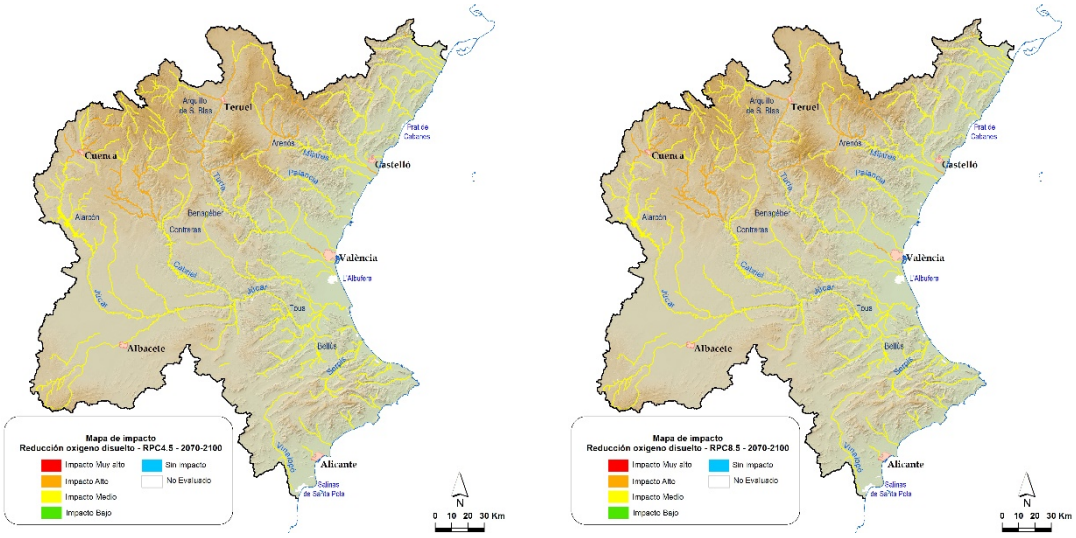

Figura 46. Mapas del impacto potencial en el oxígeno disuelto a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)

- Mapas de impacto potencial en los macroinvertebrados

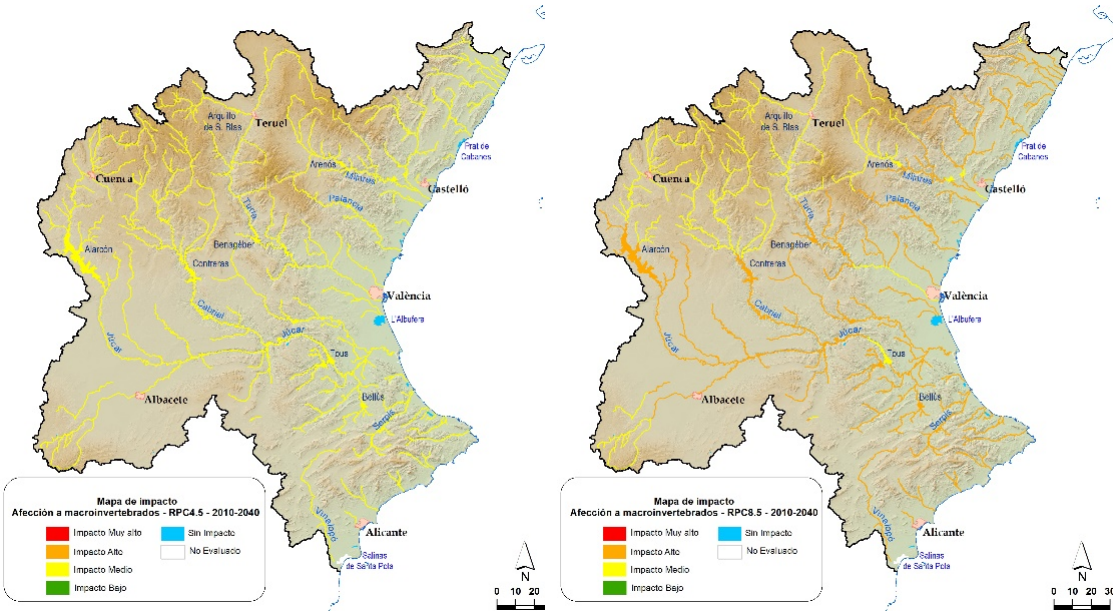

Figura 47. Mapas del impacto potencial en los macroinvertebrados a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)

