

Plan Hidrológico

Revisión de tercer ciclo (2022-2027)

Andalucía
se mueve con Europa

Anejo XIII Cambio climático



ÍNDICE:

1	INTRODUCCIÓN	1
2	BASE NORMATIVA	5
2.1	CONTEXTO GENERAL.....	5
2.2	REGLAMENTO DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA.....	7
2.3	LEY 9/2010, DE 30 DE JULIO, DE AGUAS DE ANDALUCÍA	8
2.4	INSTRUCCIÓN DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA PARA LAS DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS INTRACOMUNITARIAS DE ANDALUCÍA.....	9
2.5	LEY 7/2021 DE 20 DE MAYO DE CAMBIO CLIMÁTICO Y TRANSICIÓN ENERGÉTICA.....	10
2.6	LEY 8/2018, DE 8 DE OCTUBRE, DE MEDIDAS FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO Y PARA LA TRANSICIÓN HACIA UN NUEVO MODELO ENERGÉTICO EN ANDALUCÍA.....	12
3	CONSIDERACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CICLO ANTERIOR DE PLANIFICACIÓN ...	16
4	ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO (PROYECCIONES CLIMÁTICAS).....	17
5	IMPACTOS PREVISIBLES Y RIESGOS DERIVADOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	27
5.1	INTRODUCCIÓN	27
5.2	SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS	28
5.2.1	SUPERFICIALES.....	28
5.2.2	SUBTERRÁNEOS	33
5.3	SOBRE EL RÉGIMEN DE SEQUÍAS	36
5.3.1	LAS SEQUÍAS EN LA DHCMA	36
5.3.2	AFECCIÓN POR EL CAMBIO CLIMÁTICO	38
5.3.3	INSTRUMENTOS PARA REDUCIR Y GESTIONAR EL RIESGO.....	42
5.4	SOBRE EL RÉGIMEN DE INUNDACIONES.....	43
5.4.1	LAS INUNDACIONES EN LA DHCMA.....	43
5.4.2	AFECCIÓN POR EL CAMBIO CLIMÁTICO	44
5.4.3	INSTRUMENTOS PARA REDUCIR Y GESTIONAR EL RIESGO.....	45
5.5	SOBRE LOS ECOSISTEMAS CONTINENTALES	46
5.5.1	INTRODUCCIÓN	46
5.5.2	PÉRDIDA DE HÁBITAT EN LAS ESPECIES PISCÍCOLAS DE AGUAS FRÍAS	48
5.5.3	REDUCCIÓN EN EL OXÍGENO DISUELTO EN EL AGUA.....	54
5.5.4	AFECCIÓN A LAS ESPECIES DE MACROINVERTEBRADOS	59
5.6	SOBRE LAS AGUAS DE TRANSICIÓN Y COSTERAS.....	62
5.7	SOBRE LOS USOS	63
6	INSTRUMENTOS PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO	65
6.1	PLAN NACIONAL DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO	65
6.2	PLAN ANDALUZ DE ACCIÓN POR EL CLIMA.....	69
6.3	PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA DEMARCACIÓN.....	70
7	CONCLUSIONES.....	71
8	GLOSARIO DE ABREVIATURAS	74
9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

APÉNDICE XIII.1. MAPAS DE IMPACTO POTENCIAL Y RIESGO

FIGURAS:

Figura nº 1.	Escenarios de emisiones, con indicación del forzamiento radiativo (arriba) y la concentración de CO ₂ equivalente en la atmósfera (abajo). (Fuente: IPCC, 2013)..18
Figura nº 2.	Gráficos de cambio de: (a) temperatura máxima, (b) días cálidos y (c) duración de las olas de calor en la DHCMA a lo largo del siglo XXI (Fuente: AEMET, 2021).19
Figura nº 3.	Gráficos de cambio de temperatura máxima estacional: (a) primavera, (b) verano, (c) otoño y (d) invierno en la DHCMA a lo largo del siglo XXI (Fuente: AEMET, 2021).20
Figura nº 4.	Gráficos de cambio en: (a) temperatura mínima, (b) número de días de heladas y (c) noches cálidas en la DHCMA a lo largo del siglo XXI (Fuente: AEMET, 2021).21
Figura nº 5.	Gráficos de cambio de temperatura mínima estacional: (a) primavera, (b) verano, (c) otoño y (d) invierno en la DHCMA a lo largo del siglo XXI (Fuente: AEMET, 2021).22
Figura nº 6.	Gráficos de cambio en: (a) precipitación anual, (b) precipitaciones intensas, (c) duración de periodos secos y (d) número de días de lluvia en la DHCMA a lo largo del siglo XXI (Fuente: AEMET, 2021).....23
Figura nº 7.	Gráficos de cambio de la precipitación estacional: (a) primavera, (b) verano, (c) otoño y (d) invierno en la DHCMA a lo largo del siglo XXI (Fuente: AEMET, 2021). ..24
Figura nº 8.	Cambio (%) en las principales variables hidrológicas en los tres PI respecto al PC para la DHCMA. Rango y media de resultados para RCP 4.5 (círculos) y RCP 8.5 (cuadrados). Fuente: CEDEX, 201729
Figura nº 9.	Tendencia del Δ (%) escorrentía del año 2010 al 2099 para los RCP 4.5 (arriba) y 8.5 (abajo) en la DHCMA30
Figura nº 10.	Porcentaje de cambio de la escorrentía trimestral (OND, EFM, AMJ, JAS) por subsistema de explotación en la DHCMA para el horizonte 2039. Escenario RCP4.5(izquierda) y RCP8.5 (derecha). Los colores reflejan la gradación del cambio.32
Figura nº 11.	Porcentaje de cambio de la escorrentía medio anual por subsistema de explotación en la DHCMA para el horizonte 2039. Escenario RCP4.5(izquierda) y RCP8.5 (derecha). Los colores reflejan la gradación del cambio.....33
Figura nº 12.	Concepto y definición de sequía (CEDEX, 2017)38
Figura nº 13.	Periodo de retorno de sequías en la DHCMA para diferentes déficits medios anuales y duración 2 años (arriba) y 5 años (debajo) para el PC y los tres PI según cada una de las proyecciones. Escenario RCP 4.540
Figura nº 14.	Periodo de retorno de sequías en la DHCMA para diferentes déficits medios anuales y duración 2 años (arriba) y 5 años (debajo) para el PC y los tres PI según cada una de las proyecciones. Escenario RCP 8.541
Figura nº 15.	Metodología propuesta para la definición del riesgo asociado al cambio climático48
Figura nº 16.	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 del agua (Wehrly & Wang, 2007).49

Figura nº 17.	Mapa de Exposición. Hábitat potencial calculado con el límite termal de 21,8°C (izquierda) y adaptación de la presencia de la trucha común a las masas de agua superficiales (MMA, 2001) (derecha).....	50
Figura nº 18.	Mapa de impacto potencial de pérdida de hábitat para especies de aguas frías para el corto plazo, 2010-2040. Escenarios RCP4.5 (izquierda) y RCP8.5 (derecha)	51
Figura nº 19.	Mapa de vulnerabilidad en base a la vegetación de ribera mediante el índice QBR y el valor de referencia del ecotipo	52
Figura nº 20.	Mapa de riesgo de pérdida de hábitat para especies de aguas frías para el corto plazo, 2010-2040. Escenarios RCP4.5 y RCP8.5.....	53
Figura nº 21.	Distribución de la concentración de oxígeno disuelto en agua calculada, en función de la temperatura y la altitud, y observada (mg/l)	55
Figura nº 22.	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	56
Figura nº 23.	Mapa del impacto potencial sobre el oxígeno disuelto a corto plazo, 2010-2040. Escenarios RCP4.5 y RCP8.5.....	57
Figura nº 24.	Mapa del riesgo de reducción del oxígeno disuelto para el corto plazo, 2010-2040. Escenarios RCP4.5 y RCP8.5.....	58
Figura nº 25.	Estado actual del indicador O ₂	59
Figura nº 26.	Porcentaje de individuos por familia que experimentan un cambio como resultado de incrementos en la temperatura del agua (método del Óptimo Robusto) (CEH, 2012)	60
Figura nº 27.	Mapa de peligro. Incremento esperado de la temperatura del agua para el corto plazo (2010-2040). Escenarios RCP4.5 y RCP8.5.	60
Figura nº 28.	Mapa del impacto potencial sobre los macroinvertebrados según para el corto plazo (2010-2040). Escenarios RCP4.5 y RCP8.5.	61
Figura nº 29.	Mapa de riesgo de afección a macroinvertebrados para el corto plazo, 2010-2040. Escenarios RCP4.5 y RCP8.5.....	62
Figura nº 30.	Marco conceptual para la evaluación de riesgos asociados al cambio climático. IPCC, GTII, 2014	66

TABLAS:

Tabla nº 1.	Porcentaje de cambio anual (%) de la escorrentía en la DHCMA y periodo de impacto según cada proyección. Los colores reflejan la gradación del cambio. Nota: Modelos (F4A, M4A, N4A, Q4A, R4A y U4A/ F8A, M8A, N8A, Q8A, R8A y U8A), Mx: máximo, Mn: mínimo y Med: medio.	30
Tabla nº 2.	Porcentaje de cambio de la escorrentía trimestral por subsistema de explotación para el horizonte 2039. Los colores reflejan la gradación del cambio. (CEDEX, 2020)	31
Tabla nº 3.	Porcentajes de cambio de la recarga en cada masa de agua subterránea para el horizonte 2039 con relación al periodo 1961-2000 en cada trimestre y según los escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5. Los colores reflejan la gradación del cambio.....	35
Tabla nº 4.	Porcentajes promedio de cambio de la recarga en las masas de agua subterránea para el horizonte 2039 con relación al periodo 1961-2000 en cada trimestre y según los escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5. Los colores reflejan la gradación del cambio. Nota: MASb (Masa de Agua subterránea).....	36
Tabla nº 5.	Combinación de los mapas de impacto y vulnerabilidad para la definición del riesgo	52
Tabla nº 6.	Grado de Impacto Potencial debido a la afección en los macroinvertebrados	61
Tabla nº 7.	Impactos sobre los ecosistemas y sobre los usos a tener en cuenta en el PACC	68

1 INTRODUCCIÓN

El cambio climático se define, de acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (artículo 1 “Definiciones”), como: *“un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”*¹.

El origen de éste es la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente por actividades como la quema de combustibles fósiles y los cambios en los usos del suelo, que conlleva al consecuente calentamiento global. Los efectos se ven reflejados en una alteración del régimen de precipitaciones, temperaturas, nubosidad, etc. Este cambio en el clima afecta a todo el planeta, aunque de manera desigual, produciéndose a muy diversas escalas de espacio y tiempo.

Globalmente, los impactos derivados del cambio climático ya se están experimentando, especialmente durante las últimas décadas, observándose, además, una tendencia creciente tanto en la frecuencia como en la severidad de los mismos a lo largo del tiempo. Estos impactos se evidencian, por ejemplo, por el aumento en la frecuencia y magnitud de eventos climáticos extremos como son los fenómenos de sequías, inundaciones, olas de calor y frío, incendios forestales, el aumento del nivel del mar y la pérdida de biodiversidad. Estos episodios, especialmente cuando ocurren en cascada, pueden dañar significativamente la vida de las personas en términos de daños a la salud, pérdidas económicas, productividad laboral, vivienda, infraestructuras críticas, así como la interrupción de los servicios básicos y las redes sociales (IPCC, 2018).

En los países de la Unión Europea (UE), también se aprecia esa variabilidad espacial y temporal en las variables temperatura y precipitación. En relación con la temperatura, la UE ha sufrido un aumento generalizado de la misma desde la década de los 60, siendo el aumento más significativo en la Península Ibérica (particularmente en verano), así como en la zona central y noreste de Europa (EEA, 2017). Cabe destacar que el aumento de temperatura medio observado durante el periodo 1976-2006 fue superior en España en comparación con el resto de la UE, particularmente en verano y la región sureste de España. El aumento de la temperatura media en España fue de 1,2 a 1,5°C en comparación con 1°C en Europa y 0,8°C a nivel mundial (EEA, 2008).

En relación con los cambios observados en la precipitación anual en Europa, éstos también varían entre diferentes zonas, aunque son menos coherentes espacialmente que el cambio de temperatura. Durante el siglo XX, se ha observado una tendencia hacia condiciones más húmedas en el hemisferio norte. Por el contrario, la precipitación anual ha disminuido hasta 90mm por década en la Península Ibérica, y la precipitación media en el verano ha disminuido significativamente hasta 20mm por década en la mayor parte del sur Europa, mientras que se han registrado aumentos significativos de hasta 18mm por década en el norte de Europa (EEA, 2017).

¹ <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>

Los países del arco mediterráneo, entre los cuáles se encuentra España, han sido identificados como regiones críticas y vulnerables al cambio climático, tanto en términos de una previsión de calentamiento más acusado de los extremos cálidos regionales terrestres (más pronunciado en los meses estivales que en los invernales) en comparación con el aumento medio de la temperatura global (Seneviratne *et al.*, 2018), así como también en relación con mayores incrementos en la probabilidad de ocurrencia de sequías extremas si se alcanza un calentamiento global de 2°C frente a 1,5°C (IPCC, 2018).

Los modelos regionalizados del cambio climático sobre España basados en los resultados del IPCC Assessment Report AR5 (Ambar *et al.*, 2017), muestran una tendencia generalizada a una profundización en la evolución ya observada en las últimas décadas en cuanto a un aumento de las temperaturas máximas y mínimas a lo largo del siglo XXI (más acusadas durante el verano y otoño, y en las zonas interiores del este peninsular), mayor número de días cálidos, aumento en la duración de las olas de calor, disminución moderada de las precipitaciones (siendo mayores estos descensos en el cuadrante sur oeste de la Península y en los archipiélagos), ascenso del nivel medio del mar, incremento de los fenómenos extremos (sequías, lluvias torrenciales e inundaciones), etc. (PNACC 2021-2030). Esto puede llegar a tener impactos graves en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas del país que ocupan aproximadamente más de dos terceras partes del territorio español (MAGRAMA, 2016).

En Andalucía, se observa, de igual manera, el aumento de las temperaturas mínimas y máximas en las décadas pasadas (Brunet *et al.*, 2007; Ordóñez *et al.*, 2008, Del Río *et al.*, 2011, 2012, Herrera-Grimaldi *et al.*, 2018). La precipitación anual, en cambio, no muestra un comportamiento claro en las últimas décadas, manteniéndose en términos generales constante, pero sí se observa cierta tendencia decreciente en la variación estacional (Ordóñez *et al.*, 2008). No obstante, se ha constatado el descenso en los caudales fluyentes por ríos (Lorenzo-Lacruz *et al.*, 2012).

Por todo ello, el cambio climático no es un problema particular de la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (DHCMA), sino un reto global.

En los últimos años se ha dado un importante avance en el conocimiento de los previsibles impactos del cambio climático a nivel global y regional, con el correspondiente grado de incertidumbre asociado a este tipo de trabajos, especialmente en las predicciones a más largo plazo. Para la zona sur y sureste de España, los impactos del cambio en el clima se estiman que pueden conllevar a un aumento de la temperatura, reducción de la precipitación, aumento de la evapotranspiración potencial, mayor torrencialidad, así como un incremento en la frecuencia y magnitud de fenómenos extremos en relación a periodos de sequía e inundación (Sanz, M.J. y Galán, E., 2020).

Lógicamente, esto repercutirá de forma directa e indirecta en la disponibilidad del recurso hídrico (menor disponibilidad y mayor irregularidad en su dimensión espacio-temporal), y en el empeoramiento de la calidad de las aguas (posible incremento en problemas relacionados con la intrusión marina en acuíferos, eutrofización, contaminación debido a un menor volumen de dilución, etc.), así como la afeción a los procesos ecológicos y biodiversidad. Cabe destacar que estos cambios, además, pueden ir acompañados de un incremento u alteración de las necesidades hídricas de los cultivos, necesidades ambientales y otras demandas socioeconómicas.

Junto con el considerable progreso experimentado en los últimos años en el ámbito del conocimiento, ciencia e investigación en esta cuestión, cabe destacar, igualmente, el importante aumento en la sensibilización social reflejado en la ciudadanía en general y como respuesta, en las administraciones públicas, lo cual ha facilitado la creación y un continuo desarrollo de un marco político, normativo y legal más próspero, tanto a nivel europeo, como nacional y autonómico para intentar abordar este tema desde la prevención, reducción y gestión del riesgo.

Esto ha permitido que de cara al tercer ciclo de planificación (en comparación con los dos ciclos anteriores), se disponga de una mejora en el nivel de conocimiento, así como de un mayor número de herramientas técnicas e instrumentos normativos para poder afrontar los desafíos planteados por el cambio climático.

De hecho, el reto de conseguir una adaptación progresiva al cambio climático y la mejora de la resiliencia, tanto del recurso hídrico como del uso, ya quedó reflejado en el Esquema de Temas Importantes (ETI) del tercer ciclo de planificación, en particular, en la ficha nº 12 “*Adaptación al cambio climático*”. Actualmente, se considera el cambio climático uno de los temas importantes que afecta de forma directa el logro de los objetivos medioambientales y la satisfacción de las demandas socioeconómicas (objetivos fundamentales de la planificación hidrológica española establecidos en el art.40 del Texto Refundido de la Ley de Aguas).

Esta problemática global, es especialmente preocupante en la DHCMA por los siguientes motivos:

- a) La DHCMA está sometida a un fuerte aprovechamiento hídrico y una severa competencia entre los diferentes usuarios del sistema. Esto se traduce en un balance actual entre recursos hídricos disponibles y demandas que ya es ajustado (con problemas ya identificados de sobreexplotación grave de acuíferos y carencia estructural en algunos subsistemas de explotación), considerando además los requerimientos ambientales, que son una restricción al sistema y que aún están en proceso de implantación y mejora (detallado en el Anejo VI del presente Plan Hidrológico).
- b) Las últimas proyecciones climáticas proporcionadas por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX, 2017) prevén una reducción considerable y creciente conforme avance el siglo XXI de la escorrentía para la DHCMA en los próximos años (detallado en el capítulo 5.2), así como un incremento en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos como son los periodos de sequías (detallado en el capítulo 5.3).
- c) Los últimos estudios disponibles en relación a la previsible evolución futura de la demanda prevén un aumento generalizado de las demandas (urbana, regadío, industrial, turismo y ocio) vinculado principalmente al incremento de la temperatura, con especial incidencia en el verano. Además, la reducción de la escorrentía podría conllevar una disminución en la producción hidroeléctrica (detallado en el capítulo 5.7).

Además, hay que destacar el carácter transversal del cambio climático, que supone, generalmente, un agravamiento de todas las demás problemáticas existentes en la DHCMA. Se prevé que el cambio climático tenga importantes impactos en los ecosistemas dependientes, así como en los sistemas económicos, destacándose la necesidad de una acción conjunta de adaptación progresiva al cambio climático y requiriendo de importantes cambios en las distintas políticas sectoriales que reduzcan la vulnerabilidad aumentando la resiliencia.



Aunque aún queda un largo y complejo camino por recorrer en este tema, para el tercer ciclo de planificación se incorpora, como novedad con respecto a los dos ciclos de planificación anteriores, el presente Anejo específico al cambio climático. El objetivo es exponer los avances tanto en el marco político, legislativo y normativo a nivel europeo, español y autonómico, como en la evaluación técnica y cuantificación de riesgos vinculados al cambio climático en base a los estudios disponibles, y cuyos resultados puedan servir de base para posibles trabajos futuros relacionados con este tema en la DHCMA, como es la elaboración del futuro Plan de Adaptación al Cambio Climático de la DHCMA.



2 BASE NORMATIVA

2.1 CONTEXTO GENERAL

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, aprobada en 1992, constituye la primera respuesta internacional al reto del cambio climático. Posteriormente, otros hitos relevantes han sido el Protocolo de Kioto, firmado en 1997 con el objetivo de limitar las emisiones de GEI y, más recientemente, el Acuerdo de París, adoptado en 2015 con el objetivo de mantener el incremento de la temperatura global por debajo de los 2°C respecto a los niveles preindustriales y, si es posible, mantenerlo por debajo del 1,5°C. Dicho acuerdo incluye la acción para la adaptación y resiliencia ante los cambios del clima y los mecanismos de financiación climática a partir de 2020. Además, en enero de 2016 se adoptó la Agenda 2030 de Naciones Unidas con el establecimiento de los 17 objetivos de desarrollo sostenible, que establece la Acción por el Clima como el objetivo número 13, donde se establecen las siguientes metas:

- Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales.
- Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas estratégicas y planes nacionales
- Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto a la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) fue creado en 1988 para que facilitara evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta. Desde el inicio de su labor en 1988, el IPCC ha preparado cinco informes de evaluación de impacto de cambio climático².

La UE viene ejerciendo en el contexto mundial un considerable liderazgo en materia de cambio climático, adoptando medidas y objetivos dirigidos a reducir progresivamente las emisiones de los GEI para el horizonte 2050. Entre los instrumentos adoptados en el ámbito europeo es preciso citar el Pacto Verde Europeo (CE, 2019), la Estrategia Europea de Adaptación al Cambio Climático (CE, 2021) y la Hoja de Ruta hacia una economía baja en carbono competitiva en 2050 (CE, 2011).

El Pacto Verde Europeo es una estrategia de crecimiento con el fin 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.

Entre las políticas transformadoras que despliega el Pacto Verde pueden citarse las siguientes:

- a) Mayor nivel de ambición climática de la UE con metas en 2030 y 2050.

² <https://archive.ipcc.ch/index.htm>

- b) Suministro de energía limpia, asequible y segura.
- c) Movilización de la industria en pro de una economía limpia y circular.
- d) Uso eficiente de la energía y de los recursos en la construcción y renovación de edificios.
- e) Acelerar la transición hacia una movilidad sostenible e inteligente.
- f) ‘*De la granja a la mesa*’: Idear un sistema alimentario justo, saludable y respetuoso con el medio ambiente.
- g) Preservación y restablecimiento de los ecosistemas y la biodiversidad.
- h) Aspirar a una ‘*contaminación cero*’ para un entorno sin sustancias tóxicas.

Dentro de las políticas a desarrollar en el marco del Pacto Verde Europeo, la Estrategia Europea del Hidrógeno, conocida como “*EU Hydrogen Strategy*” (CE, 2020), tiene por objeto establecer las pautas necesarias para desarrollar el papel del hidrógeno limpio en la reducción de emisiones de la economía de la UE de una manera eficiente. Esta Estrategia identifica el hidrógeno limpio como elemento esencial para respaldar el compromiso de la UE de alcanzar la neutralidad de carbono en 2050 y para respaldar el esfuerzo global para implementar el Acuerdo de París.

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.

En paralelo al PNACC, se remitió a las Cortes el Proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética (LCCTE), aprobado por el Consejo de Ministros el 20 de mayo de 2020. Este Proyecto de LCCTE fue aprobado por las Cortes el 13 de mayo 2021, y finalmente publicada en el Boletín Oficial del Estado (BOE) el 21 de mayo 2021³. La LCCTE, *Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética*, incluye en su artículo 19 una serie de consideraciones del cambio climático en la planificación hidrológica y la gestión del agua (detalladas en el capítulo 2.5).

En el ámbito estatal cabe destacar, también, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030, la Hoja de Ruta para el Cumplimiento de los Objetivos en Emisiones de GEI de España entre 2013 y 2020, la Hoja de Ruta del Hidrógeno, la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia, la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo 2050, la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa Española, y los Planes de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático (PIMA – Adapta).

En el ámbito autonómico destaca la aprobación de la Ley 8/2018, de 8 de octubre, de medidas frente al cambio climático y para la transición hacia un nuevo modelo energético en Andalucía, cuyo objetivo es disminuir la emisión de GEI, reducir el consumo de combustibles fósiles y fomentar la adaptación al cambio climático. Esta Ley regula la elaboración del Plan Andaluz de Acción por el Clima⁴ (aprobado mediante el Decreto 234/2021, de 13 de octubre), que sirve como

³ BOE-A-2021-8447

⁴ <https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/web/cambio-climatico/plan-andaluz-accion-clima-2021-2030>



instrumento de planificación general en materia de cambio climático y energía, para lo que incluye tres Programas: a) Mitigación de Emisiones para la Transición Energética, b) Adaptación, y c) Comunicación y Participación. La Ley aborda, además, en el Capítulo I del Título III la integración de la adaptación al cambio climático de los instrumentos de planificación (artículos 19 y 20, detallados en el capítulo 2.6).

Por todo lo anterior, se aprecia que el marco normativo en relación con el cambio climático ha tenido un importante desarrollo en los últimos años, en consonancia con la constatación de sus efectos y el aumento de la sensibilización social al respecto.

Sin embargo, a pesar de que el IPCC⁵ es una entidad científica creada en 1988, el concepto de cambio climático no se incluyó en legislación posterior, como la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE, en adelante, DMA), o el Texto Refundido de la Ley de Aguas (TRLA).

El Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH) y la Instrucción de Planificación Hidrológica para las Demarcaciones Hidrográficas Intracomunitarias de Andalucía (IPHA) hacen referencia a él, únicamente, en relación a la posible reducción de recursos hídricos (como se detalla en las siguientes secciones, 2.2 y 2.4). De hecho, se ha tenido que esperar a la recientemente aprobada LCCTE, para tener un enfoque legal más amplio sobre cómo afrontarlo.

2.2 REGLAMENTO DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA

El 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 cuatro referencias al cambio climático: el artículo 1.4 relativo a los objetivos de planificación hidrológica, el artículo 4 bis relativo a la adaptación al cambio climático, el artículo 11 relativo al inventario de recursos hídricos naturales y el artículo 21 relativo a los balances, asignaciones y reservas de recursos.

El artículo 1.4 del RPH, en relación con los objetivos de la planificación hidrológica, establece que: *“De conformidad con el artículo 19.1 de la Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, la planificación hidrológica, a efectos de su adaptación al cambio climático, tendrá 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”*

El artículo 4 bis del RPH, en relación con la adaptación al cambio climático, establece que: *“En consonancia con el artículo 19 de la Ley 7/2021, de 20 de mayo, a lo largo de cada ciclo de planificación los organismos de cuenca correspondientes elaborarán un estudio específico de adaptación a los riesgos del cambio climático en cada demarcación hidrográfica para su futura consideración en la revisión del plan hidrológico correspondiente.”* Este artículo además desarrolla el contenido que ha de incluir el plan de adaptación al cambio climático, así como el contenido de la evaluación de riesgos.

⁵ IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change



El artículo 11.4 del RPH, en relación con el inventario de los recursos hídricos naturales, establece que: *“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.”*

El artículo 21.4 del RPH, en relación con los balances, asignación y reserva de recursos, establece que: *“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, el efecto del cambio climático para la elaboración del Plan Hidrológico de tercer ciclo (2022-2027) corresponde con el horizonte temporal del año 2039, según los 2 incrementos de 6 años correspondientes a esta segunda revisión y actualización del plan hidrológico de la DHCMA.

