

CONAMA 2020

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Plan de Adaptación al Cambio Climático en la Gestión del Agua. Aplicación en la Demarcación Hidrográfica del Júcar



PLAN DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA GESTIÓN DEL AGUA. APLICACIÓN
EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR



Autor Principal: Miguel Ángel Pérez Martín (Universitat Politècnica de València)

Otros autores: Clara E. Estrela Segrelles (Universitat Politècnica de València)

ÍNDICE MÍNIMO

1. Título
2. Palabras Clave
3. Resumen
4. Introducción
5. Metodología
6. Resultados
7. Discusión
8. Conclusiones
9. Agradecimientos
10. Referencias

1. TÍTULO

Plan de Adaptación al Cambio Climático en la Gestión del Agua. Aplicación en la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

2. PALABRAS CLAVE

Plan de Adaptación, Cambio climático, Peligrosidad, Exposición, Impacto, Vulnerabilidad, Riesgo.

3. RESUMEN

El mediterráneo es una de las zonas más vulnerables del mundo al cambio climático, debido al calentamiento del sistema climático y a la modificación prevista en los patrones de lluvia, lo cual reducirá de forma significativa los recursos hídricos. En España los escenarios de cambio climático predicen un aumento medio de temperatura del aire (de 1 °C a corto plazo hasta 4 °C a largo plazo) y una disminución de la precipitación anual (de 1 – 4 % a corto plazo a 7 – 13 % a largo plazo). Los recursos hídricos naturales disminuirán en todo el país (de 1 – 8 % a corto plazo a un 17 – 30 % a largo plazo) y más significativamente en las cuencas del mediterráneo (de 4 – 20 % a corto plazo hasta 10 – 36 % a largo plazo). Esta reducción afectará a los ecosistemas asociados a las masas de agua y a los usos del agua.

Ante estas previsiones, es necesario fortalecer la capacidad anticipación frente a los riesgos climáticos mediante la elaboración e implementación de Planes de Adaptación al Cambio Climático en las cuencas hidrográficas y su integración de forma sistemática en la Planificación Hidrológica. Los Planes de Adaptación al Cambio Climático en la Demarcaciones Hidrográficas son los instrumentos para definir las medidas de adaptación y reducir los riesgos asociados al cambio climático. En este caso, se está realizando como proyecto piloto, el Plan de Adaptación al Cambio Climático de la Demarcación del Júcar, en consonancia con la Ley de Cambio Climático y Transición Energética. El objetivo principal que aborda el plan de adaptación es identificar los impactos debidos al cambio climático y definir las medidas de adaptación para reducir los riesgos. El plan incluye la distribución espacial y temporal de los peligros del cambio climático y sus impactos, la exposición de los diferentes ecosistemas y usos de agua y la vulnerabilidad del sistema, de forma que con esta información se evalúa el riesgo para los ecosistemas y los usos del agua derivados del cambio climático. Una vez identificados los principales riesgos, el plan definirá las medidas adaptación para reducir la vulnerabilidad y los impactos al cambio climático.

Los resultados muestran un gradual aumento en el riesgo asociado al cambio climático que afecta al buen estado de las masas de agua, situando a la práctica totalidad de las masas de agua de la Demarcación del Júcar en riesgo muy alto a finales del siglo XXI. El aumento de temperatura del aire produce un aumento en la temperatura del agua y una reducción en la concentración de oxígeno disuelto en el agua, lo cual conlleva una reducción en el hábitat de las especies de aguas frías y una afección a múltiples especies. La reducción en la vulnerabilidad de las masas de agua se obtiene con la implantación actual de medidas de adaptación que deberán ir ampliándose en las próximas décadas. La principal medida para reducir la vulnerabilidad es la mejora en la vegetación de ribera, dado que aumenta la superficie de sombra sobre el agua, reduciendo la radiación directa de sol sobre el agua y de esta forma se produce un menor aumento de temperatura, el cual puede ser del mismo orden que el aumento producido por el cambio climático. Además, esta medida favorece la biodiversidad y proporciona refugios para las especies. Otras medidas que también contribuyen a reducir el riesgo son: el aumento de las sueltas de aguas frías en los meses de verano desde los embalses de regulación para reducir la temperatura en las masas de agua situadas aguas abajo de los embales; y la protección de las aguas subterráneas en los acuíferos conectados con el sistema superficial, ríos y lagos, de forma que permita el drenaje de aguas subterráneas, con menor temperatura, durante los meses de verano a las masas de agua superficiales que se encuentren en riesgo.

La elaboración del Plan de Adaptación cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad, de la Subdirección General de Planificación Hidrológica del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico y de la Confederación Hidrográfica del Júcar. Este proyecto está en línea con los Objetivos de Desarrollo sostenible 6, 13 y 15 de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas (UNGA, 2015).

4. INTRODUCCIÓN

El calentamiento del sistema climático es inequívoco (IPCC, 2013). Internacionalmente se han realizado investigaciones que estudian en detalle los impactos del cambio climático en las diferentes regiones del mundo. La temperatura está aumentando, los patrones de lluvia cambiando (Burkett, 2014, Gomez-Martinez, 2018) y los recursos hídricos pueden quedar comprometidos especialmente en la Región Mediterránea (Jiménez, 2014), con una reducción mayor en el escenario RCP 8.5 y hacia finales del siglo XXI y un incremento en la frecuencia de sequías (CEDEX, 2017). Los escenarios de Cambio Climático prevén que la temperatura del aire en España aumente a lo largo del siglo XXI en 0.8-1 °C a corto plazo y 2-3.8 °C a largo plazo. La Demarcación Hidrográfica del Júcar, situada al Este de la Península Ibérica vertiente al Mar Mediterráneo (CHJ, 2016 y CHJ, 2019), es una de las zonas que va a sufrir un mayor impacto del cambio climático, con incrementos de temperatura máxima del aire de hasta 5 °C a largo plazo (CEDEX, 2017). Es necesaria la realización de un análisis integrado que ofrezca una visión general a nivel de Demarcación Hidrográfica, es este caso la del Júcar, con el objetivo de obtener indicadores para cada impacto que permitan evaluarlo, para así, proponer medidas específicas para reducir los riesgos asociados a esos impactos. El instrumento para realizar este análisis es el Plan de Adaptación al Cambio Climático a escala de Demarcación Hidrográfica.