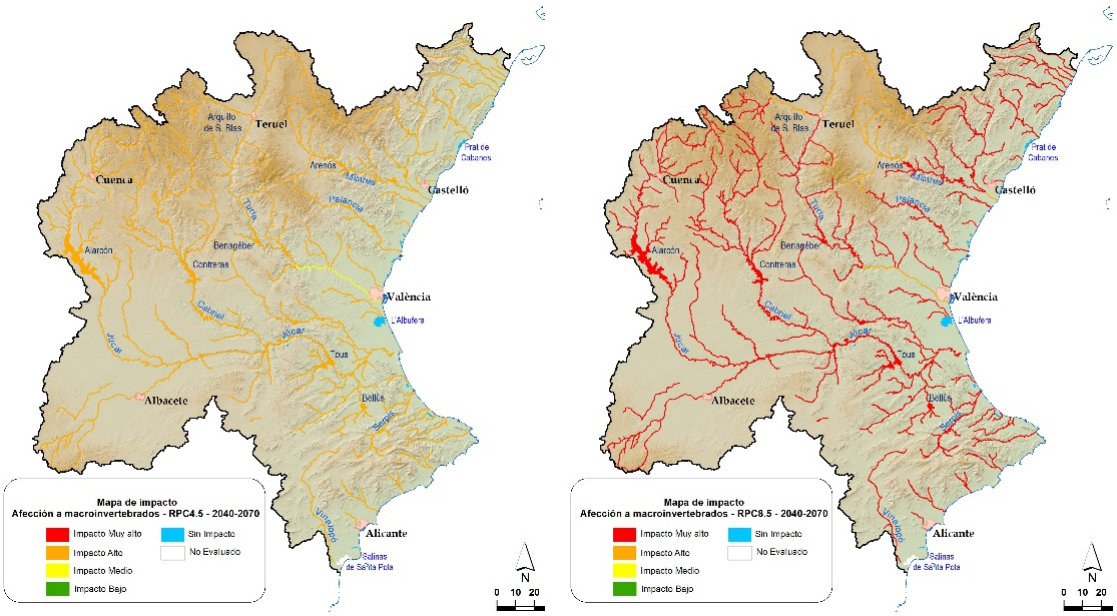

Figura 48. Mapas del impacto potencial en los macroinvertebrados a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)

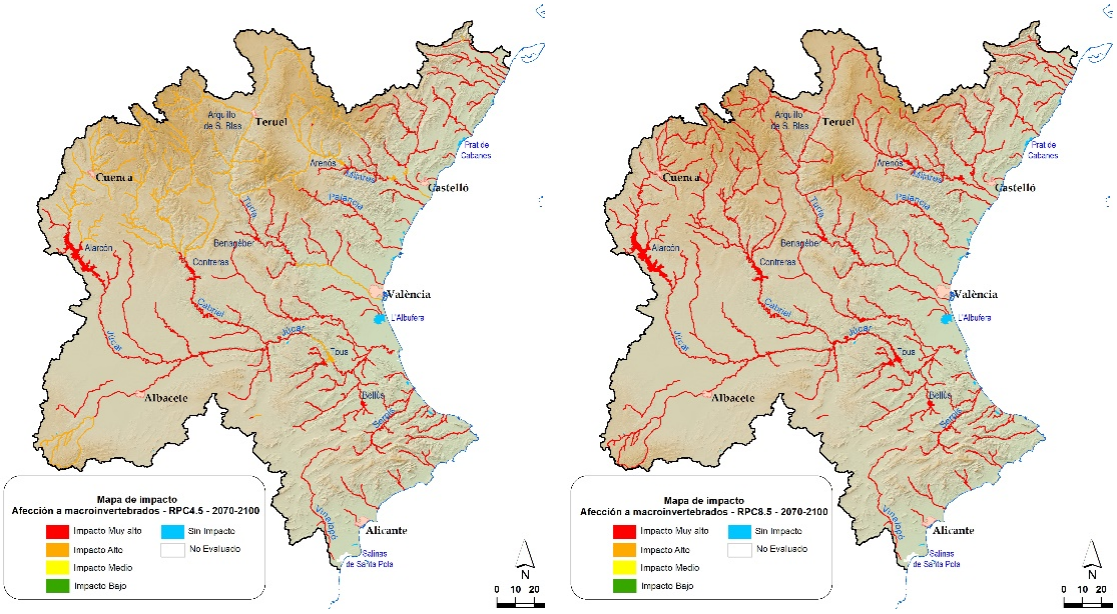

Figura 49. Mapas del impacto potencial en los macroinvertebrados a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)