2.3 LEY 9/2010, DE 30 DE JULIO, DE AGUAS DE ANDALUCÍA

En la Ley de Aguas de Andalucía (LAA), se hace mención expresa a la consideración del cambio climático en el Título Preliminar - Disposiciones Generales (artículo 6 objetivos medioambientales en materia de agua), en el Título III – La Planificación Hidrológica (artículo 24 Planes Hidrológicos de Demarcación), en el Título VII – Prevención de Efectos por Fenómenos Extremos (artículo 58 Evaluación preliminar del riesgo de inundación) y en la Disposición adicional tercera (horizontes temporales para la elaboración de instrumentos de evaluación y planes de gestión de riesgos por inundaciones y revisiones).

Se reproducen, a continuación, estos artículos:

“Artículo 6. Objetivos medioambientales en materia de agua.

1. Sin perjuicio de lo dispuesto en la Sección VI del Título I del Reglamento de la Planificación Hidrológica, aprobado por Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, constituyen objetivos medioambientales en materia de agua los siguientes:

b) Conseguir un uso racional y respetuoso con el medio ambiente, que asegure a largo plazo el suministro necesario de agua en buen estado, de acuerdo con el principio de prudencia y teniendo en cuenta los efectos de los ciclos de sequía y las previsiones sobre el cambio climático.

Artículo 24. Planes Hidrológicos de Demarcación.

4. Para la elaboración de los planes hidrológicos se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

b) Las disponibilidades actuales y futuras de agua deberán estar evaluadas conforme al principio de prudencia, teniendo en cuenta la previsión de las reservas necesarias para

superar eventuales situaciones de sequía, en función de los ciclos históricos y las previsiones de cambio climático.

Artículo 58. Evaluación preliminar del riesgo de inundación.

1. En el ámbito territorial que en cada caso se determine, se realizará por la consejería competente en materia de agua un documento de evaluación preliminar del riesgo de inundación sobre la base de la información disponible, como datos registrados y estudios sobre la evolución a largo plazo, en especial sobre el impacto del cambio climático en la frecuencia de las inundaciones, con objeto de proporcionar una evaluación del riesgo potencial...

e) Una evaluación de las consecuencias negativas potenciales de futuras inundaciones para la salud humana, el medio ambiente, el patrimonio histórico y la actividad económica, teniendo en cuenta, siempre que sea posible, factores como la topografía, la localización de los cursos de agua y sus características hidrológicas y geomorfológicas generales, incluidas las llanuras aluviales como zonas de retención naturales, la eficacia de las infraestructuras artificiales existentes de protección contra las inundaciones, la localización de las zonas pobladas, de las zonas de actividad económica y el panorama de la evolución a largo plazo, incluidas las repercusiones del cambio climático en la incidencia de inundaciones.

Disposición adicional tercera. Horizontes temporales para la elaboración de instrumentos de evaluación y planes de gestión de riesgos por inundaciones y revisiones.

7. Las posibles repercusiones del cambio climático en la incidencia de inundaciones se tomarán en consideración en las revisiones de los instrumentos de evaluación y planificación.”

2.4 INSTRUCCIÓN DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA PARA LAS DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS INTRACOMUNITARIAS DE ANDALUCÍA

Mediante la Orden de 11 de marzo de 2015, se aprueba la IPHA que ajusta los contenidos de la instrucción nacional (Orden ARM/2656/2008) a las especificidades de las cuencas internas andaluzas.

La IPHA recoge y desarrolla los contenidos del RPH y del TRLA, e incluye un cierto desarrollo de los artículos del RPH en relación con el cambio climático.

Por una parte, los apartados 2.4.6 *Evaluación del efecto del cambio climático* y 3.5.2 *Balances* son un desarrollo de los artículos 11 y 21 del RPH, con prácticamente el mismo contenido salvo la inclusión de la Tabla 13 con porcentajes de reducción de recursos a emplear en ausencia de modelos más precisos. En el caso de la DHCMA, se establece un 8% como porcentaje de disminución.

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

“Se debe realizar 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 incorpora los siguientes elementos al proceso:

- a) Mejora del conocimiento sobre el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y de las especies objetivo identificadas.*
- b) Mejora del conocimiento de la relación de los caudales ecológicos con el mantenimiento y estructura de los ecosistemas terrestres asociados.*
- c) Recopilación de información sobre la evolución de los ecosistemas acuáticos y terrestres asociados para la identificación temprana de posibles modificaciones en los mismos ligadas a los efectos del cambio climático.”*

En la presente revisión del plan hidrológico, se abordará por primera vez el efecto del cambio climático sobre los ecosistemas acuáticos (detallado en el capítulo 5.5).

Por último, en el apartado 8.1 de la IPHA, relativo al programa de medidas, se establece que: *“Debe realizarse una comprobación de la adecuación del programa de medidas a los escenarios de cambio climático considerados.”*

2.5 LEY 7/2021 DE 20 DE MAYO DE CAMBIO CLIMÁTICO Y TRANSICIÓN ENERGÉTICA

La Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética (LCCTE) hace referencia expresa a la planificación hidrológica, concretamente su artículo 19, que por su interés se reproduce a continuación:

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

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

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

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

- a) Los riesgos derivados de los impactos previsibles sobre los regímenes de caudales hidrológicos, los recursos disponibles de los acuíferos, relacionados a su vez con*



cambios en factores como las temperaturas, las precipitaciones, la acumulación de la nieve o riesgos derivados de los previsibles cambios de vegetación de la cuenca.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

En relación al artículo 19.2 anterior, cabe mencionar que la Dirección General del Agua (DGA) del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD) está preparando las bases técnicas de una estrategia específica del agua en el contexto general de la transición ecológica y que deberá ser aprobada por acuerdo de Consejo de Ministros antes de un año desde la entrada en vigor de la LCCTE. Esa estrategia del agua pretende establecer orientaciones para el buen desarrollo de los contenidos que, en relación con la planificación y la gestión del agua, señala el mencionado artículo 19 de la LCCTE. Además, los principios de esta Estrategia han de ser considerados “*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*”.

2.6 LEY 8/2018, DE 8 DE OCTUBRE, DE MEDIDAS FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO Y PARA LA TRANSICIÓN HACIA UN NUEVO MODELO ENERGÉTICO EN ANDALUCÍA

El 15 de enero de 2019 entró en vigor la Ley 8/2018, de 8 de octubre, de medidas frente al cambio climático y para la transición hacia un nuevo modelo energético en Andalucía (en adelante Ley 8/2018) de acuerdo con lo previsto en el artículo 204 del Estatuto de Autonomía de Andalucía de 2007⁶.

Tal y como se expone en el artículo 1 de esta Ley, su finalidad es la lucha frente al cambio climático y hacia un nuevo modelo energético en Andalucía.

La Ley 8/2018 define en el Capítulo I (artículos 8-14) del Título II los contenidos mínimos del Plan Andaluz de Acción por el Clima (PAAC) 2021-2030, el cuál será el instrumento general de planificación de Andalucía para la lucha contra el cambio climático y energía.

Dicha ley aborda, en el Capítulo I del Título III la integración de la adaptación al cambio climático de los instrumentos de planificación (artículos 19 y 20).

⁶ BOE-A-2007-5825

En el artículo 19 se establece que, cualquier planificación autonómica y local, relativa a las áreas estratégicas de adaptación, se considera como plan con incidencia en materia de cambio climático y evaluación ambiental, y se enumeran los contenidos mínimos que deben contemplar en materia de cambio climático, sin perjuicio de los contenidos establecidos por la legislación que les afecte.

Anteriormente, en el artículo 17, se indica que los escenarios aprobados por la Consejería competente en materia de cambio climático se tomarán como referencia en la planificación de la Comunidad Autónoma.

En este sentido, el artículo 10 “*Del Programa de Mitigación de Emisiones para la Transición Energética*”, apartado 2 “*Se consideran áreas estratégicas para la mitigación de emisiones las siguientes:*

- a) *Industria.*
- b) *Agricultura, ganadería, acuicultura y pesca.*
- c) *Edificación y vivienda.*
- d) *Energía.*
- e) *Residuos.*
- f) *Transporte y movilidad.*
- g) *Usos de la tierra, cambios de uso de la tierra y silvicultura.*
- h) *Turismo.*
- i) *Comercio.*
- j) *Administraciones públicas.”*

Y el artículo 11 “*Del Programa de Adaptación*”, apartado 2, “*Se considerarán áreas estratégicas para la adaptación las siguientes:*

- a) *Recursos hídricos.*
- b) *Prevención de inundaciones.*
- c) *Agricultura, ganadería, acuicultura, pesca y silvicultura.*
- d) *Biodiversidad y servicios ecosistémicos.*
- e) *Energía.*
- f) *Urbanismo y ordenación del territorio.*
- g) *Edificación y vivienda.*
- h) *Movilidad e infraestructuras viarias, ferroviarias, portuarias y aeroportuarias.*
- i) *Salud.*
- j) *Comercio.*
- k) *Turismo.*
- l) *Litoral.*
- m) *Migraciones asociadas al cambio climático.”*

Como se observa, las áreas “*recursos hídricos*” y “*prevención de inundaciones*” están consideradas como áreas prioritarias de adaptación al cambio climático.

Cabe destacar el artículo 20 relativo al análisis y evaluación de riesgos derivados del cambio climático:

“Artículo 20. Impactos principales del cambio climático.

Para el análisis y evaluación de riesgos por los instrumentos de planificación autonómica y local se considerarán al menos los siguientes impactos, según el área estratégica de adaptación que se trate:

- a) Inundaciones por lluvias torrenciales y daños debidos a eventos climatológicos extremos.*
- b) Inundación de zonas litorales y daños por la subida del nivel del mar.*
- c) Pérdida de biodiversidad y alteración del patrimonio natural o de los servicios ecosistémicos.*
- d) Cambios en la frecuencia, intensidad y magnitud de los incendios forestales.*
- e) Pérdida de calidad del aire.*
- f) Cambios de la disponibilidad del recurso agua y pérdida de calidad.*
- g) Incremento de la sequía.*
- h) Procesos de degradación de suelo, erosión y desertificación.*
- i) Alteración del balance sedimentario en cuencas hidrográficas y litoral.*
- j) Frecuencia, duración e intensidad de las olas de calor y frío y su incidencia en la pobreza energética.*
- k) Cambios en la demanda y en la oferta turística.*
- l) Modificación estacional de la demanda energética.*
- m) Modificaciones en el sistema eléctrico: generación, transporte, distribución, comercialización, adquisición y utilización de la energía eléctrica.*
- n) Migración poblacional debida al cambio climático. Particularmente su incidencia demográfica en el medio rural.*
- ñ) Incidencia en la salud humana.*
- o) Incremento en la frecuencia e intensidad de plagas y enfermedades en el medio natural.*
- p) Situación en el empleo ligado a las áreas estratégicas afectadas.”*

Aunque los aspectos anteriores están interrelacionados, entre ellos, se señalan los apartados a), b), c), f), g), h), i), k) y m) que están más directamente relacionados con la planificación hidrológica.

En virtud de todo lo anterior, en el plan hidrológico del tercer ciclo, al tratarse de un plan con incidencia en materia de cambio climático según la Ley 8/2018, con las consecuencias que derivan por ello de la propia Ley, se han evaluado en el capítulo 5, en función de la exposición y

vulnerabilidad, así como la resiliencia de la DHCMA, los principales y previsibles impactos derivados y riesgos del cambio climático directamente relacionados.



3 CONSIDERACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL CICLO ANTERIOR DE PLANIFICACIÓN

Los planes hidrológicos elaborados para los dos ciclos anteriores de planificación (2009-2015 y 2015-2021), analizaron la previsible reducción de los recursos hídricos debido al impacto del cambio climático y la correspondiente afección en el nivel de garantía de suministro para los principales usos, conforme a la información disponible en el momento de elaboración del plan y de acuerdo a los requisitos establecidos los artículos 11.4 y 21.4 del RPH, así como la IPHA (expuestos en el capítulo 2).

En el Plan Hidrológico del segundo ciclo (2015-2021) se consideró, tras analizar diversos informes, un porcentaje de reducción global de las aportaciones naturales de referencia en la DHCMA del 8% en la simulación de los modelos recurso-demanda para el horizonte 2027 (modelos de simulación SIMGES integrado en el interfaz AquatoolDMA⁷).

Los resultados de los balances realizados en la elaboración del Plan Hidrológico del segundo ciclo, bajo los escenarios de cambio climático contemplados, muestran con carácter general que la reducción de los recursos naturales repercutiría en el horizonte 2027 en una disminución de las garantías de suministro a las demandas, en particular la de regadío, siendo especialmente grave en los almerienses, que presentan una fuerte carencia estructural ante la escasez de los aportes y la elevada magnitud de los volúmenes requeridos, y en los subsistemas I-4 (Guadalhorce-Guadalmedina) y I-5 (Cuenca endorreica de Fuente de Piedra).

⁷ <https://aquatool.webs.upv.es/aqt/>



4 ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO (PROYECCIONES CLIMÁTICAS)

Un escenario de cambio climático se obtiene simulando el clima global con un modelo de circulación general, o modelo climático global (MCG), al cual se le ha dado una hipótesis determinada de escenario de emisiones de GEI. El IPCC aunó un conjunto de escenarios climáticos elaborados a escala global por diferentes organismos. No obstante, debido a la escala global de esos escenarios climáticos, no pueden ser utilizados en los estudios específicos cambio de impacto a una escala nacional o regional, por lo que es necesario llevar a cabo el proceso de regionalización (CEDEX, 2017).

Por ello, para la elaboración de estudios de impacto específicos de cambio climático, se utilizan los escenarios climáticos regionalizados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), que están basados en los modelos climáticos globales (IPCC, 2013) adaptados a las características fisiográficas regionales de España. Existen tres métodos de regionalización, dos procedimientos de regionalización estadística (análogos y regresión) y la regionalización dinámica CORDEX.

Se utilizará el término “*proyección climática*” para identificar un escenario climático generado por un MCG, bajo un escenario de emisiones determinado y regionalizado mediante una técnica dada de proyección local.

Para el AR5 también se han definido cuatro nuevos escenarios de emisiones, que se identifican por su forzamiento radiativo total para el año 2100 que varía desde 2,6 a 8,5 W/m². Los cuatro RCP⁸ son: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5. Cada RCP tiene asociada una base de datos de alta resolución espacial de emisiones de sustancias contaminantes (clasificadas por sectores), de emisiones y concentraciones de GEI y de usos de suelo hasta el año 2100, basada en una combinación de modelos de distinta complejidad de la química atmosférica y del ciclo del carbono (IPCC, 2013). Los RCP incorporan los efectos de las políticas orientadas a limitar el cambio climático durante el siglo XXI.

La selección de las proyecciones climáticas que se utilizan en España para evaluar el impacto del cambio climático en los recursos hídricos se basa en recomendaciones y criterios establecidos por AEMET y la OECC (Oficina Española de Cambio Climático). AEMET recomendó que se utilizaran aquellas proyecciones regionalizadas según el método de análogos. La OECC recomendó que se eligieran proyecciones del RCP8.5 y del RCP4.5, con el objetivo de abarcar el espectro más razonable y basado en la evolución reciente de las emisiones de GEI, en las previsiones que había de la cumbre de París de 2015 al inicio de este estudio y en la mayor disponibilidad de información (CEDEX, 2017).

Para el conjunto de España, se dispone de los resultados de los escenarios de cambio climático usados en el 5º Informe del IPCC (IPCC, 2013), elaborados a partir de seis MCG (denominados CNRM-CM5, MPI.ESM.MR, Inmcm4, bcc-csm1-1, MIROC.ESM, MRI.CGCM3) que han sido regionalizados mediante el método de análogos de la AEMET, para los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5.

⁸ RCP: Representative Concentration Pathway (en español, Trayectorias de Concentración Representativas).

Como muestra la Figura nº 1, el escenario RCP4.5 establece que el forzamiento radiativo se estabiliza en $4,5\text{W/m}^2$ a mitad de siglo XXI, con unos niveles de CO_2 en la atmósfera en el entorno de 650 partes por millón (ppm), mientras que en la actualidad se sitúa en 410 ppm. El escenario RCP8.5 se corresponde con un forzamiento radiativo de $8,5\text{W/m}^2$ a final de siglo XXI, con unos niveles asociados de CO_2 que superan las 1.000 ppm a final de siglo.

El conjunto de escenarios RCP4.5 se corresponde con escenarios en los que se asume que se produce una transformación del modelo económico en las próximas décadas situando el pico de emisiones de GEI, equivalente de CO_2 , aproximadamente en el año 2050. Mientras que el conjunto de los escenarios RCP8.5 consideran que las emisiones de GEI seguirán aumentando durante todo este siglo, situando el pico de emisiones a final de este siglo o inicios del siguiente. Por tanto, el RCP8.5 es el más negativo (conservador) y el RCP4.5 es el más optimista de los RCP elegidos. Existe, además, un tercer escenario de emisión, RCP6.0, que sería un escenario intermedio entre el RCP4.5 y el RCP8.5.

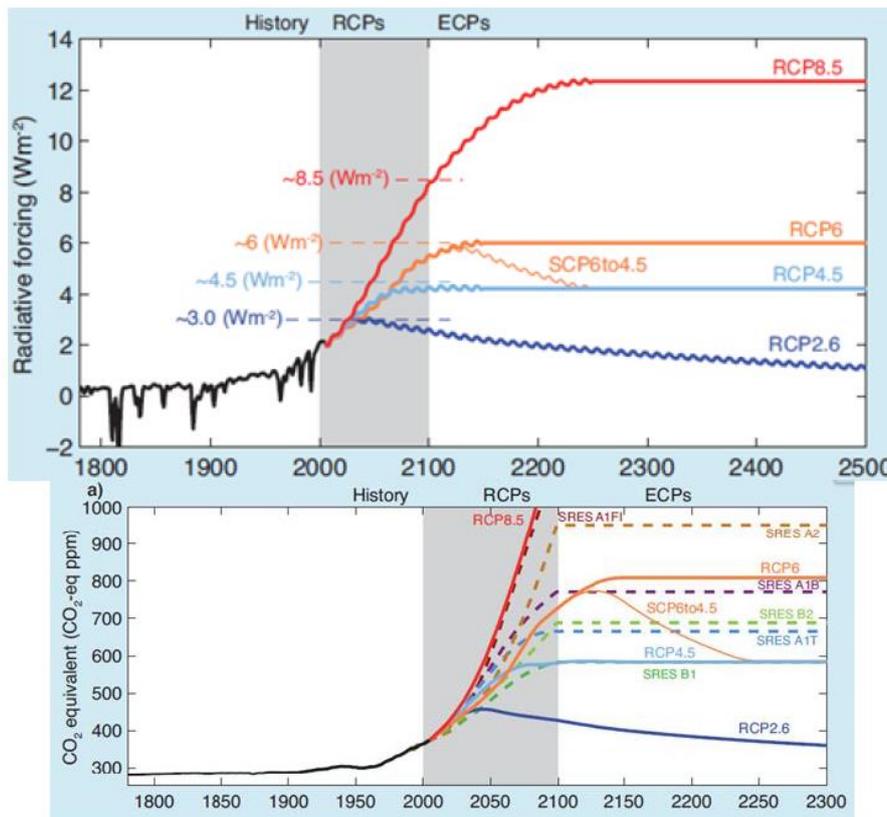


Figura nº 1. Escenarios de emisiones, con indicación del forzamiento radiativo (arriba) y la concentración de CO_2 equivalente en la atmósfera (abajo). (Fuente: IPCC, 2013).

En resumen, para llevar a cabo estudios de impacto debido al cambio climático, se utilizan un total de 12 proyecciones climáticas regionalizadas para España (6 en el escenario RCP4.5 y 6 en el RCP8.5). Además, se incluyen para cada uno de ellos, 3 ventanas temporales de 30 años, con respecto al periodo de control (PC) 1961-2000 (de oct 1961 a sept 2000). Los tres periodos de impacto (PI) son:

- PI1: 2010-2040 (de oct 2010 a sept 2040), también conocido como *corto plazo*.

- PI2: 2040-2070 (de oct 2040 a sept 2070), también conocido como *medio plazo*.
- PI3: 2070-2100 (de oct 2070 a sept 2100), también conocido como *largo plazo*.

Las siguientes figuras (Figura nº 2, Figura nº 3, Figura nº 4, Figura nº 5, Figura nº 6 y Figura nº 7) muestran, las proyecciones climáticas de las variables temperatura máxima y mínima (así como el cambio en el número de días cálidos, noches cálidas y número de días de heladas) y precipitación (incluyendo el cambio en el número de días con lluvia) elaboradas por la AEMET para el conjunto de modelos de cambio climático regionalizados para la DHCMA (basados en el AR5-IPCC, disponibles en la página web de la AEMET).

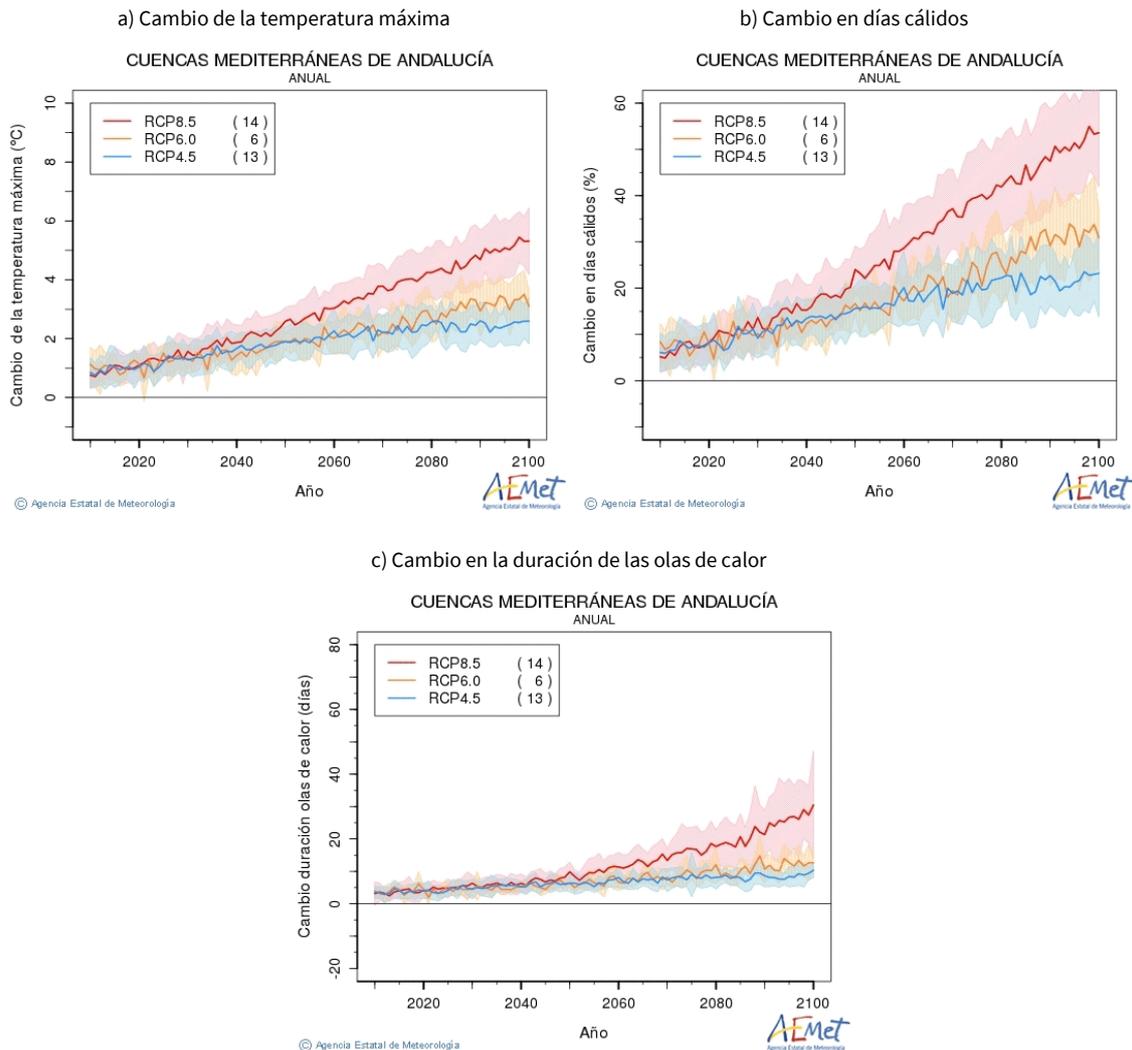


Figura nº 2. Gráficos de cambio de: (a) temperatura máxima, (b) días cálidos y (c) duración de las olas de calor en la DHCMA a lo largo del siglo XXI (Fuente: AEMET, 2021).