La realización del Plan de adaptación incluye las directrices propuestas en el Proyecto de la Ley de cambio climático y Transición Energética, donde se recoge que se debe de considerar el cambio climático en la planificación y gestión del agua mediante el estudio de los riesgos derivados de los impactos sobre los regímenes de caudales hidrológicos y los recursos disponibles de los acuíferos, los riesgos derivados de los cambios en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos, los riesgos asociados al incremento de la temperatura del agua y sus impactos y los riesgos derivados de los impactos del ascenso del nivel del mar sobre las masas de agua, además, de la afección a las actividades socioeconómicas relacionadas con el agua, como la identificación del impacto sobre los cultivos y las necesidades agronómicas de agua del regadío en el caso de la agricultura y los impactos en la producción energética. La elaboración del Plan de adaptación al cambio climático propuesto incluye cuatro fases (Estrela-Segrelles 2020a y Estrela-Segrelles, 2020b): caracterización climática e hidrológica e identificación de los principales impactos, evaluación del riesgo, establecimiento de medidas de reducción del riesgo y elaboración del programa de acción para la adaptación al cambio climático.

La segunda fase del proceso, 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. Una vez conocidos los riesgos, se propondrán las medidas para reducir el riesgo con el objetivo de mejorar la capacidad de adaptación de los ecosistemas, que permitan mantener el buen estado de las masas de agua (DMA, 2000), y de los usos del agua.

La Demarcación Hidrográfica del Júcar (43.000 km²) tiene actualmente algunos de los sistemas de explotación en situación de estrés hídrico (Estrela, 2012), por lo que la reducción de recursos hídricos en el río Júcar de un 5% a corto plazo (2010 - 2030) y entre un 13-27 % en el largo plazo (2080 - 2100) (Pérez-Martín, 2015), producirá una reducción en la disponibilidad de agua que puede afectar a la producción agrícola, con un importante impacto económico (Hunink, 2019) y en la seguridad alimentaria. Medidas de adaptación, como la mejora en la eficiencia de riego, van a ser necesarias para evitar la pérdida en la producción agrícola (Rivadeneira Vera et al.,

2020). La Región Mediterránea también es más vulnerable a la contaminación por nitrato (Pérez-Martín, 2016) dado que la recarga a los acuíferos será menor y por lo tanto puede aumentar la concentración de contaminantes en el agua.

5. METODOLOGÍA

La metodología utilizada se inicia con la caracterización climática, con la horquilla de cambios en las variables de temperatura del aire y de precipitación mensual para los principales escenarios de cambio climático, RCP4.5 y RCP8.5, y con valores para el corto plazo (2010 - 2040), el medio plazo (2040 - 2070) y el largo plazo (2070 - 2100). A partir de estos escenarios, se realiza la identificación de los principales impactos a nivel de demarcación hidrográfica y la determinación de la variable, o variables, indicador asociada a ese impacto. El siguiente paso consiste, para cada uno de los principales impactos, en la determinación del riesgo asociado al cambio climático en el territorio, mediante la elaboración de mapas de riesgo. Una vez determinado el riesgo, se definirán las medidas de adaptación con las cuales se establece el programa de adaptación al cambio climático en la Demarcación (Figura 1).

El Plan de adaptación ha tenido en consideración las directrices propuestas en el Proyecto de la Ley de cambio climático y Transición Energética, donde se recoge que se debe considerar el cambio climático en la planificación y gestión del agua mediante el estudio de los riesgos derivados de los impactos sobre los regímenes de caudales hidrológicos y los recursos disponibles de los acuíferos, los riesgos derivados de los cambios en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos, los riesgos asociados al incremento de la temperatura del agua y sus impactos y los riesgos derivados de los impactos del ascenso del nivel del mar sobre las masas de agua.

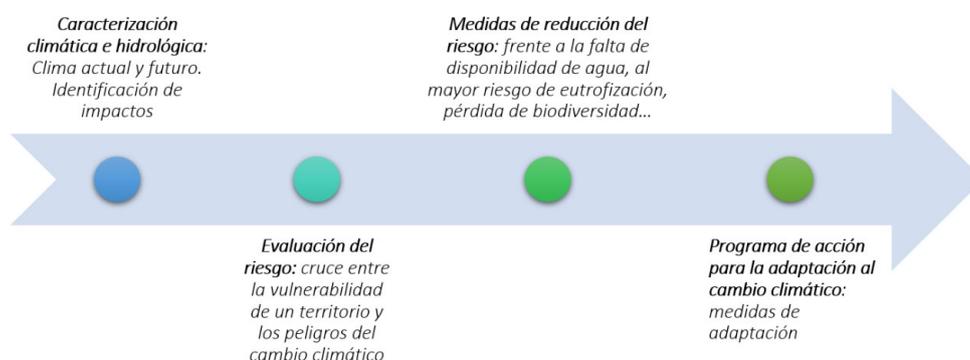


Figura 1. Fases para la elaboración de un plan de adaptación al cambio climático en una Demarcación Hidrográfica (Estrela-Segrelles, b).

La determinación de los mapas de riesgo se inicia con la elaboración de mapas de peligrosidad y mapas de exposición cuya combinación permite determinar la distribución de los impactos en el territorio. La combinación de los mapas de impacto y de los mapas de vulnerabilidad determina finalmente el mapa de riesgo (Figura 2).

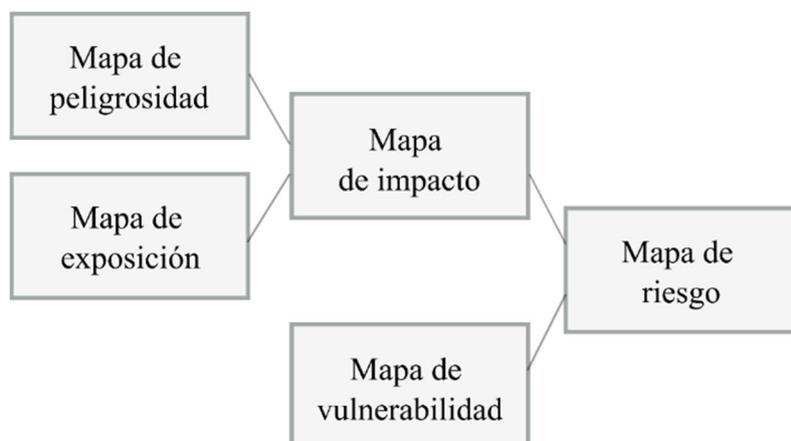


Figura 2. Esquema de la metodología propuesta para la determinación del riesgo asociado al cambio climático.

Para cada uno de los principales impactos se selecciona la variable, o variables, indicadora del estado de las masas de agua y los umbrales para definir el estado de la masa. En el caso del impacto debido a la pérdida de hábitat de las especies de aguas frías asociada al aumento de temperatura (Estrela-Segrelles, 2020b), se utiliza la temperatura del agua, el valor de temperatura que determina la zona de apremio de la especie (temperatura en la que la especie se ve significativamente afectada) y los límites termales de la especie (valor de temperatura en las que se produce una pérdida total de hábitat). En el caso de la pérdida de contenido de oxígeno disuelto debido al aumento de temperatura, se utiliza igualmente la temperatura del agua y los límites de oxígeno disuelto que definen unas buenas condiciones.