ANEJO 14 – APÉNDICE 2
MAPAS DE RIESGO FRENTE AL CC

DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR

Apéndice 2. Mapas de riesgo para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5 en los tres periodos de impacto considerados

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

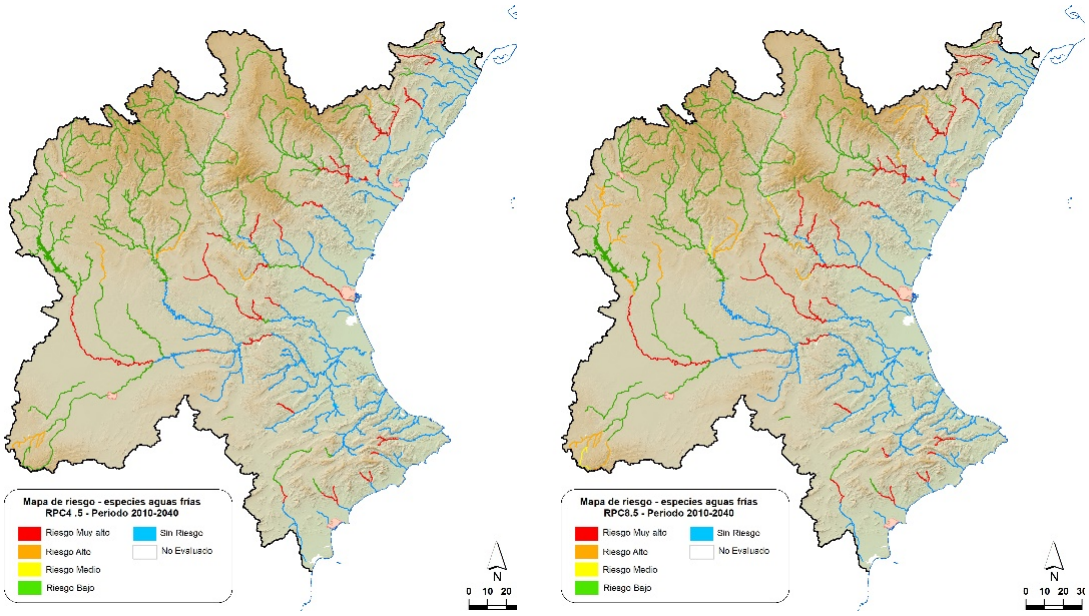

Figura 50. Mapas del riesgo sobre las especies de aguas frías a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)