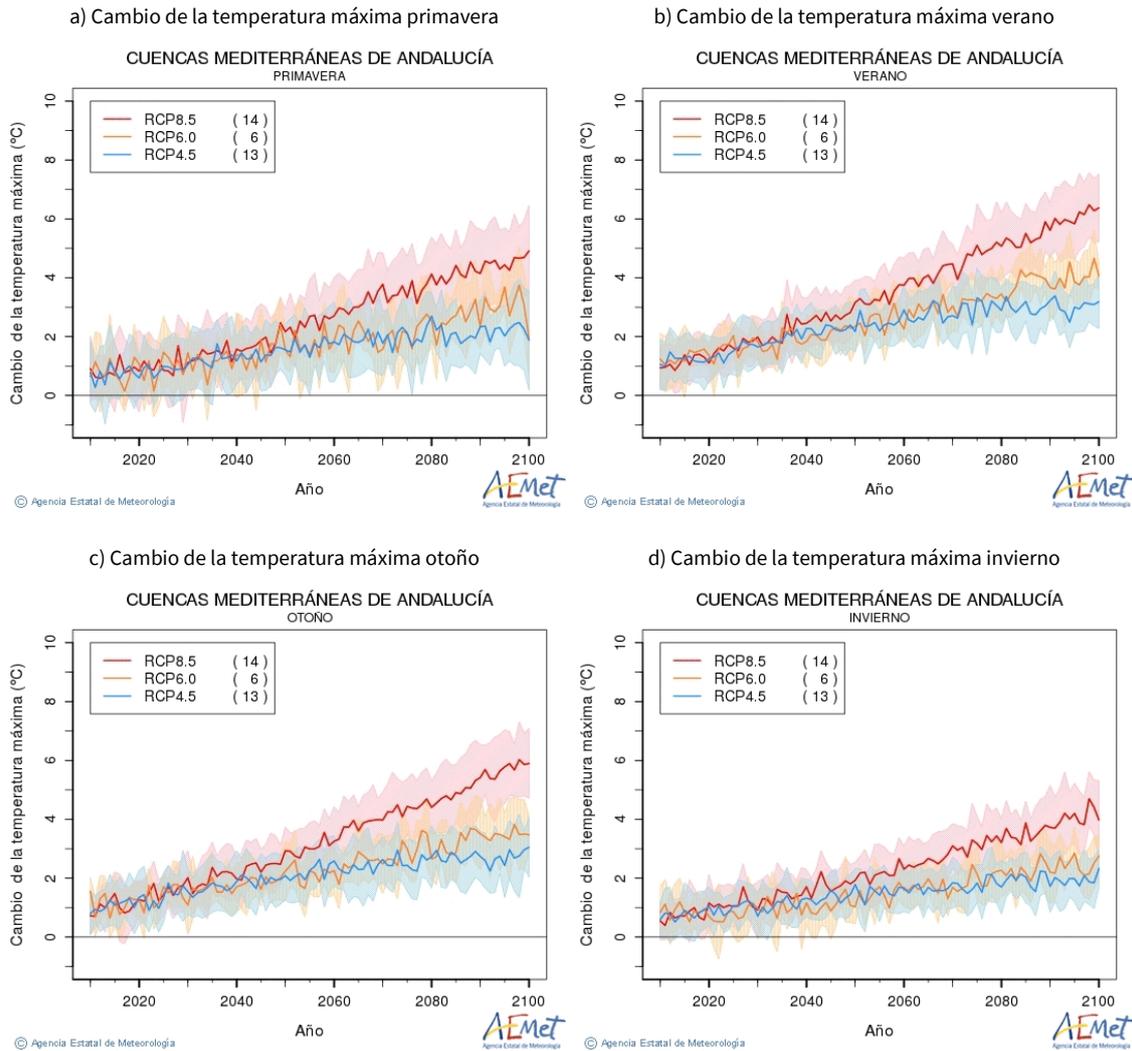
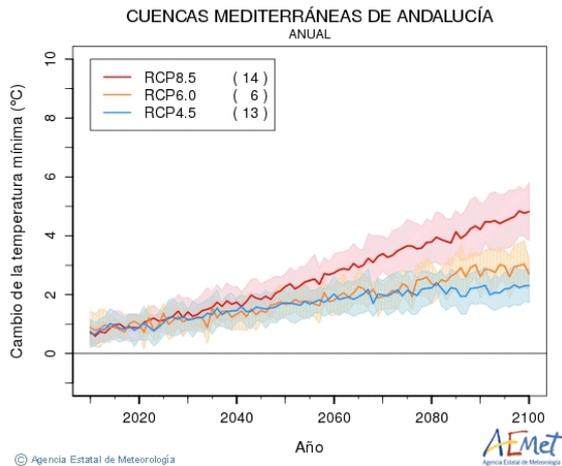


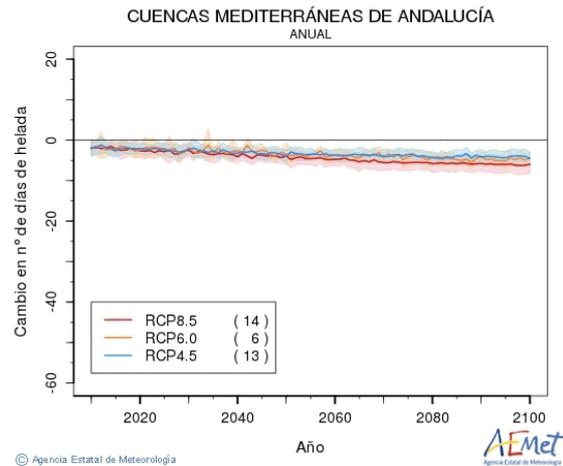
Figura nº 3. Gráficos de cambio de temperatura máxima estacional: (a) primavera, (b) verano, (c) otoño y (d) invierno en la DHCMA a lo largo del siglo XXI (Fuente: AEMET, 2021).



a) Cambio de la temperatura mínima



b) Cambio en número de días de helada



c) Cambio en noches cálidas

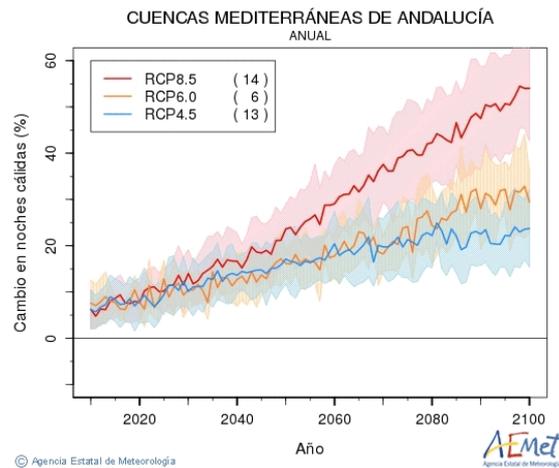


Figura nº 4. Gráficos de cambio en: (a) temperatura mínima, (b) número de días de heladas y (c) noches cálidas en la DHCMA a lo largo del siglo XXI (Fuente: AEMET, 2021).

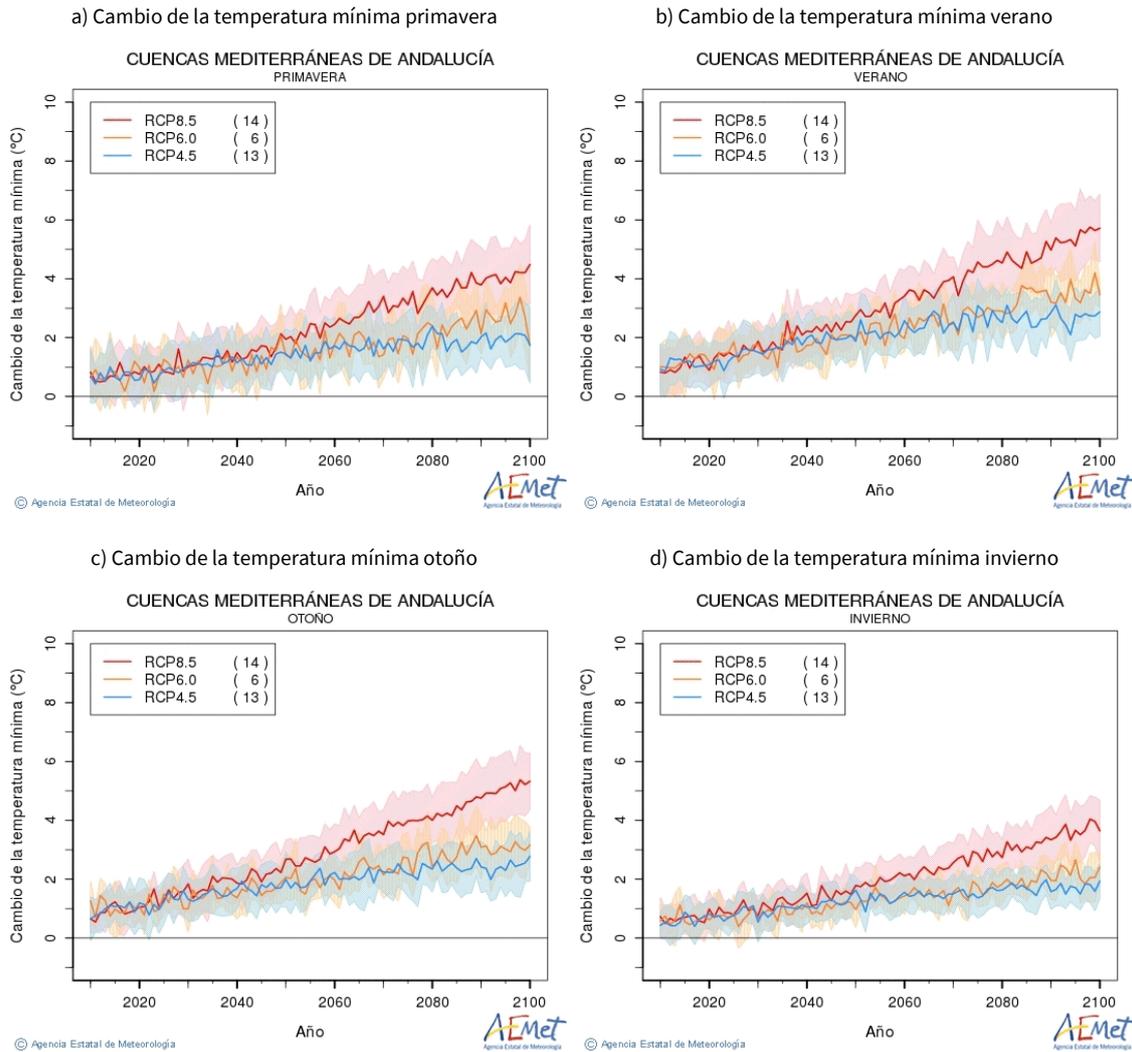


Figura nº 5. Gráficos de cambio de temperatura mínima estacional: (a) primavera, (b) verano, (c) otoño y (d) invierno en la DHCMA a lo largo del siglo XXI (Fuente: AEMET, 2021).

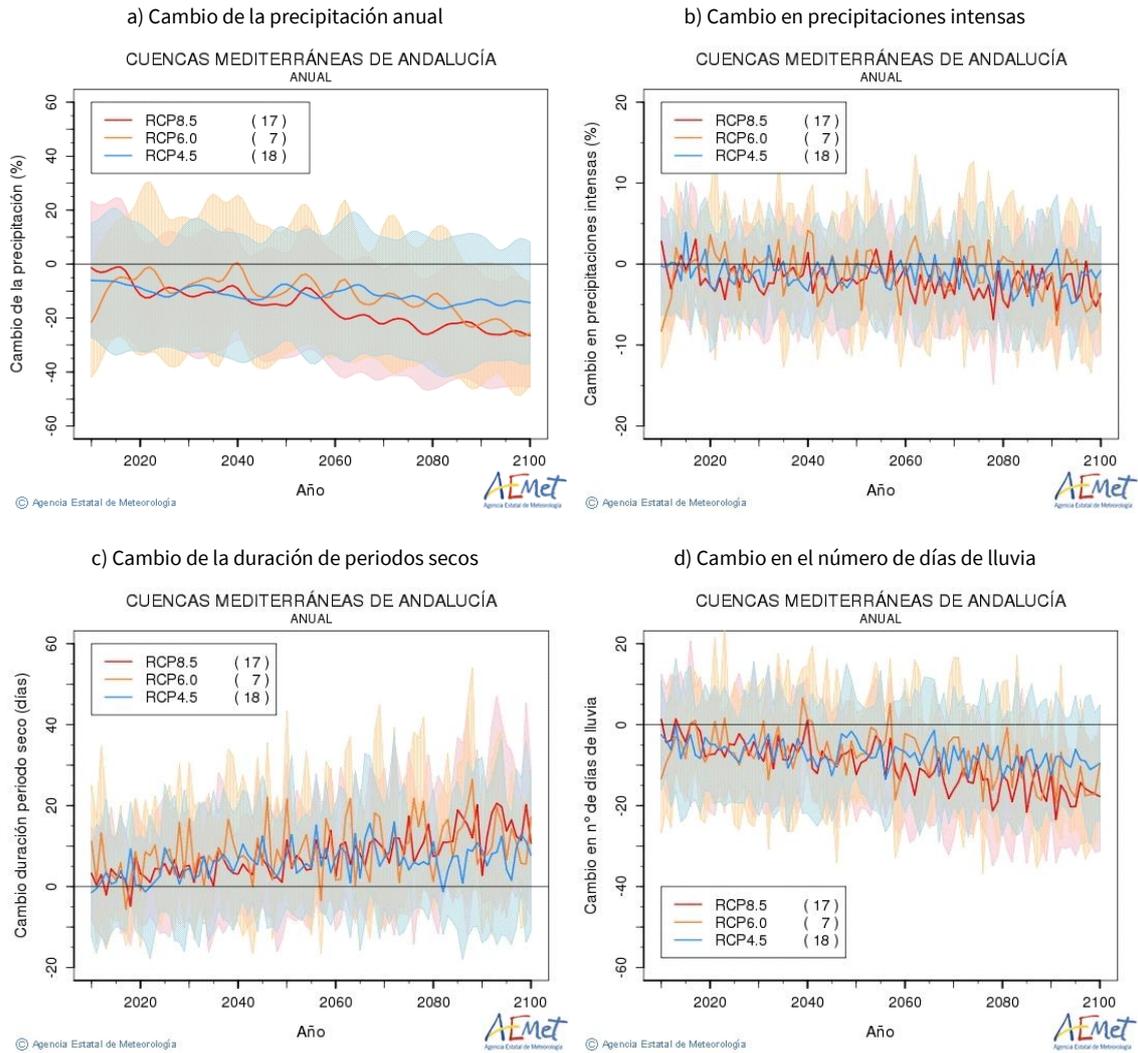


Figura nº 6. Gráficos de cambio en: (a) precipitación anual, (b) precipitaciones intensas, (c) duración de periodos secos y (d) número de días de lluvia en la DHCMA a lo largo del siglo XXI (Fuente: AEMET, 2021)



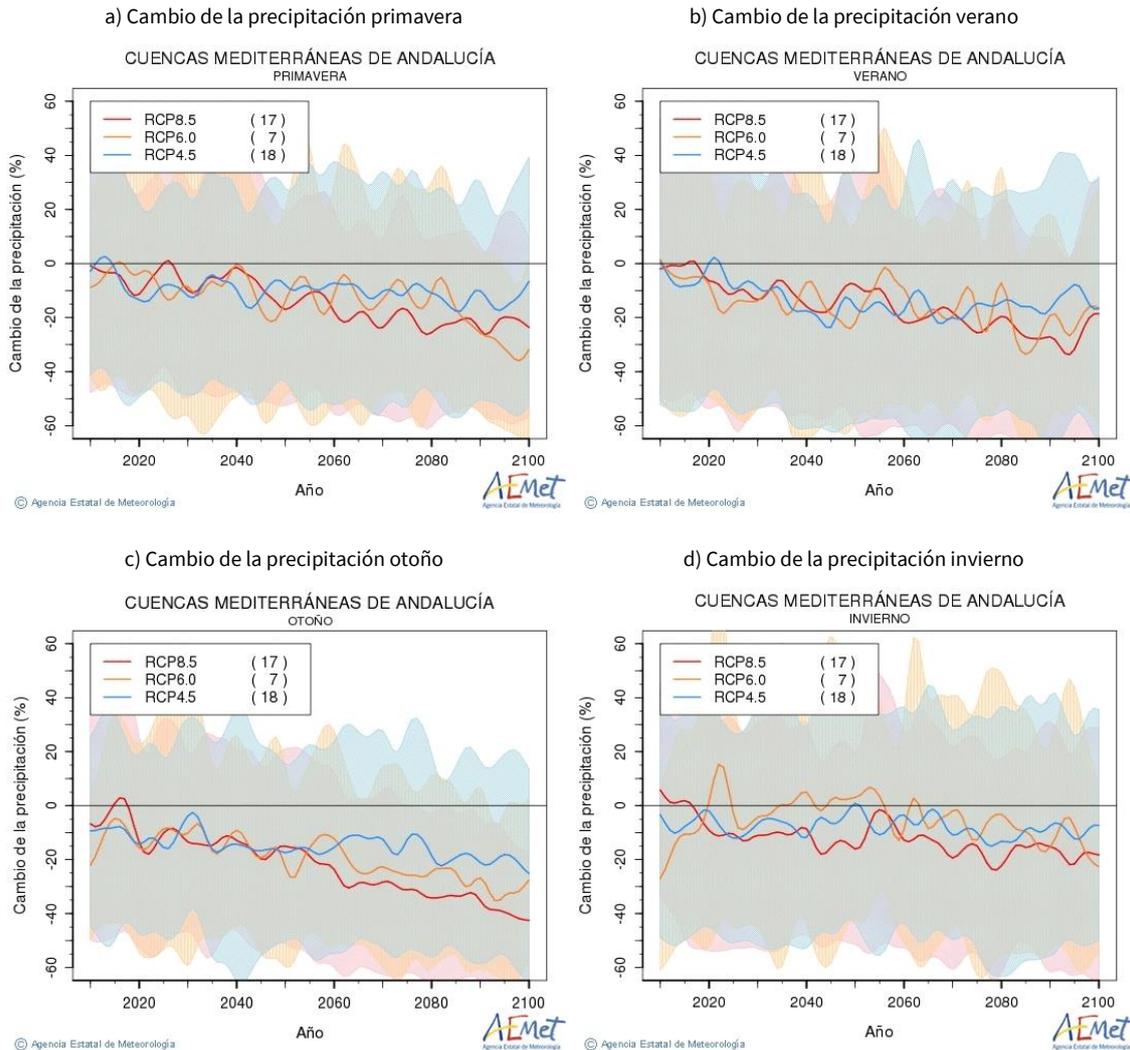


Figura nº 7. Gráficos de cambio de la precipitación estacional: (a) primavera, (b) verano, (c) otoño y (d) invierno en la DHCMA a lo largo del siglo XXI (Fuente: AEMET, 2021).

De la información mostrada en las figuras anteriores (Figura nº 2, Figura nº 3, Figura nº 4, Figura nº 5, Figura nº 6 y Figura nº 7), así como el análisis de los resultados numéricos obtenidos por la AEMET para el conjunto de modelos de cambio climático en cada RCP, se pueden extraer las siguientes conclusiones basadas en la variación media (es decir, la media de los modelos o “multimodel average”) para la DHCMA:

- En términos generales y conforme avance el siglo XXI, se prevé un aumento progresivo de la temperatura máxima y mínima diaria para el conjunto del año (que será más acusada durante el verano y el otoño, especialmente en el RCP8.5), así como una reducción lenta y moderada de la precipitación anual (aunque con una incertidumbre alta para el comportamiento de esta variable).
- Se espera un incremento progresivo de la **temperatura máxima** diaria para el conjunto del año en la DHCMA conforme avance el siglo XXI (Figura nº 2a). Se prevé que esta variación media de la temperatura máxima podría llegar a ser de un incremento entre 1,2 y 1,3°C en el corto plazo (2010-2040), entre 2,0 y 2,8°C en el medio plazo (2040-2070) y

entre 2,4 y 4,5°C en el largo plazo (2070-2100). Se prevé que estos valores medios de variación serán más acusados durante los meses de verano (Figura nº 3b), donde se estima un incremento medio de aproximadamente 1,6°C en el corto plazo, entre 2,5 y 3,4°C en el medio plazo y entre 3,0 y 5,4°C en el largo plazo. Es importante destacar igualmente los previsibles incrementos durante el otoño (Figura nº 3c), cuyos incrementos medios son similares a los de verano, siendo ligeramente inferiores a los mismos (entre 1,4 y 1,5°C para el PI1, entre 2,2 y 3,1°C para el PI2 y entre 2,7 y 5,0°C para el PI3). Aunque existe cierto margen de incertidumbre asociada a estos resultados (reflejada por la anchura de la banda correspondiente a cada conjunto de escenarios RCP), los 3 RCP muestran una tendencia inequívoca creciente.

- Se espera un incremento progresivo del **número de días cálidos** anual (Figura nº 2b) conforme avance el siglo XXI, cuyo incremento medio se estima aproximadamente entre un 9,4 y un 10,6% en el corto plazo (2010-2040), entre un 16,4 y 25,8% en el medio plazo (2040-2070) y entre 21,2 y 45,3% en el largo plazo (2070-2100). Aunque existe un cierto grado de incertidumbre asociada a estos resultados, los tres RCP muestran una tendencia inequívoca creciente. Igualmente, la duración en días de las **olas de calor** (Figura nº 2c) muestra una tendencia creciente en los tres escenarios de cambio climático, con valores promedios de cambio de 4,4 y 4,8 días en el corto plazo (2010-2040), entre un 6,6 y 10 días en el medio plazo (2040-2070) y entre 5,8 y 18,6 días en el largo plazo (2070-2100).
- La **temperatura mínima** diaria (Figura nº 4a), de manera análoga a la temperatura máxima, para el conjunto del año y de la DHCMA, prevé un incremento medio de entre 1,1 y 1,2°C en el corto plazo (2010-2040), entre 1,8 y 2,5°C en el medio plazo (2040-2070) y entre 2,2 y 4,1°C en el largo plazo (2070-2100). Estos valores medios de variación serán más acusados durante el verano (Figura nº 5b), donde se estima un incremento medio entre 1,4 y 1,5°C en el corto plazo (2010-2040), entre 2,2 y 3,0°C en el medio plazo (2040-2070) y entre 2,7 y 4,8°C en el largo plazo (2070-2100). Se destacan igualmente los previsibles incrementos medios durante el otoño (Figura nº 5c), cuyos valores son similares a los del verano (1,2 y 1,4°C en el PI1, entre 1,9 y 2,8°C en el PI2 y entre 2,4 y 4,5°C en el PI3). Aunque existe cierto margen de incertidumbre asociada a estos resultados (reflejada por la anchura de la banda correspondiente a cada conjunto de escenarios RCP), los 3 RCP muestran una tendencia inequívoca creciente.
- En la DHCMA, el fenómeno de las **heladas** es poco habitual en términos generales. De acuerdo a las tendencias analizadas (Figura nº 4b), en todos los casos y para los tres periodos de impactos, la tendencia es decreciente, con valores que van desde -2,4 y -2,8 días en el corto plazo (2010-2040), -3,5 y -4,5 días en el medio plazo (2040-2070), y -4,0 y -5,8 en el largo plazo (2070-2100). En cambio, el **número de noches cálidas** en el año (Figura nº 4c) muestra un incremento medio estimado de entre 9,9 y 11,2% en el corto plazo (2010-2040), entre un 17,1 y 26,2% en el medio plazo (2040-2070) y entre 21,9 y 45,5% en el largo plazo (2070-2100).
- Se espera una reducción moderada en la **precipitación anual** para el conjunto del año en la DHCMA conforme avance el siglo XXI (Figura nº 6a), cuya reducción media se estima entre -7,6 y -9,1% en el corto plazo (2010-2040), entre -10,5 y -16,3% en el medio plazo (2040-2070) y entre -14,1 y -23,6% en el largo plazo (2070-2100). Estos porcentajes de reducción podrían llegar a ser más acusados en otoño (Figura nº 7c), para cuando se



estima una reducción entre -9,8 y -11,3% en el corto plazo (2010-2040), entre -14,8 y -21,8% en el medio plazo (2040-2070) y entre -18,6 y -34,9% en el largo plazo (2070-2100). Al contrario de lo que ocurre con las temperaturas máximas y mínimas, donde el cambio mostrado en las gráficas es inequívoco (tendencia creciente), en las precipitaciones se observa mayor variabilidad y disparidad de resultados mostrados para el RCP4.5 y RCP8.5 (mostrando, por ejemplo, los resultados que las mayores reducciones de precipitación en el corto plazo para todas las estaciones del año se alcanzan para el escenario de emisiones RCP4.5, en lugar del RCP8.5). Esto es debido a la gran incertidumbre asociada a las proyecciones de precipitación (debido al número limitado de proyecciones climáticas, parámetros hidrológicos e hidráulicos de los modelos, regionalización, etc.) y, por tanto, han de ser interpretadas con cautela. Además, hay que tener especial cuidado con la generalización o extrapolación de los resultados a todo el ámbito territorial de la DHCMA, ya que ésta se caracteriza por una fuerte heterogeneidad espacial (además, de la fuerte variación estacional), tal y como se detalla en el Anejo II – Inventario de recursos hídricos.

- El cambio en **precipitaciones intensas** (Figura nº 6b), aunque no muy significativos, muestran un comportamiento ligeramente decreciente a medida que avanzamos en el siglo XXI, con valores que van desde el -1 y -1,2% corto plazo (2010-2040), entre -1 y -2% en el medio plazo (2040-2070) y entre -1,8 y -2,8% en el largo plazo (2070-2100). La **duración de los periodos secos** (Figura nº 6c) muestra una tendencia creciente a medida que avanzamos en el siglo XXI, con un valor medio de entre 3,3 y 3,5 días en el corto plazo (2010-2040), de 7,1 y 7,5 días en el medio plazo (2040-2070) y de 3,5 a 10,9 días en el largo plazo (2070-2100). El **número de días de lluvia** (Figura nº 6d) muestra también una tendencia clara decreciente. Los valores van desde -4,6 y -5,7 días en el corto plazo (2010-2040), de -7,1 y -10,2 días en el medio plazo (2040-2070) y de -9,0 a -15,6 días en el largo plazo (2070-2100).

En resumen, aunque son necesarios estudios más detallados y específicos en la DHCMA que aporten mayor certidumbre con respecto a las estimaciones de variación futura en las variables climáticas principales (precipitación y temperatura), los resultados anteriormente expuestos pueden servir como una primera aproximación para evaluar el posible impacto sobre los recursos hídricos (humedad del suelo, evapotranspiración real, escorrentía superficial, recarga de acuíferos, reserva nival, ascenso del nivel del mar, etc.) así como en otros sectores y sistemas ambientales y socio-económicos relacionados, y servir para la elaboración y desarrollo de estrategias de adaptación progresiva al cambio climático en la DHCMA.



5 IMPACTOS PREVISIBLES Y RIESGOS DERIVADOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

5.1 INTRODUCCIÓN

Los impactos derivados del cambio climático sobre el agua, los ecosistemas acuáticos y las actividades económicas son evidentes y progresivos, y pueden clasificarse en los siguientes grupos:

- **Recursos hídricos:** la disminución global de las precipitaciones y los cambios estacionales, unidos al aumento de la temperatura y de la evapotranspiración, darán lugar a una reducción de la escorrentía total y a un aumento del estiaje de los ríos, así como a una reducción de la recarga de los acuíferos. Por otra parte, la disminución de los recursos de nieve y cambios estacionales del deshielo modificará el régimen hidrológico de determinados ríos.
- **Demandas de agua:** el aumento de la evapotranspiración conllevará un aumento de las necesidades hídricas de las plantas, y en algunas zonas la temporada de producción se podría ampliar (por ejemplo, debido a la disminución de las heladas tardías), lo que se traduciría en un aumento en la demanda de agua para regadío. Por otra parte, el aumento de la temperatura podría llevar asociada un aumento de la demanda de agua para la refrigeración, y la reducción de la escorrentía una disminución en la producción hidroeléctrica.
- **Calidad del agua:** el incremento de la temperatura del agua dará lugar a un aumento de la eutrofización, y la disminución del caudal de los ríos a un incremento de la concentración de la carga contaminante. Por otra parte, un aumento de las tormentas también llevaría asociada pérdida de la calidad de las aguas. Asimismo, aumentarán procesos de intrusión salina, con mayor incidencia en los estuarios, por combinación del ascenso del nivel del mar y reducción de los caudales circulantes por los ríos.
- **Procesos ecológicos y biodiversidad:** los cambios en los factores físicos esenciales para las especies acuáticas (temperatura del agua, oxígeno disuelto, velocidad del agua, carga de sedimentos, etc.), unidos a otros que afectan los ecosistemas terrestres asociados (caudal circulante, temperatura, nivel del mar, etc.) podrían dar lugar, entre otros, a la desaparición de las especies más sensibles; a alteraciones en la fenología e interacciones entre especies con desplazamientos para compensar los cambios (por ejemplo, en altitud, para compensar el incremento de la temperatura); a la progresión de especies exóticas invasoras; o la degradación de hábitats costeros.
- **Fenómenos extremos:** se prevé que los fenómenos naturales de sequía serán más frecuentes e intensos, con la consecuente repercusión en el aumento de la escasez de agua debido a la reducción de los recursos hídricos, mientras que la afección del cambio climático sobre las inundaciones presenta mayores incertidumbres (especialmente en las cuencas mediterráneas donde las crecidas no siguen un patrón determinado), si bien los estudios predicen un posible aumento de los caudales de avenida para periodos de retorno más elevados (JA, 2012).