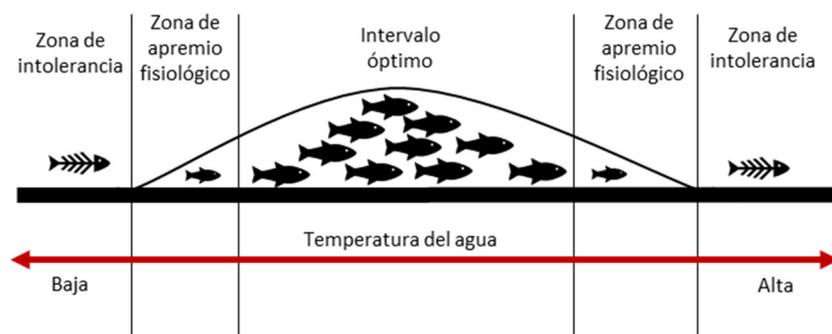


Figura 3. Zonificación de la habitabilidad de la especie en relación con la temperatura del agua

Los mapas de peligrosidad, considerada como: *sucesos o tendencias físicas relacionadas con el clima o los impactos físicos de este* (IPCC, 2019), muestran la distribución espacial y temporal de una determinada variable en los diferentes escenarios de cambio climático planteados, como el aumento de la temperatura del agua o la reducción en el contenido de oxígeno disuelto en el agua, los cuales son obtenidos a partir del aumento en la temperatura del aire mediante las formulaciones empíricas recogidas en la literatura.

Los 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 (IPCC, 2019), muestran la presencia o no de determinadas especies o los valores de referencia de determinados indicadores como el índice de macroinvertebrados IBMWP.

Los mapas de impacto, considerado como *los efectos en los sistemas naturales y humanos* (IPCC, 2019), determinan el grado de afección que produce el cambio climático en el caso analizado. El mapa de peligrosidad permite calcular si se produce un deterioro en el estado de la masa de agua, debido al cambio en el indicador analizado, incremento en la temperatura del agua, reducción en la cantidad de oxígeno disuelto en el agua u otros. La combinación de ambos mapas, peligrosidad y exposición, determina el grado de impacto que se produce en cada una de las masas. El criterio utilizado se define de la siguiente forma: si una masa expuesta (presencia de una determinada especie, o potencialmente con un buen estado) tiene una pérdida en el estado significativa, tendrá un Impacto Muy Alto, si tiene una pérdida del estado moderada tendría un Impacto Alto y si no cambia de estado o no está expuesta (no tiene la presencia de una determinada especie) tendría un No Impacto.

El mapa de vulnerabilidad, definida como: *la propensión o predisposición a ser afectado negativamente, en este contexto La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación* (IPCC, 2019). Los mapas de vulnerabilidad dependen del impacto analizado. Estos mapas incluyen información de la capacidad de adaptación del sistema, cómo por ejemplo del estado de la vegetación de ribera, a través de indicadores como el QBR, dado aumenta el sombreado en el agua, reduce la temperatura del agua y mejora las condiciones del hábitat, y otras variables, como el ancho del cauce.

Finalmente, los mapas de riesgo, definido como: *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* (IPCC, 2019), se han definido como una combinación del grado de impacto y de la vulnerabilidad según se establece en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Determinación del Riesgo a partir del grado de Impacto y de la Vulnerabilidad

Riesgo	Vulnerabilidad Baja	Vulnerabilidad Alta
Impacto Medio	Riesgo Medio	Riesgo Medio
Impacto Alto	Riesgo Medio	Riesgo Alto
Impacto Muy Alto	Riesgo Alto	Riesgo Muy alto

6. RESULTADOS

6.1. Caracterización climática

La caracterización climática parte de la información climática actual de la Demarcación Hidrográfica y de los escenarios de cambio climático elaborados por la Oficina Española de Cambio Climático (OECC). A partir de esta información, el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) elaboró la aplicación informática CAMREC que incluye los resultados del estudio “Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y Sequías en España” (CEDEX, 2017).

Los escenarios considerados son el RCP4.5 y el RCP8.5 (Representative Concentration Pathways RCPs, Sendas Representativas de Evolución de Concentración de CO₂ en la atmósfera), que es la horquilla más plausible de escenarios disponibles en la actualidad. El conjunto de escenarios RCP4.5 se corresponde con escenarios en los que se produce una transformación del modelo económico en las próximas décadas situando el pico de emisiones de gases de efecto invernadero, equivalente de CO₂, aproximadamente en el año 2050. Mientras que los escenarios RCP8.5 consideran que las emisiones de gases de efecto invernadero seguirán aumentando durante todo este siglo, situando el pico de emisiones a final de este siglo o inicios del siguiente. Para ambos conjuntos de escenarios, se incluyen tres ventanas temporales: el corto plazo (2010-2040), el medio plazo (2040-70) y el largo plazo (2070-2100). Finalmente, los resultados del trabajo incluyen los resultados de seis modelos de circulación global (CNRM-CM5, MPI.ESM.MR, inmcm4, bcc-csm1-1, MIROC.ESM, MRI.CGCM3) regionalizados mediante el método de los análogos por la Agencia Española de Meteorología (AEMET).

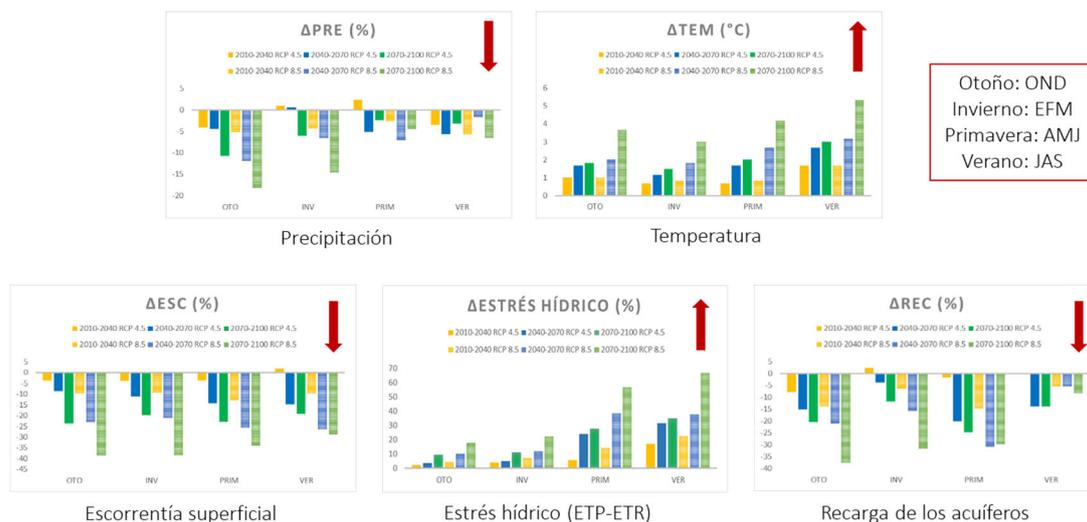


Figura 4. Variación estacional de las anomalías de las variables: Precipitación (PRE), Temperatura (TEM), Escorrentía superficial (ESC), estrés hídrico (ESTRÉS) y recarga subterránea (REC) para la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Escenarios RCP4.5 y RCP8.5, para corto plazo (2010 - 2040), medio plazo (2040 - 2070) y largo plazo (2070 - 2100). (Elaboración propia a partir de CEDEX, 2017).