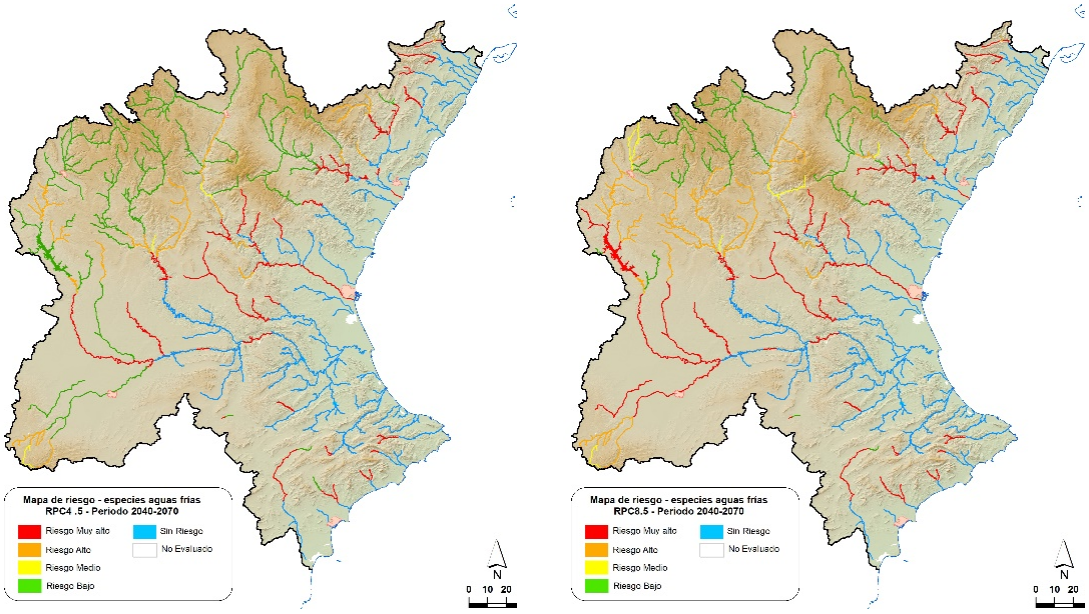

Figura 51. Mapas del riesgo sobre las especies de aguas frías a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)

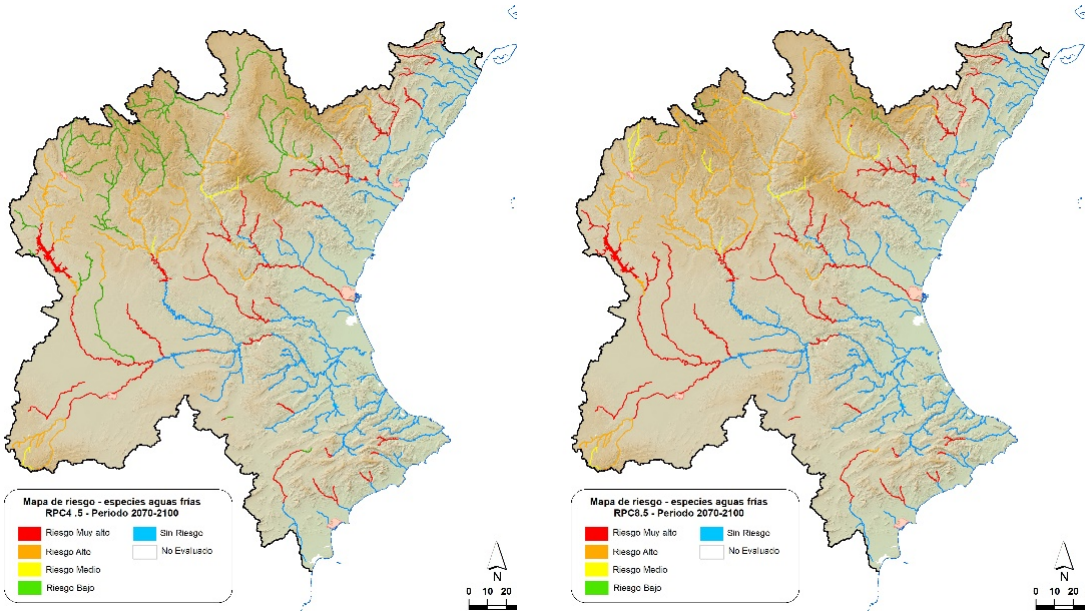

Figura 52. Mapas del riesgo sobre las especies de aguas frías a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)