- Sistema económico: alterando la seguridad hídrica en general, tanto desde la perspectiva de las garantías de suministro según los requisitos marcados en la IPHA (con el previsible aumento de las necesidades de agua de los cultivos por el aumento de la temperatura, 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.

La variación global del clima y la alteración de las diferentes variables hidrológicas podrán tener consecuencias directas en las condiciones de las masas de agua y zonas protegidas, alterando entre otros el régimen hidrológico, la composición de especies y las características fisicoquímicas, así como en las demandas y en los fenómenos extremos.

Por ello, es necesario adoptar medidas y trabajar para reducir la exposición y vulnerabilidad, y fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación progresiva a una realidad cambiante e incierta, así como para mitigar los efectos del cambio climático sobre los objetivos marcados en la DMA.

5.2 SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Los recursos hídricos disponibles en la DHCMA están constituidos por los recursos hídricos propios, convencionales (recursos hídricos naturales -fluyentes y regulados- y subterráneos) y no convencionales (principalmente provenientes de la reutilización de aguas residuales urbanas y desalinización), así como y los recursos hídricos externos (transferencias o trasvases). El Anejo II – Inventario de recursos hídricos incluye mayor nivel de información al respecto.

Los efectos del cambio climático sobre los recursos hídricos afectan, no solo a la cantidad y calidad, sino también a su distribución espacial y temporal. Esto puede suponer variaciones en el balance hídrico, afectando a la cantidad y calidad de la escorrentía superficial, volumen embalsado, la recarga de acuíferos, los procesos de acumulación de nieve y deshielo, el nivel del mar y la incidencia de los fenómenos extremos.

5.2.1 SUPERFICIALES

En 2017 y por encargo de la Oficina Española de Cambio Climático (OECC), el Centro de Estudios Hidrográficos (CEH) del CEDEX presentó el informe más reciente hasta la fecha en relación con el impacto del cambio climático sobre las variables hidrológicas para el conjunto de España, titulado “*Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y Sequías en España (2015-2017)*” (CEDEX, 2017). El objetivo de este informe es presentar los trabajos realizados para evaluar el impacto del cambio climático en los recursos hídricos (RRHH) en régimen natural y en el régimen de sequías en España.

A continuación, se extraen los principales resultados del estudio del CEDEX sobre los cambios proyectados en las principales variables hidrometeorológicas para la DHCMA.

Como muestra la Figura nº 8, en el caso de la DHCMA se prevé un descenso de la precipitación en general, lo cual se verá reflejado en una reducción creciente de la escorrentía conforme avance el siglo XXI, aunque en este último parámetro la incertidumbre es alta (al tratarse de una variable



dependiente de otras). También se estima un incremento en la evapotranspiración potencial (debido al previsible aumento de temperatura), aunque debido a la menor disponibilidad de agua provoca un descenso en la evapotranspiración real.

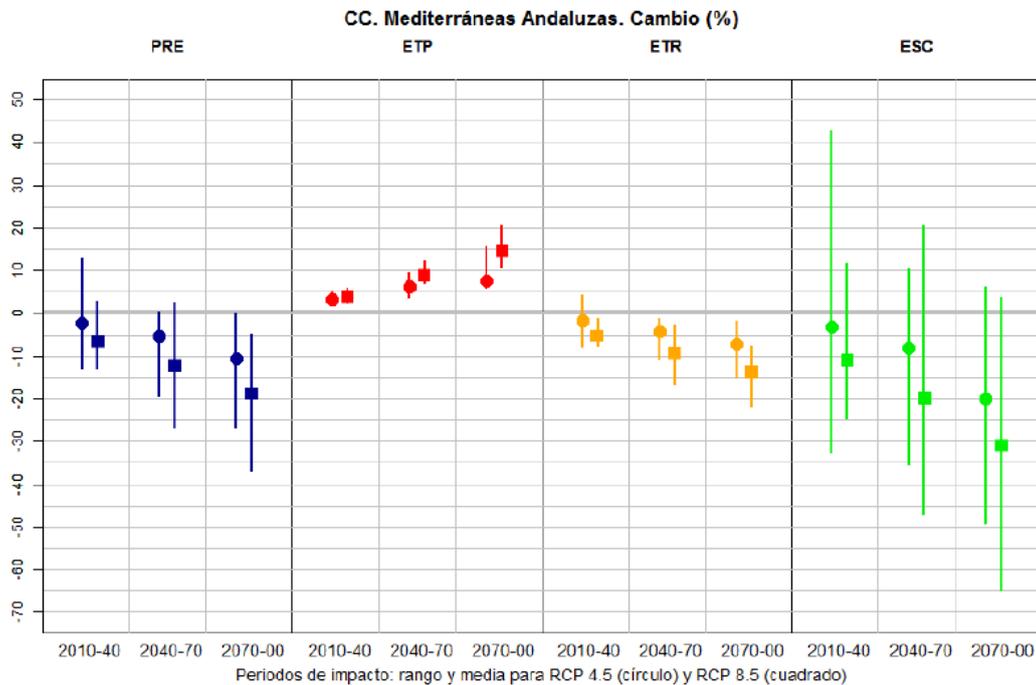
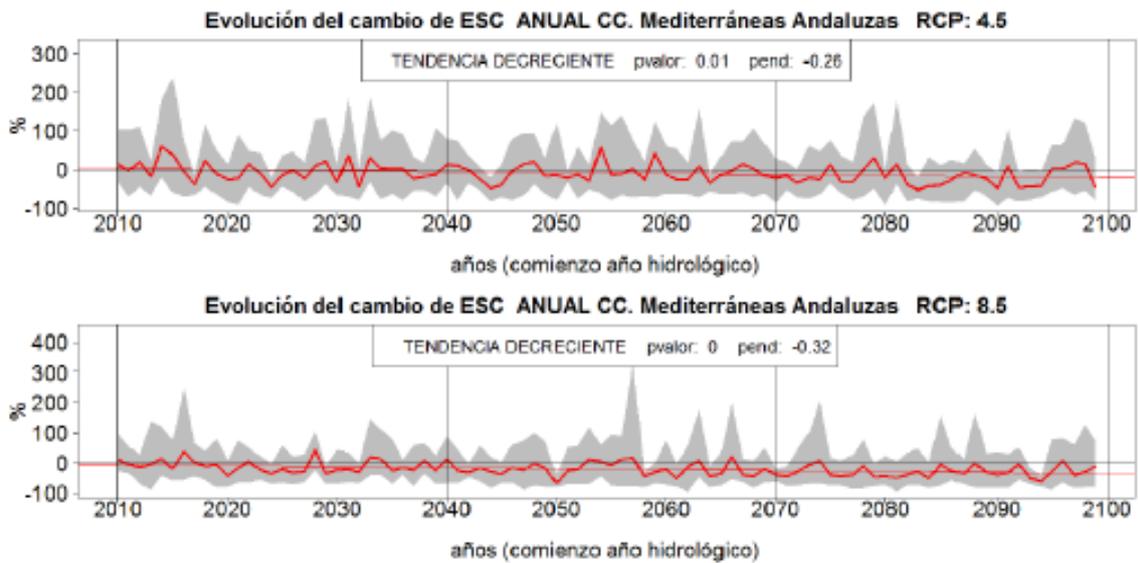


Figura nº 8. Cambio (%) en las principales variables hidrológicas en los tres PI respecto al PC para la DHCMA. Rango y media de resultados para RCP 4.5 (círculos) y RCP 8.5 (cuadrados). Fuente: CEDEX, 2017

La Figura nº 9 muestra los cambios previsibles en la escorrentía anual para la DHCMA. Conforme avance el siglo XXI, se estima una tendencia decreciente continua del valor promedio de la escorrentía anual según todas las proyecciones climáticas (siendo la más acusada en el escenario de emisiones RCP8.5). La incertidumbre de los resultados se hace patente por la anchura de la banda de cambios según las diferentes simulaciones.



Fuente: Centro de Estudios Hidrográficos (2017)

Figura nº 9. Tendencia del Δ (%) escorrentía del año 2010 a 2099 para los RCP 4.5 (arriba) y 8.5 (abajo) en la DHCMA

La Tabla nº 1 muestra que las reducciones previsibles de escorrentía previstas en la DHCMA para los RCP4.5 y 8.5 son respectivamente del 3% y 11% para 2010-2040, 8% y 20% para 2040-2070, y 20% y 31% para 2070-2100, respecto del periodo de control 1961-2000.

ESC Δ Anual (%)		RCP 4.5								RCP 8.5									
		F4A	M4A	N4A	Q4A	R4A	U4A	Mx	Med	Mn	F8A	M8A	N8A	Q8A	R8A	U8A	Mx	Med	Mn
Cuencas Mediterráneas Andaluzas	2010-2040	6	-4	-33	-6	-25	43	43	-3	-33	12	-11	-25	-18	-23	-1	12	-11	-25
	2040-2070	-4	-3	-15	-2	-36	11	11	-8	-36	-5	-25	-47	-17	-46	20	20	-20	-47
	2070-2100	0	-21	-39	-16	-49	6	6	-20	-49	-29	-25	-29	-42	-65	4	4	-31	-65

Fuente: Centro de Estudios Hidrográficos (2017)

Tabla nº 1. Porcentaje de cambio anual (%) de la escorrentía en la DHCMA y periodo de impacto según cada proyección. Los colores reflejan la gradación del cambio. Nota: Modelos (F4A, M4A, N4A, Q4A, R4A y U4A/ F8A, M8A, N8A, Q8A, R8A y U8A), Mx: máximo, Mn: mínimo y Med: medio.

La IPHA establece que, en el análisis del horizonte temporal a largo plazo, correspondiente en los planes de este tercer ciclo al año 2039, debe de tenerse en cuenta el posible efecto del cambio climático sobre los recursos hídricos naturales de la demarcación.

Por ello, la DGA del MITERD encargó al CEH del CEDEX la obtención de unos porcentajes de cambio para el horizonte 2039 desagregados temporal y espacialmente, con criterios comunes para todas las demarcaciones hidrográficas españolas y con el objetivo de integrar los resultados de impacto del cambio climático en los planes hidrológicos de tercer ciclo 2022-2027.

Dicho encargo consistió en el cálculo de los porcentajes desagregados por estaciones climáticas (trimestres) y en unidades territoriales inferiores a los de las demarcaciones hidrográficas. A tal fin, se trabajó sobre una capa de polígonos de zonas de interés que en la DHCMA se corresponden con los subsistemas de explotación. El objetivo de estos trabajos era el de proporcionar los cambios porcentuales en la escorrentía generada en cada uno de los subsistemas de explotación.



Fue así como en octubre de 2020, el CEDEX entregó una nota sobre “*Incorporación del cambio climático en los planes hidrológicos del tercer ciclo*” a la DGA, que indicaba los porcentajes de cambio de escorrentía y de aportación hídrica previstos para el horizonte de planificación 2039, desagregados temporalmente por estaciones climáticas y espacialmente en una serie de unidades cartográficas de interés para los organismos de cuenca. Este estudio fue completado con otro que solicitó también la DGA para contemplar unas unidades cartográficas de las Demarcaciones Hidrográficas de Andalucía, con fecha de noviembre 2020.

Por parte del CEH del CEDEX se desarrollaron dos tareas:

- Cálculo de los porcentajes de cambio en la escorrentía trimestral.
- Cálculo de los porcentajes de cambio para el horizonte 2039 para cada uno de los 4 trimestres (OND: oct, nov, dic; EFM: ene, feb, mar; AMJ: abr, may, jun; JAS: jul, ago, sep).

Este análisis supone un importante avance frente a los ciclos anteriores de planificación, y como resultado final se obtuvieron las medias de los porcentajes de cambio de la escorrentía generada en cada unidad territorial para el horizonte 2039 en cada trimestre y según los escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5. De esa manera, se han recopilado para la DHCMA, 8 valores para cada unidad territorial: 4 trimestres y 2 RCP, que son los que se recogen en la Tabla nº 2.

Zonas	RCP4.5				RCP8.5			
	OND	EFM	AMJ	JAS	OND	EFM	AMJ	JAS
I-1	-14	4	-14	-14	-24	-7	-26	-24
I-2	-13	3	-13	-19	-21	-4	-22	-25
I-3	-10	7	-11	-15	-20	-5	-24	-23
I-4	-12	6	-10	-12	-22	-7	-22	-20
I-5	-12	17	19	9	-21	0	-3	-11
II-1	-12	7	-9	-14	-23	-7	-19	-21
II-2	-11	-4	-7	-8	-20	-13	-15	-15
III-1	-11	7	-4	-17	-23	-5	-12	-24
III-2	-13	6	-8	-13	-21	-4	-17	-20
III-3	-13	15	-10	-12	-22	3	-19	-22
III-4	-11	10	-11	-13	-20	-3	-21	-21
IV-1	-11	5	-13	-17	-23	-11	-27	-28
IV-2	-20	-14	-12	-21	-31	-32	-34	-39
V-1	5	-1	-3	-7	-20	-37	-40	-37
V-2	0	-7	-7	-8	-10	-27	-27	-25

Tabla nº 2. Porcentaje de cambio de la escorrentía trimestral por subsistema de explotación para el horizonte 2039. Los colores reflejan la gradación del cambio. (CEDEX, 2020)

Para visualizar las variaciones espaciales y estacionales estimadas en la DHCMA para el año horizonte 2039, se muestran los resultados numéricos de la Tabla nº 2 en la Figura nº 10, y los resultados de variación anual en la Figura nº 11. Se puede observar que, las reducciones mayores (en porcentaje) se dan en el trimestre de verano (JAS), mientras que las menores se dan en invierno (EFM), siendo para el RCP4.5, algunas de ellas, positivas. Se aprecia, igualmente, que el subsistema

de explotación que más se vería afectado por estas reducciones (en porcentaje) es el IV-2 Comarca natural del Campo de Níjar. Las reducciones más acusadas se dan en el escenario RCP8.5, de más altas emisiones de GEI.

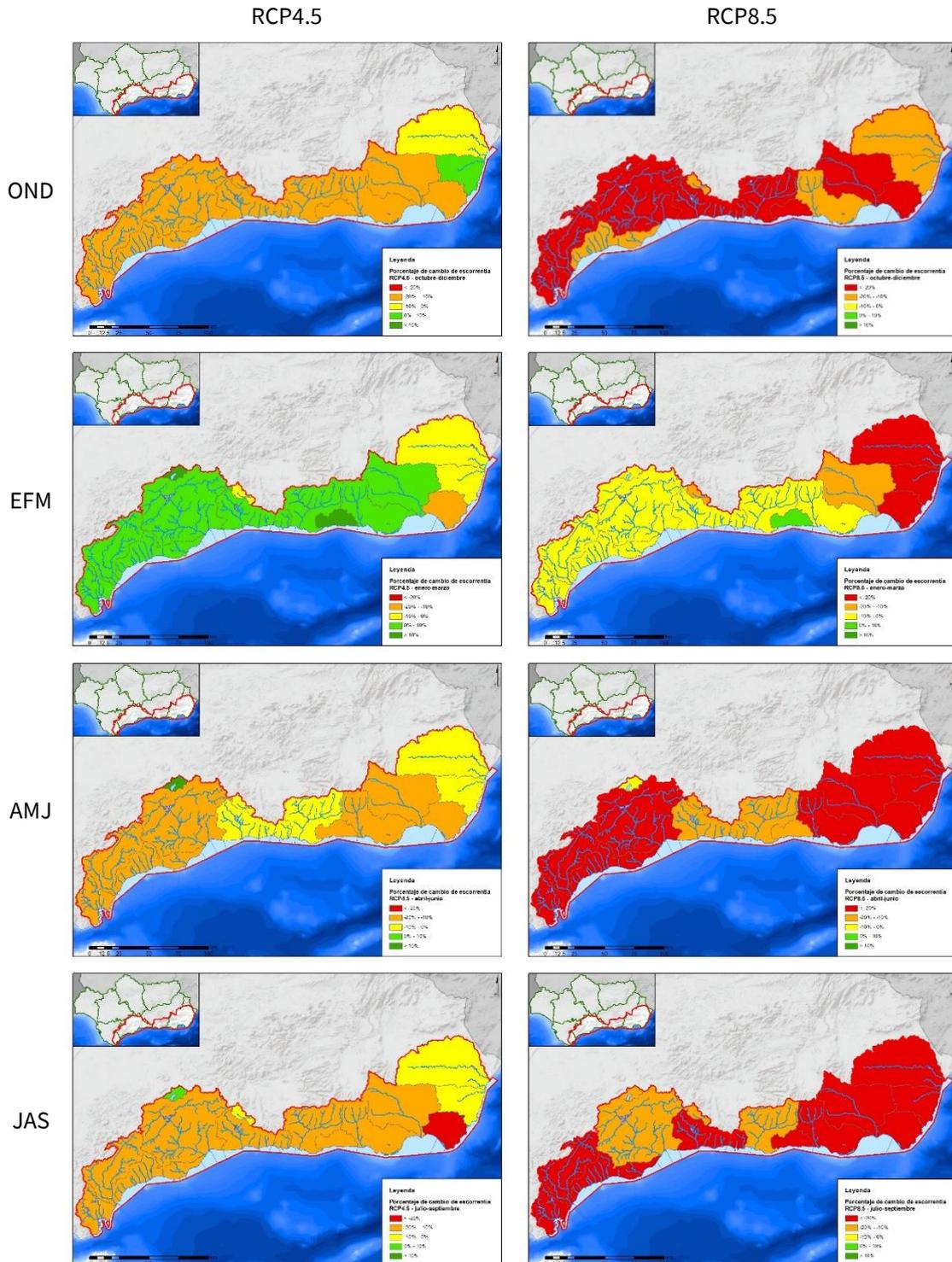


Figura nº 10. Porcentaje de cambio de la escorrentía trimestral (OND, EFM, AMJ, JAS) por subsistema de explotación en la DHCMA para el horizonte 2039. Escenario RCP4.5(izquierda) y RCP8.5 (derecha). Los colores reflejan la gradación del cambio.

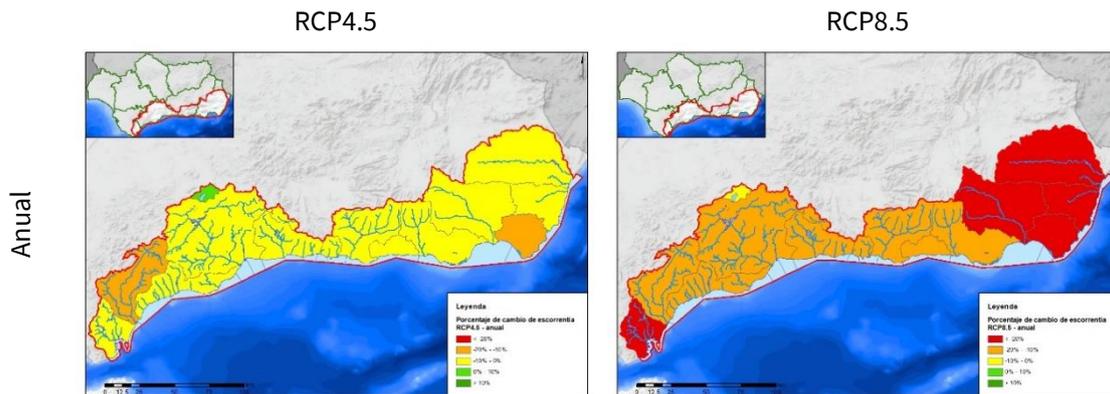


Figura nº 11. Porcentaje de cambio de la escorrentía medio anual por subsistema de explotación en la DHCMA para el horizonte 2039. Escenario RCP4.5 (izquierda) y RCP8.5 (derecha). Los colores reflejan la gradación del cambio.

Para el cálculo de los efectos del cambio climático en la demarcación, tal y como se indica en dicho trabajo, se aplicarán las restricciones descritas en la Tabla nº 2 a las series de aportaciones superficiales en régimen natural, tanto por zonas como por trimestres, pero únicamente hasta el año hidrológico 2005/2006, puesto que las series ya muestran evidencias del cambio climático a partir de estas fechas. Se han modelado ambos escenarios de emisiones, RCP4.5 y RCP 8.5, con el objetivo de obtener un rango de variación entre el escenario más optimista de emisiones (RCP4.5) y el escenario más pesimista de emisiones (RCP8.5).

Los resultados obtenidos tras la modelización de los escenarios de cambio climático y su afección en cuanto a la disponibilidad de recursos hídricos para el horizonte 2039 (RCP4.5 y RCP 8.5) se muestran y detallan en el Anejo VI – Asignación y reservas de recursos a usos, que muestra cómo la disminución prevista en la escorrentía superficial se ve compensada con las actuaciones para la satisfacción de las demandas previstas en el horizonte 2039, que contemplan un incremento de los recursos hídricos de la demarcación.

Por otro lado, los previsibles impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos y los caudales fluyentes, especialmente durante las estaciones climáticas de verano y otoño, deberá considerarse en el futuro en el régimen de caudales ecológicos.

5.2.2 SUBTERRÁNEOS

En lo que respecta al posible impacto sobre los recursos hídricos subterráneos, el CEDEX ha preparado también, siguiendo una metodología similar a la utilizada para las aguas superficiales, la siguiente Nota: “*Impacto del cambio climático en la recarga de las masas de agua subterránea en España*” del CEH del CEDEX de 9 marzo de 2021.

El objetivo de esta nota es proporcionar los porcentajes de cambio de la recarga en cada masa de agua subterránea para el horizonte 2039, con relación al periodo de control 1961-2000 en cada trimestre y según los escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5. De esa manera, hay 8 valores para cada unidad territorial: 4 trimestres y 2 RCP.

El análisis se ha realizado a partir de los resultados del estudio del informe CEDEX 2017, obtenidos de las simulaciones llevadas a cabo con el modelo hidrológico SIMPA. SIMPA simula la recarga a los acuíferos en 2 dimensiones, por lo que no considera acuíferos en distintos horizontes de profundidad.

El CEDEX ha puntualizado que los resultados obtenidos tienen una alta incertidumbre por los siguientes motivos:

- Las propias proyecciones climáticas están sujetas a incertidumbre en su previsión de cambios climáticos futuros.
- Se han agregado los resultados obtenidos sobre antiguas masas de agua subterránea a las nuevas masas de agua subterránea del 3^{er} ciclo.
- SIMPA es un modelo general que simula de manera simplificada la fase subterránea del ciclo hidrológico.
- Algunos porcentajes pueden salir muy extremos como consecuencia de que el cambio se ha calculado sobre las recargas producidas durante el periodo de control muy bajas, por lo que, aunque los cambios en % sean muy acusados, los cambios en valores absolutos son muy pequeños (cerca de 0 mm/mes). Para evitar este efecto no deseado, se ha puesto un umbral en 0,1 mm/mes y no se han considerado aquellos valores en los que no se disponía de información de al menos 3 proyecciones climáticas.

Por las razones anteriores, los resultados mostrados en la Tabla nº 3 tendrán que ser considerados e interpretados con cautela, y tomarlos como valores orientativos para el año horizonte 2039.

Los cambios en la recarga de las masas de agua subterránea responden generalmente a los cambios de precipitación, pero agudizándolos. Se puede observar que las reducciones mayores (en porcentaje) se dan en el trimestre de verano (JAS) y primavera (AMJ), mientras que las menores se dan en invierno (EFM). Lógicamente, las reducciones más acusadas se dan en el escenario RCP8.5, de más altas emisiones de GEI.

Se observa también una gran disparidad de resultados, síntoma de la incertidumbre de los resultados, si bien su conjunto apunta a una reducción de la recarga que se acentúa en el RCP8.5 y conforme avanza el siglo XXI.

	RCP4.5				RCP8.5			
	OND	EFM	AMJ	JAS	OND	EFM	AMJ	JAS
ES060MSBT060-002	-3	-1	-12		-4	-22	-29	
ES060MSBT060-010	-4	7	-13		-13	-12	-36	
ES060MSBT060-012	-3	10				-7	-14	
ES060MSBT060-013	-13	5	-29		-16	-10	-48	
ES060MSBT060-014	-10	3	-34		-15	-15	-48	
ES060MSBT060-015	-11	0			-17	-17		
ES060MSBT060-016	-15	-2	-21	-17	-21	-11	-32	-34
ES060MSBT060-017	-14	-4	-17	-32	-20	-12	-26	-29

	RCP4.5				RCP8.5			
	OND	EFM	AMJ	JAS	OND	EFM	AMJ	JAS
ES060MSBT060-018	-10	0	-18	-29	-17	-9	-27	-29
ES060MSBT060-019	-11	-3	-21		-19	-12	-33	
ES060MSBT060-020	-10	0	-22	-32	-18	-9	-32	-33
ES060MSBT060-021	-13	2	-41		-14	-11	-51	
ES060MSBT060-023	-15	-5	-24	-32	-20	-15	-34	-30
ES060MSBT060-024	-10	0	-18	-29	-18	-9	-27	-30
ES060MSBT060-025	-11	-3	-17	-13	-18	-12	-28	-7
ES060MSBT060-027	-13	-3	-38		-18	-15	-53	
ES060MSBT060-028	-13	-7	-16	-25	-19	-12	-28	-26
ES060MSBT060-029	-10	-2	-16	-21	-16	-10	-25	-22
ES060MSBT060-030	-17	-10	-20		-24	-14	-35	-31
ES060MSBT060-031	-10	-3	-14	-28	-16	-8	-24	-30
ES060MSBT060-032	-10	-3	-16	-25	-16	-7	-24	-31
ES060MSBT060-033	-15	-9	-36		-19	-17	-54	
ES060MSBT060-034	-12	-4	-39		-17	-17	-59	
ES060MSBT060-035	-13	-3	-27		-20	-14	-46	
ES060MSBT060-036	-9	-1	-15	-18	-15	-11	-26	-26
ES060MSBT060-037	-10	-1	-31		-15	-14	-46	-17
ES060MSBT060-038	-10	0	-17	-33	-17	-13	-30	-28
ES060MSBT060-039	-11	2	-23	-26	-15	-10	-34	-33
ES060MSBT060-040	-7	-4	-14	-25	-17	-14	-31	-30
ES060MSBT060-041	-11	-5	-21	-22	-18	-10	-32	-23
ES060MSBT060-042	-12	-5	-22	-36	-19	-11	-34	-37
ES060MSBT060-043	-11	-4	-19	-19	-17	-10	-29	-29
ES060MSBT060-044	-9	-2	-16	-28	-15	-6	-25	-31
ES060MSBT060-045	-8	-1	-14	-25	-15	-6	-24	-29
ES060MSBT060-046	-9	-2	-18	-20	-16	-8	-28	-28
ES060MSBT060-047	-10	-4	-19	-26	-18	-13	-33	-30
ES060MSBT060-048	-13	-4	-21	-37	-21	-11	-34	-36
ES060MSBT060-049	-13	-6	-26	-33	-25	-17	-42	-32
ES060MSBT060-050	-1	-5	-11	-13	-7	-22	-22	-22

Tabla nº 3. Porcentajes de cambio de la recarga en cada masa de agua subterránea para el horizonte 2039 con relación al periodo 1961-2000 en cada trimestre y según los escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5. Los colores reflejan la gradación del cambio.