Los resultados claramente muestran para la Demarcación Hidrográfica del Júcar que se producirá un cambio en el patrón de lluvias, con una paulatina reducción de la precipitación que será cada vez mayor a lo largo del siglo, y la temperatura del aire irá aumentando a lo largo del siglo, hasta alcanzar un incremento entre 2 y 5 °C a final de siglo. La combinación de incremento de temperatura y reducción en la precipitación producirá un descenso en la escorrentía entre un 20 y un 40% a final de siglo, una reducción en la recarga de agua a los acuíferos, similar, y un aumento en el estrés hídrico de la vegetación, el cual podría alcanzar valores de 40 a 60% en los meses de verano. El incremento en el estrés hídrico de la vegetación afectará tanto a la vegetación natural como a los cultivos.

6.2. Identificación de los principales impactos

Los principales impactos asociados al cambio climático se agrupan en impactos que afectan al buen estado de las masas de agua (19 impactos) e impactos que afectan a las actividades socioeconómicas (15 impactos) (Estrela-Segrelles, 2020b). Los impactos que afectan al estado de las masas de agua son, 15 impactos relacionados con las masas de agua superficiales (SW) y 4 impactos que afectan a las masas de agua subterráneas (GW) (Cuadro 2). La evaluación del impacto se realiza mediante el uso de indicadores que incluyen: Elementos de Calidad Biológicos (ECB), como el índice de macroinvertebrados IBMWP o como la presencia de peces; condiciones Químicas y Físicoquímicas (Q/FQ), como la temperatura del agua, la concentración de oxígeno en el agua o la concentración de fósforo; Hidromorfológicos (HMF), como el índice de Calidad del Bosque de Ribera QBR; condiciones químicas, como la concentración de nitrato en aguas subterráneas; o condiciones cuantitativas (CUA), como el balance de aguas subterráneas o el aporte a caudales ecológicos o humedales.

Cuadro 2. Impactos del cambio climático en los ecosistemas acuáticos y terrestres asociados y elementos de calidad o condiciones del agua asociados. ECB = Elementos de Calidad Biológicos, Q/FQ = Condiciones Químicas y Físicoquímicas, HMF = Condiciones Hidromorfológicas, QUI = Condiciones Químicas, CUA = Condiciones Cuantitativas.

Masas de agua superficial	SW1	Reducción hábitat: especies de peces de aguas frías	ECB
	SW2	Descenso O2 afección fauna piscícola	ECB y Q/FQ
	SW3	Afección a fauna piscícola del cambio de régimen hidrológico	ECB y HMF
	SW4	Conversión ecosistemas que pasan de permanente a estacional	HMF
	SW5	Reducción del indicador de macroinvertebrados	ECB
	SW6	Afección en diatomeas y macrófitos	ECB
	SW7	Reducción hábitats aptos vegetación de ribera	HMF
	SW8	Especies autóctonas y invasoras	ECB
	SW9	Incremento de la concentración de contaminantes (P, NO3)	Q/FQ
	SW10	Afección al pH	Q/FQ
	SW11	Eutrofización de lagos y humedales	ECB
	SW12	Cuña salina ríos	Q/FQ
	SW13	Afección a la vegetación de la Demarcación	HMF
	SW14	Aumento de la frecuencia e intensidad de los incendios	HMF
	SW15 Cambio del estado de las masas de agua superficiales (DMA, 2000)		
Masas de agua subterránea	GW1	Incremento de la concentración de contaminantes (NO3)	QUI
	GW2	Cuña salina aguas subterráneas	QUI
	GW3	Balance aguas subterráneas	CUA
	GW4 Cambio del estado de las masas de agua subterráneas (DMA, 2000)		

En relación con las actividades socioeconómicas (Cuadro 3), se identifican 6 principales impactos en el sector urbano, relativos al abastecimiento de agua, y su garantía, y a los efectos que producen el amento de la precipitación máxima, 6 grandes impactos en el sector agrícola, relativos al aumento en el estrés hídrico, el cambio de condiciones del cultivo, mayores necesidades de riego y, también, a las condiciones extremas, y, finalmente, 3 impactos relativos al sector energético, recreacional y de las piscifactorías.

Cuadro 3. Impactos del cambio climático en las principales actividades socioeconómicas de la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

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 (EDAR)
	AU5	Colapso de colectores
	AU6	Desbordamiento de cauces
Regadíos y usos agrarios	AG1	Aumento estrés hídrico seco
	AG2	Aumento demanda 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
Usos recreativos	RE1	Aumento de la concentración de contaminantes
Acuicultura	AC1	Cambios en temperatura, oxígeno disuelto y caudal (afección hábitat)

6.3. Mapa de peligrosidad

Los mapas de peligrosidad muestran la distribución espacial y temporal de las tendencias físicas relacionadas con el cambio en el clima, como la temperatura del agua o la concentración de oxígeno en el agua. Los resultados de evolución de la temperatura del agua en el mes de agosto muestran un paulatino aumento de 1-1.4°C en el corto plazo (2010-2040) hasta 2.4-4.2°C en el largo plazo (2070-2100) y, en relación con el contenido de oxígeno disuelto en el agua, una reducción de 0.20 mgO₂/l en las próximas décadas y una reducción de 0.4-0.7 mgO₂/l a final de siglo XXI.