- Mapas de riesgo de reducción de oxígeno disuelto

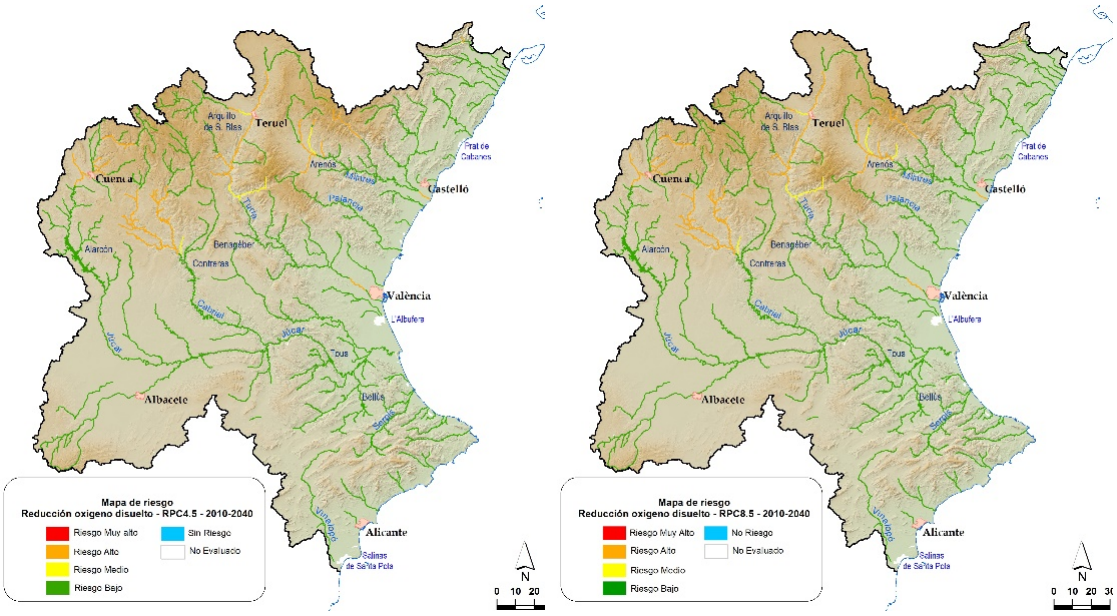

Figura 53. Mapas del riesgo de reducción del oxígeno disuelto a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)

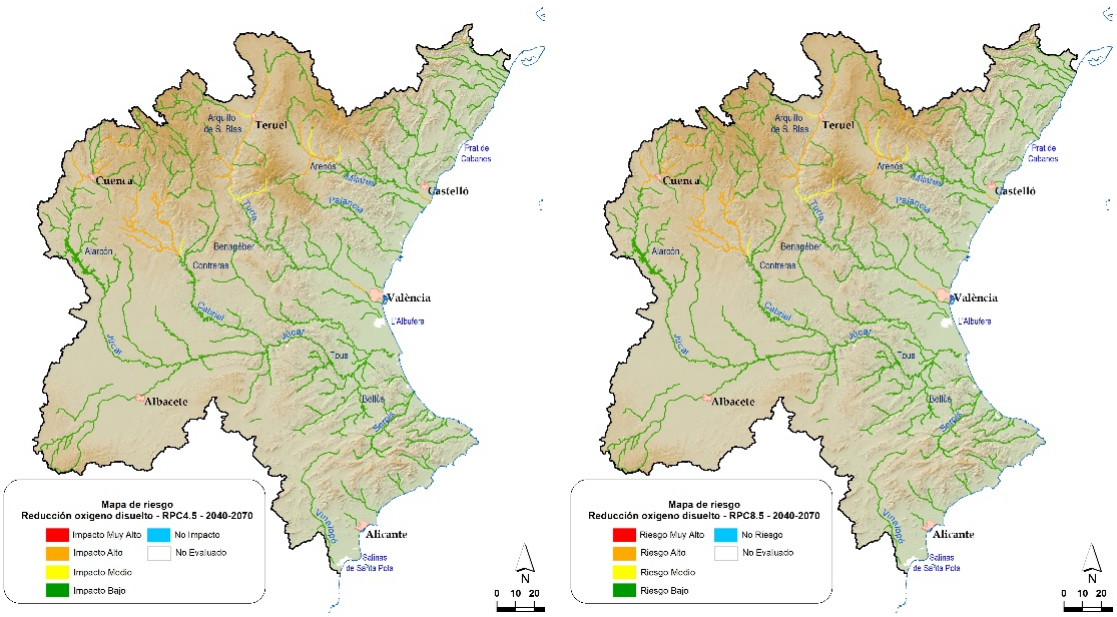

Figura 54. Mapas del riesgo de reducción del oxígeno disuelto a medio plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)