Los valores promedio de la disminución de la recarga de las masas de agua subterránea en la DHCMA para las 4 estaciones (OND, EFM, AMJ, JAS) se muestra en la Tabla nº 4.

	RCP4.5				RCP8.5			
	OND	EFM	AMJ	JAS	OND	EFM	AMJ	JAS
MASb – Valores promedio de reducción recarga	-11	-2	-22	-26	-17	-12	-34	-28

Tabla nº 4. Porcentajes promedio de cambio de la recarga en las masas de agua subterránea para el horizonte 2039 con relación al periodo 1961-2000 en cada trimestre y según los escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5. Los colores reflejan la gradación del cambio. Nota: MASb (Masa de Agua subterránea)

Se puede observar que las reducciones promedio mayores (en porcentaje) se dan en el trimestre de verano (JAS) para el escenario de emisiones RCP4.5 (-26%) y en primavera (AMJ) para el escenario RCP8.5 (-34%), mientras que las menores se dan en invierno (EFM) en ambos escenarios de emisiones. Se aprecia también que las reducciones promedio más acusadas en cualquier estación se dan en el escenario RCP8.5.

5.3 SOBRE EL RÉGIMEN DE SEQUÍAS

5.3.1 LAS SEQUÍAS EN LA DHCMA

Los períodos de sequía son una de las señas de identidad del régimen pluviométrico de la DHCMA, donde la casi total ausencia de lluvias en el periodo estival es un rasgo común a todos los sectores, incluidos los más húmedos, pero que también sufre con cierta frecuencia episodios plurianuales de precipitaciones bajas que han llegado a generar en el pasado reciente situaciones críticas de escasez de agua, incluso para el abastecimiento de las demandas prioritarias.

La DHCMA ha sufrido a lo largo de su historia intensos periodos de sequía, siendo los más recientes e intensos los correspondientes a los años hidrológicos 1984/85 a 1985/86, 1990/91 a 1994/95, 2004/05 a 2006/07 y 2011/12 a 2016/17. Estos episodios, especialmente tras la sequía de los 90 y la sequía de 2005, fomentaron la adopción de medidas de carácter extraordinario, excepcional y urgente en materia de abastecimientos como consecuencia de la persistencia de la sequía (Decreto-Ley de 10 de febrero de 1995 con referencia BOE-A-1995-3744 y Real Decreto-Ley 6/1995 de 14 de julio con referencia BOE-1995-17683), así como la búsqueda y creciente incorporación en la DHCMA de recursos hídricos no convencionales, como son la reutilización de aguas residuales urbanas para riego y las instalaciones desaladoras de agua de mar.

Las zonas más vulnerables de la demarcación en la actualidad son, por un lado, los núcleos de interior cuyo suministro depende de caudales fluyentes o acuíferos con escaso grado de regulación y, por otro, los sistemas sujetos a una mayor presión y competencia por los recursos, en especial aquellos en los que el déficit es en gran parte de carácter estructural. Pueden destacarse:

- Málaga y Valle del Guadalhorce: zona que por la magnitud de sus demandas se encuentra al límite de las posibilidades de sus recursos hídricos naturales, situación que se ve agravada por la inhabilitación parcial de una de sus principales infraestructuras de regulación por contaminación salina, el embalse del Guadalhorce, y por haberse presentado en las dos últimas décadas dos episodios particularmente intensos y prolongados de escasez de precipitaciones.



- Costa del Sol Occidental: su vulnerabilidad frente a sequías viene determinada en primer lugar por la escasa capacidad del embalse de La Concepción frente al volumen de las demandas a servir, lo que impide almacenar los importantes excedentes de escorrentía que se producen en situaciones de normalidad hidrológica. Por otra parte, amparándose en su menor coste, los gestores de los servicios del agua de algunos municipios optan por minimizar el uso de recursos mancomunados, aun a costa de continuar sobreexplotando los acuíferos, en especial de Sierra de Mijas, lo que reduce su potencial para aportar recursos de emergencia en sequías.
- Costa del Sol Oriental-Axarquía y regadíos del Plan Guaro: la elevada capacidad de almacenamiento en el embalse de La Viñuela no impidió que este ámbito también se viera gravemente afectado en la fase final de la sequía iniciada en 2005, y ello a pesar de que muchas hectáreas de la zona regable no cuentan aún con la infraestructura para recibir los recursos regulados a que tienen derecho. De hecho, tres años después, en diciembre de 2008, se publicó una Resolución de la Agencia Andaluza del Agua por la que se declaraba la situación excepcional de sequía en el sistema de gestión del ciclo integral del agua Costa del Sol Axarquía, que en la práctica representaba una ampliación del ámbito territorial establecido en el Decreto 240/2005.
- Zonas regables del Valle del Almanzora y el Levante almeriense: su dependencia de los irregulares aportes del propio río Almanzora, regulados en el embalse de Cuevas, y de los trasvases desde el Tajo-Segura y el Negrátin, les confiere una elevada vulnerabilidad en periodos de escasez pluviométrica. Las transferencias externas y los recursos desalados son los que han permitido salvar la situación durante los años en que el embalse ha permanecido en situación de embalse muerto.
- Franja costera de la Contraviesa: con un elevado potencial turístico y agrícola, la costa oriental granadina viene padeciendo desde hace décadas una marcada insuficiencia de los recursos propios, en especial en el periodo estival, que generaba situaciones críticas en periodos de sequía. La transferencia de recursos invernales desde la Alpujarra vino a paliar la situación, aunque la escasa capacidad del depósito de regulación (0,5 hm³) se ha mostrado insuficiente para garantizar el suministro urbano durante la sequía de 2005, razón por la cual el Decreto 240/2005 también incluyó a los municipios de esta comarca en la disposición adicional tercera. En este ámbito geográfico, la solución a la problemática pasa por el aporte de recursos de apoyo desde el Bajo Guadalfeo.
- Abastecimiento de diversos núcleos del interior: problema que afecta de manera especial a municipios de las provincias de Málaga y Almería cuyo suministro urbano depende de surgencias naturales o de captaciones en acuíferos de escasa entidad, muy sensibles a los periodos prolongados de escasa pluviosidad. La ausencia de fuentes de suministro alternativas y la frecuente capacidad insuficiente de los depósitos incrementan su vulnerabilidad frente a sequías.
- Regadíos del Bajo Guadiaro (zonas regables de San Martín del Tesorillo y San Pablo Buceite) y otros servidos con aguas fluyentes en las vegas de los tramos altos y medios de



diversos cauces: en estos casos, las consecuencias de la falta de regulación se ven a menudo agravadas por la obsolescencia e ineficiencia de las redes de riego.

- Campo de Gibraltar: con mucho menor grado de vulnerabilidad, aunque con un elevado potencial de impacto económico por su condición de polo de desarrollo industrial, el Campo de Gibraltar ya vivió una situación crítica de suministro durante el verano y principios del otoño de 1995, ante el práctico agotamiento de las reservas de los embalses de Guadarranque y Charco Redondo.

5.3.2 AFECCIÓN POR EL CAMBIO CLIMÁTICO

El informe del CEDEX (2017) abordó también 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 CEH es la siguiente: por acumulación de los valores mensuales de cada ámbito geográfico, se identifican las sequías como los periodos de años seguidos cuyo valor de escorrentía es inferior al umbral elegido (en este caso la mediana), como muestra la Figura nº 12.

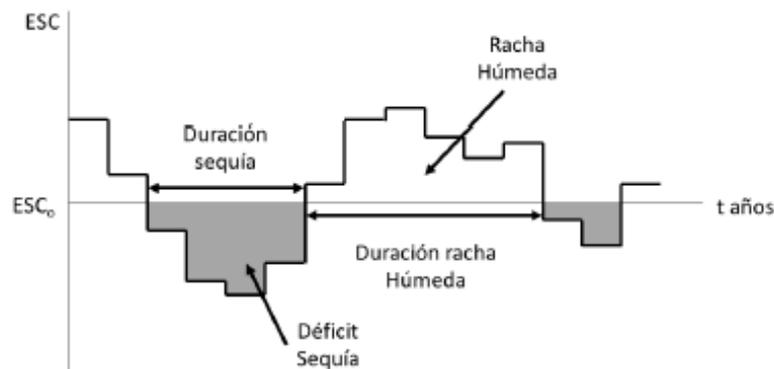


Figura nº 12. Concepto y definición de sequía (CEDEX, 2017)

Después 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 del estudio del CEDEX (2017) pronostican, en general, un incremento en la frecuencia e intensidad de las sequías en España, y en particular, en las demarcaciones del sur y sureste peninsular conforme avance el siglo XXI, con el consecuente aumento de la escasez de agua debido a la reducción de los recursos hídricos.

Las Figura nº 13 y Figura nº 14 muestran los resultados específicos obtenidos por el CEDEX tras la evaluación del impacto del cambio climático en el régimen de sequías en la DHCMA. La Figura nº 13 muestra los cambios en la frecuencia de sequías de 2 y 5 años de duración según las distintas proyecciones y escenario de emisiones RCP4.5, y la Figura nº 14 los resultados para el escenario de emisiones RCP8.5. Se puede apreciar cómo los periodos de retorno para un déficit medio son superiores para una sequía de 5 años de duración que, para una de 2 años de duración, puesto que

es más improbable una sequía larga con un déficit medio anual que una sequía corta con ese mismo déficit medio anual.

Fijada la duración del fenómeno de sequía (2 años y 5 años), el cambio se ilustra mediante curvas que expresan la relación entre el periodo de retorno y el déficit medio anual para cada uno de los tres PI futuros frente al PC.

Por regla general, los resultados aportados por las diferentes proyecciones para el escenario RCP4.5 (Figura nº 13) muestran que las sequías de 2 años de duración serán más frecuentes conforme vayamos avanzando en el siglo XXI (se ve reflejado en las curvas de los diferentes PI con respecto al PC). Se observa, generalmente, como para un mismo déficit el periodo de retorno será menor en el futuro o, dicho de otra manera, para un mismo periodo de retorno el déficit será mayor en el futuro. Esto significa que la sequía que a día de hoy evaluamos con un determinado periodo de retorno, en el futuro, ese mismo fenómeno de sequía estará asociado a un periodo de retorno menor (es decir, una mayor frecuencia de ocurrencia). Lo mismo ocurre con las sequías de 5 años de duración, si bien éstas tienen un mayor periodo de retorno para el mismo déficit medio anual que las de 2 años de duración.

Casi todas las proyecciones siguen la tendencia general de una mayor frecuencia de sequías conforme avanza el siglo XXI. Se aprecian escasas diferencias entre los resultados aportados por ambos escenarios de emisiones, si bien las sequías tenderían a ser más frecuentes para el escenario RCP8.5.

Con respecto a los modelos, se observa que de forma generalizada para el escenario RCP4.5 (Figura nº 13) los distintos modelos representados muestran un comportamiento similar, aunque con algunas diferencias entre los mismos. Como se puede apreciar, no en todos los casos es el periodo de control (1961 – 2000), es el que muestra la situación más favorable. Por ejemplo, los modelos N4A y R4A, hallan la situación más favorable en el segundo y primer periodo de impacto respectivamente. Este mismo comportamiento se visualiza en las figuras correspondientes a la sequía de 5 años de duración, siendo en estos casos el comportamiento aún más heterogéneo del esperado.

De nuevo, para el escenario RCP8.5 (Figura nº 14), los distintos modelos presentan un comportamiento similar al encontrado en el RCP4.5. En este caso, se puede observar que, de forma general, tanto para la variable sequía de dos años de duración como la de cinco años de duración, una secuencia más clara de los periodos (periodo de control y periodos de impacto), y similar a la esperada, es decir, un retraso en el punto de inflexión de las curvas (aumento del déficit) a medida que avanzamos en el siglo.

Por tanto, es importante tener en cuenta las diferencias en el comportamiento de las variables dependiendo del modelo observado, tomando siempre los resultados con cautela.

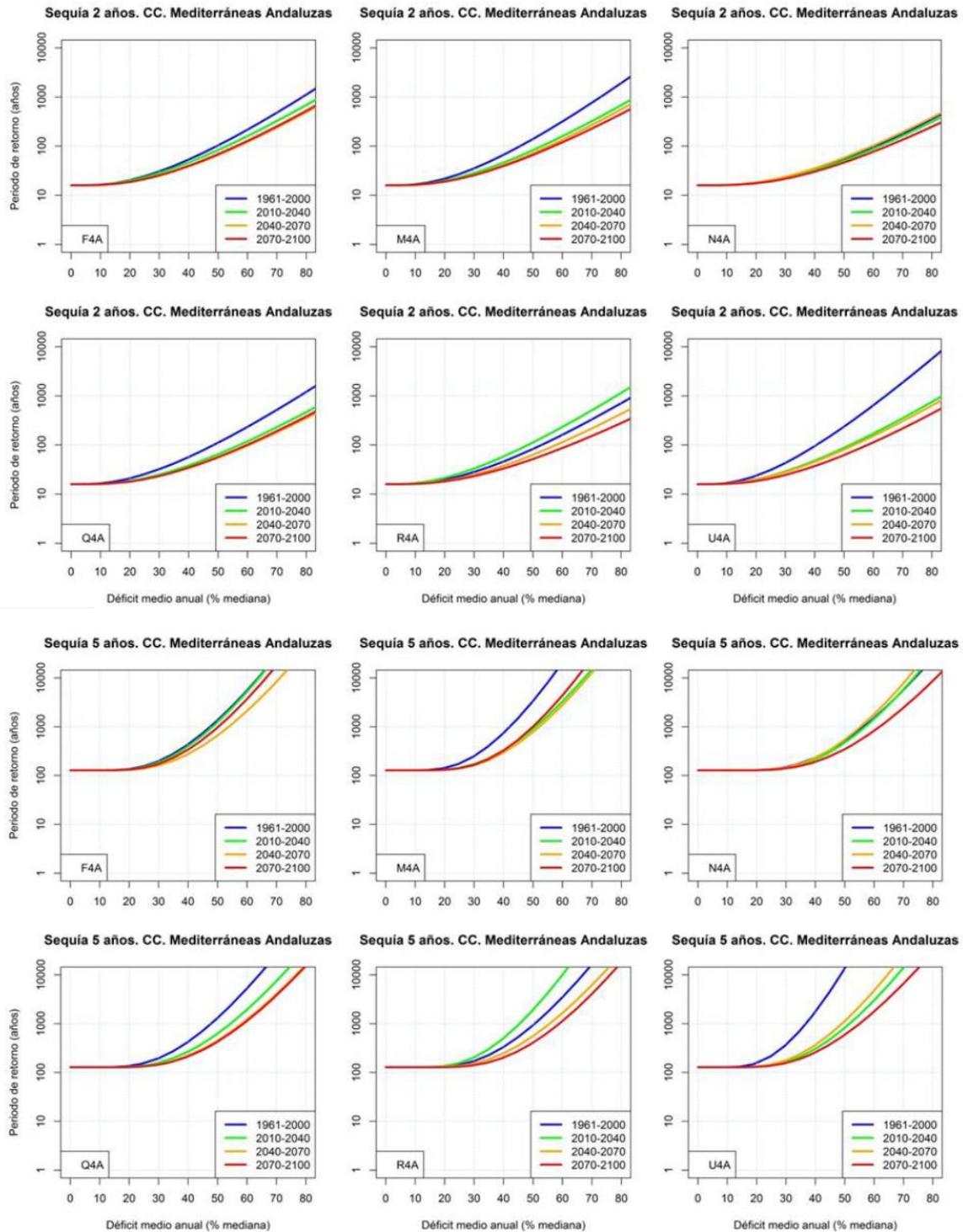


Figura nº 13. Periodo de retorno de sequías en la DHCMA para diferentes déficits medios anuales y duración 2 años (arriba) y 5 años (debajo) para el PC y los tres PI según cada una de las proyecciones. Escenario RCP 4.5



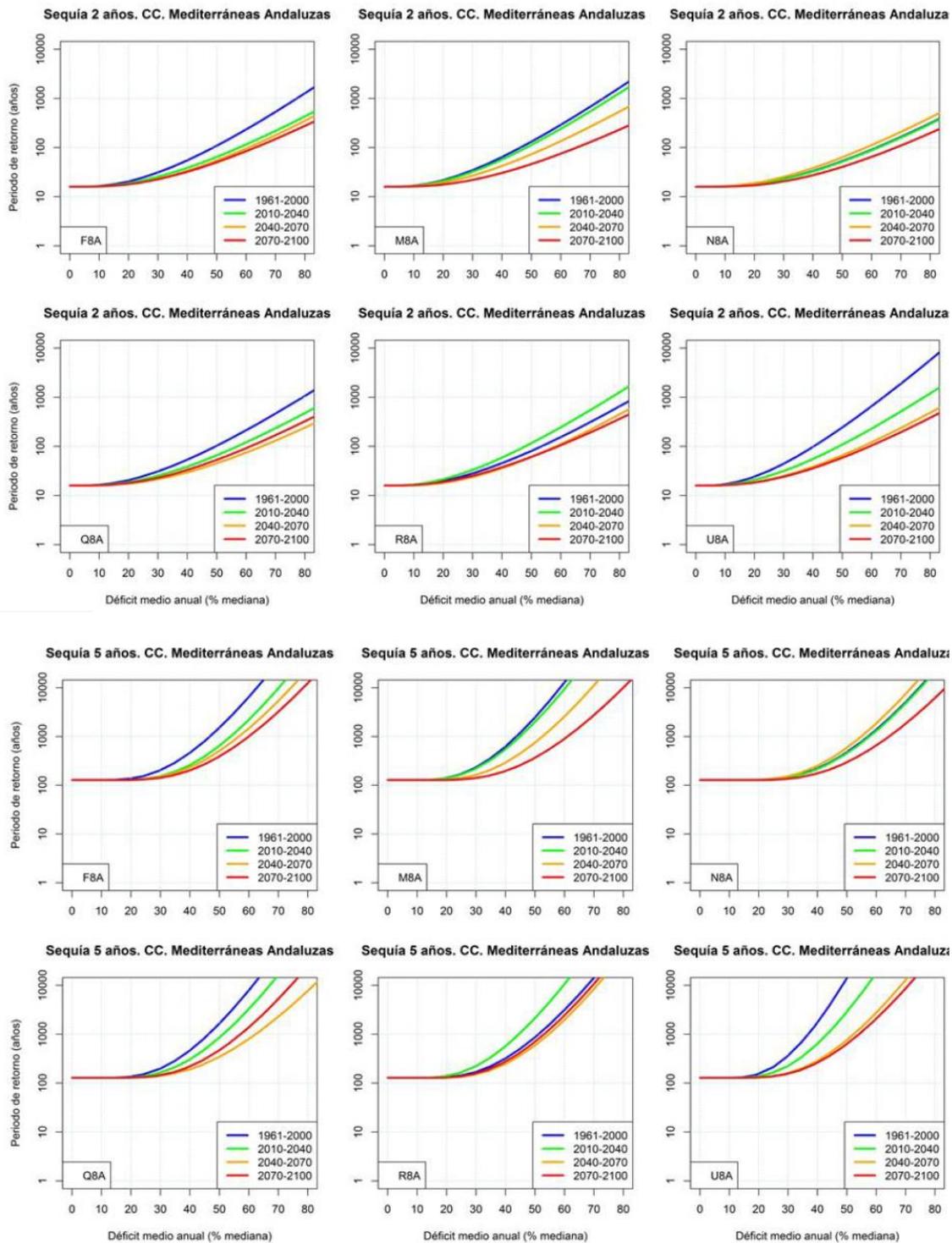


Figura nº 14. Periodo de retorno de sequías en la DHCMA para diferentes déficits medios anuales y duración 2 años (arriba) y 5 años (debajo) para el PC y los tres PI según cada una de las proyecciones. Escenario RCP 8.5

En resumen, estas previsiones sobre el régimen de sequías, tendrán una repercusión directa en la disponibilidad del recurso hídrico (cantidad y calidad), con una probable reducción de recursos convencionales en situación de normalidad, que podría suponer la puesta en marcha más temprana y en mayor cantidad de medidas estratégicas reservadas para situaciones más severas



de escasez (tales como la movilización de recursos subterráneos estratégicos reservados para situaciones de sequía, incremento en el uso de recursos no convencionales, como la desalinización y reutilización) y que, por lo tanto, reducirán aún más su disponibilidad en periodos críticos.

5.3.3 INSTRUMENTOS PARA REDUCIR Y GESTIONAR EL RIESGO

Los Planes Especiales de Sequía (PES) son los instrumentos de gestión encargados de establecer la estrategia de actuación ante diferentes situaciones de sequía y escasez, al amparo de la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, que estableció en su artículo 27 “*Gestión de sequías*”. Los PES han de estar perfectamente coordinados con los Planes Hidrológicos, pues han de compartir metas y objetivos, así como unidad e integridad en sus propuestas de actuación.

El PES define un sistema de indicadores que sirve de referencia general para la declaración formal de situaciones sequía y para la valoración coyuntural del estado hidrológico de los diferentes sistemas de explotación. De este modo, para cada uno de los indicadores seleccionados se han propuesto las marcas de clase que individualizan los siguientes niveles de intensidad de la sequía: normalidad, prealerta, alerta y emergencia.

El fin último del PES es identificar medidas mitigadoras para hacer frente a las sequías. Estas medidas se dividen en tres tipos en función del nivel de sequía:

- Medidas estratégicas (normalidad y prealerta): prevenir el deterioro del estado de las aguas, incrementando las disponibilidades, reduciendo las demandas y mejorando la eficiencia en el uso.
- Medidas tácticas (alerta): conservar los recursos mediante mejoras en la gestión y en el uso.
- Medidas de emergencia (emergencia): alargar los recursos disponibles durante el máximo tiempo posible.

Así, en la próxima revisión del PES se deberá tener en cuenta, la mejora en los modelos de identificación y predicción de estos fenómenos, así como el desarrollo de estudios específicos de evaluación del riesgo para poder informar adecuadamente la toma de decisiones en cuanto a cuáles son las medidas y actuaciones más adecuadas para ser materializadas, no sólo durante sino también antes y después del fenómeno. Se debería trabajar siempre que sea posible desde una gestión proactiva (en lugar de reactiva), es decir, mejorando la anticipación, adaptación progresiva al fenómeno y la reducción del riesgo.

Las medidas que se recogen en el PES de la DHCMA deberán enfocarse a la reducción de la vulnerabilidad y exposición, así como el aumento de la resiliencia tanto del uso como del recurso, para poder hacer frente a la variabilidad de recursos y la incertidumbre creciente.

5.4 SOBRE EL RÉGIMEN DE INUNDACIONES

5.4.1 LAS INUNDACIONES EN LA DHCMA

Las inundaciones constituyen el riesgo natural que mayores daños ha provocado históricamente en el ámbito de la DHCMA, tanto en términos materiales como en pérdida de vidas humanas, a veces, con consecuencias catastróficas, como las trágicas riadas de octubre de 1973 en la costa granadina, levante almeriense y sur murciano, que dejaron más de 300 muertos y daños materiales incalculables.

La DHCMA presenta una serie de condiciones naturales que la hacen propicia para el desarrollo de avenidas e inundaciones:

- Relieve muy accidentado y con fuertes desniveles drenado por río de corto recorrido.
- Carácter impermeable o semipermeable de gran parte de los terrenos aflorantes, en particular en los sectores central y oriental.
- Deforestación de extensas áreas en las cabeceras de las cuencas, con incremento de la escorrentía superficial y una mayor velocidad de circulación en ladera.
- Régimen de precipitaciones extremas muy variable según las zonas, pero particularmente virulentos en amplios sectores.
- Morfología y naturaleza de los cauces y valles fluviales en las zonas áridas y semiáridas, con lechos de tipo rambla que propician la generación de avenidas súbitas, fuertemente cargadas de sedimento y de enorme poder destructivo.

A estas condiciones naturales se suman una serie de circunstancias de carácter antrópico que actúan como factores potenciadores de tales eventos:

- Ausencia de ordenación de las zonas inundables
- Alteración de los cauces y de las cuencas vertientes
- Erosión y aporte de sólidos a la red fluvial
- Ocupación del espacio fluvial por bienes y/o población, especialmente en zonas bajas y desembocaduras, aumentando la exposición de los mismos y reduciendo la vulnerabilidad frente a eventos extremos.

Las avenidas naturales se deben a dos tipos de situaciones climatológicas principales. Por una parte, lluvias persistentes en amplias zonas, de larga duración y con intensidades generalmente uniformes producen crecidas que abarcan un extenso ámbito hidrográfico y dan lugar a caudales elevados que se mantienen durante varios días. El otro tipo de crecidas y más frecuentes en toda la zona mediterránea se deben a lluvias de tipo convectivo y localizadas, de corta duración y grandes intensidades, que dan lugar a crecidas relámpago de limitado ámbito territorial pero extremadamente violentas y rápidas.

En los últimos 20 años la frecuencia de estos eventos parece haber aumentado, en especial en la franja litoral, siendo destacables las inundaciones que afectaron a diversos municipios del Bajo Guadalhorce en 1989 y posteriormente en el lluvioso periodo comprendido entre diciembre de 1995 y febrero de 1998, así como las de Rincón de la Victoria de abril de 2004 y Almuñécar en septiembre de 2007. A finales de septiembre de 2012 violentas lluvias llegaron a acumular

localmente hasta más de 200 mm en pocas horas, provocando desastrosas riadas en el valle del Guadalhorce y en el levante almeriense.

Posteriormente han sido especialmente importantes las lluvias acaecidas en 2015, produciéndose numerosos incidentes en las provincias de Málaga y Almería; en 2016, con grandes precipitaciones (superando los 200 litros por metro cuadrado en 24 horas) e inundaciones; en 2017, con tormentas en Málaga con precipitaciones muy intensas que superaron los 144 litros por metro cuadrado que provocaron desprendimiento de tierras y desplome de carreteras; y en 2019 con casi 400 litros en 24 horas inundaron algunos municipios de la provincia de Málaga. Durante este año también se produjeron inundaciones en el Campo de Níjar y Cabo de Gata.

Las avenidas son un fenómeno natural, propio de una dinámica fluvial natural, pero que por su carácter extremo supone un riesgo para las actividades humanas. Este riesgo puede elevarse si aumentamos la vulnerabilidad. En este sentido, la ordenación de las actividades humanas en las zonas inundables cobra gran importancia. Es por ello que la falta de delimitación que ha existido hasta fechas recientes ha dado lugar a casos de ocupación de estas zonas, especialmente en tramos con presiones urbanísticas significativas, pudiéndose producir graves daños.