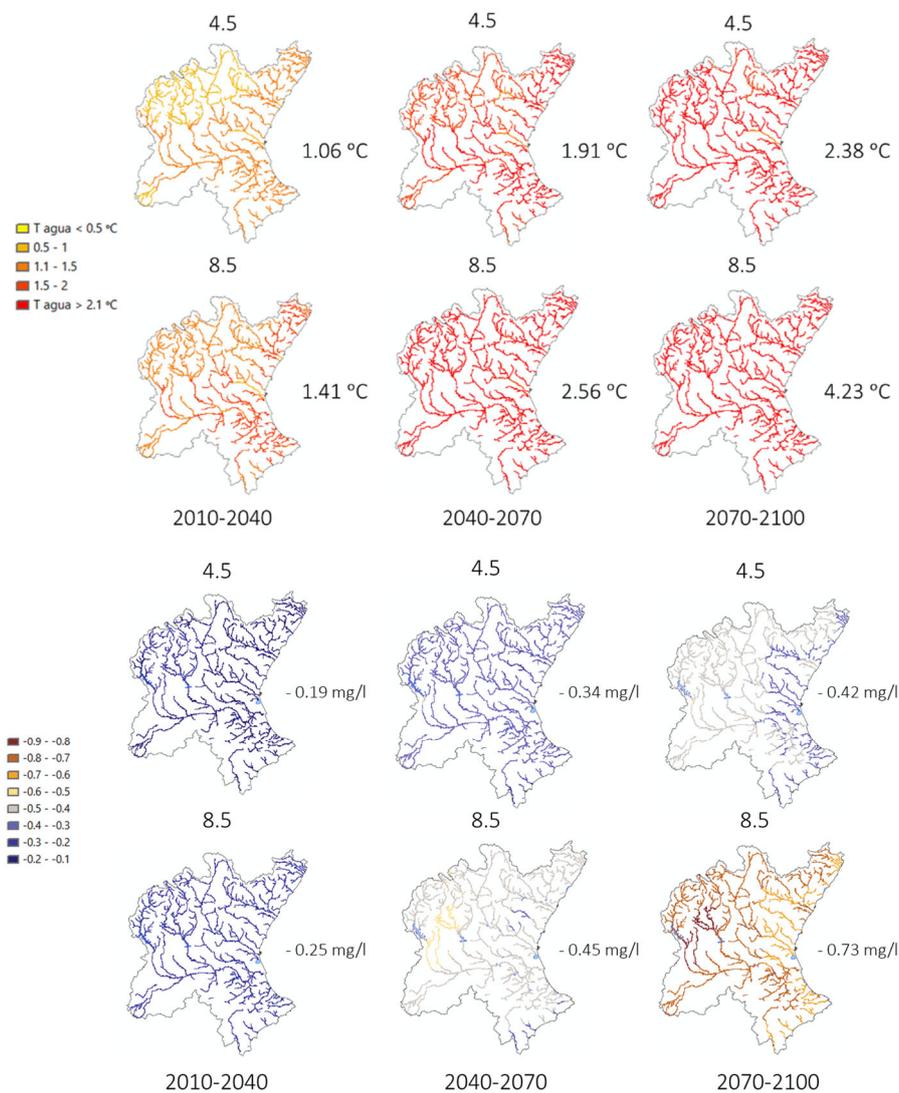


Figura 5. Mapa de peligrosidad para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, para el corto (2010-2040) medio (2040-2070) y largo plazo (2070-2100). Aumento de la temperatura del agua en agosto (arriba) y reducción del oxígeno disuelto en el agua mgO₂/l (abajo).

6.4. Mapa de exposición

En el mapa de exposición muestra la presencia, actual o potencial, de la especie en riesgo o los niveles de oxigenación actuales en las masas de agua superficiales. La presencia de la Trucha Común o Trucha Marrón (*Salmo Trutta*, Linnaeus, 1758) se extiende por las áreas de aguas frías de la Demarcación, situándose en las zonas de alta montaña y en algunos de los tramos medios, no existiendo continuidad hasta el mar. Igualmente, el contenido de oxígeno, calculado en base a la temperatura del agua, es superior a 9 mgO₂/l en las zonas de cabecera, con valores entre 5.5 y 9 mgO₂/l en los tramos medios y hasta la desembocadura.

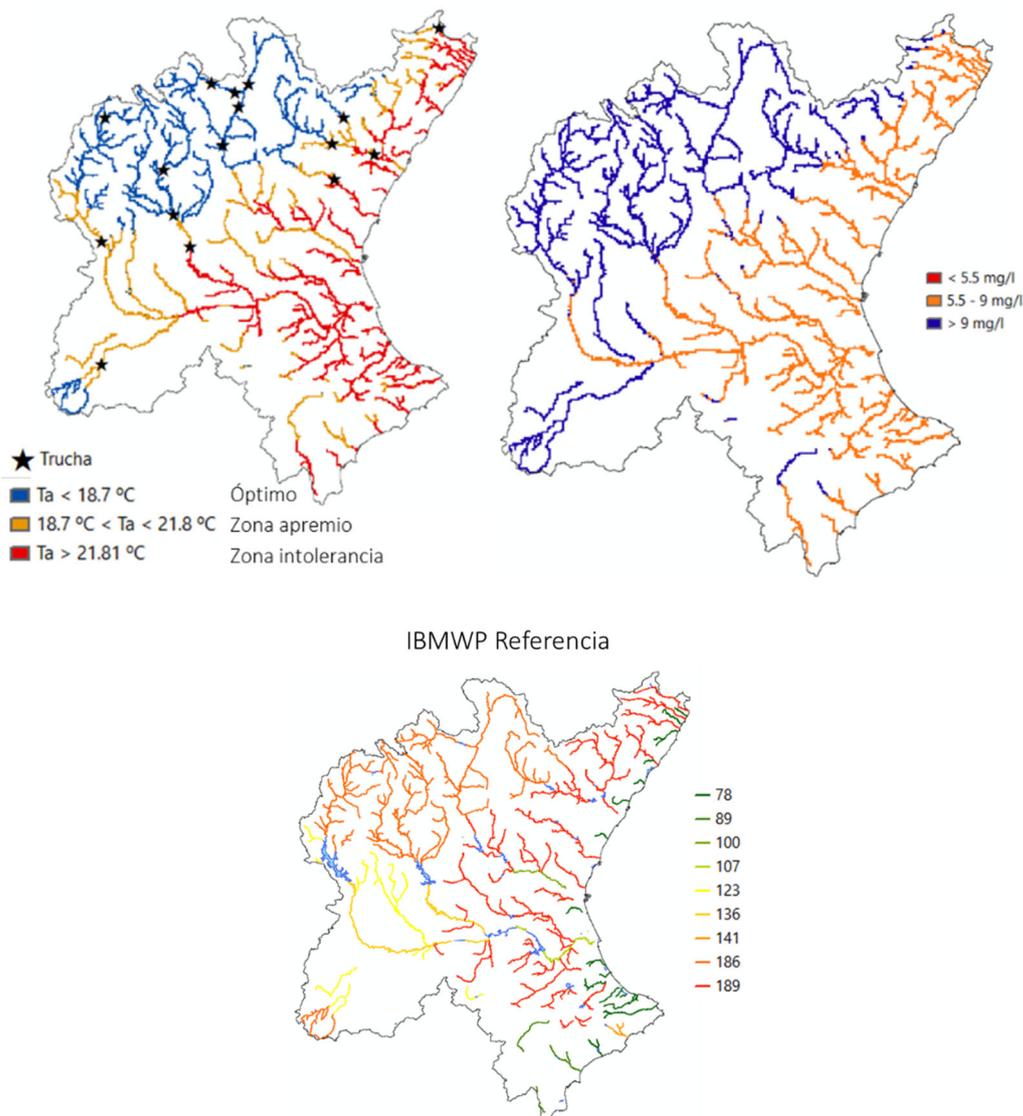


Figura 6. Mapa de exposición. Presencia de la trucha común o trucha marrón (izquierda), masas de agua con diferentes niveles de oxigenación mgO₂/l (derecha), valor de referencia del índice de macroinvertebrados (IBMWP).