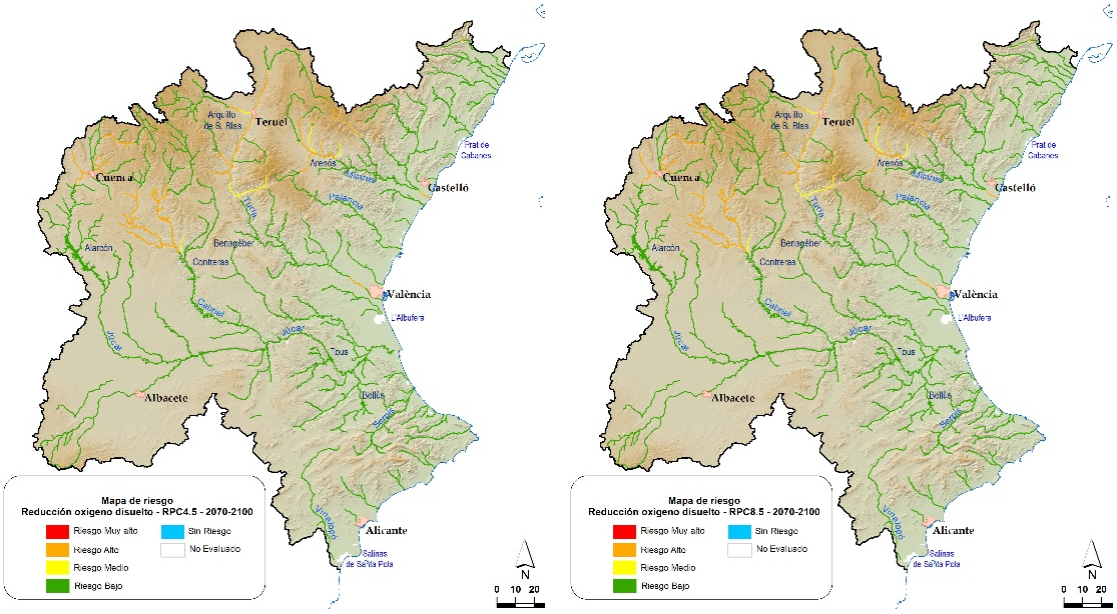

Figura 55. Mapas del riesgo de reducción del oxígeno disuelto a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)

- Mapas de riesgo de afección en los macroinvertebrados

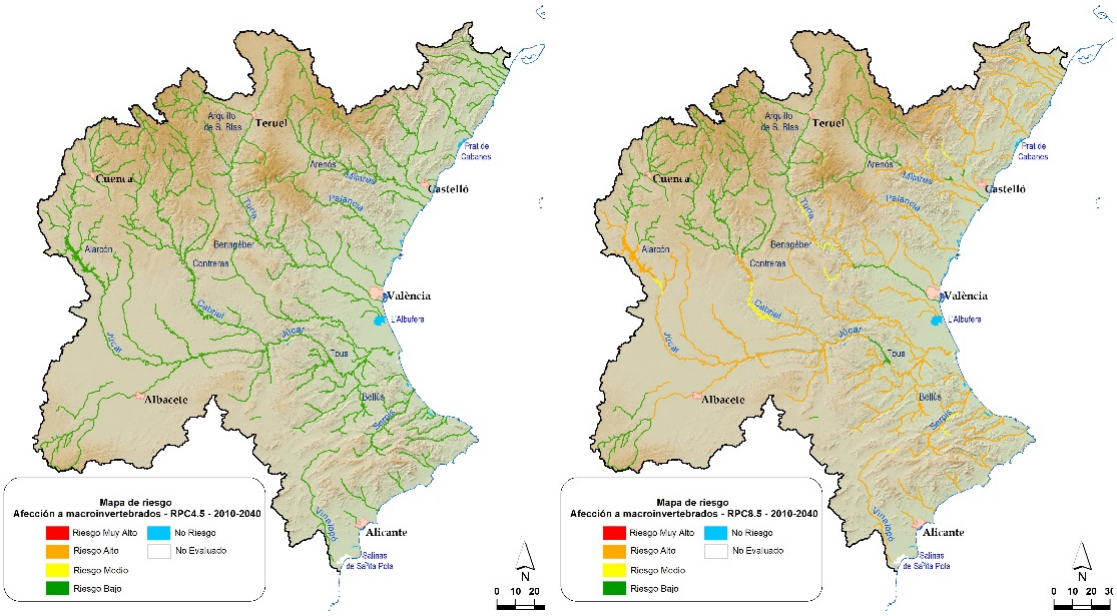

Figura 56. Mapas del riesgo de afección en los macroinvertebrados a corto plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)