Durante muchos años la defensa frente a avenidas se ha confiado de forma mayoritaria a las defensas estructurales. En el momento presente, sin desechar aquellas, se pone más acento en una gestión integral basada en la información y la predicción que aportan el Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) y el Sistema de Ayuda a la Decisión (SAD), respectivamente, así como en medidas no estructurales, avanzando en la delimitación del Dominio Público Hidráulico y sus zonas inundables, su ordenación y hacia actuaciones tendentes a minimizar las alteraciones hidromorfológicas a las que se ven sometidos los cauces.

En especial, la información aportada por el SAIH y la gestión de presas y embalses en función de dicha información son herramientas básicas en la protección frente a avenidas en la DHCMA. Desde su puesta en marcha en 1991 el Sistema ha probado en repetidas ocasiones su efectividad, reduciendo, gracias a la operación de los embalses en las mejores condiciones, las puntas de avenida, y por lo tanto los daños.

5.4.2 AFECCIÓN POR EL CAMBIO CLIMÁTICO

El análisis de impacto del cambio climático en las inundaciones de origen pluvial y fluvial en la DHCMA se basa en el realizado al efecto en la revisión de su Plan de Gestión de Riesgo de Inundación (PGRI) de segundo ciclo. Para mayor detalle puede consultarse dicho documento.

Recientemente, en la revisión de la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación⁹ correspondiente al tercer ciclo de planificación, sometida a consulta pública en diciembre de 2018, se ha analizado la influencia del cambio climático en las precipitaciones máximas diarias y en la frecuencia de los caudales, y se ha concluido que el porcentaje de cambio mayoritario en la precipitación máxima diaria acumulada se encuentra comprendido entre 10 y el 15% para ambos

⁹http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/agua/4_planificacion_riesgo_inundacion/segundo_ciclo/DH_CMA/0_Memoria_EPRI_CMA.pdf

escenarios de emisiones (RCP4.5 y RCP8.5). Asimismo, concluye que la relación entre los incrementos de precipitación y de caudal no es equivalente, siendo esta relación por lo general exponencial, ya que la relación precipitación-escorrentía no depende únicamente de la precipitación sobre la cuenca, sino que se encuentra condicionada además por otros factores (humedad antecedente o intensidad de la precipitación).

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

En relación con las inundaciones debidas al mar, en ese mismo documento se recogen las conclusiones de la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa Española, aprobadas en julio de 2017 por la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar, entre las que destaca por ejemplo que, considerando el escenario tendencial de aumento del nivel medio del mar a 2040 (aproximadamente 6 cm), las playas de la fachada mediterránea experimentarían un retroceso medio entre 1 y 2 m.

5.4.3 INSTRUMENTOS PARA REDUCIR Y GESTIONAR EL RIESGO

El desarrollo y tramitación del Plan Hidrológico ha de realizarse de forma coordinada con el PGRI, que es el instrumento de planificación del riesgo de inundaciones que deriva de la Directiva de Inundaciones (Directiva 2007/60/CE, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación).

La transposición de esta Directiva al ordenamiento jurídico español se produjo a través del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación, siendo la legislación básica que regula el contenido y el procedimiento de elaboración y tramitación de los PGRI en todo el territorio español.

A su vez, sus disposiciones fueron recogidas en la Ley 9/2010, de 30 de julio, de Aguas de Andalucía, en su Capítulo I del Título VII “*Instrumentos de Prevención del riesgo por inundación*”, de aplicación a las cuencas internas de gestión autonómica (Tinto, Odiel y Piedras; Guadalete-Barbate; y Cuencas Mediterráneas Andaluzas).

La Directiva obliga a los organismos de cuenca de los Estados miembros a la elaboración de los PGRI siguiendo tres fases consecutivas y de forma cíclica o revisable cada 6 años, coincidiendo con los periodos de planificación hidrológica. Estas tres fases son:



- **Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación**, cuyo objeto es determinar en el ámbito de cada demarcación hidrográfica “*aquellas zonas del territorio para las cuales se ha llegado a la conclusión de que existe un riesgo potencial de inundación significativo o en las cuales ese riesgo se considera probable*” (art. 5 Real Decreto 903/2010, de 9 de julio). Dicha delimitación se realiza partiendo de la información disponible, especialmente la referida a inundaciones ocurridas en el pasado que hayan tenido impactos negativos significativos y que tengan una probabilidad significativa de volver a producirse, teniendo en cuenta las circunstancias actuales de ocupación del suelo, como la localización de las zonas pobladas, las zonas de actividad económica y los equipamientos e infraestructuras estratégicas que pueden resultar vulnerables ante los episodios de inundación, teniendo también en consideración el posible efecto del cambio climático en la frecuencia e intensidad de las inundaciones. Las áreas así delimitadas reciben la denominación de Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundaciones (ARPSI).
- **Elaboración de los Mapas de Peligrosidad y de Riesgo por Inundaciones**, que consiste en cartografiar dentro de cada ARPSI las zonas expuestas al riesgo de inundación según tres escenarios de probabilidad: alta probabilidad de inundación (periodo de retorno mayor o igual a 10 años), probabilidad media (periodo de retorno mayor o igual a 100 años) y baja probabilidad de inundación (periodo de retorno igual a 500 años). Asimismo, se evalúa el riesgo para cada uno de estos escenarios en función de los tipos de suelos afectados, distinguiendo las áreas urbanas, las actividades económicas, equipamientos singulares, áreas protegidas, etc.
- **Redacción de los PGRI**, en los que se establecerán los objetivos de gestión del riesgo de inundación, así como el Programa de Medidas que cada una de las administraciones deben aplicar en sus respectivos ámbitos de competencias para prevenir o paliar las consecuencias negativas de las inundaciones a nivel de cada demarcación hidrográfica y para cada una de las ARPSI declaradas en la Evaluación Preliminar.

Los PGRI de las tres demarcaciones internas de Andalucía 2016-2021 fueron aprobados por el Consejo de Gobierno de la Junta de Andalucía el 20 de octubre de 2015 y por el Consejo de Ministros el 15 de enero de 2016, mediante Real Decreto 21/2016, de 15 de enero. No obstante, los citados Planes fueron anulados por sentencias de 8 y 11 de abril de 2019 y de 5 y 11 de julio de 2019. Los nuevos PGRI para el ciclo de planificación hidrológica 2022-2027 se han elaborado en paralelo al presente Plan Hidrológico.

El segundo ciclo de la Directiva de Inundaciones finaliza con la elaboración del PGRI, que ha sido imbricado en el Plan Hidrológico de la Demarcación y contiene una programación de las medidas estructurales y no estructurales de mitigación del riesgo de inundación.

5.5 SOBRE LOS ECOSISTEMAS CONTINENTALES

5.5.1 INTRODUCCIÓN

Los efectos del cambio del clima (incremento de la temperatura del aire y del agua, cambios en el régimen de precipitaciones, etc.) así como el previsible aumento en la frecuencia y magnitud de fenómenos extremos (sequías, olas de calor y frío, inundaciones, incendios forestales, etc.) interactúan de forma compleja con otros factores como el cambio en el uso del suelo, la pérdida y



fragmentación de los ecosistemas, las perturbaciones en el ciclo del nitrógeno, la expansión de especies invasoras, etc. amenazando la biodiversidad y la estabilidad de los ecosistemas (Sanz, M.J. y Galán, E., 2020).

Es así como los cambios en los factores físicos esenciales para las especies acuáticas (temperatura del agua, oxígeno disuelto, velocidad del agua, carga de sedimentos, etc.), unidos a otros que afectan los ecosistemas terrestres asociados (caudal circulante, temperatura, nivel del mar, etc.) podrían dar lugar, entre otros, a la desaparición de las especies más sensibles; a alteraciones en la fenología e interacciones entre especies con desplazamientos para compensar los cambios (por ejemplo, en altitud, para compensar el incremento de la temperatura), a la progresión de especies exóticas invasoras, o la degradación de hábitats costeros.

Con el objetivo de dar cumplimiento al artículo 19 de la LCCTE 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*”. El objeto del estudio, cuya fecha prevista de finalización será a mediados de 2021, es doble: por un lado, la identificación y caracterización espacial de los principales riesgos derivados del cambio climático y, por otro lado, definir las medidas de reducción de dichos riesgos (se detalla en el capítulo 6.1).

En este capítulo se resume la información contenida en el trabajo realizado por el IIAMA-UPV, en el documento borrador titulado “*Determinación de los mapas de peligrosidad, exposición, vulnerabilidad y riesgo asociados al cambio climático en España*” (Pérez Martín, M.A., 2020) en relación con la DHCMA para la cual se han analizado un total de 147 masas de agua superficial.

La evaluación del riesgo asociado a los impactos del cambio climático se realiza mediante la integración de indicadores que cuantifiquen los peligros asociados al cambio climático, el nivel de exposición y la vulnerabilidad del sistema hídrico. Los mapas de riesgo son una herramienta para ayudar a priorizar las zonas de aplicación de medidas con el objetivo de mejorar la capacidad de adaptación de los ecosistemas y que permitan mantener el buen estado de las masas de agua (DMA, 2000).

La metodología desarrollada se muestra en la Figura nº 15, 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.

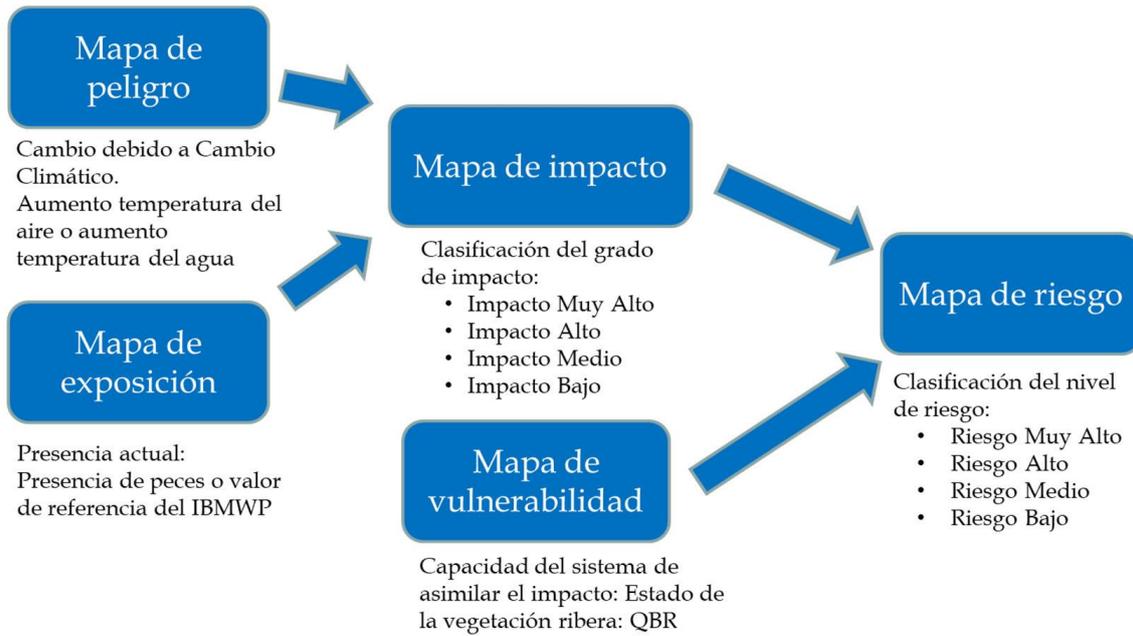


Figura nº 15. Metodología propuesta para la definición del riesgo asociado al cambio climático

Hasta la fecha actual 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,
- La reducción en el oxígeno disuelto en el agua,
- Y la afección a las especies de macroinvertebrados.

En el capítulo 6.1 (Tabla nº 7) se puede consultar el contexto general de selección de estas variables de estudio, así como el resto de variables que deberán incluirse en el futuro plan de adaptación, atendiendo al contenido del artículo 19 de la LCCTE.

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.

Se considera 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).

Los resultados de esta evaluación de riesgos para estas variables se presentan en apartados 5.5.2, 5.5.3 y 5.5.4 de este Anejo. Si bien es cierto que en los siguientes apartados se presenta la información de ambos escenarios de emisiones en el corto plazo, los resultados del resto de escenarios climáticos y periodos de impacto se han incluido en el Apéndice XIII.1.

5.5.2 PÉRDIDA DE HÁBITAT EN LAS ESPECIES PISCÍCOLAS 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, es decir, la temperatura en la que la especie se ve significativamente afectada.
- El límite termal de la especie, es decir, el 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 (Figura nº 16). El valor de temperatura que determina la entrada en la zona de apremio, como media mensual, se ha establecido en 18,7°C dado que es el límite superior que determina el rango óptimo de la especie (Santiago, 2017). La barrera termal se ha establecido en 21,8°C (Wehrly & Wang, 2007), como límite máximo de temperatura media del agua.

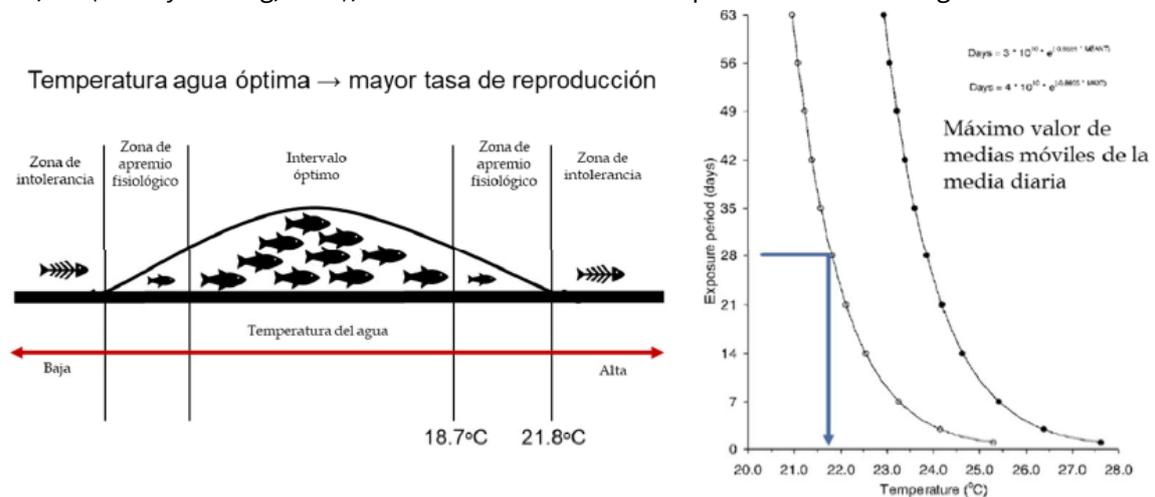


Figura nº 16. Definición de la zona de apremio y de la barrera termal de la trucha común y límites máximos de exposición en días en función de la temperatura media diaria del agua (Wehrly & Wang, 2007).

Como se puede ver en la Figura nº 16 (derecha), de forma puntual la especie puede aguantar temperaturas en el agua de hasta 25 °C, pero si hablamos de una temperatura sostenida a lo largo de todo un mes este límite baja a los 21,8 °C. La variable, por tanto, que marcará los mapas de peligrosidad es la temperatura media del agua 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, 2012a), 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 en base a la barrera termal (Figura nº 17 izquierda), que representa la presencia potencial de la especie en la DHCMA. Este mapa se ha comparado con los datos de presencia actual del Atlas y Libro Rojo de los Peces (MMA, 2001), mostrados en la Figura nº 17 derecha. Se puede apreciar una diferencia considerable entre la

presencia potencial y la presencia actual, reduciéndose la presencia actual de esta especie (según los datos del Atlas y Libro Rojo de los Peces) a los tramos de cabecera y medios del río Andarax y río Nacimiento, algunos tramos de cabecera del río Adra y algunos tramos de cabecera del río Guadalfeo. Hay que tener 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, etc.

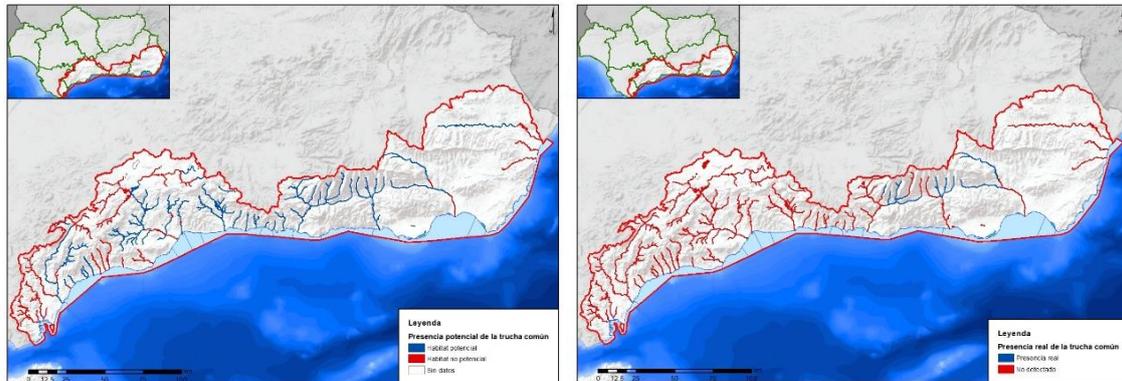


Figura nº 17. Mapa de Exposición. Hábitat potencial calculado con el límite termal de 21,8°C (izquierda) y adaptación de la presencia de la trucha común a las masas de agua superficiales (MMA, 2001) (derecha)

El incremento medio de temperatura del agua en agosto debido al cambio climático se estima entre 1,0 y 1,3°C en el corto plazo, 2010-2040, entre 1,8 y 2,4°C en el medio plazo, 2040-2070, y entre 2,3 y 4,0° C en el largo plazo, 2070-2100. Estos valores se han obtenido como promedio de los seis modelos empleados y el rango marca los valores correspondientes a los escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5 respectivamente para la DHCMA.

El impacto se ha graduado según los siguientes criterios:

- Impacto Muy Alto: 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;
- Impacto Alto: si el incremento de temperatura produce un cambio del intervalo óptimo a la zona de apremio;
- Impacto Medio: el resto de incrementos de temperatura que suponen un empeoramiento del hábitat sin saltar de la zona óptima a la zona de apremio o de la zona de apremio a la de intolerancia.
- No Impacto: zonas de intolerancia actual;

Los lagos naturales no se han evaluado.

La Figura nº 18 muestra los resultados de impacto para el primer periodo de impacto (2010-2040) según ambos escenarios de emisiones: RCP4.5 y RCP8.5. Como se ha explicado anteriormente, este primer periodo de impacto nos indica aquellas masas de agua superficial que primero van a verse afectadas, incluso aplicando políticas de reducción de emisiones en el caso del escenario RCP4.5, y son, por tanto, aquellas masas donde se deberá actuar de forma prioritaria. El resto de resultados de impacto pueden consultarse en el Apéndice XIII.1.

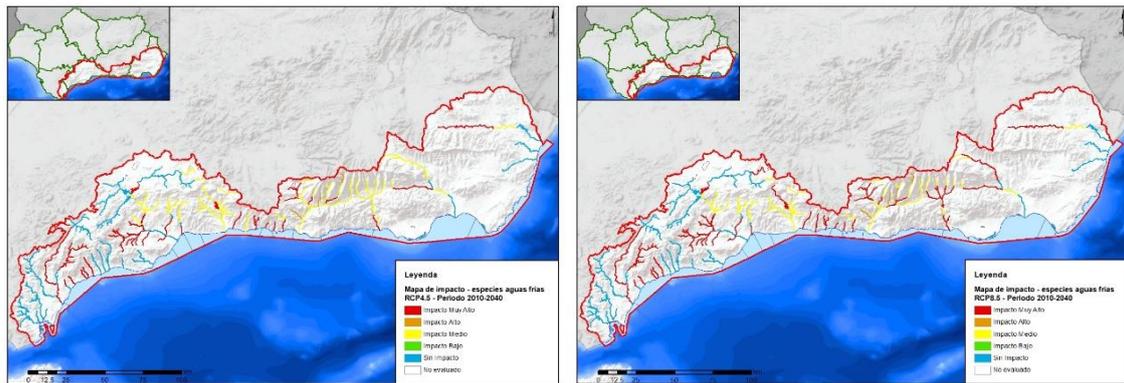


Figura nº 18. Mapa de impacto potencial de pérdida de hábitat para especies de aguas frías para el corto plazo, 2010-2040. Escenarios RCP4.5 (izquierda) y RCP8.5 (derecha)

Del total de 147 masas de agua superficial evaluadas, los resultados obtenidos en el corto plazo 2010-2040 identifican que:

- Entre 35 (RCP4.5) y 48 (RCP8.5) masas de agua tienen un Impacto Muy Alto de pérdida de hábitat para las especies de aguas frías (se supera la barrera termal, entrando en la zona de intolerancia de la especie);
- Entre 3 (RCP4.5) y 4 (RCP8.5) masas de agua tienen un Impacto Alto de pérdida de hábitat para las especies de aguas frías (el incremento de temperatura produce un cambio del intervalo óptimo a la zona de apremio).

Se puede observar que las masas afectadas en ambos escenarios de emisiones al corto plazo son similares (con un empeoramiento para el RCP8.5). Las masas de agua identificadas con un Impacto muy alto no parecen seguir un patrón fijo espacial y afectan tanto a tramos de cabecera, como tramos medios y bajos.

El mapa de vulnerabilidad (Figura nº 19) se ha determinado a partir del estado de la vegetación de ribera, considerando que un buen estado de la vegetación de ribera reduce la vulnerabilidad al proporcionar zonas de sombreado y reducir la cantidad de radiación solar incidente sobre el agua, además de proporcionar refugios para los peces. Por otro lado, un peor estado de la vegetación de ribera hace que el sistema se 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), que integra aspectos biológicos y morfológicos del lecho del río y su zona inundable y los utiliza para evaluar la calidad ambiental de las riberas.

Con respecto al indicador de calidad de la vegetación de ribera empleado, el QBR, cabe apuntar que está en desuso. En 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 y hasta que no se haya recopilado toda la información necesaria, por el momento se ha considerado oportuno utilizar el índice QBR.

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 al Cambio Climático para la DHCMA (capítulo 6.3) sería recomendable seguir las indicaciones establecidas por el MITERD en 2019 en cuanto al protocolo de caracterización hidromorfológica de las masas de agua e incluir el nuevo indicador a medida que su uso se haga más extensivo.



Figura nº 19. Mapa de vulnerabilidad en base a la vegetación de ribera mediante el índice QBR y el valor de referencia del ecotipo

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 la Tabla nº 5:

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

Tabla nº 5. Combinación de los mapas de impacto y vulnerabilidad para la definición del riesgo

Así, los mapas de riesgo de pérdida de hábitat para especies de aguas frías obtenidos para el primer periodo de impacto (corto plazo, PI 2010-2040) se muestran en la Figura nº 20. El resto de mapas de riesgo para los periodos de impacto a medio y largo plazo, en ambas sendas de emisiones se pueden consultar en el Apéndice XIII.1.

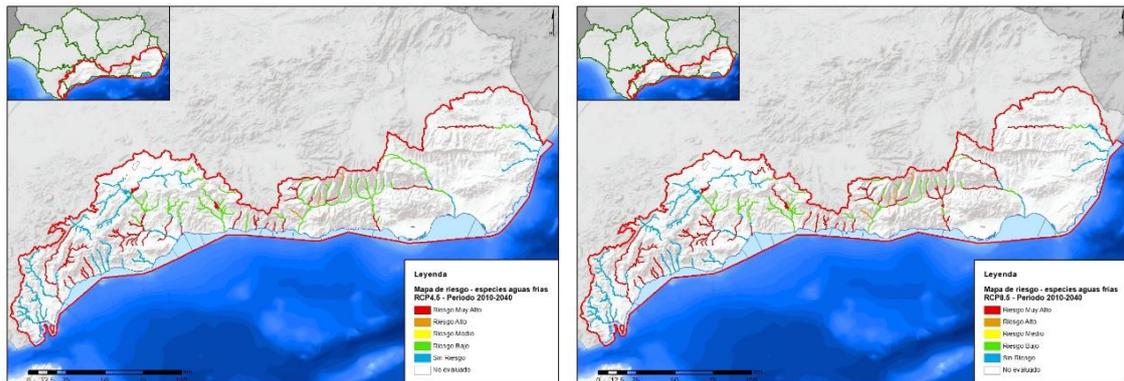


Figura nº 20. Mapa de riesgo de pérdida de hábitat para especies de aguas frías para el corto plazo, 2010-2040. Escenarios RCP4.5 y RCP8.5

Del total de 147 masas de agua superficial evaluadas, los resultados obtenidos en el corto plazo 2010-2040 identifican que:

- Entre 35 (RCP4.5) y 48 (RCP8.5) masas de agua tienen un Riesgo Muy Alto de pérdida de hábitat para las especies de aguas frías (se supera la barrera termal, y tienen una vulnerabilidad alta, debido a que presentan un estado de la vegetación de ribera Peor que Muy Bueno).
- Entre 3 (RCP4.5) y 4 (RCP8.5) masas de agua tienen un Riesgo Alto de pérdida de hábitat para las especies de aguas frías.

Se puede observar que las masas afectadas en ambos escenarios de emisiones al corto plazo son similares (con un empeoramiento para el RCP8.5). Las masas de agua afectadas no parecen seguir un patrón fijo y afectan tanto a tramos de cabecera, como tramos medios y bajos.

Estas deberían ser, 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, 2018), 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.

5.5.3 REDUCCIÓN EN EL OXÍGENO DISUELTO EN EL AGUA

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

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

Por tanto, para evaluar el riesgo de reducción del oxígeno se ha estimado su contenido en el agua (mg/l) en función de las dos principales variables que determinan su solubilidad, la temperatura y la presión atmosférica, que está relacionada con la altitud. (Julien, P., 2018) y que ha sido contrastada con la información observada procedente de la base de datos NABIA¹⁰.

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

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

La consideración de la altitud mejora significativamente el ajuste del modelo en masas de agua situadas por encima de los 1000 m de altitud, sobre todo en las masas con mayor contenido de oxígeno. El valor medio del percentil superior al 80% coincide en el modelo y los datos observados, siendo de 9,5 mg/l. En la Figura nº 21 se observa que el ajuste a valores altos de oxígeno disuelto puede considerarse bueno.

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

¹⁰ NABIA: Aplicación informática que permite la obtención, carga e integración de datos sobre calidad y estado de las aguas procedentes de las distintas administraciones hidráulicas, incluidas las administraciones autonómicas, en una única base de datos. Asimismo, esta aplicación debe realizar los cálculos necesarios para evaluar el estado de las masas de agua, conforme a la Directiva Marco de Agua, junto a la generación de los informes correspondientes.