6.5. Mapa de impacto

Los mapas de impacto, muestran los efectos que se producen en los sistemas naturales. En este caso, se ha considerado como impacto las situaciones, debido al mapa de peligrosidad, en las que se pierde una determinada condición de referencia, se supera un umbral de temperatura o de oxígeno disuelto en el agua, que produce la pérdida significativa (Impacto Alto) o muy significativa (Impacto Muy Alto) en una determinada especie o conjunto de especies, como por ejemplo en la trucha común o en los macroinvertebrados, teniendo en cuenta aquellas zonas donde está presente o podría estar presente, mapa de exposición.

El número de invertebrados se verá afectado por el aumento de temperatura, con una reducción estimada del 20% para un incremento de 0.5°C y del 55% para un incremento de temperatura de 2°C (CEDEX, 2012). En base a la reducción que se produce en el número de invertebrados por el aumento de temperatura, su repercusión en el IBMWP y el cambio en el estado que ello produce, se han determinado los diferentes niveles de impacto. Los resultados muestran como los impactos aumentan a lo largo del siglo desde un impacto medio y alto en las próximas décadas, hasta un impacto muy alto a finales de siglo.

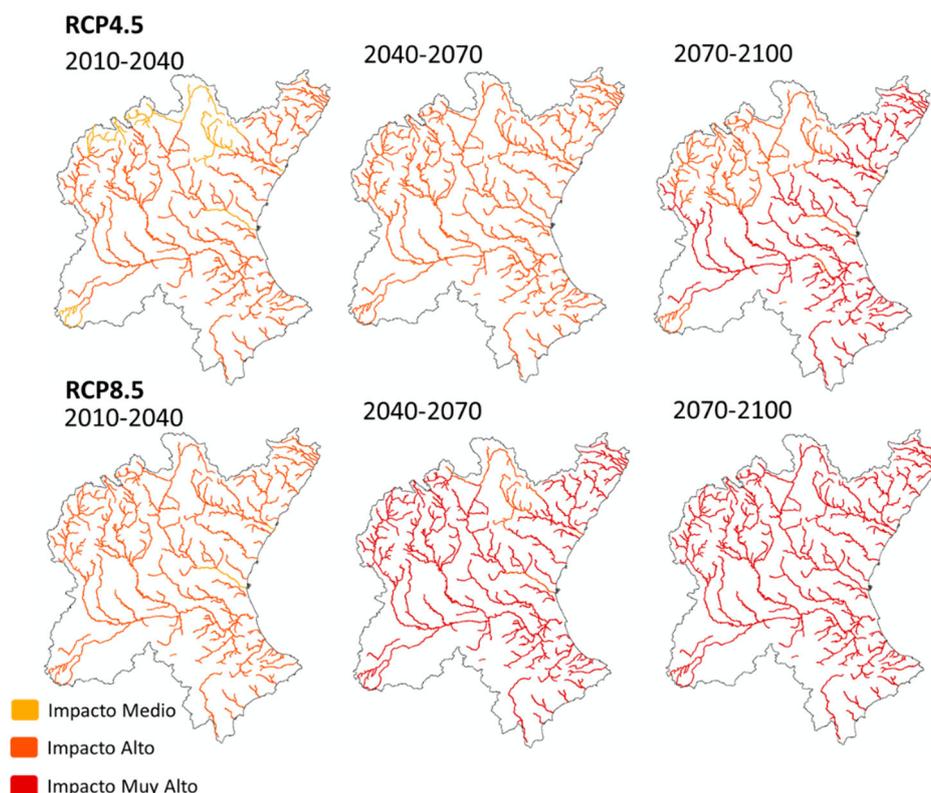


Figura 7. Mapa de impacto. Reducción en el número de macroinvertebrados en el agua para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, para el corto plazo (2010 - 2040), medio plazo (2040 - 2070) y largo plazo (2070 – 2100).

6.6. Mapa de vulnerabilidad

El mapa de vulnerabilidad muestra la capacidad o falta de capacidad de estos hábitats de asimilar los efectos producidos por el cambio climático, como el incremento de temperatura o la reducción del oxígeno disuelto. La capacidad de respuesta depende en gran medida del estado de conservación de la vegetación de ribera, ya que ofrece sombra a las masas de agua, y puede contribuir a reducir el incremento de temperatura del agua, y proporciona un mejor hábitat para las diferentes especies, por ese motivo el mapa de vulnerabilidad se ha determinado en base al estado de la vegetación de ribera existente en la actualidad.

La caracterización del estado de la vegetación de ribera se realiza con el Índice de calidad del bosque de ribera QBR (Munné et al., 1998), dado que es un índice disponible en la actualidad y 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. El QBR se estructura en cuatro bloques independientes, cada uno de los cuales valora diferentes componentes y atributos del sistema: grado de cubierta vegetal de las riberas, estructura vertical de la vegetación, calidad y la diversidad de la cubierta vegetal y grado de naturalidad del canal fluvial. En la puntuación del QBR suman todos los elementos que aportan cierta calidad al ecosistema de ribera, y resta todo aquello que supone un distanciamiento respecto a las condiciones naturales.

Para cada ecotipo existe el valor de referencia de este índice que permite clasificar el estado en Muy bueno o Peor que Muy Bueno, tal y como establece el Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. Las masas de agua con estado definido Peor que Muy Bueno se han considerado más vulnerables y con menor capacidad de adaptación, dado que no proporcionan zonas de sombreado ni refugio para las especies.

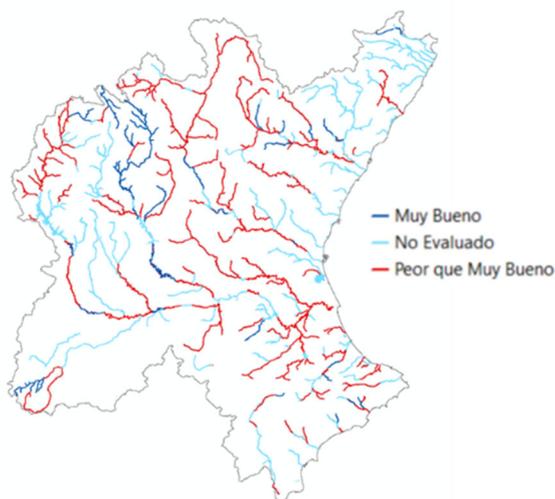


Figura 8. Mapa de vulnerabilidad basado en el estado de la vegetación de ribera aplicando el índice QBR y los umbrales que definen el estado.