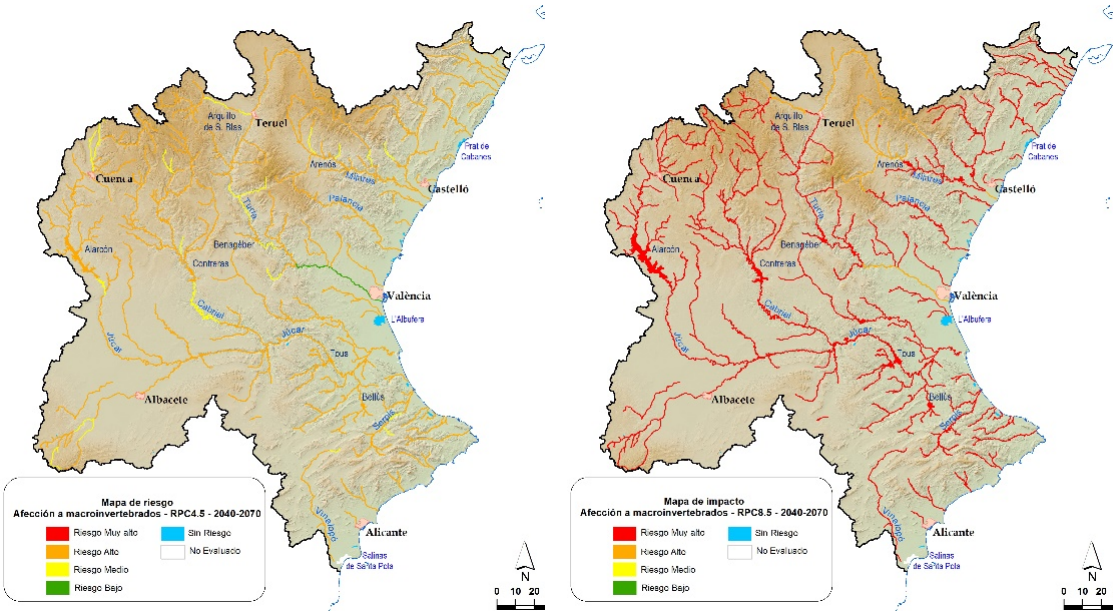

Figura 57. Mapas del riesgo de afección en los macroinvertebrados a medio y plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)

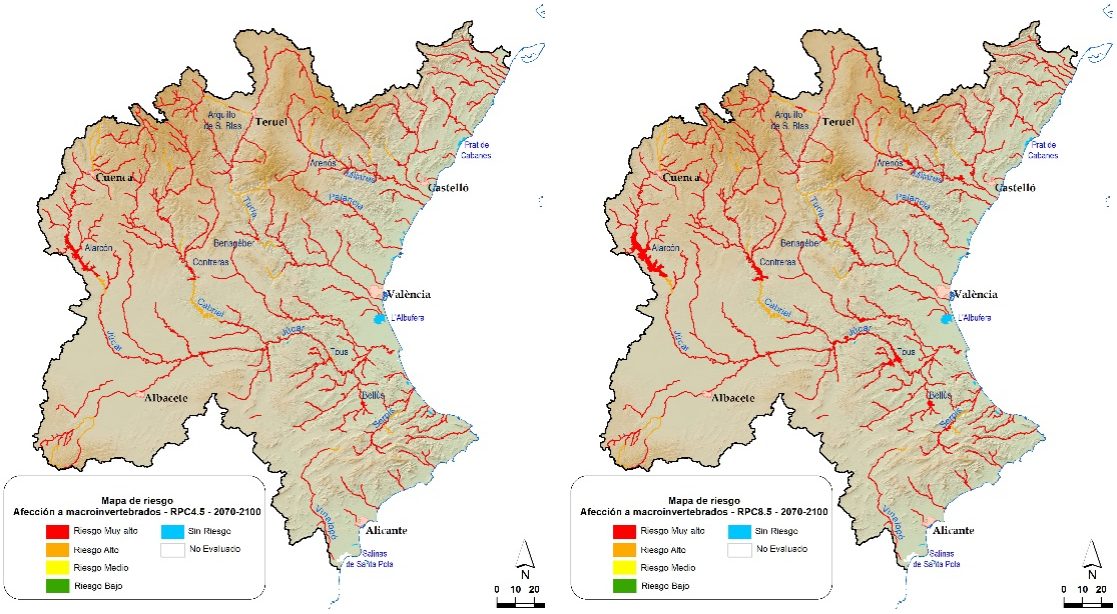

Figura 58. Mapas del riesgo de afección en los macroinvertebrados a largo plazo según las sendas de emisiones consideradas (RCP4.5 y RCP8.5)