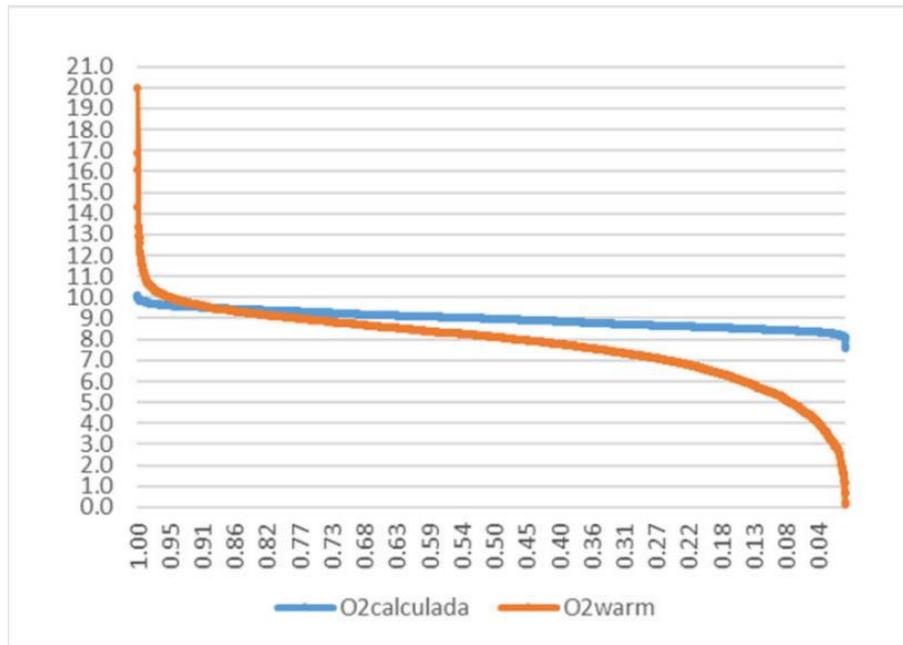


Figura nº 21. Distribución de la concentración de oxígeno disuelto en agua calculada, en función de la temperatura y la altitud, y observada (mg/l)

La Figura nº 22 muestra que las concentraciones calculadas en la DHCMA se sitúan entre los 7,57 y los 9,45 mgO₂/l (5, 5 valor de referencia que no afecta al resto de especies).

Los resultados muestran un incremento en la temperatura del agua en agosto en el corto plazo, 2010-2040, entre 1,0 y 1,3 °C, lo que implica una reducción media en el oxígeno disuelto en el agua entre 0,19 y 0,26 mgO₂/l. En el medio plazo, 2040-2070, un aumento de temperatura en agosto de 1,8-2,4 °C con una reducción en el oxígeno disuelto de 0,35-0,46 mgO₂/l. Y en el largo plazo, 2070-2100, un incremento de temperatura de 2,3-4,0 °C que produce una reducción en el oxígeno disuelto en el agua 0,43-0,75 mgO₂/l.

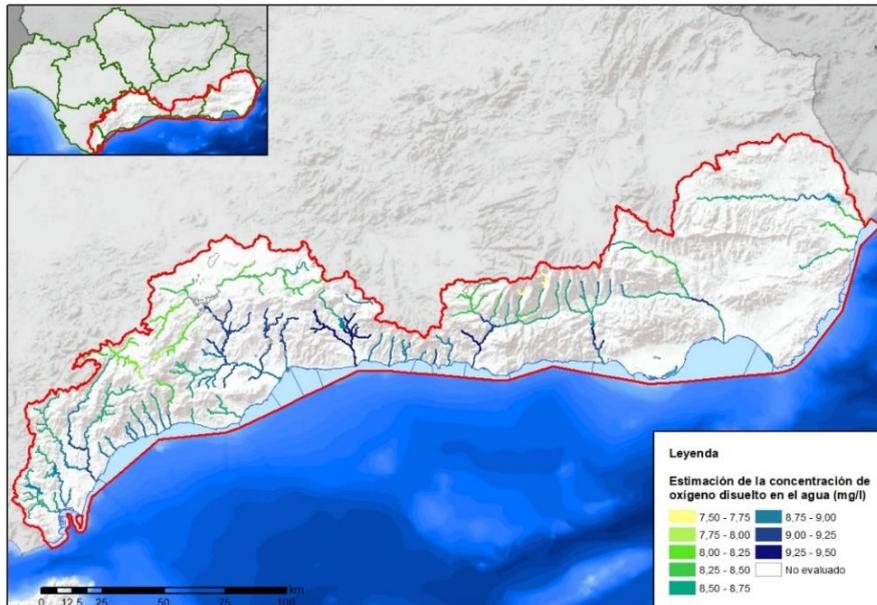


Figura nº 22. Estimación de la concentración de oxígeno disuelto en el agua (mgO₂/l) calculada en función de la temperatura y la altitud en el mes de agosto

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

En base a los valores de referencia de O₂ necesarios para la vida de diversos organismos acuáticos, a efectos del presente estudio, se ha considerado que un contenido por encima de 9 mg O₂/l es un contenido alto en O₂ y un valor entre 9 y 5,5 mg O₂/l es un contenido medio (CWAMP,2010).

Con estas variaciones de temperatura ninguna masa tiene una concentración de oxígeno inferior a 5,5 mgO₂/l en ninguno de los escenarios analizados, produciéndose reducciones que hacen que masas con altos contenidos de oxígeno en la actualidad pasen a tener contenidos medios de oxígeno.

El impacto, en consecuencia, se ha graduado según los siguientes criterios:

- Impacto Potencial Alto: aquellas masas con un contenido potencial actual alto de O₂ que pasan a un contenido medio,
- Impacto Potencial Medio: aquellas que se mantienen en el mismo rango de contenido de O₂.

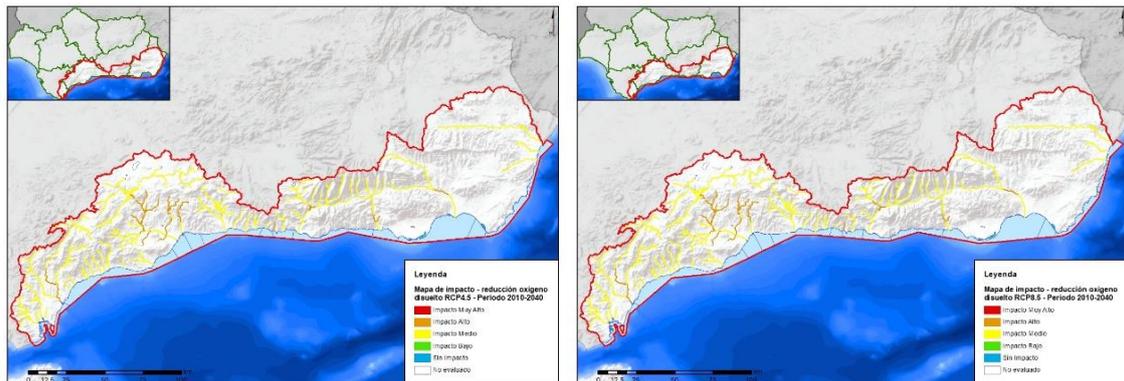


Figura nº 23. Mapa del impacto potencial sobre el oxígeno disuelto a corto plazo, 2010-2040. Escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

Del total de 147 masas de agua superficial evaluadas, los resultados obtenidos (Figura nº 23) en el corto plazo 2010-2040 identifican que:

- No existen masas de agua superficial con un Impacto Muy Alto en ninguno de los escenarios de emisiones.
- Entre 18 (RCP4.5) y 19 (RCP8.5) masas de agua tienen un Impacto Alto de tener una reducción de oxígeno en el agua que haga que cambien de categoría de alta concentración a oxígeno (>9 mgO₂/l) a media concentración de oxígeno (entre 5,5 y 9 mgO₂/l), con la consecuente afección a las especies que requieren altos niveles de oxígeno en el agua.
- La mayoría de las masas de agua superficial en la DHCMA estarían sometidas a un Impacto Medio.

Se puede observar que las masas afectadas en ambos escenarios de emisiones al corto plazo son similares.

A la hora de evaluar los riesgos asociados a estos impactos potenciales, se ha considerado que éstos podrían ser 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).

Así, los mapas de riesgo para el primer periodo de impacto se muestran en la Figura nº 24. 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 XIII.1.

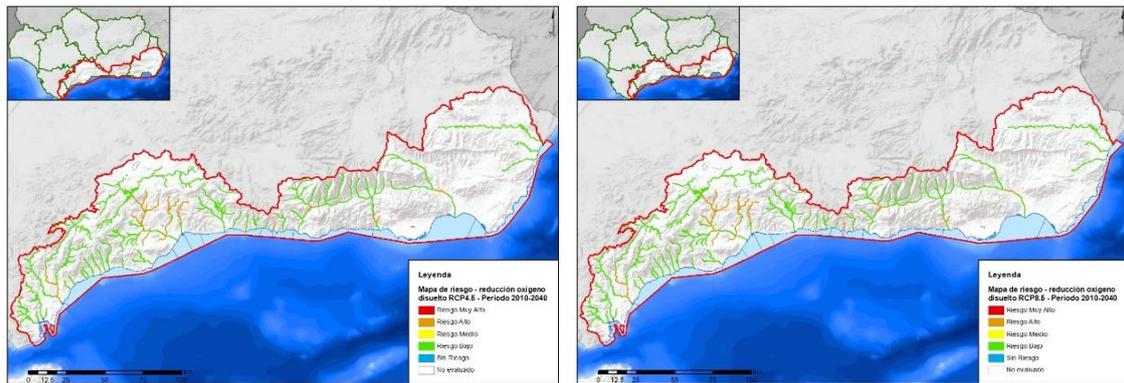


Figura nº 24. Mapa del riesgo de reducción del oxígeno disuelto para el corto plazo, 2010-2040. Escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

Del total de 147 masas de agua superficial evaluadas, los resultados obtenidos en el corto plazo 2010-2040 identifican que entre 18 (RCP4.5) y 19 (RCP8.5) masas de agua tienen un riesgo alto de tener una reducción de oxígeno en el agua que haga que cambien de categoría de alta concentración a oxígeno (>9 mgO₂/l) a media concentración de oxígeno (entre 5.5 y 9 mgO₂/l), con la consecuente afección a las especies que requieren altos niveles de oxígeno en el agua.

Se puede observar que las masas afectadas en ambos escenarios de emisiones al corto plazo son similares. Las masas de agua afectadas se localizan en tramos medios y bajos, en las cuencas hidrográficas del río Guadiaro, Guadalquivir, embalse de Rules, Ízbor entre Béznar y Rules, Adra entre Fuentes de Marbella y Chico, Chico de Adra y Medio Andarax.

Cabe destacar finalmente, que para valorar el verdadero impacto del cambio climático en la reducción del contenido de O₂ habría que tener en cuenta el efecto combinado de las presiones actuales en el contenido de O₂ y el efecto del cambio climático, que empeorará la situación en aquellas masas que ya presentan mal estado o que están en el límite.

Se presenta en la Figura nº 25 aquellas masas donde el contenido de O₂ ya se encuentra en valores por debajo de 5 mg/l en la actualidad.

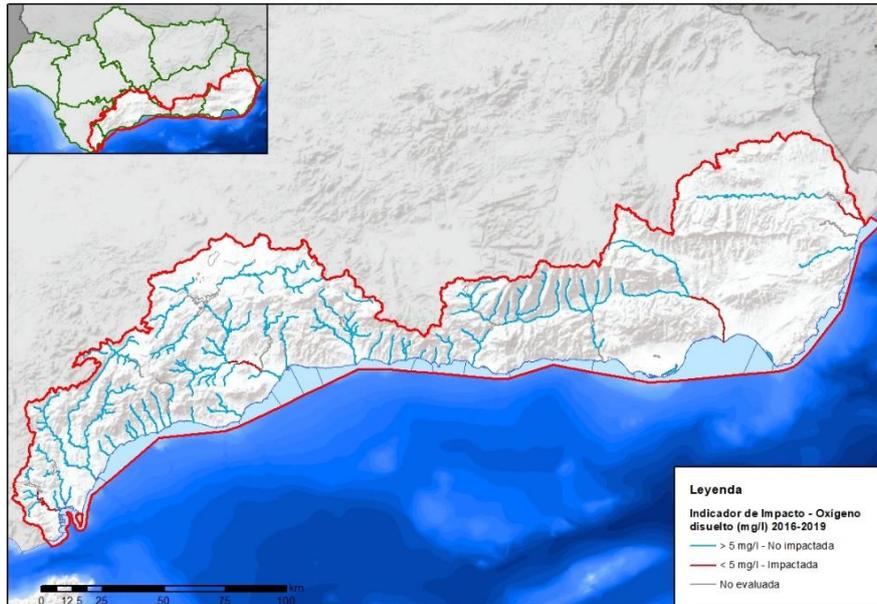


Figura nº 25. Estado actual del indicador O₂

5.5.4 AFECCIÓN A LAS ESPECIES DE MACROINVERTEBRADOS

En la última década se ha extendido el uso en España y Portugal de una adaptación del sistema británico de puntuación Biological Monitoring Working Party BMWP (Armitage *et al.*, 1983), conocida como índice BMWP' (AlbaTercedor y Sánchez-Ortega, 1988). De hecho, 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, tal y como muestra la Figura nº 26 (CEDEX, 2012a).

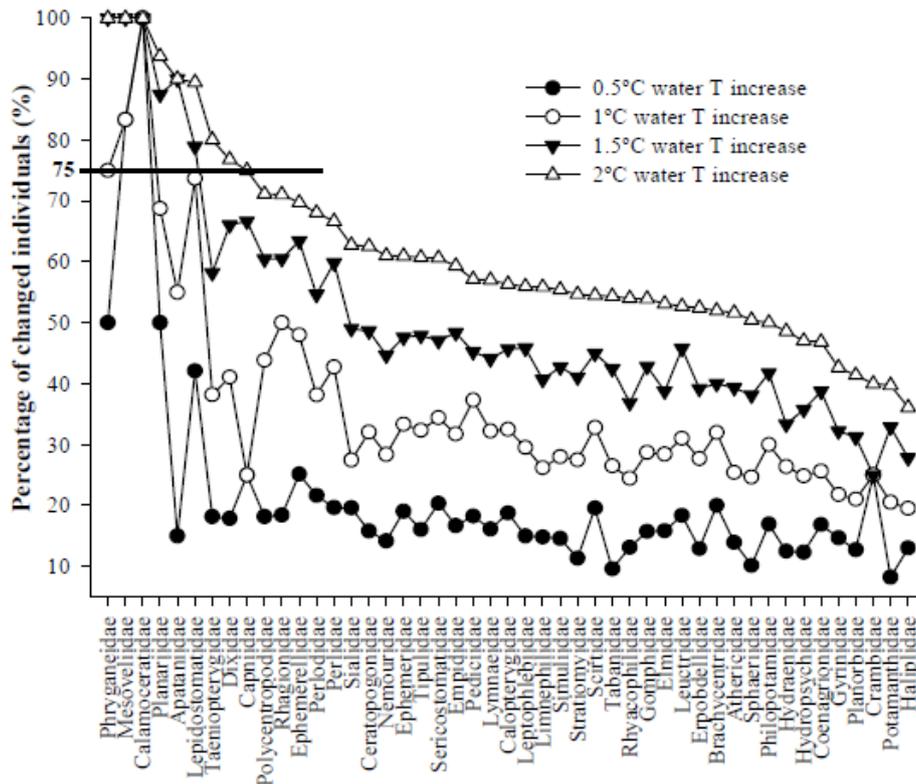


Figura nº 26. Porcentaje de individuos por familia que experimentan un cambio como resultado de incrementos en la temperatura del agua (método del Óptimo Robusto) (CEH, 2012)

En la Figura nº 27, se observa un comportamiento similar en cuanto a la afección para los diferentes grupos de familias. Un incremento de 0,5°C produce una afección media ponderada del 20% de los individuos y para un incremento de temperatura de 2°C un grado de afección del 55%. Estos valores se han ajustado de forma lineal mediante la siguiente expresión:

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

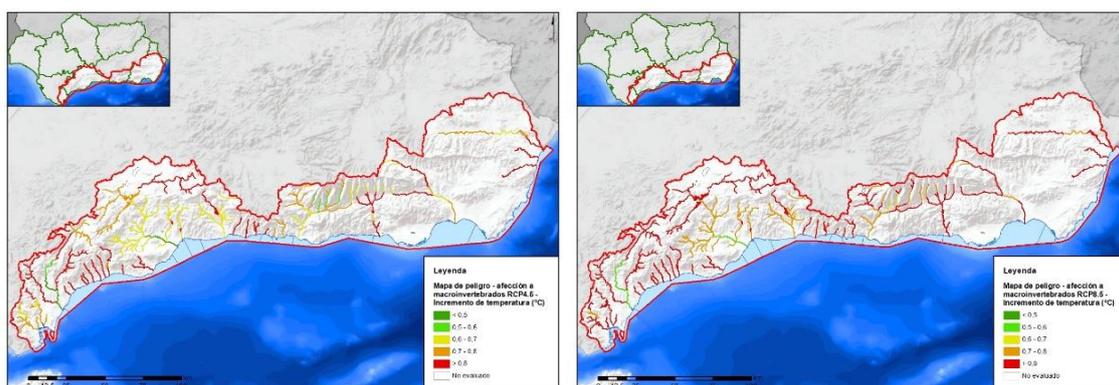


Figura nº 27. Mapa de peligro. Incremento esperado de la temperatura del agua para el corto plazo (2010-2040). Escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

Para transformar esta afección en impacto potencial, a partir del valor del IBMWP que define el estado muy bueno por ecotipo en las masas de agua, se determina un nuevo valor del índice en cada escenario evaluado afectado por el incremento de temperatura previsto. A partir de la

variación del índice, se valora el % de individuos afectados y el valor del IBMWP resultante (Tabla nº 6).

- 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 un impacto medio.

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

Tabla nº 6. Grado de Impacto Potencial debido a la afección en los macroinvertebrados

De esta forma, se obtiene una evaluación del impacto (Figura nº 28) del aumento de temperatura en las poblaciones de macroinvertebrados para cada escenario y masa de agua.

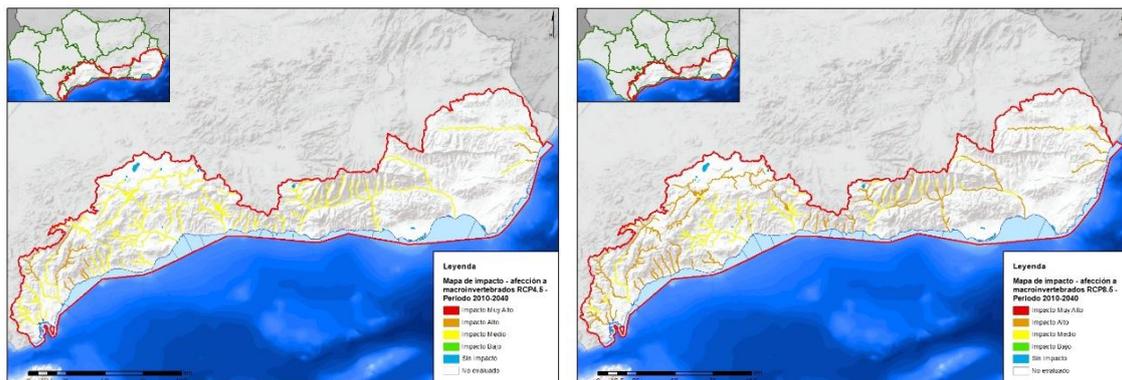


Figura nº 28. Mapa del impacto potencial sobre los macroinvertebrados según para el corto plazo (2010-2040). Escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

Con esta metodología, se observa en la Figura nº 28 que si se considera el corto plazo (PI1) y para ambos escenarios de emisiones (RCP4.5 y RCP8.5), todas las masas se ven impactadas, aunque en ningún caso se observan impactos muy altos. Sin embargo, sí se observan masas afectadas por impactos altos en el RCP4.5, que empeoran para el escenario RCP8.5, afectando tanto a cursos de cabecera, como los cursos medios y bajos de los ríos de la demarcación.

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 (Figura nº 29) 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, muestran

que entre 14 (RCP4.5) y 84 (RCP8.5) masas de agua tienen un riesgo alto de afección a los macroinvertebrados, que supera al 30% de los individuos.

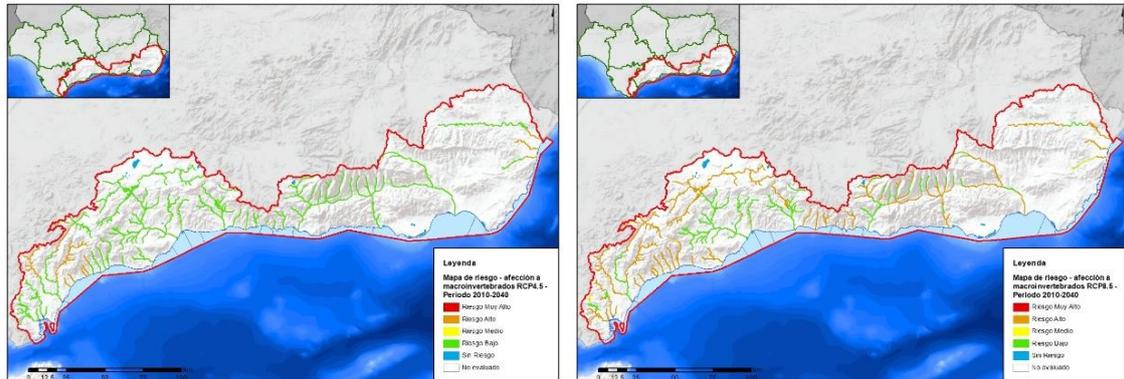


Figura nº 29. Mapa de riesgo de afección a macroinvertebrados para el corto plazo, 2010-2040. Escenarios RCP4.5 y RCP8.5

El resto de resultados 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 XIII.1 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.

5.6 SOBRE LAS AGUAS DE TRANSICIÓN Y COSTERAS

La DHCMA cuenta con 34 masas de agua litorales, de las cuales 7 son aguas de transición y 27 son aguas costeras.

En la actualidad, la integración de las aguas de transición y costeras en la planificación hidrológica supone un reto importante, ya sea por la falta de conocimiento sobre los procesos fisicoquímicos y biológicos que se dan en ellas, o por la concurrencia competencial existente en su gestión. De hecho, la elaboración del Plan Hidrológico de la DHCMA en materia de aguas litorales requiere de un importante esfuerzo de coordinación con diferentes organismos, tanto estatales como autonómicos.

Al margen de las cuestiones anteriores, el cambio climático genera unas incertidumbres considerables sobre las aguas litorales, derivadas de la dispersión de los resultados de los distintos modelos globales hoy en día en uso y que deberían reducirse conforme se produzcan avances en la fiabilidad de su predicción.

Los principales impactos del cambio climático en las zonas litorales se relacionan con el posible ascenso del nivel medio del mar y con los potenciales cambios en la frecuencia y/o intensidad de las tormentas, lo que daría lugar además a una aceleración de la erosión costera, intrusión marina en los acuíferos costeros y un incremento de la influencia mareal de estuarios y sistemas fluviales. Además, el cambio climático lleva asociado un aumento de la temperatura de la superficie del mar y cambios en la salinidad, alcalinidad y circulación oceánica, lo que puede dar lugar a impactos importantes sobre las especies y los ecosistemas marinos.

En relación con las inundaciones debidas al mar y conforme a las conclusiones de la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa Española (aprobadas en julio de 2017 por la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar), se destaca que, considerando el escenario tendencial de aumento del nivel medio del mar a 2040 (aproximadamente 6 cm), las playas de la fachada mediterránea experimentarían un retroceso medio entre 1 y 2 m.

Por otro lado, el calentamiento global está detrás de la aparición de especies típicamente tropicales en el litoral de la demarcación, tales como *Ostreopsis ovata*, cuyas floraciones pueden tener impactos directos en la salud humana e influencias negativas sobre el bienestar humano y otros organismos y ambientes marinos. De hecho, en los últimos años algunos bañistas en la costa Mediterránea han presentado una serie de síntomas (rinorrea, broncoconstricción, tos, fiebre, dermatitis) asociados a la aparición de *Ostreopsis ovata* y a la producción de toxinas.

Las floraciones algales son fenómenos naturales, pero estos eventos pueden ser favorecidos por las presiones antropogénicas en las zonas costeras. El calentamiento global y los cambios asociados en los océanos podrían afectar también a las ocurrencias y la toxicidad de estas floraciones, aunque la predicción de las posibles tendencias sigue siendo especulativa y requiere intensa investigación. Los resultados deben enfocarse a la consecución de herramientas (índices) que permitan establecer alertas tempranas en base a la concentración de algas, condiciones térmicas del agua, condiciones meteorológicas de la zona y concentración de toxinas.

5.7 SOBRE LOS USOS

Los impactos derivados del cambio del clima afectan a los sistemas dependientes directa o indirectamente del agua, modificando no sólo la disponibilidad del recurso hídrico (cantidad, calidad y distribución espacial y temporal), sino también las necesidades hídricas de las demandas socioeconómicas y las demandas ambientales.

En términos generales, se prevé, por un lado, una reducción de los recursos hídricos disponibles (como se detalla en el apartado 5.2) y, por otro lado, un aumento generalizado de las demandas (urbana, regadío, industrial, turismo y ocio) vinculado principalmente al incremento de la temperatura, con especial incidencia en el verano. Además, la reducción de la escorrentía podría conllevar una disminución en la producción hidroeléctrica.

En cuanto a la demanda doméstica, los trabajos del CEDEX (2012b) 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 se considera el incremento de consumo para el riego de parques y jardines, el incremento variaría entre el 3-5% en el corto-medio plazo y hasta el 9% en el largo plazo.

En cuanto a la demanda de regadío, se prevé un aumento en las necesidades hídricas de los cultivos debido al previsible aumento de la evapotranspiración potencial (asociada al incremento de la temperatura), y la variación en los patrones de lluvia. Además, el previsible incremento en la frecuencia y magnitud de fenómenos extremos como son las sequías e inundaciones podría afectar la estabilidad en la producción agrícola. En algunas zonas, la temporada de producción se

podría ampliar (por ejemplo, debido a la disminución de las heladas tardías), lo que se traduciría también en un aumento en la demanda de agua para regadío.

Los trabajos del CEDEX (2012b) estiman que los cultivos permanentes presentarán un incremento mayor que los cultivos anuales, que tenderán a adaptarse más a las condiciones climáticas, no observándose para ellos claros patrones de aumento de la demanda. Las cifras estimadas de aumento de la demanda para el conjunto de España, aunque con mucha incertidumbre, estarían entre -2 y 12% para los cultivos anuales y entre 4 y 27% para los cultivos permanentes. Las estimaciones para las cuencas internas andaluzas muestran incrementos de las dotaciones netas medias de agua de riego para el periodo 2011-2040 en el rango del 4 al 6%, mientras que en el caso de adaptación de fecha de siembra de cultivos anuales proporcionan incrementos medios en un rango del 4 al 7%.