6.7. Mapas de Riesgo

Los mapas de riesgo, integran el grado de impacto y la vulnerabilidad según el Cuadro 1, de forma que identifican de una forma clara aquellas zonas donde la combinación de todos los factores indican que serán las más afectadas por el cambio climático. Las zonas de mayor riesgo se caracterizan por presentar un Alto Impacto y una mayor Vulnerabilidad.

El riesgo va aumentando a lo largo del siglo a medida que va aumentando la temperatura del agua, desde un nivel Medio y Alto en las próximas décadas hasta un riesgo Muy Alto a mediados y finales de siglo, de forma que practicante la totalidad de las masas de agua presentan un riesgo Muy Alto a final de siglo XXI.

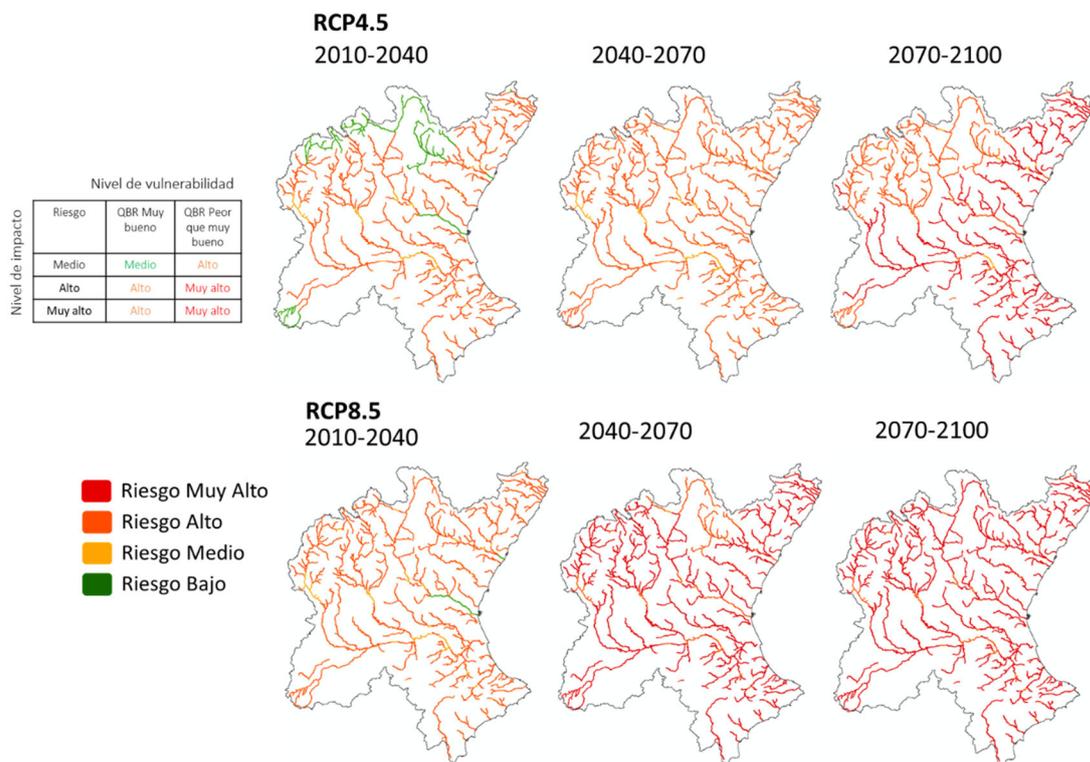


Figura 9. Mapa de riesgo de reducción significativa en el número de macroinvertebrados, escenarios RCP4.5 y RCP8.5, para el corto plazo (2010 - 2040), medio plazo (2040 - 2070) y largo plazo (2070 – 2100).

7. DISCUSIÓN

Los escenarios de cambio climático muestran un gradual aumento de la temperatura del aire que a su vez se convertirá en un progresivo aumento de la temperatura del agua, reduciendo el hábitat potencial de las especies de aguas frías y reduciendo la concentración de oxígeno disuelto en el agua. Este gradual avance produce un aumento de las masas en riesgo a lo largo del siglo XXI, lo que implica la necesidad de una paulatina implantación de medidas de adaptación en la actualidad y en las próximas décadas.

La vulnerabilidad de las masas de agua superficiales puede reducirse con una mejora en la vegetación de ribera, dado que un buen estado de ésta favorece la biodiversidad y los refugios para las especies y aumenta la capacidad de regulación de la temperatura de las aguas del río. La producción de zonas de sombreado en las masas de agua superficiales reduce la incidencia de radiación solar directa en el agua y por lo tanto la cantidad de energía absorbida por el agua, generando un efecto térmico de reducción de temperatura respecto a otras mismas áreas sin cobertura vegetal. Es por ello, que la restauración de ríos mediante técnicas como la regeneración natural y plantación de la vegetación de ribera, recuperando la integridad de sus funciones hidrológicas y ecológicas, se plantea como la principal medida de adaptación para reducir la vulnerabilidad frente al aumento de temperatura en el agua y otros efectos derivados, como la reducción de oxígeno disuelto en el agua y pérdida de hábitat para especies de peces de aguas frías y macroinvertebrados.

Otras medidas que permiten la adaptación de los sistemas y la reducción del riesgo frente al cambio climático son: el aumento de las sueltas de aguas frías en los meses de verano desde los embalses de regulación para reducir la temperatura en las masas de agua situadas aguas abajo de los embalses; y, también, la protección de las aguas subterráneas en los acuíferos conectados con el sistema superficial, ríos y lagos, de forma que permita el drenaje de aguas subterráneas, con menor temperatura, durante los meses de verano a las masas de agua superficiales que estén en riesgo.

8. CONCLUSIONES

Los escenarios de cambio climático indican para España un aumento progresivo de temperatura y un cambio en los patrones de precipitación, que producirá un descenso generalizado de la precipitación anual. En la Demarcación del Júcar los escenarios indican un aumento de la temperatura de 1°C en el corto plazo (2010-2040) hasta 4°C en el largo plazo (2070-2100), pudiendo llegar este aumento hasta los 5°C durante el verano.

Los planes de adaptación al cambio climático son el instrumento para analizar y definir las medidas de adaptación que de forma progresiva deben de implementarse en la actualidad y en las próximas décadas para reducir la vulnerabilidad frente al cambio climático. Los planes de adaptación deben integrarse en la planificación hidrológica debido a la importante repercusión que tiene en el buen estado de las masas de agua.

Las modificaciones en la temperatura y en la precipitación, y por lo tanto en la hidrología, producen impactos tanto en el ecosistema como en las actividades económicas. En este trabajo se han identificado los principales impactos que pueden afectar al estado de las masas de agua y a las actividades socioeconómicas, definiendo una metodología de análisis para evaluar, mediante indicadores, la exposición, la vulnerabilidad y el riesgo asociado al cambio climático. Los principales impactos identificados, son: 15 grandes impactos que pueden afectar al estado de las masas de agua superficiales, 4 grandes impactos al estado de las masas de agua subterráneas, 6 grandes impactos al sector urbano e industrial, 6 al sector agrícola, 1 al sector energético, 1 al sector recreativo y 1 a la acuicultura.