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

A pesar de los aumentos de la demanda estimados, éstos deberían ser asumibles con mejoras de la eficiencia en redes de transporte en alta, plantas potabilizadoras, bombeos y otras infraestructuras hidráulicas, redes de distribución y otras mejoras tecnológicas en el futuro.

En el Anejo 6 (Asignación y reservas de recursos a usos) del presente plan se presentan los resultados obtenidos de aplicar los porcentajes de reducción en la escorrentía superficial expuestos en la Tabla nº 2 a las series de recursos hídricos (corta, 1980/81-2018/19 y larga, 1940/41-2018/19), mediante el uso de modelos de simulación de cuencas hidrográficas SIMGES - Aquatool¹¹. En particular, se presenta la principal afección a los usos en relación con la previsible variación del recurso hídrico disponible para el horizonte 2039, en relación con el cumplimiento con el nivel de garantía de suministro (establecido en la IPHA) para los usos consuntivos.

Los resultados obtenidos muestran cómo la disminución prevista en la escorrentía superficial se ve compensada con las actuaciones para la satisfacción de las demandas previstas en el horizonte 2039, que contemplan un incremento de los recursos hídricos de la demarcación.

¹¹ Software desarrollado por el IAMA de la Universidad Politécnica de Valencia (<https://aquatool.webs.upv.es/aqt/>)

6 INSTRUMENTOS PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

6.1 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 PNACC para el período 2021-2030 (que derogaba al primer PNACC 2006-2020).

Este Plan Nacional constituye 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.

Una de las herramientas operativas desarrolladas en el marco del PNACC es el Plan de Impulso al Medio Ambiente para la Adaptación al Cambio Climático, PIMA Adapta¹². 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.

El PNACC 2021-2030 define y describe 81 líneas de acción sectoriales organizadas en 18 ámbitos de trabajo. Entre ellos, se diferencia uno específico 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, durante el tercer 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 (Comunidades Autónomas) 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, Dirección General (DG) de Costa y Mar, AEMET, DG de Protección Civil y Emergencias, CCAA y entidades locales (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

¹² <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/planes-y-estrategias/PIMA-Adapta.aspx>

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.

Además, la LCCTE 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 está elaborando el proyecto “*Medidas para la adaptación de la gestión del agua y la planificación hidrológica al cambio climático. Aplicación en la Demarcación Hidrográfica del Júcar*”. Este proyecto, que cuenta con financiación de la Fundación Biodiversidad del MITERD, desarrollará el contenido básico del Plan de Adaptación del Júcar y servirá de base para los futuros planes de adaptación al cambio climático en el resto de demarcaciones hidrográficas españolas.

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

Con el propósito de objetivar la evaluación del riesgo asociado al cambio climático, el enfoque del trabajo se centrará en el empleo de indicadores que cuantifiquen los peligros asociados al cambio climático, el nivel de exposición y la vulnerabilidad del sistema hídrico (Pérez Martín, M.A., 2020), de acuerdo con el siguiente esquema (Figura nº 30):

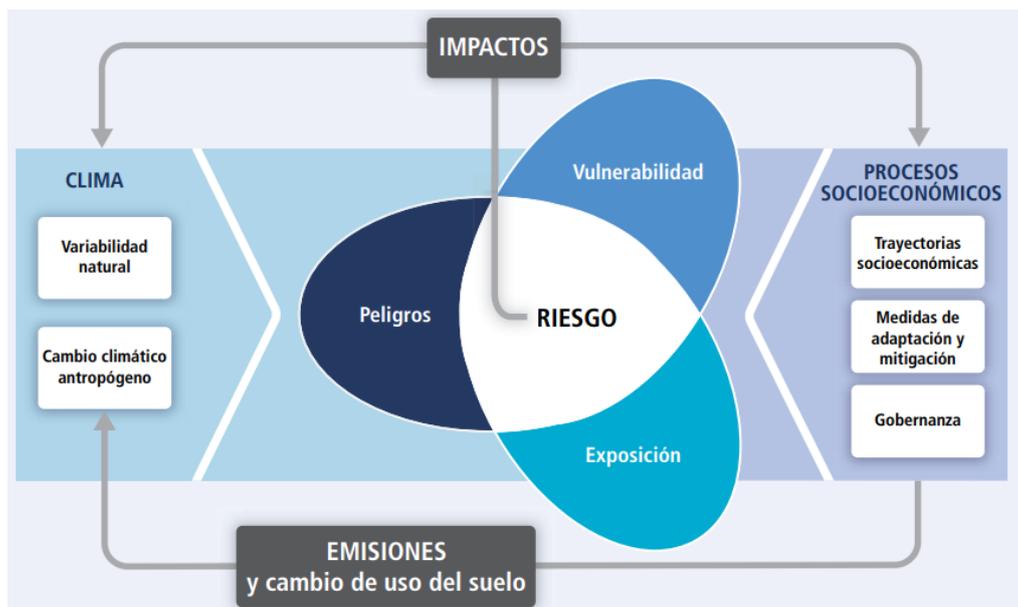


Figura nº 30. Marco conceptual para la evaluación de riesgos asociados al cambio climático. IPCC, GTII, 2014

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

- **Mapas de peligrosidad**, considerada como los sucesos o tendencias físicas relacionadas con el clima o los impactos físicos de éste que muestran la distribución espacial y temporal de una determinada variable en los diferentes escenarios de cambio climático planteados.
- **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. 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.
- **Mapas 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.
- **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 (Tabla nº 7):

		Impactos	Indicadores
Masas de agua superficial	SW1	Alteración de hábitats: especies piscícolas (y otras) asociadas a determinaos rangos térmicos	ECB
	SW2	Descenso O ₂ 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, NO ₃)	Q/FQ

		Impactos	Indicadores
	SW10	Afección al pH y a otros parámetros fisicoquímicos	Q/FQ
	SW11	Eutrofización de lagos y humedales	ECB
	SW12	Cuña salina ríos	ECB y Q/FQ
	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 superficiales (DMA)	
Masas de agua subterráneas	GW1	Incremento de la concentración de contaminantes (NO ₃)	QUI
	GW2	Cuña salina aguas subterráneas	QUI
	GW3	Balance agua subterráneas	CUA
	GW4	Cambio del estado de las masas de aguas subterráneas (DMA)	
Abastecimiento urbano	AU1	Aumento demanda agua	
	AU2	Pérdida garantía urbana	
	AU3	Descenso en la calidad del agua bruta	
	AU4	Aumento de vertidos por aliviaderos en episodios de lluvias (entrada EDAR)	
	AU5	Colapso de colectores	
	AU6	Desbordamiento de cauces	
Regadíos y usos agrarios	AG1	Aumento estrés hídrico en cultivos de secano	
	AG2	Aumento demanda de 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	
Usos recreativos	RE1	Aumento de la concentración de contaminantes	

Tabla nº 7. Impactos sobre los ecosistemas y sobre los usos a tener en cuenta en el PACC

ECB = Elementos de calidad biológica

Q/FQ = Condiciones químicas y fisicoquímicas

HMF = Condiciones hidromorfológicas

QUI = Químico

CUA = Cuantitativo

Como ya se ha detallado en el capítulo 5.5, hasta la fecha actual 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),
- La afección a las especies de macroinvertebrados (SW5).

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.

6.2 PLAN ANDALUZ DE ACCIÓN POR EL CLIMA

El Plan Andaluz de Acción por el Clima 2007-2012 (PAAC) forma parte de esta Estrategia Andaluza ante el Cambio Climático, y supone una respuesta concreta a las principales necesidades que debe cubrir Andalucía en lo que al Cambio Climático se refiere; la reducción de las emisiones de GEI y la ampliación de la capacidad de sumidero de estos gases.

El marco general de referencia del Plan Andaluz de Acción por el Clima (en adelante PAAC) está definido por los acuerdos internacionales en materia de cambio climático, la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y los antecedentes de las políticas de cambio climático en Andalucía.

El PAAC se constituye como un documento de nivel estratégico de la planificación regional andaluza en materia de cambio climático que, a partir de un diagnóstico, define objetivos y líneas estratégicas para su ejecución, con un periodo de vigencia desde su aprobación hasta el año 2030.

La Ley de Cambio Climático de Andalucía establece el contenido mínimo del PAAC. Entre los objetivos del Plan se encuentran: el desarrollo de herramientas de análisis y diagnóstico del cambio climático, la reducción de las emisiones de GEI o la elaboración de los escenarios climáticos de Andalucía, entre otros. Del Plan dependerán los programas mitigación y transición energética, adaptación y comunicación y participación de lucha contra el cambio climático.

Como Anexos al PAAC, se incluyen los tres Programas que establece la Ley 8/2018, de 18 de octubre, de medidas frente al cambio climático y para la transición hacia un nuevo modelo energético (en adelante la Ley 8/2018), en relación con los tres ámbitos de actuación, Anexo VII “Programa de Mitigación de Emisiones para la Transición Energética”, Anexo VIII “Programa de Adaptación”, Anexo IX “Programa de Comunicación y Participación”. Estos Programas establecen un mayor nivel de concreción a las líneas estratégicas definidas en el PAAC a través de medidas para las distintas áreas estratégicas. En el Anexo X “Líneas Estratégicas Transversales” se recogen líneas de acción de carácter transversal a los tres ámbitos y que contribuyen a la consecución de los correspondientes objetivos estratégicos.

Por otra parte, se contempla la elaboración de desarrollos operativos para cada uno de los Programas, que desarrollarán estas medidas a través de actuaciones concretas para los periodos 2021-2022, 2023-2026 y 2027-2030. A este nivel, las actuaciones quedarán definidas a través de fichas programáticas específicas con información referente a, entre otras, la población destinataria, el órgano responsable y agentes implicados, con identificación de indicadores de seguimiento, o presupuesto y origen de fondos.

Forma parte de la misión del PAAC procurar la integración efectiva en la planificación autonómica y local de las acciones de mitigación, adaptación y comunicación del cambio climático y aprovechar las sinergias entre dichas acciones, tomando en consideración los objetivos y directrices establecidos por la Unión Europea (en adelante UE) y el Gobierno de España en sus

planes específicos de lucha contra el cambio climático, así como lo establecido en la Agenda 2030 de Naciones Unidas y el Acuerdo de París. En el Anexo I “*Relación de instrumentos normativos y planificaciones concurrentes*” se detallan los instrumentos normativos y de planificación considerados en la elaboración del PAAC.

6.3 PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA DEMARCACIÓN

El futuro Plan de Adaptación al Cambio Climático de la DHCMA se realizará conforme a los principios establecidos en el PNACC y el PAAC. El objetivo principal será reducir la exposición y vulnerabilidad, así como mejorar la resiliencia del uso y recurso, y con ellos, reducir el riesgo derivado del cambio climático.

Se tendrán que tomar las medidas necesarias para compatibilizar tanto un aprovechamiento eficiente y racional del recurso hídrico, como garantizar las demandas ambientales previstas en la planificación hidrológica. Por ejemplo, trabajar en la mejora de sistemas de identificación y alerta temprana, mejora de modelos predictivos que ayuden en la toma de decisión, integración de políticas agrícolas y de uso de la tierra que consideren el cambio climático, adaptar las variedades de cultivos, cambiar las fechas de siembra, etc.

Además, se tomará como base el futuro Plan de Adaptación al Cambio Climático del Júcar, cuyo contenido básico está siendo elaborado por el IIAMA-UPV en el proyecto denominado “*Medidas para la adaptación de la gestión del agua y la planificación hidrológica al cambio climático. Aplicación en la Demarcación Hidrográfica del Júcar*”, con financiación de la Fundación Biodiversidad del MITERD.

7 CONCLUSIONES

Como novedad con respecto a los dos ciclos de planificación anteriores, se ha incorporado el presente Anejo específico relativo al cambio climático en el Plan Hidrológico de tercer ciclo.

El objetivo ha sido exponer los avances tanto en el marco político, legislativo y normativo a nivel europeo, español y autonómico, como en la evaluación técnica y cuantificación de riesgos vinculados al cambio climático que afecten en la gestión del recurso hídrico, especialmente al medio ambiente asociado y la satisfacción de demandas. Se pretende que los resultados mostrados puedan servir de base para posibles trabajos futuros relacionados, como es la elaboración del futuro Plan de Adaptación al Cambio Climático de la DHCMA.

Las proyecciones climáticas para la DHCMA estiman, en términos generales y con cierto grado de incertidumbre (mayor para la variable precipitación), un aumento progresivo de la temperatura máxima y mínima diaria para el conjunto del año (más acusada durante el verano y el otoño, especialmente para el escenario de emisiones RCP8.5), y una reducción lenta y moderada de la precipitación anual conforme avance en el siglo XXI.

Estos cambios en las variables climáticas principales tendrán un impacto directo tanto en la disponibilidad (cantidad y calidad) de los recursos hídricos (aguas fluyentes y reguladas, reserva nival, acuíferos, etc.) como en las demandas de agua (abastecimiento urbano, regadío, etc.) y procesos ecológicos asociados.

En particular, se prevé que conforme avance el siglo XXI se evidencien los siguientes fenómenos en la DHCMA:

- Una reducción considerable y creciente de la escorrentía superficial en los próximos años, para ambos escenarios de emisiones considerados, RCP4.5 y RCP8.5, cuyos valores promedio son, respectivamente: 3% y 11% para 2010-2040, 8% y 20% para 2040-2070 y 20% y 31% para 2070-2100, respecto del periodo de control 1961-2000 (CEDEX, 2017);
- Un incremento en la frecuencia e intensidad de sequías (CEDEX, 2017);
- Un porcentaje de cambio mayoritario en la precipitación máxima diaria acumulada se encuentra comprendido entre 10 y el 15% para ambos escenarios de emisiones (RCP4.5 y RCP8.5) según la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación correspondiente al tercer ciclo de planificación;
- Aumento del nivel medio del mar a 2040 (aproximadamente 6 cm) que llevará a un retroceso medio de las playas de la fachada mediterránea entre 1 y 2 m, según la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa Española (aprobadas en julio de 2017 por la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar);
- Incremento en el número de días cálidos al año, incremento de la duración de olas de calor, incremento en el riesgo de incendios forestales y reducción en el número de días de heladas;
- 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 se considera el incremento de consumo para el riego de parques y



jardines, el incremento variaría entre el 3-5% en el corto-medio plazo y hasta el 9% en el largo plazo. CEDEX (2012b);

- Estimaciones para las cuencas internas andaluzas, muestran incrementos de las dotaciones netas medias de agua de riego para el periodo 2011-2040 en el rango del 4 al 6%, mientras que en el caso de adaptación de fecha de siembra de cultivos anuales proporcionan incrementos medios en un rango del 4 al 7%. CEDEX (2012b).

Esta problemática es especialmente preocupante en la DHCMA, que se encuentra sometida a un fuerte aprovechamiento hídrico y una severa competencia entre los diferentes usuarios del sistema. Esto se traduce en un balance actual entre recursos hídricos disponibles y demandas que en la situación actual ya es ajustado (con problemas ya identificados de sobreexplotación grave de acuíferos y carencia estructural en algunos subsistemas de explotación), considerando además los requerimientos ambientales, que son una restricción al sistema y que aún están en proceso de implantación y mejora. Además, cabe destacar el carácter transversal del cambio climático, que supone, generalmente, un agravamiento de todas las demás problemáticas existentes en la DHCMA.

La evaluación del impacto del cambio climático para el horizonte 2039 en relación a la afección en los niveles de garantía de suministro de agua se detalla en el Anejo VI del Plan Hidrológico, y estos muestran resultados que han de ser considerados en la elaboración del Plan de Adaptación al Cambio Climático de la DHCMA. Por el momento, y en caso de que finalmente no se apliquen políticas de reducción de emisiones o estas no sean suficientemente efectivas (escenario de emisiones correspondiente al RCP8.5), son necesarias las actuaciones de incremento de recursos hídricos para atender las asignaciones o demandas actuales comprometidas.

Sin duda, se requiere de estudios más detallados para precisar las incertidumbres y los posibles impactos del cambio climático en la DHCMA. No obstante, es de esperar que en la medida en que se siga investigado y se amplíe la evaluación a otras variables se puedan identificar mejor las zonas que presentan mayor riesgo y mejorar el diseño de actuaciones de adaptación.

Actualmente, se está avanzando en el marco de la adaptación progresiva al cambio climático, focalizando los esfuerzos en la reducción de la exposición y vulnerabilidad, junto con la mejora de la resiliencia tanto del uso como del recurso. Destaca el proyecto denominado “*Medidas para la adaptación de la gestión del agua y la planificación hidrológica al cambio climático. Aplicación en la Demarcación Hidrográfica del Júcar*”, elaborado por el IIAMA-UPV con financiación de la Fundación Biodiversidad del MITERD, y cuyo contenido servirá de base para desarrollar los Planes de Adaptación al Cambio Climático para el resto de demarcaciones hidrográficas.

Lógicamente, el futuro Plan de Adaptación al Cambio Climático de la DHCMA tendrá que elaborarse conforme a la legislación y normativa vigente, en base a los estudios más actualizados en esta temática, así como tendrá que estar íntegramente alineado con el presente Plan Hidrológico y el coordinado con el resto de instrumentos de gestión y reducción de riesgo disponibles en la DHCMA, como son, el Plan Especial de Sequía y el Plan de Gestión del Riesgo de Inundación, para así asegurar la compatibilización de todos sus objetivos. Además, las medidas para la adaptación al cambio climático tendrán que ser compatibles y en la medida de lo posible



coincidentes con las medidas que se recogen en el programa de medidas para el alcance de los objetivos ambientales y la garantía en la atención de las demandas.

8 GLOSARIO DE ABREVIATURAS

AEMET	Agencia Estatal de Meteorología
BOE	Boletín Oficial del Estado
CCAA	Comunidades Autónomas del Estado
CEDEX	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
CEH	Centro de Estudios Hidrográficos
DG	Dirección General
DGA	Dirección General del Agua
DHCMA	Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas
DMA	Directiva Marco del Agua
EELL	Entidades locales
ETI	Esquema de Temas Importantes
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IBMWP	<i>Iberian Biological Monitoring Working Party</i>
IIAMA-UPV	Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (en español, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio)
IPHA	Instrucción de Planificación Hidrológica para las Demarcaciones Hidrográficas Intracomunitarias de Andalucía
LAA	Ley de Aguas de Andalucía
LCCTE	Ley de Cambio Climático y Transición Energética
MAGRAMA	Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
MITERD	Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico
OECC	Oficina Española de Cambio Climático
PAAC	Plan Andaluz de Acción por el clima 2021-2030
PC	Periodo de control
PES	Plan Especial de Sequía
PGRI	Plan de Gestión de Riesgo de Inundación
PI	Periodo de impacto
PIMA	Planes de Impulso al Medio Ambiente
PNACC	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030
ppm	partes por millón
QBR	Índice de Calidad del Bosque de Ribera
RCP	<i>Representative Concentration Pathway</i> (en español, Trayectorias de Concentración Representativas)



RPH	Reglamento de Planificación Hidrológica
RRHH	Recursos Hídricos
SAD	Sistema de Ayuda a la Decisión
SAIH	Sistema Automático de Información Hidrológica
TRLA	Texto Refundido de la Ley de Aguas
UE	Unión Europea



9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEMET (2021). Proyecciones climáticas para el siglo XXI. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Disponible en la página web:

http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/result_graficos?w=1&opc1=meda&opc2=Tm&opc3=Anual&opc4=0&opc6=0

Alba-Tercedor, J. y Sánchez-Ortega, A. (1988). Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basado en el de Hellawell (1978). *Limnetica*, 4: 51-56.

Ambar, P., Casado, M.J., Pastor, A. Ramos, P. y Rodríguez Camino, E. (2017). Guía de escenarios regionalizados del cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC AR5. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Agencia Estatal de Meteorología, Madrid.

Armitage, P. D., Moss, D., Wright, J. F., y Furse, M. T. (1983). The performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running-water sites. *Water Research*, 17: 333-347.

Brunet, M., Jones, P. D., Sigro, J., Saladie, O., Aguilar, E., Moberg, A., Della-Marta, P. M., Lister, D., Walther, A. y Lopez, D. (2007). Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 112.

CE (2011). Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Disponible en la página web: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0112&from=EN>

CE (2020). Estrategia Europea del Hidrógeno Limpio. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Una estrategia del hidrógeno para una Europa climáticamente neutra. Disponible en la página web: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0301&from=ES>

CE (2019). The European Green Deal. Communication from the Commission to the European Parliament, The European Council, The Council, The European Economic And Social Committee And The Committee Of The Regions. Disponible en la página web: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1588580774040&uri=CELEX:52019DC0640>

CE (2021). Estrategia Europea de Adaptación al Cambio Climático. Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Forjar Una Europa Resiliente al Cambio Climático — La nueva estrategia de adaptación al cambio climático de la UE. Disponible en la página web: https://www.adaptecca.es/sites/default/files/documentos/estrategia_eu_2021_es.pdf

CEDEX (2012a). Estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua. Efecto del cambio climático en el estado ecológico de las masas de agua. Informe final. Diciembre de 2012. Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX.

CEDEX (2012b). Estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua. Efectos potenciales del cambio climático en las demandas de agua y estrategias de adaptación. Noviembre de 2012. Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX.

CEDEX (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, CEDEX, Madrid, julio de 2017.

CEDEX (2020). Nota entregada a la Dirección General del Agua del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, con fecha de 16 noviembre de 2020 “Incorporación del cambio climático en los planes hidrológicos del tercer ciclo” Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX.

CEDEX (2021). Nota entregada a la Dirección General del Agua del Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, con fecha de 9 marzo de 2021 “Impacto del cambio climático en la recarga de las masas de agua subterránea en España” Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX.

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

Del Rio, S., Herrero, L., Pinto-Comes, C. y Penas, A. 2011. Spatial analysis of mean temperature trends in Spain over the period 1961-2006. *Global and Planetary Change*, 78, 65-75.

Del Rio, S., Cano-Ortiz, A., Herrero, L. y Penas, A. (2012). Recent trends in mean maximum and minimum air temperatures over Spain (1961-2006). *Theoretical and Applied Climatology*, 109, 605-626.

Del Rio, S., Herrero, L., Pinto-Comes, C. y Penas, A. (2011). Spatial analysis of mean temperature trends in Spain over the period 1961-2006. *Global and Planetary Change*, 78, 65-75.

Directiva 2007/60/CE, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación

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

EEA (2008). Impacts of Europe’s changing climate— 2008 indicator-based assessment, no. 4, European Environment Agency: Copenhagen, Denmark, ISBN 92-9167-692-62008, 2008.

EEA (2017). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report. European Environment Agency. ISBN 978-92-9213-835-6 doi:10.2800/534806 Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017. Disponible en la página web: <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016>

FIC (2018). Análisis del impacto del cambio climático sobre especies piscícolas y ecosistemas fluviales. Fundación para la investigación del Clima. 2018.

Herrera-Grimaldi, P., Garcia-Marin, A., Ayuso-Munoz, J. L., Flamini, A., Morbidelli, R. y Ayuso-Ruiz, J. L. (2018). Detection of trends and break points in temperature: the case of Umbria (Italy) and Guadalquivir Valley (Spain). *Acta Geophysica*, 66, 329-343.

IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Stocker, T.F. et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

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). 'Impacts of 1.5°C global warming on natural and human systems. In: *Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty*', Geneva, Switzerland, 2018

IPCC (2019). *Glosario de términos. Grupo de trabajo II. Grupo intergubernamental de expertos del cambio climático. 2019.*

Junta de Andalucía (2012). *Estudio Básico de Adaptación al Cambio Climático. Sector Recursos Hídricos. Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Disponible en la página web: https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/clima/actuaciones_cambio_climatico/adaptacion/vulnerabilidad_impactos_medidas/informes_basicos/recursos_hidricos.pdf*

Julien, P. (2018). *Stream Restoration. In River Mechanics* (pp. 348-378). Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781316107072.014.

Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética.

Ley 8/2018, de 8 de octubre, de medidas frente al cambio climático y para la transición hacia un nuevo modelo energético en Andalucía.

Lorenzo-Lacruz, J., Vicente-Serrano S. M., López-Moreno J. I., Morán-Tejeda E., y Zabalza J., 2012: Recent trends in Iberian streamflows (1945–2005). *Journal of Hydrology*, 414–415, 463–475, doi:10.1016/j.jhydrol.2011.11.023.

MAGRAMA (2016). *Impactos del cambio climático en los procesos de desertificación en España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones. Madrid. DP M-16615-2016.*

MMA (2001). *Atlas y Libro Rojo de los Peces Continentales de España. Museo Nacional de Ciencias Naturales. Ministerio de Medio Ambiente.*

Munné, A.; Prat, N.; Solá, C.; Bonada, N. y Rieradevall, M. (2003). A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 13: 147–163.

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., Solà, C. y Bonadà, N. (2003), A Simple Field Method for Assessing the Ecological Quality of Riparian Habitat in Rivers And Streams: QBR Index. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems*, 13(2):147 – 163. DOI:10.1002/aqc.529.

Orden de 11 de marzo de 2015, por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica para las Demarcaciones Hidrográficas Intracomunitarias de Andalucía.

Ordoñez, P., Ceacero-Ruiz, C. J., Mesas-Robles, A.I., Méndez-Jiménez, J. M., y Barba-Salcedo, R. (2008). Análisis del estado del clima en Andalucía mediante índices climáticos atmosféricos. Congreso Nacional de Medio Ambiente, Cumbre del Desarrollo Sostenible, 1-5 diciembre, Madrid.

PIMA Adapta (2020). Conocimiento y acción frente a los riesgos derivados del cambio climático. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.

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.

PNACC 2021-2030. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030. Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico del Gobierno de España, Madrid, 2020. Disponible en la página web: <https://www.miteco.gob.es>

Plan Andaluz de Acción por el Clima. Disponible en la página web: http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/evaluacion_integracion_planificacion/evaluacion_ambiental/evaluacion_planes_programas/otros_planes_programas/PAAC/200416_Documento_diagnosic_alcance_PAAC.pdf

Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.

Santiago (2017). Viabilidad de las poblaciones de trucha (salmo trutta) del centro de la península ibérica: el reto del cambio climático

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, Madrid.

Seneviratne, S.I.; Wartenburger, R.; Guillod, B.P.; Hirsch, A.L.; Vogel, M.M.; Brovkin, V.; Van Vuuren, D.P.; Schaller, N.; Boysen, L.; Calvin, K.V.; Doelman, J., Greve, P., Havlik, P., Humpenöder, F., Krisztin, T., Mitchell, D., Popp, A., Riahi, K., Rogelj, J, Schleussner, C.F., Sillmann, J., y Stehfest, E., (2018), 'Climate extremes, land-climate feedbacks and land-use forcing at 1.5°C. *Phil, Trans. R. Soc. A*, vol. 376

Wehrly y Wang (2007). Field-Based Estimates of Thermal Tolerance Limits for Trout: Incorporating Exposure Time and Temperature Fluctuation.



Junta de Andalucía

Consejería de Agricultura,
Pesca, Agua y Desarrollo Rural



UNIÓN EUROPEA

Fondo Europeo de Desarrollo Regional