Los principales impactos que afectan al estado de las masas de agua están asociados, a la pérdida de hábitats de las especies autóctonas, debido a cambios en las condiciones fisicoquímicas del agua, como el aumento de la temperatura o la reducción del oxígeno disuelto; el aumento de la concentración de contaminantes debido a la reducción de los caudales circulantes y sus riesgos asociados, como el aumento de la eutrofización, y los efectos sobre la vegetación natural de la Demarcación.

La principal medida obtenida en este análisis para reducir la vulnerabilidad frente al cambio climático, que afecta al buen estado de las masas de agua, es la mejora de la vegetación de ribera, dado que proporciona zonas de sombreado, que reduce la radiación solar directa sobre el agua y por lo tanto reduce la temperatura del agua y, además, favorece la biodiversidad y los refugios para las especies. Los resultados muestran, asociados al gradual avance del aumento de la temperatura, un aumento de las masas en riesgo en las próximas décadas, lo que implica la necesidad de iniciar la implantación de las medidas de adaptación y de un progresivo aumento de medidas en las próximas décadas. Otras medidas que también contribuyen a reducir el riesgo son: el aumento de las sueltas de aguas frías en los meses de verano desde los embalses de regulación para reducir la temperatura en las masas de agua situadas aguas abajo de los embalses; y la protección de las aguas subterráneas en los acuíferos conectados con el sistema superficial, ríos y lagos, de forma que permita el drenaje de aguas subterráneas, con menor temperatura, durante los meses de verano a las masas de agua superficiales que se encuentren en riesgo.

Los principales impactos en el sector urbano corresponden a los impactos relacionados con cambios en el agua disponible en la cuenca hidrográfica, como una la pérdida de garantía en la

disponibilidad de agua debido al descenso en los recursos disponibles, o un empeoramiento de la calidad del agua debido al aumento en la concentración de contaminantes en la cuenca. Por otra parte, también se incluyen los impactos asociados al aumento de la precipitación en situaciones extremas. En el sector agrícola los principales impactos identificados corresponden el aumento en el estrés hídrico de los cultivos, con el incremento de las necesidades de riego, la pérdida de garantía en el suministro de agua a las zonas de riego, el aumento de la vulnerabilidad de las áreas de cultivo de secano y la pérdida de las condiciones de habitabilidad para algunos cultivos. Finalmente, también se han identificado impactos en el sector energético, con la pérdida en la producción de electricidad; en los usos recreativos, con el aumento de contaminantes en el agua, y en el sector piscícola, con la reducción de caudales y de oxígeno disuelto en el agua, y el aumento en la concentración de contaminantes.

9. AGRADECIMIENTOS

Este estudio se está realizando con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto demográfico. También nos gustaría agradecer a la Oficina Española del Cambio Climático, al Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX y a la Confederación Hidrográfica del Júcar por los datos proporcionados que están siendo fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Burkett, V.R., A.G. Suarez, M. Bindi, C. Conde, R. Mukerji, M.J. Prather, A.L. St. Clair, and G.W. Yohe (2014): Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 169-194.
- [2] CEDEX (2012). Estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua. Efecto del cambio climático en el estado ecológico de las masas de agua.
- [3] CEDEX (2017) Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España.
- [4] CHJ (2016). Plan Hidrológico de cuenca de la Demarcación Hidrográfica del Júcar 2015-2021. Confederación Hidrográfica del Júcar
- [5] CHJ (2019): Documentos iniciales: programa, calendario, estudio general sobre la demarcación y fórmulas de consulta. Ciclo Planificación Hidrológica 2021-2027 de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Confederación Hidrográfica del Júcar
- [6] DMA (2000): 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.

- [7] Estrela, T.; Pérez-Martin, M.A. & Vargas, E. (2012): Impacts of climate change on water resources in Spain, *Hydrological Sciences Journal*, 57:6, 1154-1167, DOI: 10.1080/02626667.2012.702213
- [8] Estrela-Segrelles, C., Pérez-Martín, M. A. (2020a): Proposing an implementation of a climate change adaptation strategy at river basin scale. Application to the Jucar river basin. EGU General Assembly 2020. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-36>
- [9] Estrela-Segrelles, C., Pérez-Martín, M. A. (2020b): Estrategia de adaptación al cambio climático en la planificación hidrológica a escala de Demarcación. Aplicación en la Demarcación Hidrográfica del Júcar. XI Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua. Septiembre 2020.
- [10] Gómez-Martínez, G., Pérez-Martín, M. A., Estrela-Monreal, T., & del-Amo, P. (2018): North atlantic oscillation as a cause of the hydrological changes in the Mediterranean (Júcar river, Spain). *Water Resources Management*, 32(8), 2717-2734. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-1954-0>
- [11] Hunink, J., Simons, G., Suárez-Almiñana, S., Solera, A., Andreu, J., Giuliani, M., Zamberletti, P., Grillakis, M., Koutroulis, A., Tsanis, I., Schasfoort, F., Contreras, S., Ercin, E., & Bastiaanssen, W. (2019): A simplified water accounting procedure to assess climate change impact on water resources for agriculture across different European river basins. *Water*, 11(10), 1976. <https://doi.org/10.3390/w11101976>
- [12] 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*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- [13] IPCC (2019). *Glosario de términos, Working Group II*
- [14] Jiménez Cisneros, B.E., T. Oki, N.W. Arnell, G. Benito, J.G. Cogley, P. Döll, T. Jiang, and S.S. Mwakalila (2014): *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 229-269.
- [15] Munné, A.; Solà, C. & Prat, N. (1998). QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. *Tecnología del Agua*, 175: 20-37.
- [16] Pérez-Martín, M., Batán, A., del-Amo, P., & Moll, S. (2015): Climate change impact on water resources and droughts of AR5 scenarios in the Jucar River, Spain. En J. Alvarez, A. Solera, J. Paredes-Arquiola, D. Haro-Monteagudo, & H. van Lanen (Eds.), *Drought: Research and Science-Policy Interfacing* (pp. 189-194). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b18077-32>
- [17] Pérez-Martín, M. A., Estrela, T., & del-Amo, P. (2016): Measures required to reach the

nitrate objectives in groundwater based on a long-term nitrate model for large river basins (Júcar, Spain). *Science of The Total Environment*, 566-567, 122-133.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.206>

[18] Rivadeneira Vera, J. F., Zambrano Mera, Y. E., & Pérez-Martín, M. Á. (2020): Adapting water resources systems to climate change in tropical areas: Ecuadorian coast. *Science of The Total Environment*, 703, 135554.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135554>

[19] UNGA United Nations General Assembly (2015): Transforming Our World: The 2030 Agenda for sustainable development. UN Doc. A/70/L.1 of 18 September.